

# PROJEKT LETECKÉHO LASEROVÉHO SKENOVANIA SR A TVORBY DIGITÁLNEHO MODELU RELIÉFU

## PROJECT OF THE AIRBORNE LASERSCANNING OF THE SLOVAK REPUBLIC AND PRODUCTION OF THE DIGITAL ELEVATION MODEL

Katarína Leitmannová<sup>1</sup>, Linda Gálová<sup>2</sup>, Ľuboslav Michalík<sup>3</sup>

### Abstract

In 2017 ÚGKK SR has started the project of the airborne laser scanning of the whole Slovak Republic. In the paper are presented the first results of the quality checking of the new digital elevation model of the Slovak Republic.

### 1 Úvod

V roku 2017 začal Úrad geodézie, kartografie a katastra SR (ÚGKK SR) realizovať projekt systematického leteckého laserového skenovania (LLS) celej SR. Celý projekt je riešený dodávateľským spôsobom. V roku 2017 sa uskutočnil verejný tender na obstaranie piatich dodávateľov, ktorí budú počas piatich rokov postupne vykonávať LLS, spracovávať údaje a dodávať spracované mračná bodov a digitálny model reliéfu 5. generácie (DMR 5.0).

### 2 Kvalitatívne požiadavky

V súťažných podmienkach boli uvedené kvalitatívne požiadavky, jednak na LLS a mračno bodov a tiež na samotný DMR 5.0 [1]. Sú to však tzv. minimálne požiadavky. Keďže ÚGKK SR nechcel, aby jediným vyhodnocovacím kritériom v jednotlivých opätovných otvorených súťažiach bola len najnižšia cena, umožnil dodávateľom ponúknuť vyššie kvalitatívne parametre:

- výšková presnosť mračen bodov vyššia ako  $m_r \leq 0,15$  m,
- okrem základnej klasifikácie bodov do triedy „ground“, „unclassified“ a „never classified“ aj podrobná klasifikácia do tried „low vegetation“, „medium vegetation“, „high vegetation“, „building“, „water“, „bridge deck“, „low point (noise)“, „high noise“,
- hustota bodov posledného odrazu vyššia ako 5 bodov posledného odrazu na  $m^2$ ,
- prekryt susedných skenovaných pásov väčší ako 20%,
- priemerná veľkosť stopy lúča na teréne maximálne 0,25 m.

Dodávatelia túto možnosť využili a víťazné ponuky sú teda ekonomicky najvýhodnejšie ponuky. Malou nevýhodou tohto prístupu je skutočnosť, že jednotlivé lokality môžu mať mierne rozdielne kvalitatívne parametre.

---

<sup>1</sup> Katarína Leitmannová, Ing., Úrad geodézie, kartografie a katastra SR, Chlumeckého 2, 820 12 Bratislava, tel.: 00421 2 2081 6080, e-mail: [katarina.leitmannova@skgeodesy.sk](mailto:katarina.leitmannova@skgeodesy.sk),

<sup>2</sup> Linda Gálová, Ing., PhD., Úrad geodézie, kartografie a katastra SR, Chlumeckého 2, 820 12 Bratislava, tel.: 00421 2 2081 6084, e-mail: [linda.galova@skgeodesy.sk](mailto:linda.galova@skgeodesy.sk),

<sup>3</sup> Ľuboslav Michalík, Mgr., Geodetický a kartografický ústav, Chlumeckého 4, 827 45 Bratislava, tel.: 00421 2 2081 6203, e-mail: [luboslav.michalik@skgeodesy.sk](mailto:luboslav.michalik@skgeodesy.sk),

## 2.1 Kontrola kvality

Kontrola dodržania kvalitatívnych požiadaviek sa vykonáva dvoma nezávislými kontrolami, jednak zo strany dodávateľa pred odovzdaním diela a jednak zo strany ÚGKK SR pred akceptovaním diela. Okrem formálnych náležitostí sú predmetom kontroly najmä:

- relatívne výškové vyrovnanie skenovaných pásov ( $|\Delta h| \leq 0,08\text{m}$ ),
- prekryt skenovaných pásov (na 95 % ich vzájomného súbehu musí byť dodržaný dohodnutý prekryt),
- hustota bodov posledného odrazu,
- spoľahlivosť klasifikácie bodov (trieda GR  $\geq 99,5\%$  a ostatné  $\geq 90\%$ ),
- absolútna výšková a polohová presnosť mračna bodov,
- absolútna výšková presnosť DMR.

