

HODNOTENIE KVALITY DIGITÁLNYCH VÝŠKOVÝCH MODELOV GENEROVANÝCH ZO ZM 1:50 000

Tomáš SCHMIDT, Eva MIČIETOVÁ

Quality assessment of digital elevation models generated from basic maps 1:50 000

Abstract: The aim of this article is to show the design methodology for quality evaluation of digital elevation models. It contains information about available technical standards that deals with evaluation of the quality of geographic data: data quality elements, subelements, data quality measures, methods of evaluating the quality of geographic data and also the metadata about the quality of geographic data. This methodology is applied on digital elevation models generated from basic maps of Slovak republic in scale 1:50 000.

Keywords: quality of geographic information, absolute positional errors, digital elevation models

Úvod

V súčasnej ropnej a informačnej ére ľudskej spoločnosti začína nadobúdať veľký význam poznanie životného prostredia a jeho optimálne využívanie. Problematike sa venujú rôzne vedné disciplíny ako krajinné plánovanie, krajinná ekológia, geoekológia a ďalšie geografické, environmentálne vedy. Ich cieľom je získavanie poznatkov o krajine a vytváranie metodických postupov pre tvorbu krajinných plánov, návrhy krajinnno-ekologicky optimálnej organizácie, využitia a ochrany krajiny, výsledkom čoho by malo byť zabezpečenie trvale udržateľného rozvoja ľudskej spoločnosti na Zemi.

Nevyhnutný predpoklad pre tvorbu a ochranu krajiny je získavanie kvalitných a harmonizovaných údajov o krajine a životnom prostredí, preto v Európe nadobudla platnosť v máji 2007 smernica INSPIRE, kde bola zriadená infraštruktúra pre priestorové údaje na podporu environmentálnej politiky a politik, alebo činností, ktoré môžu mať vplyv na životné prostredie. INSPIRE je založená na infraštruktúre pre priestorové údaje všetkých členských štátov Európskej únie, ktoré by mali byť jednotné a prístupné prostredníctvom webu. Treba spomenúť, že smernica sa zaoberá 34 témami priestorových údajov vrátane témy nadmorskej výšky, potrebných pre aplikácie životného prostredia.

Cieľom príspevku je oboznámenie čitateľa s témou nadmorskej výšky a najmä metodikou hodnotenia kvality priestorových údajov reprezentujúcich nadmorskú výšku v rastrovej forme podľa relevantných technických noriem smernice INSPIRE. Táto metodika bola podrobne rozpísaná v prácach (Schmidt, 2011) a (Iring, 2010).

1. Digitálne výškové modely

Metodika hodnotenia kvality digitálnych výškových modelov (DVM, angl. digital elevation models DEM) bola aplikovaná na vytvorené výškové modely z vektorových výškových údajov použitých zo Základných máp Slovenskej republiky v mierke 1 : 50 000 v diplomovej práci s názvom *Hodnotenie kvality digitálnych výškových modelov* (Schmidt, 2011).

Digitálne výškové modely boli vytvorené v súradnicovom systéme S-JTSK (systém jednotnej trigonometrickej siete katastra) s horizontálnym rozlíšením 25, 50, 100 metrov, interpolačnou metódou RST (*regularised spline with tension*) v technologickom prostredí GRASS GIS 6.4.

doc. RNDr. Eva MIČIETOVÁ, PhD., Mgr. Tomáš SCHMIDT, Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra kartografie, geoinformatiky a diaľkového prieskumu Zeme, Mlynská dolina 1, 842 15 Bratislava, e-mail: eva.micietova@fns.uniba.sk, schmidt@fns.uniba.sk

V zmysle dokumentu (*Data Specification on Elevation – Draft Guidelines D2.8.II.1: s.4*), podľa ktorého sa bude téma nadmorskej výšky Európskej smernice INSPIRE opisovať, je definícia DVM uvedená ako: „trojrozmerný povrch znázorňujúci časť zemského povrchu, alebo morského dna, ktorý môže v niektorých prípadoch zahŕňať aj iné objekty, alebo prvky na povrchu ako napríklad budovy, mosty, vegetáciu...“. V našom prípade uvažujeme o digitálnom výškovom modeli iba ako o terénnej ploche bez objektov na nej. Pre rozlíšenie terénnej plochy s objektmi na nej sa používa termín digitálny model povrchu (angl. digital surface model DSM). V zmysle vyššie uvedeneho dokumentu je definícia DSM nasledovná: „DSM je trojrozmerný povrch znázorňujúci tvar časti zemského povrchu, alebo morského dna, ktorý obsahuje všetky objekty a prvky na ňom (budovy, mosty, vegetácia ...)“.

Dokument *Data Specification on Elevation – Draft Guidelines D2.8.II.1: s.4* ešte nie je oficiálnym dokumentom uvedeným na stránke Európskej smernice INSPIRE, preto sa treba pridržať technických noriem opisujúcich hodnotenie kvality geografických údajov vo všeobecnosti.

