

DMR50 - prvý digitálny model reliéfu Slovenska v rezorte ÚGKK SR

Miloslav OFÚKANÝ¹, Matej KLOBUŠIAK²

Kľúčové slová: digitálny model reliéfu, histogram, INSPIRE, metadáta, mriežka – GRID, Národná infraštruktúra priestorových informácií, nepravidelná trojuholníková sieť – TIN, referenčné dáta, reziduum, Štátna nivelačná sieť, vertikálna presnosť, vrstevnicový model

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, s ktorými ŠÚ SR utvára v spolupráci 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 systémom na vysokej hierarchickej informačnej úrovni, 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).

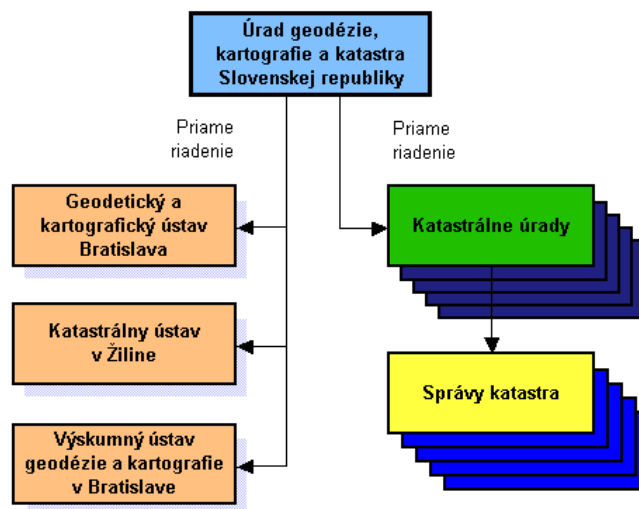
Ústredným orgánom ŠS SR pre geodéziu, kartografiu a kataster nehnuteľností je Úrad geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky (ÚGKK SR), ktorý je svojimi príjmami a výdavkami napojený na štátny rozpočet. Na plnenie úloh, vyplývajúcich zo zákonov, ÚGKK SR zriadil a priamo riadi (obr. 1) Geodetický a kartografický ústav Bratislava (GKÚ), Katastrálny ústav v Žiline a Výskumný ústav geodézie a kartografie v Bratislave, ktoré majú celoslovenskú pôsobnosť. 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 okresov (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 je časťou ŠIS. AISGKK tvoria 3 subsystemy: Informačný systém geodetických základov (ISGZ), Informačný systém katastra nehnuteľností (ISKN) a Základnej bázy údajov pre geografický informačný systém (ZBGIS). Každý zo spomenutých subsystemov sa rozvíja podľa koncepcií, navrhnutých vždy na päťročné obdobie. Na centrálnej úrovni AISGKK spravuje GKÚ, ktorý zabezpečuje tvorbu a aktualizáciu ZBGIS (ÚGKK SR, 2004).

¹ 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, e-mail: ofukany@geodesy.gov.sk

² Ing. Matej Klobušiak, PhD., Geodetický a kartografický ústav Bratislava, Projektovo-technický námestník riaditeľa, Chlumeckého 4, 827 45 Bratislava, tel.: 02/43427503, e-mail: klobusiak@gku.sk



Obr. 1 Organizačné členenie a hlavné kompetenčné vzťahy rezortu geodézie, kartografie a katastra nehnuteľností

ZBGIS je objektovo orientovaná databáza priestorových štruktúr topografických objektov so zachovaním základných topologických a geometrických črt geografickej informácie. Geometria referenčných údajov bude vedená v súradnicovom a výškovom systéme ETRS 89 a EVRS 2000. Obsahová podrobnosť je definovaná katalógom objektov (KO), obsahujúcim základnú obsahovú mieru 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 a 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 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 na pôde Európskej komisie vznikla 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), v našich podmienkach skôr označovanú 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. 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, ako aj pre schopnosť používateľov tieto služby využívať (výpočtová technika, systémové prostredie, aplikácie, atd.), alebo 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 môže napomôcť 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 po globálnu úroveň. Prvými možnými službami sú napr. vizualizácia informačných vrstiev, spájanie informácií z rôznych zdrojov. Ďalším krokom je a 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.

Ďalej svoju pozornosť zameriame na popis kvality digitálneho modelu reliéfu, ktorým Slovensko prispieva do programov združenia EuroGeographics.

