

Róbert FENCÍK, Margita VAJSÁBLOVÁ

ANALÝZA VÝŠKOVEJ PRESNOSTI DIGITÁLNEHO MODELU RELIÉFU ÚZEMIA KOČÍN

Vajsáblová M., Fencík R.: Analysis of the vertical accuracy of digital model of relief of territory Kočín. Kartografické listy 2004, 12, 5 figs., 2 tabs., 6 refs.

Abstract: Digital model of the relief (DMR) is an important part of geographic information system (GIS). For the creation of DMR have been used spatial data, which are achieved by geodetic measurement in the field, from secondary sources (analogue maps) and photogrammetric processing of aerial photographs. Very important is to know the vertical accuracy of DMR. The article describes evaluation of the vertical accuracy of the three DMR from the agricultural farm Kočín (creating from aerial photographs at scales 1:27,000, 1:8,000) and ZM 10, which is based on the real slope of relief.

Keywords: digital model of relief, geographic information system, digital photogrammetry, vertical accuracy, slope of relief

Úvod

Digitálny model reliéfu (DMR) je dôležitou súčasťou geografického informačného systému (GIS). Používa sa v rôznych prírodovedných a technických aplikáciách GIS. Schválená *Koncepcia tvorby, aktualizácie a správy ZB GIS do roku 2005* [7] (ďalej len „konceptia“) definuje vytvoriť Základnú bázu (ZB) GIS ako priestorovo orientovanú bázu dát modelu terénu v trojrozmernom prostredí plniacu úlohu lokalizačného základu pre GIS v rôznych odvetviach hospodárstva a verejnej správy. ZB GIS má byť vytvorená novým fotogrametrickým vyhodnotením leteckých meračských snímok technológiou digitálnej fotogrametrie v trojrozmernom prostredí. Podľa [7] ZB GIS sa skladá z troch základných komponentov:

- digitálny model reliéfu,
- digitálny vektorový polohopis,
- digitálna spojená ortofotomapa.

Pri tvorbe DMR sa používajú priestorové dáta získané najčastejšie geodetickým meraním v teréne, alebo zo sekundárnych zdrojov (analogové mapy), resp. fotogrametrickým vyhodnotením leteckých meračských snímok. Presnosť DMR môžeme hodnotiť z viacerých aspektov, napr. presnosť vo vybraných bodoch, autokorelácia chyby, relatívna presnosť vo vzťahu k okoliu ap. Pre použitie DMR je dôležité poznať jeho výškovú presnosť. Z hľadiska používateľa je dôležité prepojenie požadovanej presnosti DMR a vynaložených finančných prostriedkov na jeho tvorbu.

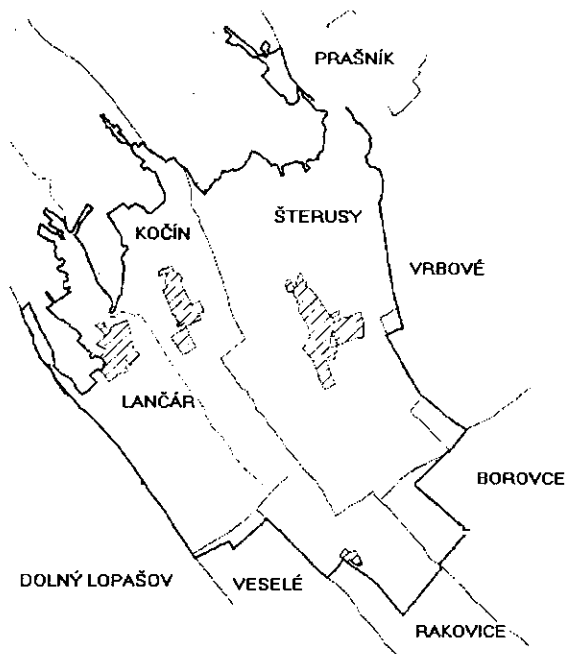
Cieľom príspevku je experimentálne určiť výškovú presnosť troch nezávislých digitálnych modelov reliéfu územia *Polnohospodársko-výrobného a obchodného družstva (PVOD) Kočín* na základe geodetického merania v teréne. Výšková presnosť DMR bola posudzovaná na množine vybraných bodov záujmového územia.