2. Hodnotenie kvality DVM

Geografické údaje sú stále viac a viac využívané rôznymi používateľmi, preto sú informácie o ich kvalite rozhodujúce pre proces výberu údajov. Nie každý používateľ potrebuje údaje s vysokou presnosťou, preto sa vytvárajú rôzne úrovne kvality údajov. Informácie o kvalite geografických údajov sa stávajú kľúčové pri ich výbere. Účelom opisu kvality údajov je práve uľahčenie výberu takej sady geografických údajov, ktoré budú najlepšie spĺňať používateľské požiadavky. Na určenie zásad opisu kvality geografických údajov slúžia technické pokyny normy ISO 19113:2002, *Geographic information – Quality principles*. ISO 19113 uvádza niektoré termíny týkajúce sa zásad kvality:

1. *Presnosť*: je tesnosť zhody medzi výsledkom skúšky a prijatou referenčnou hodnotou.
2. *Prvok kvality údajov*: kvantitatívny komponent dokumentujúci kvalitu sady údajov.
3. *Postup hodnotenia kvality údajov*: činnosť, ktorá sa uplatňuje pri používaní metód hodnotenia kvality a vykazovaní ich výsledku.
4. *Miera kvality údajov*: hodnotenie podprvku kvality údajov.
5. *Výsledok kvality údajov*: hodnota, alebo sada hodnôt získaných z mier kvality údajov.
6. *Rozsah kvality údajov*: rozsah údajov, pre ktoré sa vykazuje informácia o kvalite.
7. *Podprvok kvality údajov*: komponent prvku kvality údajov, popisujúci určitú stránku tohto prvku kvality údajov.
8. *Typ hodnoty kvality údajov*: typ hodnoty pre vykázanie výsledku.
9. *Jednotka hodnoty kvality údajov*: jednotka hodnoty pre vykázanie výsledku kvality.
10. *Kvalita*: súhrn znakov produktu, ktoré sa týkajú jeho schopnosti uspokojiť stanovené alebo predpokladané potreby.

3. Prvky kvality údajov

V zmysle technických pokynov normy ISO 19113, sa pri popise sady údajov uplatňujú nasledujúce prvky kvality údajov:

- *úplnosť* – prítomnosť, alebo neprítomnosť vzťahu vzhľadom na javu a jeho atribúty,
- *logická spojitosť* – stupeň dodržania logických pravidiel štruktúry údajov, priradenie atribútov a vzťahov,
- *polohová presnosť* – presnosť polohy vzhľadom na javu,
- *časová presnosť* – presnosť časových atribútov a časových vzťahov vzhľadom na javy,
- *tematická presnosť* – presnosť kvantitatívnych atribútov a správnosť nekvantitatívnych atribútov a klasifikácia vzhľadom na javu a ich vzťahov.

K popisu kvantitatívnej kvality sady údajov musia byť pre prvky kvality údajov použité nasledujúce podprvky kvality údajov:

1. *úplnosť*:
 - pridanie,
 - vynechanie,

2. *logická spojitosť:*

- konceptuálna spojitosť,
- tematická spojitosť,
- formátová spojitosť,
- topologická spojitosť,

3. *polohová presnosť:*

- absolútna polohová presnosť,
- relatívna polohová presnosť,
- polohová presnosť údajov pravidelných štvorcových sietí,

4. *časová presnosť:*

- presnosť merania času,
- časová spojitosť,
- časová platnosť,

5. *tematická presnosť:*

- správnosť klasifikácie,
- správnosť nekvantitatívnych atribútov,
- presnosť kvantitatívnych atribútov.

Pre každý použiteľný podprvok kvality údajov musí byť ďalej zaznamenaná informácia o jeho kvalite. Pre zaznamenanie informácie sa používa postup hodnotenia kvality údajov:

- každému podprvku kvality údajov definovaný jeden **rozsah** kvality údajov,
- každému podprvku kvality údajov definovaná jedna **miera** kvality údajov,
- každému podprvku kvality údajov definovaný jeden **postup hodnotenia** kvality údajov,
- každému podprvku kvality údajov definovaný **výsledok hodnotenia** kvality údajov,
- každému podprvku kvality údajov definovaný **typ hodnoty** kvality údajov,
- každému podprvku kvality údajov definovaná jedna **jednotka** kvality údajov,
- každému podprvku kvality údajov definovaný jeden **kalendárny dátum** kvality údajov.

Pri postupe hodnotenia kvality treba každej použitej miere definovať jeden postup hodnotenia. Tento postup musí opisovať, alebo sa odkazovať na dokumentáciu opisujúcu metodológiu uplatnenej miery kvality údajov na údaje špecifikované rozsahom.

Vykázanie informácie o kvantitatívnej kvalite musí byť vykázané vo forme metaúdajov v zhode s požiadavkami ISO 19115, okrem toho musí byť informácia o kvantitatívnej kvalite údajov vykázaná s použitím správy o hodnotení kvality v zhode s požiadavkami ISO 19114.

Vykázanie informácie o nekvantitatívnej kvalite musí byť vykázané formou metaúdajov v zhode s požiadavkami ISO 19115.

4. Metódy hodnotenia kvality údajov

Na hodnotenie kvality údajov musia byť definované postupy hodnotenia kvality, aby bolo možné vyjadriť ako dobre produkt spĺňa požiadavky uvedené v jeho špecifikácii. Toto uľahčí výber používateľom údajov, ktorí môžu potom ľahko zistiť do akej miery dané údaje spĺňajú ich požiadavky na kvalitu. Kvalita údajov sa opisuje s použitím dvoch komponentov: kvantitatívnych a nekvantitatívnych. Norma ISO 19114 poskytuje návod pre postupy hodnotenia kvantitatívnej kvality geografických údajov podľa zásad kvality uvedených v zmysle normy ISO 19113.

Klasifikácia metód hodnotenia kvality údajov sa rozdeľuje do dvoch hlavných tried: **priame** a **nepriame**.