Metodické prístupy pri štúdiu digitálneho modelu reliéfu

Terminológia

Pri štúdiu problematiky modelovania reliéfu sa stretávame s nejednoznačnosťou vo výklade významov pojmov a skratiek (Čuláková, Ofúkaný, 2003):

1. digitálny výškový model – DVM (ang. digital elevation model – DEM)

Stretneme sa s ním prevažne v anglicky písaných zdrojoch.

Je to 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 reprezentovaný ako dvojrozmerné pole "z" hodnôt, vzťahnutých k spoločnému definovaniu polohy (Frank et al., 2000).

Vžitý 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, trojuhnikovom 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 dvojakeho druhu: DTM a DSM (Reference Data and Metadata Position Paper, 2003).

2. digitálny model terénu – DMT (ang. digital terrain model – DTM)

Ide o 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 (strieň, 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 spojito sa meniaceho v priestore (Čuláková, 2002).

V českej kartografii sa používa výstižný termín reliéf, takže digital terrain model = digitálny model reliéfu (DMR - túto skratku používa napr. geografická služba armády Českej republiky) (Šíma, 2002).

5. digitálny model územia – DMU (ang. digital landscape model – DLM)

Ide o základnú bázu geografických dát a súbor programových prostriedkov ku zberu, spracovaniu, aktualizácii a distribúciu 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.

Ďalej v článku budeme používať termín digitálny model reliéfu, čo zodpovedá charakteru našich vstupných dát, lebo nadmorské výšky sú vzťahnuté k zemskému povrchu.

Poznámka : pri všetkých modeloch musíme rozlišovať či predmetný model vo výškovej zložke reprezentuje nadmorské výšky, teda vzťahnuté k modelu geoidu, resp. kvazigeoidu, alebo ide o elipsoidické výšky vzťahnuté 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 (Voženílek, 2001):

- vrstevnice,
- TIN,
- Grid.

Tradičné vyjadrenie nadmorskej výšky zemského povrchu je 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 údolníc a chrbátíc. Líniová reprezentácia sa využíva predovšetkým v tradičných geomorfologických štúdiách na analógových mapách.

TIN (triangulated irregular network) patrí k vektorovým topologickým štruktúram. Vychádza z nepravidelnej trojuhnikovej 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 prispôbiť 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 údolníc. 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. Prednosť gridu sa dáva 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 algebri. 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 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 krychiel. 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. K odhadu hodnôt, kde nie sú k dispozícii dáta a k nasledovnému generovaniu 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.

Voženílek (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 k určeniu nadmorských výšok buniek gridu s využitím váženého priemeru. Inerpolovaná 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 z bodu v okolí. Vyhladávací 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 častiach 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 by sa musel prepočítavať povrch. Nevýhodou však je, že výsledný reliéf je nerealisticky hladký vďaka zhladeniu bariér a skokov. Najlepšie výsledky dosahuje pri

interpolácii veľmi hladkých povrchov znázorňujúcich napr. klimatické javy. Často sa používa k vyhladzovaniu povrchov.

Kriging patrí medzi geostatistické metódy. Predpokladá sa, 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 náhodné šumy (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 sme uviedli, 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) – závisí od skúseností v meraní, použitých metód a výberu mapovej projekcie,
- atribúťová 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

Cieľom príspevku je popísať tvorbu DMR 50 - digitálny model reliéfu Slovenskej republiky s krokom 50x50 metrov a určiť jeho štruktúrovanú výškovú presnosť pomocou množiny bodov výškového systému Balt po vyrovnaní (Bpv) pre rôzne výškové hladiny územia.