Ing. Róbert FENCÍK, Katedra mapovania a pozemkových úprav, SvF STU, Radlinského 11, 813 68 Bratislava, e-mail: robert.fencik@stuba.sk

RNDr. Margita VAJSÁBLOVÁ, PhD., Katedra matematiky a deskriptívnej geometrie, SvF STU, Radlinského 11, 813 68 Bratislava, e-mail: gitka@math.sk

Zájmové územie

Zájmové územie PVOD Kočín je vymedzené hranicou poľnohospodárskeho obvodu (obr.1). Nachádza sa v Trnavskej pahorkatine ohraničenej na severe lesmi Malých Karpát. Územne zasahuje do ôsmich katastrálnych území, a to: Kočín, Lančár, Dolný Lopašov, Veselé, Rakovice, Šterusy, Vrbové a Prašník. Z hľadiska druhu reliéfu ide o územie v pahorkatinnom reliéfe. Maximálny výškový rozdiel, v systéme Balt po vyrovnaní (Bpv), je približne 208 metrov. Celková výmera územia je približne 1295 ha.



Obr. 1 Priestorové vymedzenie zájmového územia

Charakteristika testovaných DMR

V rámci riešenia grantovej výskumnej úlohy VEGA č.1/8253/01 *Geoinformačný manažment a jeho kartografická podpora* boli vytvorené tri digitálne modely reliéfu (DMR) s pracovným označením:

- DMR Kočín ZM 10,
- DMR Kočín PHARE,
- DMR Kočín EUROSENSE,

ktoré sa od seba líšia rôznymi vstupnými dátami. Na základe dostupných podkladov boli použité aj rôzne technológie a metódy tvorby DMR.

DMR Kočín ZM 10

DMR Kočín ZM 10 bol spracovaný vektorizáciou výškopisných rastrových podkladov ZM 10 štyroch mapových listov Základnej mapy mierky 1:10 000 (35-31-15, 35-31-20, 35-32-11 a 35-32-16). Z vrstevníc umiestnených v príslušných výškových hladinách bol vytvorený model nepravidelnej trojuholníkovej siete (TIN model pomocou aplikácie *MDL TerraModeler*, ktorá je programovou nadstavbou programového systému CAD *MicroStation*). Podrobný postup tvorby DMR Kočín ZM 10 je opísaný v práci [3].

DMR Kočín PHARE

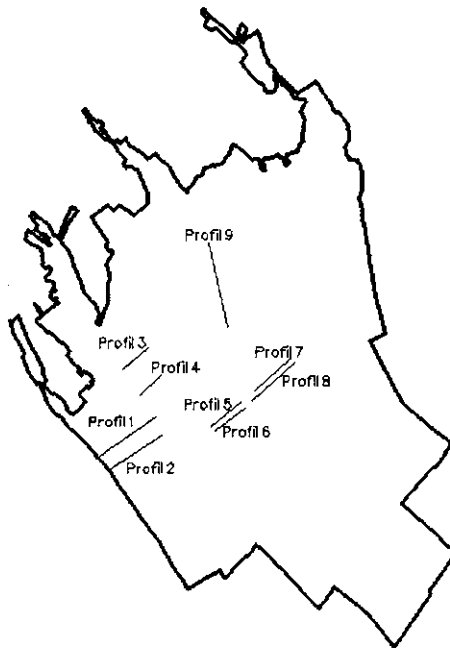
DMR Kočín PHARE bol spracovaný na Prírodovedeckej fakulte Univerzity Komenského v Bratislave v programovom prostredí *ImageStation SSK* z leteckých meračských snímok (č. 2389 a 2390) pokrývajúce záujmové územie. Snímky boli vyhotovené v roku 1998 v rámci projektu PHARE so snímkovou mierkou 1:27 000. Po vnútornej, vonkajšej (vzájomnej) a absolútnej orientácii snímky je možné podľa [5] vyjadriť dosiahnutú presnosť DMR Kočín strednými chybami:

$$m_x = 0,33 \text{ m} \quad m_y = 0,43 \text{ m} \quad m_z = 0,69 \text{ m}$$

Vstupnými dátami na vytvorenie digitálneho modelu reliéfu bola pravidelná štvorcová sieť bodov daných súradnicami X, Y, Z s krokom 15 m. Ďalej bol DMR spracovaný do formy modelu TIN.