PRIAME METÓDY hodnotenia sa ďalej rozdeľujú do podtried podľa zdroja informácií:

- *interné* (všetky údaje potrebné k realizácii priamej internej metódy sú voči hodnotenej množine údajov interné),
- *externé* (vyžaduje externé referenčné údaje, ktoré sú voči hodnotenej množine údajov externé).

Pri realizácii metódy priameho hodnotenia (internej alebo externej) rozlišujeme pojmy:

1. automatizované, alebo neautomatizované priame metódy hodnotenia,
2. úplná kontrola, vzorkovanie.

Úplná kontrola je proces, pri ktorom sa definujú všetky jednotky základného súboru špecifikovaného rozsahom kvality údajov, ktoré sa kontrolujú. Úplná kontrola je vhodná pre malé základné súbory, alebo pre kontrolu ktorú možno realizovať automatizovane.

Vzorkovanie základného súboru vyžaduje uplatnenie dostatočného počtu kontrolných jednotiek. Postupuje sa nasledujúcim spôsobom:

- Definuje sa metóda vzorkovania.
- Definuje sa jednotka (minimálna entita, ktorá bude kontrolovaná).
- Rozdelenie rozsahu kvality údajov (základný súbor) na kontrolované časti.
- Rozdelenie kontrolovaných častí na tie, kde sa bude kontrola realizovať.
- Definovanie pomeru vzorkovania, alebo rozsahu výberu.
- Voľba jednotiek vzorky.
- Kontrola jednotiek vo vzorke.

Ak sa použije vzorkovanie, a najmä ak sa použije malý rozsah výberu a iné metódy ako jednoduché náhodné vzorkovanie, mala by sa analyzovať dôveryhodnosť výsledku kvality údajov.

NEPRIAMA METÓDA hodnotenia, je metóda hodnotenia kvality údajov, ktorá využíva na hodnotenie rôzne iné dostupné informácie o danej množine údajov.

Vykázanie informácie o hodnotení kvality údajov sa realizuje formou vykázania metaúdajov. Výsledky kvality musia byť vykázané ako metaúdaje v zhode s ISO 19115, ktorá obsahuje príslušný model.

Vykázanie informácie formou správy o hodnotení kvality sa realizuje, ak sú výsledky kvality údajov poskytnuté formou metaúdajov iba ako výrok – vyhovel/nehovelo, alebo ak sú vytvárané zoskupené výsledky kvality údajov.

Pri hodnotení kvality DVM v práci (Schmidt, 2011) sa postupovalo v zmysle priamej externej metódy hodnotenia s použitím vzorkovania. Základný súbor hodnotenia predstavoval celé územie Slovenskej republiky a hodnotenie kvality DVM prebiehalo iba na vzorke územia s použitím externej množiny kontrolných bodov od spoločnosti GEO-KÓD s.r.o.

5. Miery hodnotenia kvality údajov

Miery kvality geografických údajov opisuje technická špecifikácia ISO/TS 19138:2006 *Geographic information – Data quality measures*. Jej cieľom je naviesť producenta údajov k výberu správnych mier pre vykázanie informácie o kvalite údajov. Presne definuje súbor mier kvality údajov, ktoré môžu byť použité pre podprvky kvality údajov špecifikované v ISO 19113. Pre každý podprvok je definovaných viac mier, výber konkrétnej záleží od druhu údajov a účelu použitia. Základné miery kvality údajov sa rozdeľujú na dve skupiny:

Základné miery súvisiace so sčítaním, sú založené na odlišných metódach sčítania chýb, alebo sčítaním správnych hodnôt. Ako príklad možno uviesť mieru kvality: *Počet správnych jednotiek*, (celkový počet jednotiek súboru, ktoré sú správne a v rovnakom špecifikovanom type hodnoty) napr. 571, typ hodnoty je Integer.

Základné miery súvisiace s neurčitým sčítaním sa vzťahujú na číselné hodnoty získané nejakým procesom merania a môžu byť pozorované len s určitou presnosťou. Tieto merané veličiny možno považovať za náhodné premenné a ich neurčitosť sa môže vyčíslit' štatistickými metódami. V tomto druhom prípade sa teda jedná o mieru hodnotenia kvality priestorových údajov vzniknutých procesom interpolácie. Jedná sa teda o základné miery kvality potrebné pre hodnotenie kvality DVM a iných povrchov vzniknutých procesom interpolácie.

Keďže DVM je reprezentáciou trojrozmerného systému, a ak uvažujeme o karteziánskom súradnicovom systéme, potom osi X , Y ležia v zobrazovacej rovine a v smere osi Z nastáva zmena hodnôt reprezentujúcich nadmorskú výšku. Základné miery súvisiace s neurčitým sčítaním preto rozlišujú:

- Jednorozmernú náhodnú premennú Z ,
- Dvojrôzmernú náhodnú premennú X , Y ,
- Trojrozmernú náhodnú premennú X , Y , Z .

Jednorozmernej náhodnej premennej Z nemožno priradiť jednu konkrétnu hodnotu pravdepodobnosti a považovať ju za „skutočnú“ hodnotu (Z_i), pretože je závislá od rôznych často náhod-

ných činiteľov. No je možné priradiť skutočnej hodnote určitý interval, v ktorom sa bude daná skutočná hodnota nachádzať s určitou pravdepodobnosťou. Tento interval sa nazýva intervalom spoľahlivosti a je daný pravdepodobnosťou P, kde skutočná hodnota sa nachádza medzi dolným a horným limitom:

$$(\text{dolný limit} \leq \text{skutočná hodnota} \leq \text{horný limit}) = P$$

Ak je smerodajná odchýlka σ známa, potom sú limity intervalu spoľahlivosti dané kvantilmi μ normálneho (Gausovského) rozdelenia $(z_i - \mu * \sigma \leq \text{skutočná hodnota} \leq z_i + \mu * \sigma) = P$.