Tvorba DMR50

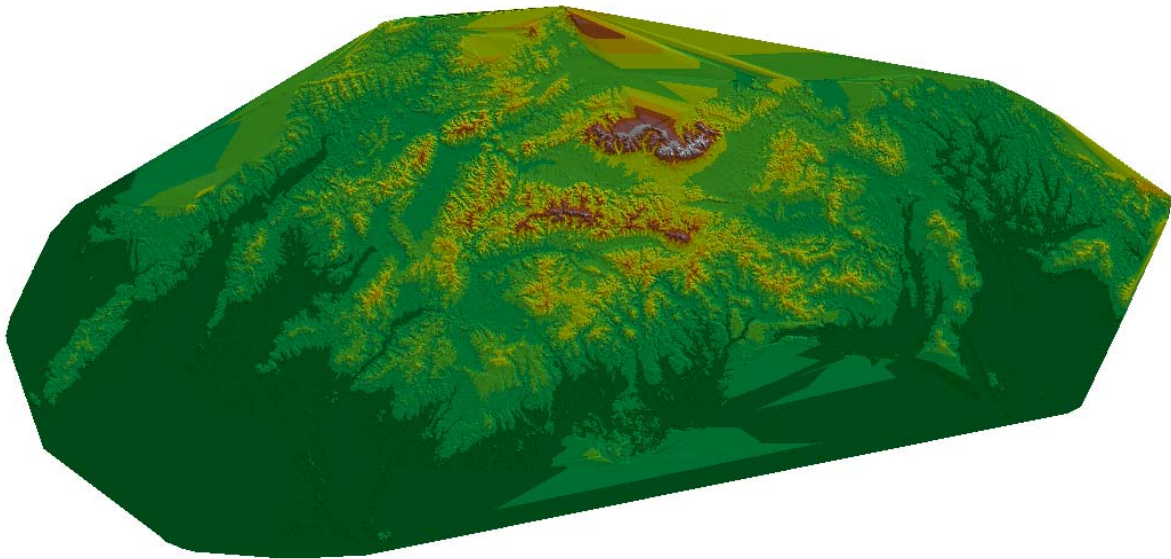
DMR50 bol vytvorený v októbri 2002 na oddelení rozvoja a medzinárodnej spolupráce GKÚ Bratislava, zdokumentovaný v technickej správe (Ofúkaný, 2003). V nej sú podrobnejšie popísané rozdiely presnosti DMR v závislosti na veľkosti gridu a práve z nej sme vychádzali pri písaní tejto kapitoly.

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 330425 polyčiar s nadmorskou výškou od 95 do 2420 metrov.



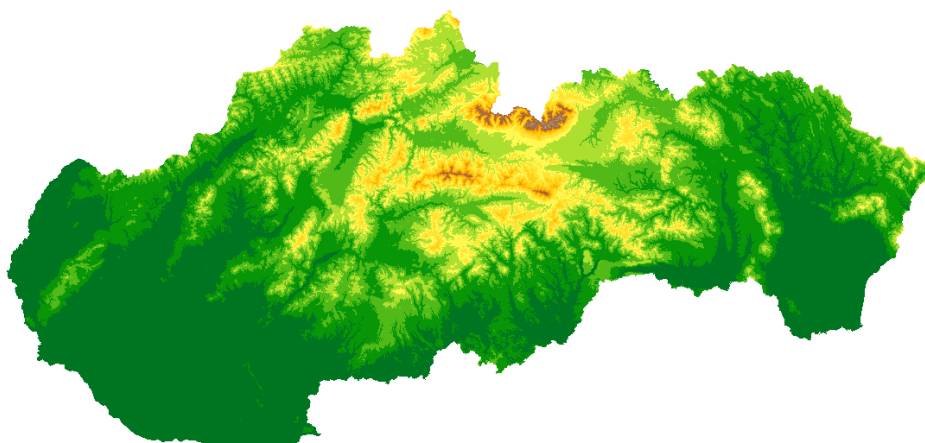
Obr. 2 Vrstevnicová štruktúra DMR50

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 23507991 vrcholmi a 47015937 trojuholníkmi.



Obr. 3 TIN štruktúra 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.



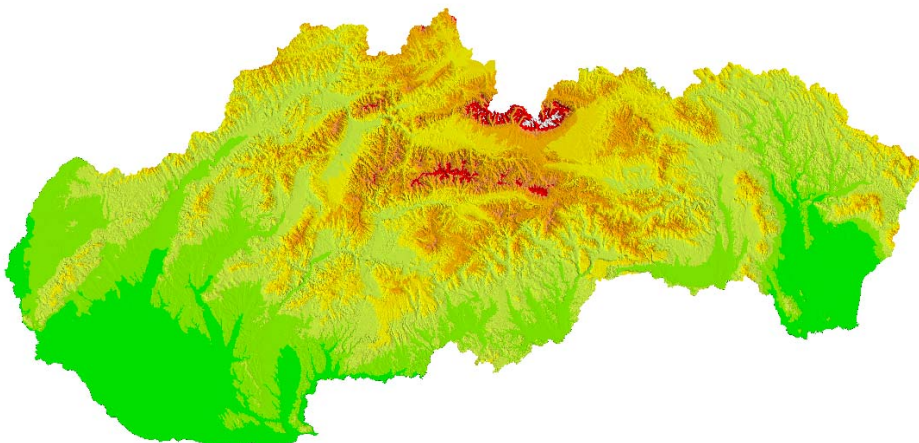
Obr. 4 GRID štruktúra DMR50

Nad GRID modelmi je možné ďalej vytvárať tieňovaný reliéf, generovať odvodené vrstevnice, počítať svahovitosť a orientáciu reliéfu. Pre lepšiu vizualizáciu členitosti územia Slovenska sme využili metódu tieňovaného reliéfu. Z GRID50 sme vytvorili tieňovanú štruktúru DMR50 (pracovné označenie TIEN50) s azimutom Slnka 250° a jeho výškou 60° nad obzorom, ktorá je zobrazená na obrázku č. 5.