## 2.2 Kontrola výškovej a polohovej presnosti bodov mračna

Kontrola presnosti mračien bodov spočíva v určení odchýlok medzi bodmi LLS a skutočnou terénnou plochou v stanovenom výškovom alebo polohovom súradnicovom referenčnom systéme. Kontrolné meranie sa vykonáva tak, aby presnosť určenia polohy a výšky kontrolných bodov bola min. 3-násobne vyššia ako presnosť samotného LLS.

Požadovaná absolútna výšková presnosť bodov mračien v elipsoidických výškach súradnicového referenčného systému ETRS89 (EPSG: 4937) je  $m_h \leq 0,15\text{ m}$ , ale väčšina zhotoviteľov sa zaviazala dosiahnuť hodnotu  $m_h \leq 0,11\text{ m}$  pre interval  $1\sigma$  normálneho rozdelenia pravdepodobnosti náhodných chýb.

Požadovaná absolútna polohová presnosť bodov mračien v súradnicovom referenčnom systéme ETRS89-TM 34 (EPSG:3046) je  $m_p \leq 0,30\text{ m}$  pre interval  $1\sigma$  normálneho rozdelenia pravdepodobnosti náhodných chýb.

Absolútnu výškovú a polohovú presnosť bodov mračna kontrolujú zhotovitelia na kontrolných stanovištiach na kontrolu výškovej a polohovej presnosti. Na každých začatých  $250\text{ km}^2$  územia musia vytvoriť dve kontrolné stanovišťa na kontrolu výškovej presnosti a dve kontrolné stanovišťa na kontrolu polohovej presnosti, ktoré sú čo najrovnomernejšie rozložené vzhľadom na tvar lokality.

Stanovišťa sa kontrolu výškovej presnosti sú umiestnené na spevnených a rovných plochách. Na každom výškovom kontrolnom stanovišti zhotoviteľ zameria kontrolnú mriežku, ktorú tvoria 4 kontrolné body rozmiestnené rovnomerne v štvorcovej konfigurácii  $2 \times 2$  body, pričom štvorec má stranu o dĺžke 1 m. Výsledná výšková odchýlka sa počíta priemerovaním výškových odchýlok na všetkých 4 kontrolných bodoch kontrolnej mriežky. Pre každý kontrolný bod je vybraných  $m$  prislúchajúcich „ground“ bodov mračna z okolia 0,40 m od projektovaného kontrolného bodu, ktorých výšky sa pre určenie odchýlky priemerujú.

Polohová presnosť sa kontroluje na kontrolných stanovištiach na kontrolu polohovej presnosti meraním odchýlok kontrolných bodov na stavebných objektoch so zvislými stenami od príslušných bodov mračna, a to minimálne v dvoch na seba kolmých smeroch s povolenou odchýlkou  $\pm 5^\circ$ . Kontrola sa vykonáva v elipsoidických výškach súradnicového referenčného systému ETRS89 (EPSG: 4937) a v polohovom súradnicovom referenčnom systéme ETRS89-TM 34 (EPSG: 3046).