Kvantily μ sú hodnoty znaku rozdeľujúce usporiadaný štatistický súbor na α rovnako početných častí a ich hodnoty sú uvedené v tabuľkách kvantilov normovaného normálneho rozdelenia pre dané hodnoty pravdepodobnosti (Gregorová a Fillová, 2004)

Pri štatistickom skúmaní sa stáva, ako práve v našom prípade hodnotenia kvality DVM, že nevieme získať informácie o každej štatistickej jednotke, ktorá by mala patriť do základného súboru. Ideálny prípad by nastal, ak by sme mali k dispozícii pre každý štvorec pravidelnej siete rastrového DVM jeden kontrolný bod. My však môžeme pracovať iba s existujúcimi kontrolnými bodmi, ktoré sú nerovnomerne a riedko rozmiestnené. V takomto prípade treba pristúpiť k výberovému zisťovaniu, kde sa pracuje iba s určitou podmnožinou základného súboru. Vyberú sa iba štvorce pravidelnej siete rastrového DVM, na ktorých sa nachádzajú kontrolné body (kontrolné body musia byť upravené tak, aby pokrývali hodnotené územie čo možno najrovnomernejšie). Takýmto spôsobom dostávame výberový súbor ktorý hodnotíme a výsledky platia pre celý základný súbor len s určitou pravdepodobnosťou. Problematike výberového skúmania sa venuje teória štatistického odhadu, ktorá pracuje s výberovým súborom (ak nie je k dispozícii základný súbor). Najčastejšie sa odhaduje stredná hodnota, rozptyl a smerodajná odchýlka.

Výberový súbor pre jednorozmernú náhodnú premennú Z bude tvorený množinou diferencií N, kde jedna diferencia predstavuje štatistický znak – absolútnu vertikálnu polohovú chybu. Diferencie získame v zmysle základnej miery kvality označenej menom: „Absolute linear error at 90 % significance level of biased vertical data“ (ďalej ALE) pre podprvok kvality „absolútna polohová presnosť následovne:

1. Odčítame hodnotu nadmorskej výšky i-tého kontrolného bodu od hodnoty nadmorskej výšky rovnako polohovo lokalizovaného i-tého bodu na modeli DVM:

$$\delta V_i = \text{kontrolný bod } V_i - \text{model } V_i, \text{ pre } i = 1 \dots N$$

Takýmto spôsobom vypočítame absolútne vertikálne chyby pre celý výberový súbor.

2. Strednú hodnotu (aritmetický priemer) výberového súboru odhadneme podľa vzťahu:

$$(\bar{\delta V}) = \left(\sum_{i=1}^N \delta V_i \right)$$

3. Výberovú smerodajnú odchýlku vyjadríme podľa vzťahu:

$$\sigma_V = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \Delta V_i^2}$$

4. Ďalej sa postupuje v zmysle tejto miery podľa pravdepodobnosti P = 90 %. Inými slovami 90 % absolútnych vertikálnych polohových chýb bude z intervalu spoľahlivosti, ktorý vypočítame. ISO/TS 19138 ponúka možnosť použitia aj mier pre pravdepodobnosť inú ako 90 %.

N predstavuje veľkosť výberového súboru (počet diferencií), kde podľa ALE, a podľa ďalších mier pre horizontálnu a priestorovú polohovú presnosť, musí byť minimálna veľkosť vzorky N = 30 bodov. Čím viac hodnôt sa nachádza vo výberovom súbore, tým budú odhadnuté parametre strednej hodnoty, rozptylu a smerodajnej odchýlky pre základný súbor objektívnejšie.

6. Metaúdaje

Na vykázanie informácie o kvalite vytvoreného DVM je potrebné najskôr definovať profil povinných prvkov metaúdajov, ktorý musí prejsť procesom validácie s normou ISO/TS 19139. Ak vytvorený profil bude definovaný správne, môže byť vykázaný vo forme XML dokumentu. Pre tému nadmorskej výšky slúžia tieto prvky a podprvky kvality údajov uvedené v dokumente *Data Specification on Elevation – Draft Guidelines D2.8.II.1*:

1. *úplnosť*
 - pridanie,
 - vynechanie,
2. *logická spojitosť*
 - topologická spojitosť,
3. *polohová presnosť*
 - absolútna polohová presnosť.

Pre prvok kvality údajov *úplnosť*, by mal byť podprvok pridanie dokumentovaný mierou kvality údajov s názvom „*hodnotenie nadbytočných jednotiek*“ a podprvok vynechanie, by mal byť dokumentovaný mierou kvality údajov s názvom „*hodnotenie chýbajúcich jednotiek*“. Prvkom *logická spojitosť* a *polohová presnosť* môžu byť podprvky dokumentované vybranou mierou z ISO/TS 19138 podľa našich vlastných, alebo používateľských požiadaviek.

Konkrétne používateľské požiadavky na DVM boli definované Letovými prevádzkovými službami SR š.p. Požiadavky tohto používateľa sú uvedené v dokumente: *Guidelines for Electronic Terrain, Obstacle and Aerodrome Mapping Information*. Ide o smernicu vydanú medzinárodnou organizáciou pre civilné letectvo ICAO (International civil aviation organization). Účelom je poskytovanie presnej informácie o hodnotách nadmorskej výšky pri leteckej navigácii. Táto smernica definuje množinu atribútov pre DVM a rovnako množinu povinných prvkov metaúdajov, ktoré musia byť o jeho atribútoch vykázané.