Obr. 5 Tieňovaný štruktúra DMR50

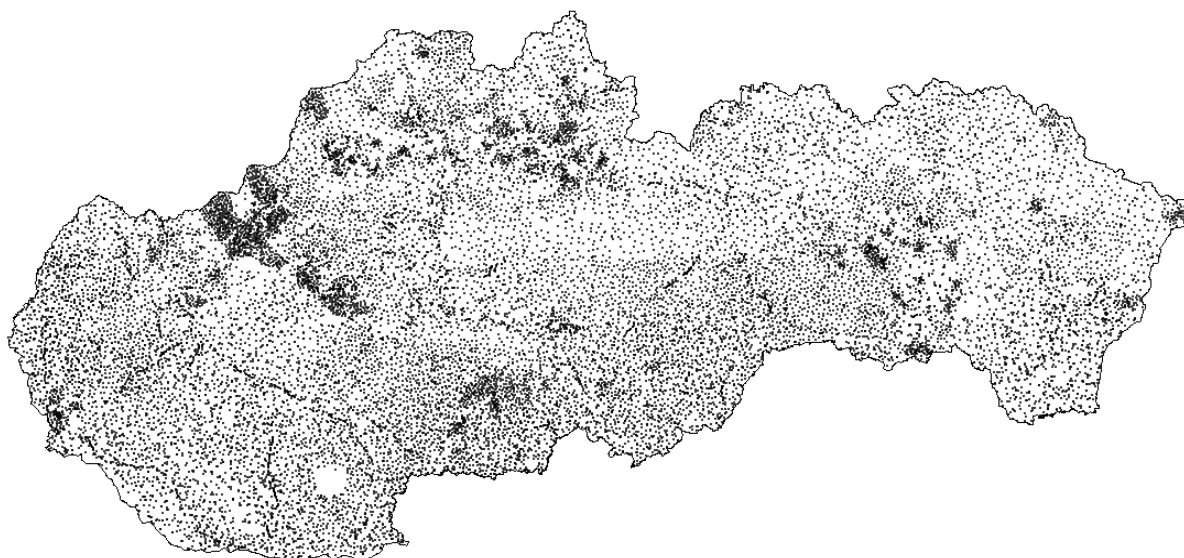
Prekrytím modelu GRID50 (vhodné je predefinovať pôvodnú farebnú škálu) vrstvou TIEN50 sme získali tzv. kompozitnú štruktúru DMR50 (obr. 6), v ktorej vystupuje aj nadmorská výška aj postavenie horských masívov voči Slnku.



Obr. 6 Kompozitná štruktúra 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 22443 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 186 bodov vypadlo, pretože sa nachádzali blízko štátnych hraníc a nebolo možné vykonať spoľahlivú interpoláciu nadmorských výšok. Do testu teda postúpilo výsledných 22257 bodov Bpv, ktorých priestorové rozmiestnenie zachytáva obrázok 7.



Obr. 7 Priestorové rozmiestnenie referenčných geodetických bodov pre testovanie presnosti DMR50

Vypočítali sme rozdiely (ďalej reziduá) medzi geodeticky určenými bodmi a DMR50 zo vzťahu: $\Delta Z = ZK - ZG$, kde ΔZ – reziduum, ZK – výška bodu DMR50, ZG – výška geodeticky určeného bodu, a súčasne platí: ak $ZK > ZG \Rightarrow$ kladné reziduum = DMR je nad reálnym stavom, ak $ZG > ZK \Rightarrow$ záporné reziduum = DMR je pod reálnym stavom.