DMR Kočín EUROSENSE

DMR Kočín EUROSENSE vznikol na základe spracovania leteckých meračských snímok (firmou Eurosense s.r.o. pre potreby Slovenského pozemkového fondu) z modelového územia so snímkovou mierkou 1:8 000. Pre účely experimentu sme spracovali DMR Kočín do tvaru modelu TIN. Vstupné dáta tvorila sieť bodov so súradnicami X, Y, Z s pravidelným krokom 25 m v miestach členitého terénu, v miestach menej členitého terénu s pravidelným krokom 40 m, v okrajových častiach nepravidelná sieť účelovo rozmiestnených bodov, ako aj v miestach veľmi členitého reliéfu a na zlomových líniách (napr. cesty, zrážy ap.) aj s krokom 15 m. Vytvorený model TIN obsahoval 97 031 bodov, 121 806 trojuholníkov. Výškový rozdiel bol 234,74 m (najnižšia nadmorská výška je 168,66 m a najvyššia 403,40 m Bpv). Oblasť, na ktorej bol spracovaný DMR Kočín, presahuje svojou rozlohou územie modelového podniku z dôvodu kvalitného spracovania DMR aj na jeho okrajových častiach.



Obr. 2 Rozloženie kontrolných bodov na profiloch záujmového územia

Parametre kontrolného merania

Na testovanie presnosti výškopisu vytvorených DMR sme vykonali kontrolné geodetické meranie s použitím elektronickej totálnej stanice TOPCON CTS-1. Pri meraní kontrolných bodov sme vychádzali z bodov *Štátnej priestorovej siete* (ŠPS) nachádzajúcich sa na záujmovom území. Tachymetrickou metódou sme zamerali vybrané body na profiloch, ktoré sme volili v smere najväčšieho sklonu reliéfu (obr.2). Merané dáta sme spracovali v programe KOKES ver. 5.00. Výsledný textový súbor kontrolných bodov geodetického merania obsahuje zoznam 131 bodov a vypočítaných súradníc X, Y, Z v súradnicovom systéme S-JTSK.

Metodika testovania výškopisu

Hlavnými faktormi ovplyvňujúcimi presnosť výškopisu sú: presnosť zberu údajov, mierka mapy a voľba intervalu vrstevníc. S narastaním nárokov na kvalitu dát sa vyvíjali kontrolné postupy a kritériá odstraňujúce možnosti subjektívneho rozhodovania o presnosti s požiadavkou optimalizovať požadované kritériá a ekonomickú stránku výkonov.

Výškopis môžeme hodnotiť stanovením:

ε_v – chyby vo výške vrstevnice,

ε_p – chyby v polohe vrstevnice,

c – chyba tvarovej presnosti reliéfu.

Chybu v polohe vrstevníc sa dá určiť jednoduchým spôsobom z chyby výšok vrstevníc. Vzťah na výpočet strednej chyby m_z v súradnici Z bodu vrstevníc, ktorý stanovil začiatkom 20.storočia Koppe (podľa [1, 6]) sa v rôznych modifikáciách používa dodnes. Podľa neho pre strednú chybu výšky bodov terénu s uhlom sklonu α platí:

$$m_z = \pm(a + b \operatorname{tg} \alpha) \quad (1)$$

kde a, b sú koeficienty, ktorých výpočet sa dá realizovať stanovením stredných chýb m_z pre dve rôzne množiny kontrolných bodov zaradených podľa kategórie sklonu reliéfu.

Nech V_k sú výšky bodov určené z kontrolného merania, ich presnosť je násobne väčšia ako výšky V_m identických bodov z mapového podkladu. Z ich rozdielu dostaneme skutočné chyby:

$$\varepsilon_v = V_k - V_m \quad (2)$$

Určíme sklon reliéfu v týchto bodoch a podľa neho ich zaradíme do príslušnej množiny. Strednú chybu bodov prislúchajúcich rovnakej kategórii podľa sklonu vypočítame zo vzťahu:

$$m_z = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \varepsilon_v^2}{n}} \quad (3)$$

kde n je počet kontrolných bodov danej množiny.

Dosadením hodnôt m_z a $\operatorname{tg} \alpha$ z dvoch rôznych množín bodov v rovnakej kategórii sklonu do Koppeho vzťahu (1) dostaneme sústavu dvoch rovníc o dvoch neznámych, ktorej riešením sú približné hodnoty koeficientov a, b . Presné hodnoty sa stanovujú grafickým vyrovnaním, príp. vyrovnaním pomocou sprostredkujúcich pozorovaní.