Za dôležité možno považovať požiadavky smernice ICAO na hodnotenie absolútnej polohovej presnosti DVM, a to:

- absolútna vertikálna polohová presnosť pre pravdepodobnosť $P = 90\%$ interval spoľahlivosti (± 30 m),
- absolútna horizontálna polohová presnosť pre pravdepodobnosť $P = 90\%$ interval spoľahlivosti (± 50 m).

V predkladanom článku sa pozornosť upriamuje iba na hodnotenie absolútnej vertikálnej polohovej presnosti DVM v základnom rozsahu hodnotenia vzhľadom na rozsiahlosť problematiky.

7. Popis hodnotenej sady priestorových údajov a použitých metód

DVM v horizontálnych rozlíšeniach 25, 50 a 100 metrov boli generované v technologickom prostredí GRASS GIS 6.4 zo vstupných údajov výškopisu spojitej vektorovej mapy (SVM 50), ktoré poskytol GKÚ (Geodetický a kartografický ústav Bratislava). SVM 50 je digitálne mapové dielo, ktoré vzniklo na báze Základnej mapy Slovenskej republiky v mierke 1 : 50 000 (ZM50). Geografické objekty, ktoré sa na ZM50 nachádzajú, boli rozdelené do vrstiev. Polohová presnosť vektorovej databázy výškových údajov, ktoré vstupovali do interpolácie, bola ovplyvnená kvalitou podkladu ZM50. Presnosť digitalizácie udáva GKÚ 0,1 mm. Výšková presnosť vektorových údajov je daná rozstupom vrstevníc digitalizovaného výškopisu, a to 10 metrov.

Tvorba DVM v rastrovej forme bola realizovaná interpolačnou metódou s názvom RST (regularised spline with tension). Metóda RST je založená na interpolačnom spline, ktorý musel byť optimalizovaný nastavením vstupných parametrov. Interpoláciu môžeme chápať ako odvodenie hodnôt javu vo všetkých miestach pravidelnej štvorcovej siete (v našom prípade ide o grid s dĺžkou strany štvorca 25, 50 a 100 m) na základe hodnôt javu v meraných bodoch (v našom prípade vektorový výškopis SVM50).

Keďže akýkoľvek povrch vytvorený interpoláciou nepredstavuje reálne hodnoty nadmorskej výšky, ale iba akúsi aproximáciu hodnôt k reálnym hodnotám, je potrebné zistiť a vykázať informácie o jeho kvalite formou metaúdajov. Zistiť absolútnu výškovú presnosť DVM je možné iba na

základe výberového súboru trigonometricky určených bodov, ktoré je možné merať s centimetrovou výškovou a polohovou presnosťou. Vzhľadom na tento fakt boli trigonometricky určené body považované za kontrolné body reprezentujúce „reálne“ hodnoty nadmorskej výšky. Na základe takejto sady kontrolných výškových údajov je možné aplikovať metodiku hodnotenia kvality DVM. Množina kontrolných bodov bola poskytnutá geodetickou firmou GEO-KÓD s.r.o.

8. Výsledky hodnotenia kvality DVM

Pre celý rozsah hodnotenia DVM v horizontálnom rozlíšení 25 m bola vypočítaná najlepšia hodnota stredných hodnôt absolútnych vertikálnych chýb = 2,16 m a smerodajná odchýlka = 7,03 m. Pri pravdepodobnosti $P = 90\%$ dostávame krajné hodnoty intervalu spoľahlivosti od -9,4 m, do 13,72 m. Inak povedané, 90 % všetkých absolútnych vertikálnych chýb budú mať hodnotu medzi -9,4 m a 13,72 m. Použitím metódy interpolácie nad pravidelnou štvorcovou sieťou, (rastra DVM) bol odvodený DVM s horizontálnym rozlíšením 50 m, stredná hodnota absolútnych vertikálnych chýb sa zvýšila o tri centimetre na 2,19 m a smerodajná odchýlka o 32 cm na 7,35 m. V tomto prípade ide stále o veľmi dobré výsledky strednej hodnoty pod 2,2 m, kde krajné hodnoty intervalu spoľahlivosti pre pravdepodobnosť $P = 90\%$ sú od -9,9 m, do 14,38 m. So zvyšovaním hodnoty horizontálneho rozlíšenia sa výsledky stredných hodnôt a smerodajnej odchýlky zvyšujú. Pri horizontálnom rozlíšení 100 m bola dosiahnutá stredná hodnota absolútnych vertikálnych chýb 2,63 m a smerodajná odchýlka 8,66 m (tab. 1).

Tieto výsledky boli získané z množiny kontrolných bodov od spoločnosti GEO-KÓD s.r.o., z ktorej sa vytvoril výberový súbor rovnomerne rozmiestnených 365 kontrolných bodov (obr. 1). Kartografické modelovanie absolútnych vertikálnych chýb na kontrolných bodoch výber, je znázornené na obr. 2. Pri štatistike sice platí pravidlo: čím väčší je rozsah výberového súboru, tým presnejší je odhad skutočnej hodnoty parametra základného súboru, no treba brať do úvahy rovnomernosť rozmiestnenia kontrolných bodov na celom hodnotenom území. Ak by boli použité všetky kontrolné body poskytnuté spoločnosťou v počte 1 478 lokalizovaných veľmi nerovnomerne na záujmovom území, dostali by sme nekorektné a skreslené výsledky hodnotenia kvality DVM.