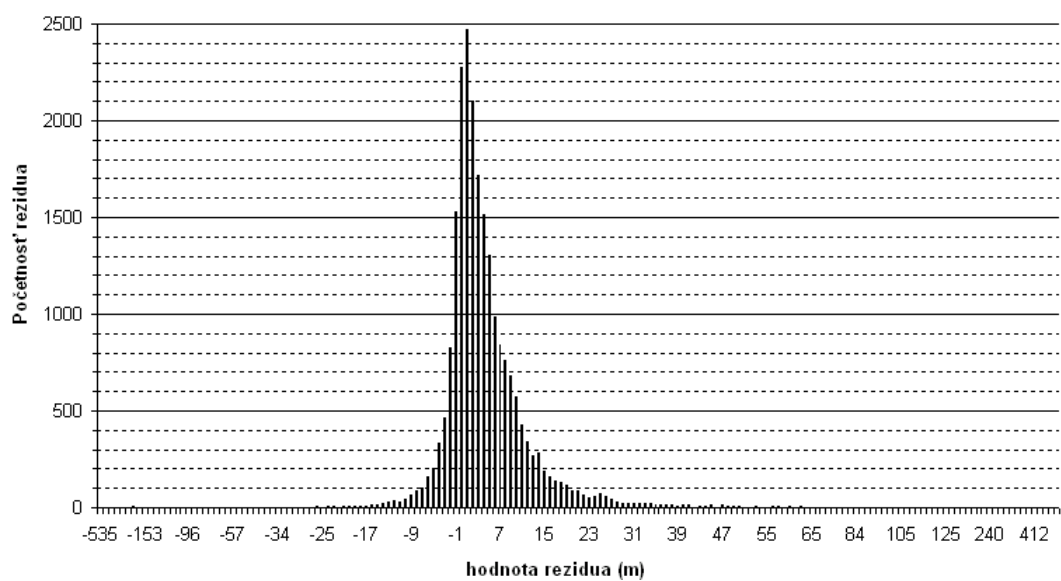
Kompletný prehľad rezidií (tiež ozn. ako zvyšky) medzi vyinterpolovanými nadmorskými výškami nad gridom DMR50 (pracovné označenie REZ50) a skutočnými výškami v bodoch Bpv je uvedený v tabuľkovej prílohe technickej správy (Ofúkaný, 2003).

Štatistické výsledky

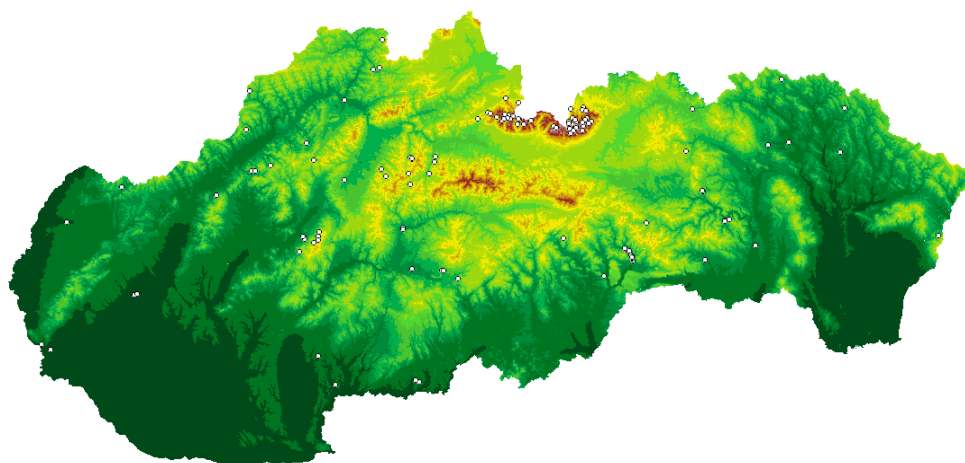
Histogram rezidií REZ50 je znázornený na obrázku 8. Má široké variačné rozpätie (-535 až 520). V tabuľke 1 sú uvedené základné charakteristiky testu presnosti DMR50. 124 rezidií s absolútnymi rozdielmi 50 a viac metrov (obr. 9) má výskyt od 123 do 2654 (57,26 % do 1000; 20,97 % 1000-2000; 21,77 % nad 2000) metrov nad morom. Z tabuľky 1 vidieť, že pri zužovaní variačného rozpätia zo všetkých bodov do piatich absolútnych metrov sa priemer rezidií znižuje. Efekt lokálneho extrému, ktorý vyskočil v hodnote 1, sa prejavil pri 2468 bodoch Bpv (obr. 10). Z nich 67 % sa nachádza v nadmorských výškach 97 až 277 m nad morom. Stredná hodnota množiny všetkých rezidií DMR50 je 2,67.