Strednú chybu v polohe vrstevníc m_p môžeme potom vypočítať zo vzťahu:

$$m_p = \frac{m_z}{\operatorname{tg} \alpha} = \pm(a \cot g \alpha + b) \quad (4)$$

Kučera v [4] použil na stanovenie presnosti topografických máp S-42 v mierke 1:10 000 a 1: 5 000 vzorec na výpočet strednej chyby vo výške vrstevnice v tvare:

$$m_z = \pm \sqrt{a^2 + (b \operatorname{tg} \alpha)^2} \quad (5)$$

E. Imhof v [2] udáva na určenie strednej chyby vo výške a v polohe bodu z vrstevnicovej mapy Raabove vzťahy:

$$m_z = \pm \sqrt{m_z^2 + \left(m_p^2 + \frac{m_r^2}{M^2}\right) \operatorname{tg}^2 \alpha} \quad (6)$$

$$m_p = \pm \sqrt{m_p^2 + m_z \cot g^2 \alpha + \frac{m_r^2}{M^2}} \quad (7)$$

kde m_z - strednú chybu v súradnici Z,
 m_p - stredná chyba v polohe bodu,
 m_r - stredná chyba z vyrysovania,
 M - mierkové číslo.

Ako kritérium testovania presnosti výškopisu na DMR, teda súčasti GIS je možné použiť kritérium máp mierky 1:10 000 v metroch:

$$m_z = \pm(0,65 + 1,6 \operatorname{tg} \alpha) \quad (8)$$

Vzťah (8) vychádza z Koppeho vzťahu (1), kde odvodenie koeficientov a , b sú podrobnejšie popísané v [6]. Tab. 1 vyjadruje číselné vyjadrenie krajnej odchýlky [m] predstavujúcej hodnotu 2,5 násobku strednej chyby výškopisu na mapách s mierkou 1:10 000 vypočítanej zo vzťahu (8) pre prehľadný reliéf v závislosti od sklonu reliéfu v %. Krajné odchýlky pre neprehľadný reliéf neboli v ďalšej analýze použité.

Tab. 1 Krajné odchýlky presnosti výškopisu pre mapy v mierke 1:10 000

Sklon [%]	Reliéf	
	prehľadný	neprehľadný
	krajná odchýlka [m]	
do 5	1,8	2,6
5 - 10	2,0	3,0
10 - 20	2,4	4,3
20 - 30	3,1	5,9
30 - 40	3,8	7,6
40 - 50	4,5	9,3
50 - 60	5,3	11,0

Rozbor presnosti DMR

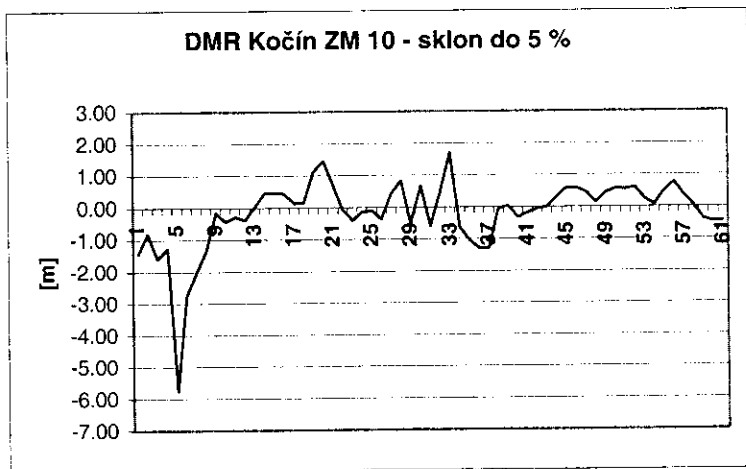
Predmetom analýzy je posúdenie presnosti výškopisu DMR Kočín ZM 10, DMR Kočín PHARE a DMR Kočín EUROSENSE z hľadiska skutočného sklonu reliéfu podľa kritérií v tab. 1. Jednotlivé DMR sme porovnávali vzhľadom k súboru kontrolných bodov získaných geodetickým meraním. Na určenie sklonov kontrolných bodov v záujmovom území a prislúchajúcich nadmorských výšok na všetkých troch digitálnych modeloch reliéfu sme použili programovú aplikáciu MDL