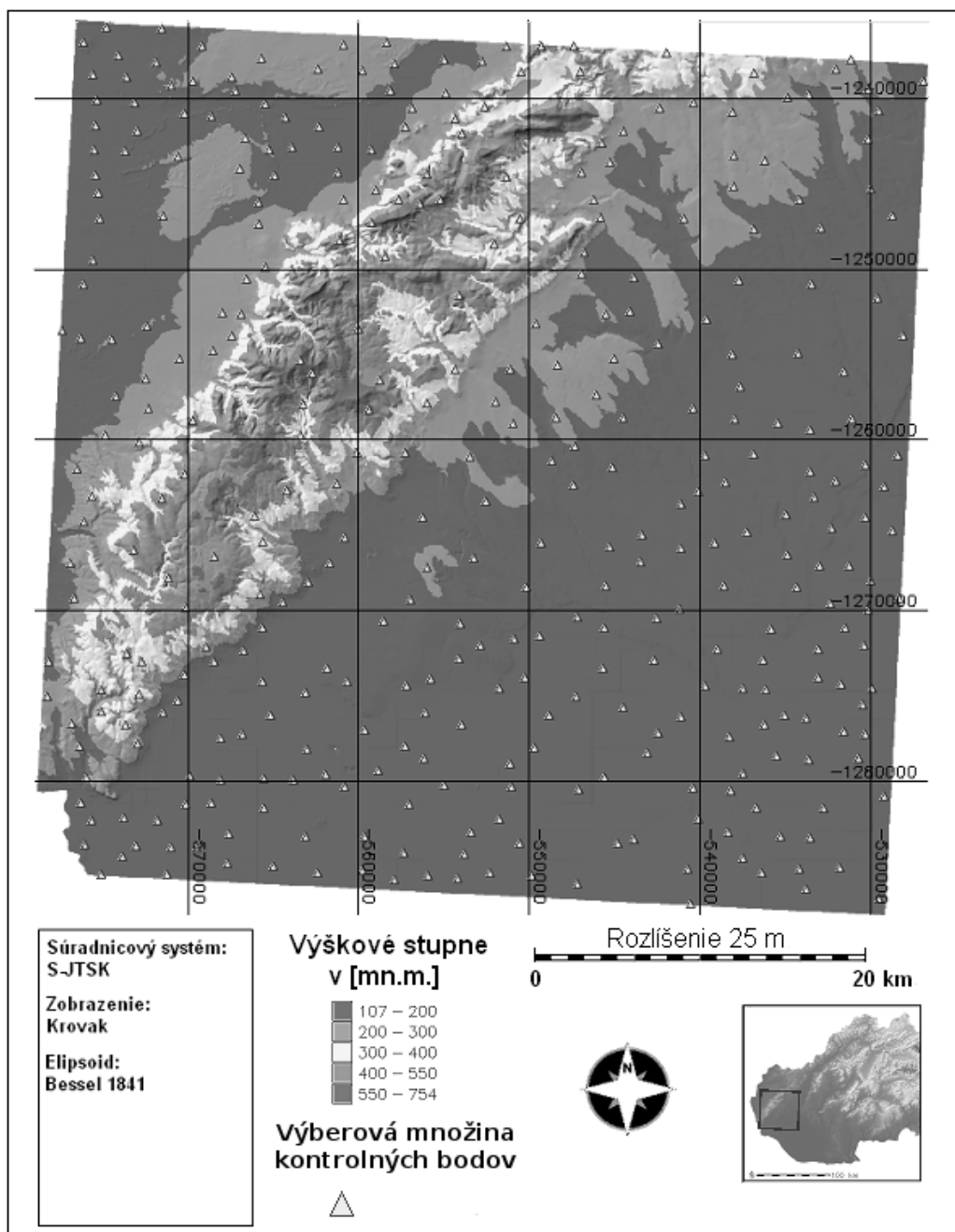
Pri hodnotení kvality údajov obsiahnutých v DVM má najväčší význam hodnotenie absolútnej polohovej presnosti vertikálnych údajov pre pravdepodobnosť $P = 90\%$ oblasti prijatia. Hodnotenie relatívnej polohovej presnosti vertikálnych údajov má doplnkový charakter. Hovorí o tom aj ešte oficiálne nezverejnený dokument *Data Specification on Elevation – Draft Guidelines D2.8.II.1*, kde pre prvok kvality *polohová presnosť* je povinný iba podprvok kvality údajov *absolútna polohová presnosť*.