Tab. 1: Základné charakteristiky testu presnosti DMR50

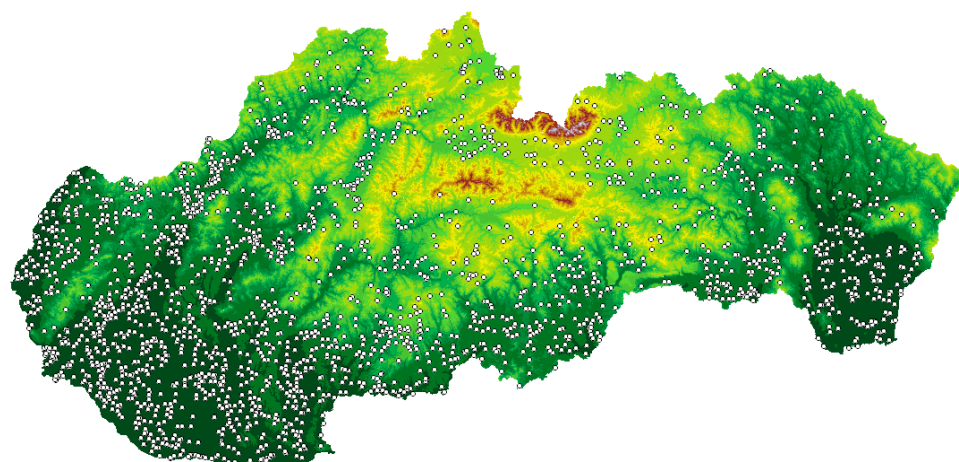
Reziduá	Všetky	Menšie 50 m	Menšie 10 m	Menšie 5 m
Počet bodov	22257	22131	18421	13229
Priemer rezidií (m)	4,43	4,15	2,09	0,91
Štandardná odchýlka (m)	14,04	7,19	3,49	2,02
Minimálne reziduum (m)	-535	-48	-9	-4
Maximálne reziduum (m)	520	49	9	4