TerraModeler. Kontrolné body v záujmovom území sme zaradili do jednotlivých kategórií sklonov. V rámci každej kategórie sme určili prevýšenie h (výškové rozdiely) medzi kontrolnými bodmi a jednotlivými DMR (obr. 3 až 5). Vypočítali sme strednú chybu m_z v súradnici Z podľa vzťahu (3) pre každú kategóriu sklonu v rámci všetkých DMR. Vzhľadom k presnosti meraných kontrolných bodov sa dajú určené hodnoty prevýšení h považovať za skutočné chyby ε . Hodnoty m_z (tab. 2) jednotlivých DMR neprekračujú krajné odchýlky (tab. 1) pre hodnotenie výškopisu z hľadiska sklonu a typu reliéfu okrem kategórie sklonu 10 – 20% pri DMR Kočín ZM 10.

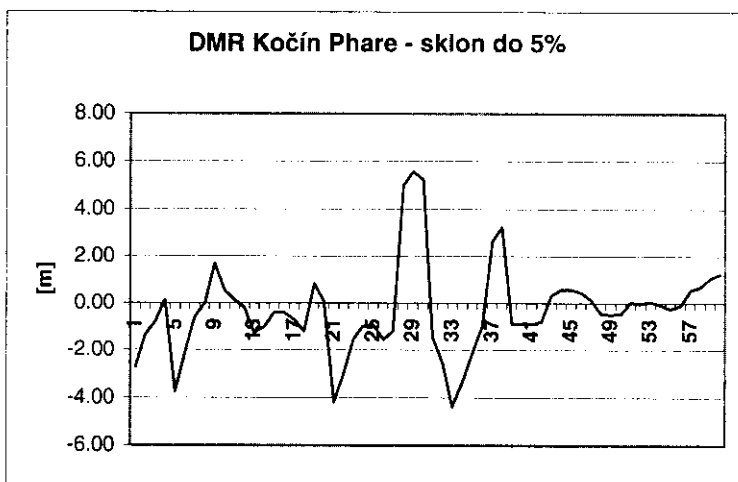
Tab. 2 Vyhodnotenie testovaných DMR

DMR	kategória sklonov [%]	počet bodov	stredná chyba m_z [m]
Eurosense	do 5	61	0,8
	5 – 10	48	0,9
	10 – 20	22	1,9
Phare	do 5	61	1,8
	5 – 10	48	1,8
	10 – 20	22	1,9
ZM10	do 5	61	1,1
	5 – 10	48	1,3
	10 – 20	22	2,5

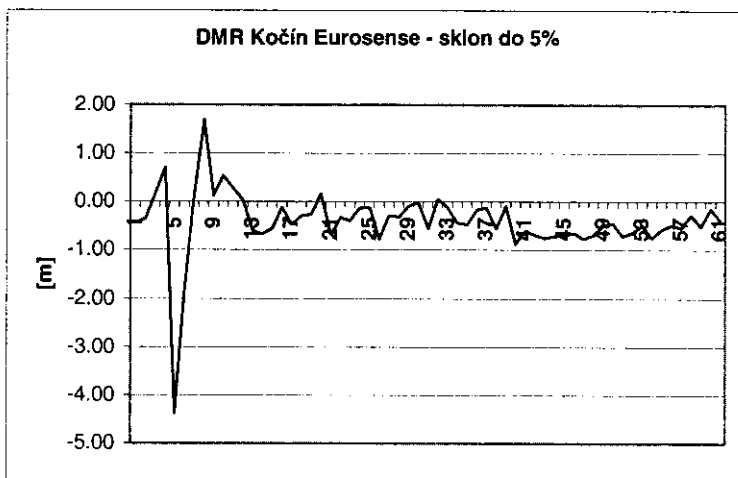
Z porovnania hodnôt m_z DMR Kočín PHARE a DMR Kočín EUROSENSE v tab. 2 vyplýva, že presnejší je DMR Kočín EUROSENSE, kde snímková mierka bola 1:8 000 a v DMR Kočín PHARE bola snímková mierka 1:27 000.