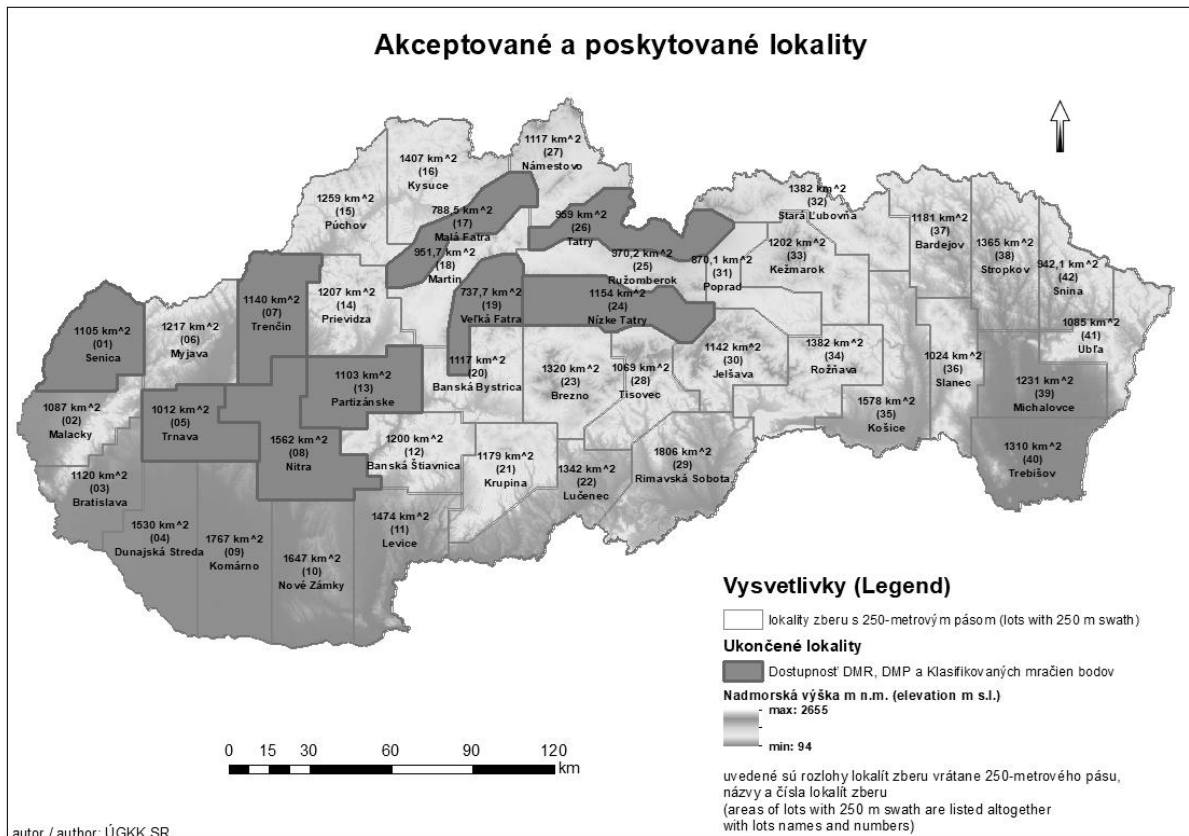
## 2.3 Kontrola výškovej presnosti DMR 5.0

DMR 5.0 je vytvorený ako GRID s rozlíšením 1 m. Kontrola presnosti buniek GRID-u DMR spočíva v určení odchýlok medzi bunkami GRID-u a skutočnou terénnou plochou. Absolútna výšková presnosť sa kontroluje na rovnakých kontrolných stanovištiach na kontrolu výškovej

presnosti a kontrolných mriežkach ako v prípade absolútnej výškovej presnosti mračien bodov. Pre každý kontrolný bod budú vybrané 4 najbližšie prislúchajúce bunky DMR, ktorých výšky sa pre určenie odchýlky spriemerujú. Kontrola sa vykonáva vo výškovom systéme Bpv.

## 2.4 Dosaiahnuté kvalitatívne parametre

V čase prípravy tohto článku je ukončená dodávka na prvých deviatich lokalitách podľa obr. 1. V tab. 1 sú uvedené dosaiahnuté kvalitatívne parametre.