Obr. 8 Histogram rezíduí DMR50



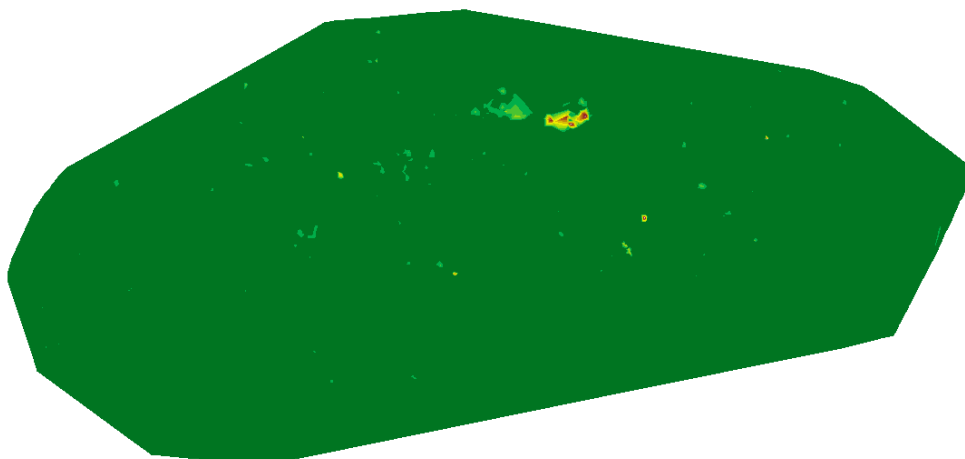
Obr. 9 Reziduá DMR50 \geq 50 metrov



Obr. 10 Reziduá DMR50=1 meter

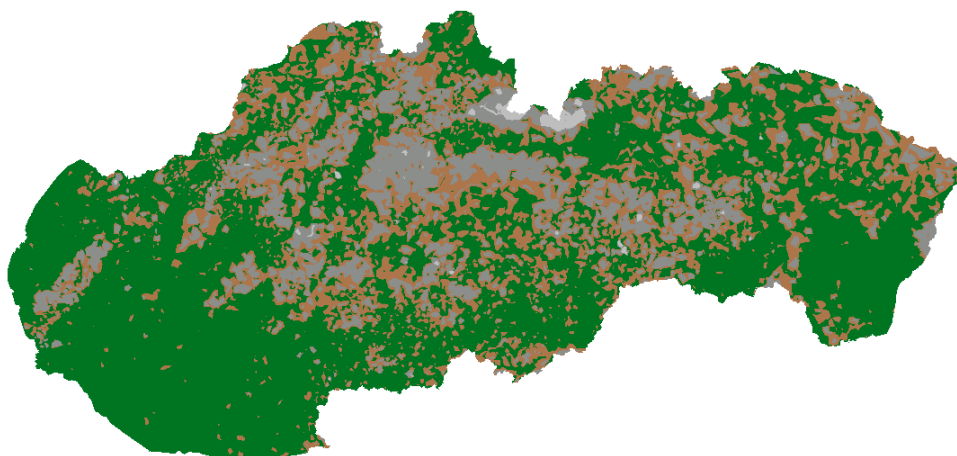
Priestorové a plošné výsledky

Na vyjadrenie priestorového rozloženia reziduí sme použili tiež princíp gridovania. Vstupnou údajovou množinou bol súbor 22257 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 22173 vrcholmi a 44316 trojuholníkmi.



Obr. 11 TIN štruktúra reziduí DMR50

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) môžeme vypočítať, že zo 49032134882,22 m² plochy SR (podľa Spojitej vektorovej mapy 1:50 000) má 53,72 % územia Slovenska rezidua menšie ako 5 metrov (tab. 2). Pri detailnejšom skúmaní intervalu <0;5) zistíme, že pri zaokrúhlení na celé jednotky plošne najrozšírenejším (13,94 % % SR) je reziduum 1 (tab. 3). Situáciu zobrazuje podrobnejšia GRID štruktúra reziduí DMR50 na obrázku 13.



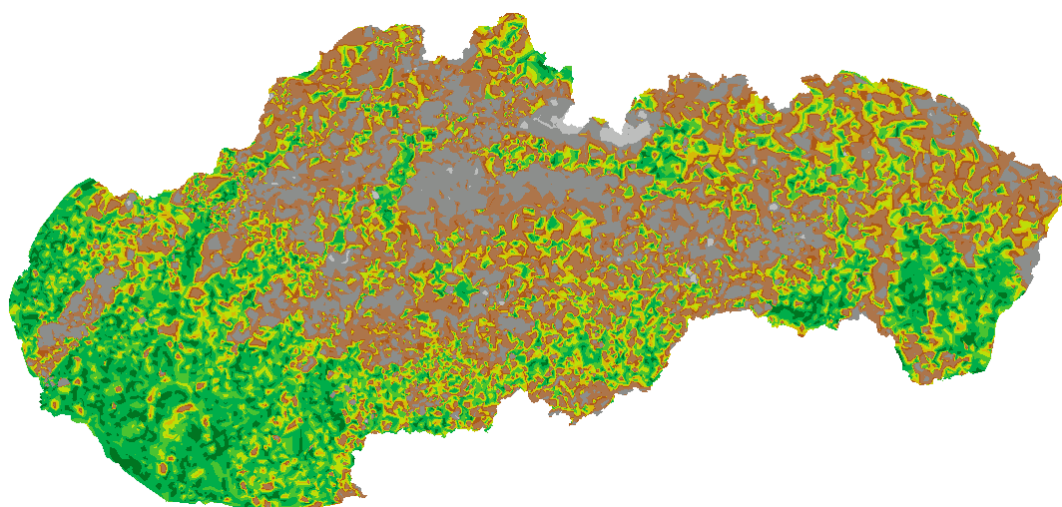
Obr. 12 GRID štruktúra reziduí DMR50

Tab. 2: Plocha reziduí DMR 50

rezidua	% 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

reziduom	interval	% 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 reziduí DMR50

Dôležitým ukazovateľom kvality digitálneho modelu reliéfu sú aj absolútne hodnoty reziduí 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 reziduí podľa špecifickej nadmorskej výšky pre DMR50

Nadmorská výška	plocha v %	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, ktorými 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 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). Je zámer, aby aj digitálne modely reliéfu boli popísané komplexnými metaúdajmi, 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 sa vzal tento štandard za základ. Neskôr sa vyvíjali 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. Rodina 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 – Metadata 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 príspevku SR a GKÚ Bratislava) vyjadrila prianie plne včleniť rodinu ISO do noriem 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

ÚMIS má zámer stať sa súčasťou pripravovanej progresívnej rezortnej webovej mapovej služby, pomocou ktorej budú cez internet 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 bola spustená 11. októbra 2004.