Obr. 3 Prevýšenia DMR Kočín ZM 10 pre kategóriu sklonu do 5%



Obr. 4 Prevýšenia DMR Kočín PHARE pre kategóriu sklonu do 5%



Obr. 5 Prevýšenia DMR Kočín EUROSENSE pre kategóriu sklonu do 5%

Záver

Na základe dosiahnutých výsledkov môžeme konštatovať, že presnosť výškopisu DMR je ovplyvnená hlavne druhom vstupných dát. Pri testovaní výškopisu DMR je dôležité brať do úvahy viaceré hľadiská (sklon reliéfu, typ reliéfu ap.). Z hodnôt uvedených v tab. 2 vyplýva, že presnosť vytvoreného DMR závisí hlavne od parametrov a kvality leteckých meračských snímok a výšky letu. Posúdenie presnosti výškopisu DMR na základe uvedených hľadísk je dôležité pri tvorbe ZB GIS SR, kde sa uvažuje podľa [7], že hraničná priestorová bude mať presnosť m_{xyz} bude 0,5 m.

Príspevok je časťou výsledkov riešenia grantovej výskumnej úlohy VEGA č. 1/1032/04 a VEGA č. 1/1034/04.

Literatúra

- [1] HÁJEK, M, SULO, J., BLAŽÍČEK, F.: Analýza určovania výšok bodov reliéfu z máp. *Aktivita v kartografii '96*. 1996, s. 7-16.
- [2] IMHOF, E.: *Kartographische Geländedarstellung*. Berlin, Walter de Gruyter 1965.
- [3] KOMLÓŠI, K.: *Reštrukturalizácia geodajov pre priestorovú analýzu a poskytovanie informácií z účelovej geoinformačnej databázy*. Bratislava, Slovenská technická univerzita Stavebná fakulta, 2000. [diplomová práca].
- [4] KUČERA, K.: Kriteria přesnosti topografického mapování v měřítku 1:5 000 a 1:10 000. *Sborník výskumných prací IV*. SNTL. Praha. 1962.
- [5] MITÁŠOVÁ, I., FENCÍK, R., KOŽUCH, M.: Updating of Position the Objects in the Agricultural Geoinformation System. In: *Proceedings of the 4th Agile Conference on Geographic Information Science*. Brno 2001, s. 768-775.
- [6] SULO, J.: *Topografické mapovanie*. Skriptá SVŠT, Bratislava 1980.
- [7] *Koncepcia tvorby, aktualizácie a správy základnej bázy geografického informačného systému do roku 2005*. Číslo P- 506/2002. Bratislava, Výskumný ústav geodézie a kartografie 2002.

S u m m a r y

Analysis of the vertical accuracy of digital model of relief of territory Kočín

Digital model of relief (DMR) is an important part of geographic information system (GIS). It is using in many GIS applications where we need work in 3D space (regional planning, strategic planning, risk management etc.). For the creation of DMR have been used spatial data which are achieved by geodetic measurement in the field, from secondary sources (analogue maps) and photogrammetric processing of aerial photographs. Very important is to know the vertical accuracy of DMR and from point of view users is important linkage between the required accuracy of DMR and used financial resources for his creation.

Territory of the agricultural farm KOČÍN we can define as a regular relief. We tested the accuracy of three independent reliefs: *DMR Kočín ZM 10*, *DMR Kočín PHARE* a *DMR Kočín EUROSENSE*, which were created from different kind of data. The aim is consider the vertical accuracy of DMR Kočín ZM 10, PHARE and EUROSENSE, which is based on the real slope of relief. Each DMR we compared with the file of control points achieved by geodetic measurement. As a criterion for our purpose we used the criterion for maps at scale 1:10,000 (Tab.1). We determined the mean vertical deviation m_z by (2) for each slope category within all DMR. We could say in accordance with the results described in the Tab. 2, that the accuracy of the created DMR is mainly depends on parameters and quality of aerial photographs and the flying height.

Fig. 1 Spatial determination of the experimental territory

Fig. 2 Arrangement of control points on the profiles within the experimental territory

Fig. 3 Values of differences in elevation of DMR Kočín ZM 10 for the slope category to 5%

Fig. 4 Values of differences in elevation of DMR Kočín PHARE for the slope category to 5%

Fig. 5 Values of differences in elevation of DMR Kočín EUROSENSE for the slope category to 5%

Tab.1 Limit deviations of the vertical accuracy for maps at scale 1:10,000

Tab.2 Evaluation of tested DMR

Lektoroval:

**Mgr. Tomáš CEBECAUER, PhD.,
Geografický ústav SAV, Bratislava**