Tab. 1 Výsledky hodnotenia absolútnych vertikálnych chýb na DVM v základnom rozsahu hodnotenia

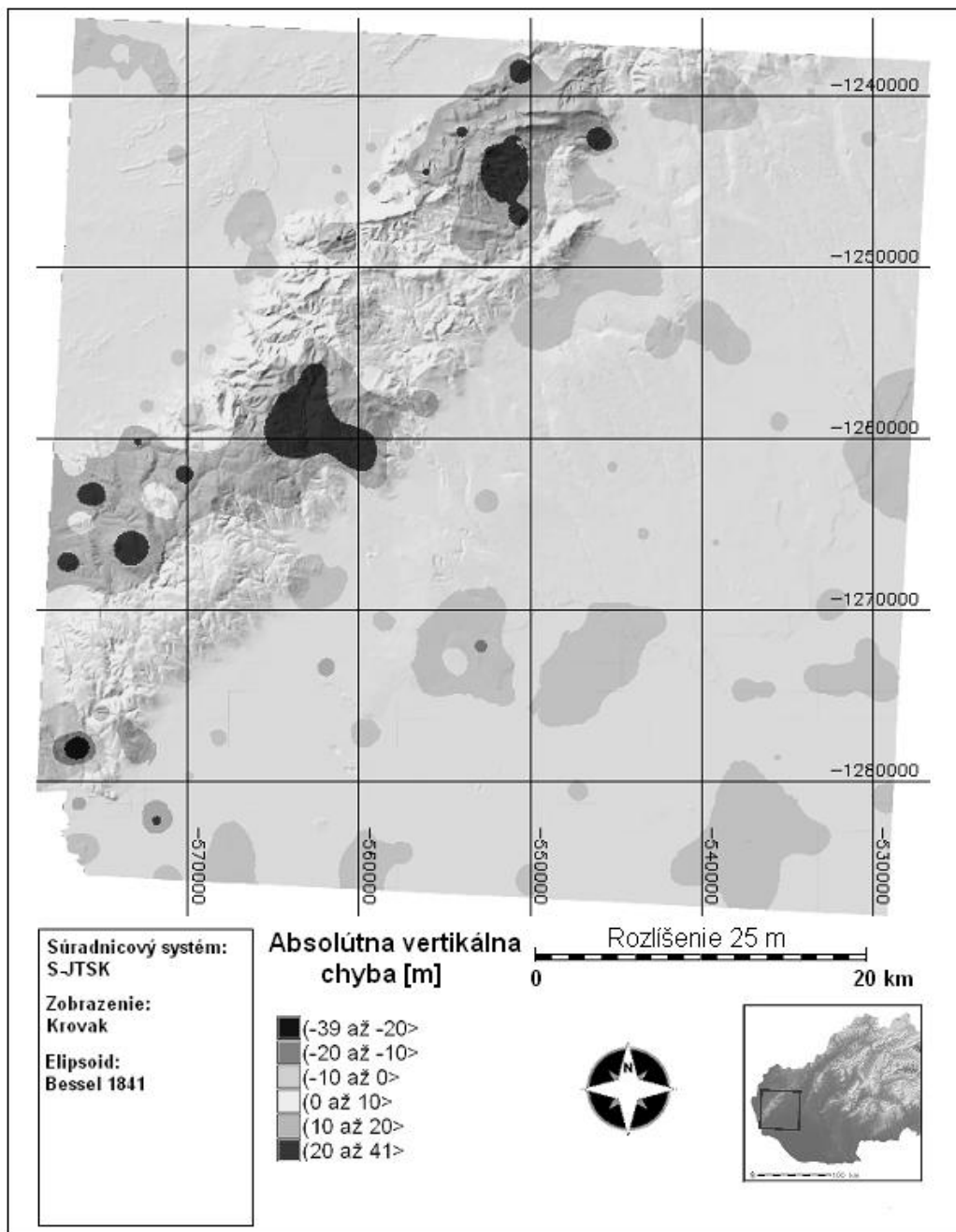
	Rozlíšenie (v m)	Priemerná absolútna vertikálna chyba= ΔV (v m)	STDEV absolútnej vertikálnej chyby (v m)	Pravdepodobnosť P (Oblasť prijatia)					
				50,00 %	68,30 %	90,00 %	95,00 %	99,00 %	99,80 %
				Interval spoľahlivosti (v m)					
D V M	25	2,16	7,03	$\Delta V \pm 4,71$	$\Delta V \pm 7,03$	$\Delta V \pm 11,56$	$\Delta V \pm 13,78$	$\Delta V \pm 18,11$	$\Delta V \pm 21,09$
	50	2,19	7,35	$\Delta V \pm 4,96$	$\Delta V \pm 7,35$	$\Delta V \pm 12,09$	$\Delta V \pm 14,41$	$\Delta V \pm 18,93$	$\Delta V \pm 22,05$
	100	2,63	8,66	$\Delta V \pm 5,84$	$\Delta V \pm 8,66$	$\Delta V \pm 14,25$	$\Delta V \pm 16,97$	$\Delta V \pm 22,31$	$\Delta V \pm 25,98$

STDEV = smerodajná odchýlka

Pre porovnanie bolo hodnotenie kvality vykonané na identickom územnom rozsahu pre produkt DMR3 v diplomovej práci Iringa (2010). Dosiahnuté výsledky boli publikované aj v článku Mičietovej a Iringa (2011) Výsledky hodnotenia pre DMR3 v horizontálnom rozlíšení 25 m: priemerná absolútna vertikálna chyba 1,17 m, smerodajná odchýlka 2,18 m, interval spoľahlivosti pre oblasť prijatia 90 % $\Delta V \pm 3,58$ m. Pri horizontálnom rozlíšení 50 m: priemerná absolútna vertikálna chyba 1,79 m, smerodajná odchýlka 3,36 m, interval spoľahlivosti pre oblasť prijatia 90 % $\Delta V \pm 4,18$ m. Pri horizontálnom rozlíšení 100 m: priemerná absolútna vertikálna chyba 3,43 m, smerodajná odchýlka 6,53 m, interval spoľahlivosti pre oblasť prijatia 90 % $\Delta V \pm 10,75$ m.