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

Priebeh produktov

- Spojitá vektorová mapa - SVM50
- Geodetické základy - SK POS
- Geodetické základy - SPS
- Geodetické základy - SNS
- Geodetické základy - ŠTS
- Digitálny model reliéfu - DMR
- Digitálny model kvázigeoidu - DMQ
- Rastrová mapa 1:10 000
- Rastrová mapa 1:50 000
- Rastrová mapa 1:100 000

Geodetické základy

JAVA verzia HTML verzia
 Zobrazenie referenčných bodov Geodetických základov určených v špecializovaných štátnych sieťach, s vybranými informáciami o lokalizácii, o meračských zariadeniach s fotografiou bodu.

Klady štátneho mapového diela

JAVA verzia HTML verzia
 Zobrazenie kladov mierok: 1:200 000, 1:100 000, 1:50 000, 1:25 000, 1:10 000, 1:5000, 1:2880, 1:2000, 1:1000. Pri dotaze zobrazenie dostupných produktov v danej mierke spolu s popisnými informáciami.

Spojité vektorová mapa SVM50

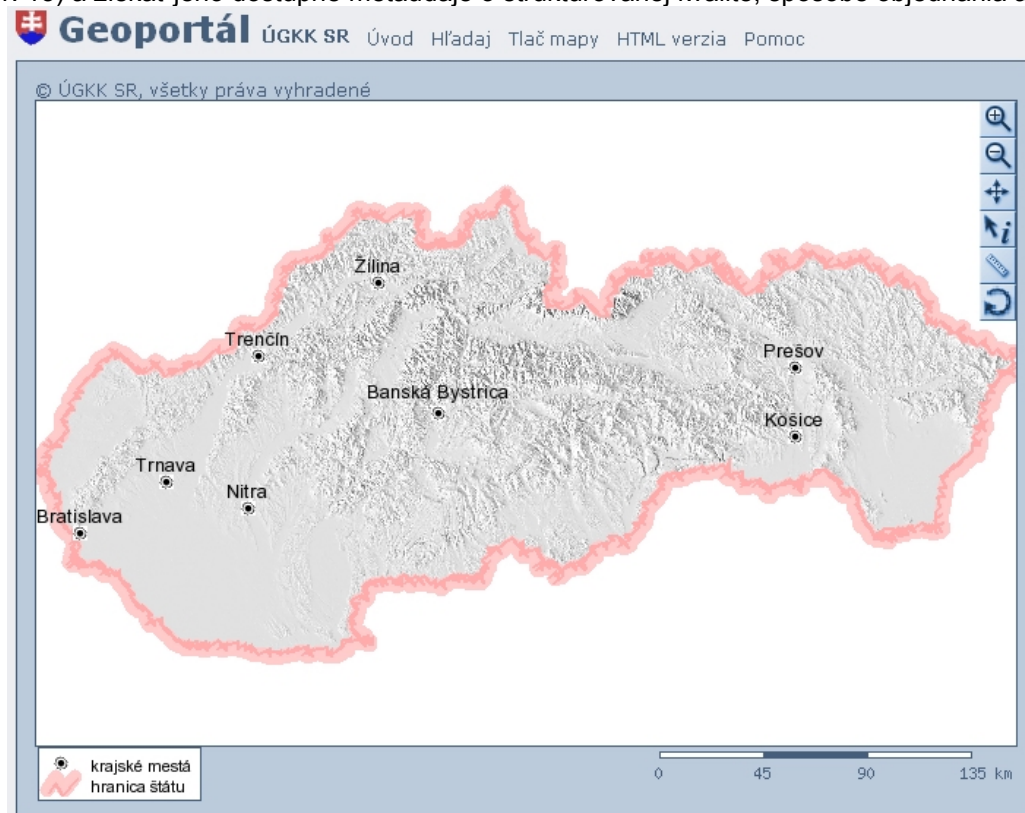
JAVA verzia HTML verzia
 Zobrazenie vrstiev SVM50: lesy, vrstevnice, vodné plochy a toky, cesty všetkých tried, zástavba, hranice územných celkov (KÚ, obce, okresy, kraje) a ďalších.

ZB GIS

JAVA verzia HTML verzia
 Zobrazenie ukážkového územia Prešov pripravovanej Základnej bázy GIS a postupu prác spracovania.

Obr. 14 Úvodná internetová stránka GeoPortálu ÚGKK SR

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

Literatúra

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 pracovní slang při prezentacích a v publikacích o geografických informačních systémech?. In. sborník z konference 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.