Obr. 1 Základný rozsah hodnotenia DVM na množine kontrolných bodov „výber“. Zdroj: vektorový výškopis 1 : 50 000 poskytol GĽÚ



Obr. 2 Absolútne vertikálne chyby na kontrolných bodoch Zdroj: vektorový výškopis 1 : 50 000 poskytol GKÚ

Záver

Príspevok stručne oboznamuje čitateľa s metodikou hodnotenia kvality DVM podľa relevantných technických noriem smernice INSPIRE. Vzhľadom k rozsiahlosti danej témy nebolo možné prezentovať všetky výsledky hodnotenia kvality vytvorených výškových modelov v horizontálnom rozlíšení 25, 50 a 100 metrov.

Prezentovaný bol iba výpočet absolútnej vertikálnej polohovej presnosti údajov DVM v základnom rozsahu hodnotenia. Okrem výpočtu absolútnej polohovej presnosti je možné vypočítať horizontálnu priestorovú polohovú presnosť údajov DVM a relatívnu polohovú presnosť. Rovnako pri hodnotení kvality DVM je potrebné brať do úvahy členitosť georeliéfu a rôzne typy krajiny pokrývky, ktoré sa na záujmovom území nachádzajú. Členitosť georeliéfu a typy krajiny pokrývky potom predstavujú doplnkové rozsahy hodnotenia kvality DVM. Pre objektívnejšie výsledky hodnotenia kvality je potrebné hodnotenie DVM doplniť aj o výsledky získané z výpočtov absolútnych horizontálnych a priestorových chýb DVM v základnom rozsahu hodnotenia a doplnkových rozsahoch hodnotenia DVM.

Z výsledkov prezentovaných v predkladanom článku sa môžeme dozvedieť iba informácie týkajúce sa vytvorených výškových modelov v základnom rozsahu hodnotenia v daných horizontálnych rozlíšeniach, ktoré spĺňajú požiadavky smernice ICAO na hodnotenie absolútnej polohovej presnosti DVM, konkrétne absolútnu vertikálnu polohovú presnosť pre pravdepodobnosť $P = 90\%$ interval spoľahlivosti do (± 30 m).

Príspevok vznikol na základe podpory projektu APVV-036-11.

Literatúra

- GREGOROVÁ, G., FILLOVÁ, V. (2004). *Štatistické metódy v geografii*. Bratislava (Geografika).
- IRING, M. (2010). *Hodnotenie presnosti digitálnych výškových modelov*. Diplomová práca, Bratislava (Univerzita Komenského).
- MIČIETOVÁ, E., IRING, M. (2011). Hodnotenie kvality digitálnych výškových modelov. *Geodetický a kartografický obzor*, 57/99, 3, s. 55-59.
- SCHMIDT, T. (2011). *Hodnotenie kvality digitálnych výškových modelov*. Diplomová práca, Bratislava (Univerzita Komenského).
- ISO 19113:2002, *Geographic information – Quality principles*.
- ISO 19114:2003, *Geographic information – Quality evaluation procedures*.
- ISO 19115:2003, *Geographic information – Metadata*.
- ISO/TS 19138:2006, *Geographic information – Data quality measures*.
- ISO/TS 19139:2007, *Geographic information -- Metadata -- XML schema implementation*.
- ICAO (2007). *Doc 9881: Guidelines for Electronic Terrain, Obstacle and Aerodrome Mapping Information*. International Civil Aviation Organization. [online], [cit. 2009-03-02]. Dostupné na: <<http://www2.icao.int/en/pbn/ICAO%20Documentation/ICAO%20Documentation/Guidelines%20for%20Electronic%20Terrain,%20Obstacle%20and%20Aerodrome%20Mapping%20Information.pdf>>
- Data Specification on Elevation – Draft Guidelines D2.8.II.1* (2011). [online], [cit. 2009-03-02]. Dostupné na: <<http://inspire.jrc.ec.europa.eu>>

S u m m a r y

Quality assessment of digital elevation models generated from basic maps 1:50 000

Geographical spatial data are in the world nowadays widely spread. All these spatial data have been created with different quality. For users is always important to know which spatial data has the suitable quality for them. For this purpose was in European Union established INSPIRE directive.

INSPIRE directive is based on the infrastructures for spatial information established and operated by 27 member states of the European Union. The directive addresses 34 spatial data themes including theme dedicated to Earth elevation. In the theme dedicated to elevation we can find the document called "Data specification on Elevation – Draft Guidelines D2.8.II.1". The purpose of this document is to specify a harmonised data specification for the spatial data theme Elevation as defined in Annex II of the INSPIRE Directive. According this document will be theme described and the quality of spatial elevation data which are represented also as digital elevation models DEM evaluated.

The main goal of this article is to show the methodology process how to correctly evaluate the quality of geographical spatial data using INSPIRE technical stands in general. The reason is that document "Data specification on Elevation – Draft Guidelines D2.8.II.1" is not official yet. Nevertheless it is strongly recommended to follow these given document when evaluating DEM until the official version of document will be released.

These methodology was applied on DEM with spatial resolution 25, 50, 100 meters generated from basic maps of SR in scale 1:50 000 generated in (Schmidt, 2011). Not all results were presented in this article because of voluminous number of evaluation possibilities available. Presented were only the most important results in evaluating elevation data quality and those are absolute linear errors in the whole assessment extent.

Fig. 1 Basic extent of DEM assessment and selected set of control points

Fig. 2 Absolute vertical errors on selected set of control points

Tab. 1 The results of DEM assessment on absolute linear error in basic extent of quality assessment