Obr. 1 Lokality s ukončenou tvorbou DMR 5.0

Tab. 1 Dosaiahnuté kvalitatívne parametre

Lokalita	Výšková presnosť bodov mračna v ETRS89-h	Polohová presnosť bodov mračna v TM34	Priemerná hustota bodov triedy ground	Výšková presnosť DMR 5.0 v Bpv
	[m]	[m]	[bod/m <sup>2</sup> ]	[m]
Dovolené hodnoty	≤ 0,11	≤ 0,30	-	≤ 0,25
01 Senica	0,03	0,15	21	0,04
05 Trnava	0,04	0,16	23	0,04
07 Trenčín	0,06	0,15	27	0,06
08 Nitra	0,03	0,15	29	0,05

13 Partizánske	0,03	0,12	21	0,03
17 Malá Fatra	0,04	0,09	8	0,04
19 Veľká Fatra	0,02	0,08	13	0,02
24 Nízke Tatry	0,05	0,10	11	0,06
26 Tatry	0,04	0,17	14	0,04

### 3 Kontrola výškovej presnosti DMR 5.0 na nespevnených plochách

Kontrola výškovej presnosti DMR 5.0 podľa bodov 2.2 a 2.3, ktorej výsledky sú uvedené v tab. 1 sa vykonáva výlučne na spevnených plochách. Na to, aby sme získali informácie o výškovej presnosti na nespevnených plochách, ÚGKK SR vykonal porovnanie výšok bodov meraných na teréne použitím GNSS s výškami týchto bodov z DMR 5.0. Tieto geodetické merania poskytli viaceré geodetické firmy, ale žiadne z týchto meraní nebolo primárne určené na kontrolu výškovej presnosti DMR 5.0. Sú to merania výškopisu napr. pre účely projektov pozemkových úprav, ďalej pre účely gravimetrických meraní a profilov pod vedením veľmi vysokého napätia. To znamená, že pod nespevnenými plochami v tomto prípade myslíme otvorený zatravněný terén, polia, ale aj polygóny v skalnatom teréne alebo lesnom poraste. Presnosť určenia polohy je cca 2-5 cm a presnosť určenia výšky cca 3-10 cm. V tab. 2 sú uvedené hodnoty aritmetických priemerov rozdielov a smerodajné odchýlky. Výsledky poukazujú na veľmi dobrú zhodu medzi DMR 5.0 a výškami terénu určenými prevažne službou SKPOS, prípadne statickou metódou GNSS.

Tab. 2 Výsledky porovnania výšok DMR 5.0 na kontrolných geodetických bodoch

lokality	rok geodetického merania	rok skenovania	počet kontrolných bodov	priemerná hodnota výškových rozdielov	smerodajná odchýlka
				[m]	[m]
1 - Senica	2018 – 19	2017-18	425	-0,07	0,04
5 - Trnava	2018	2017-18	6 045	-0,07	0,11
21 - Nízke Tatry	2015	2018	40	-0,09	0,13
17 - Malá Fatra	2012	2018	91	-0,07	0,17
26 - Tatry	2004 - 14	2018	169	-0,07	0,23
5 - Trnava	2009	2017-18	662	-0,01	0,34
5 - Trnava	2005	2017-18	3 016	-0,09	0,29

### 4 Poskytovanie údajov

Ako výsledok projektu sú používateľom k dispozícii tieto výsledné produkty LLS:

- klasifikované mračná bodov,
- DMR 5.0,
- DMP 1.0.

Vzhľadom na to, že väčšina dodávateľov robí aj podrobnú klasifikáciu bodov mračna, je možné z klasifikovaného mračna bodov vygenerovať aj digitálny model povrchu DMP. DMP 1.0 je generovaný takisto v GRIDE s rozlíšením 1m.

Všetky údaje sú k dispozícii bezodplatne. Produkty sú poskytované dvoma spôsobmi:

- Offline formou prostredníctvom dvoch pracovísk Geodetického a kartografického ústavu (Bratislava, Prešov). Poskytujú sa **celé lokality** tak, ako sú zobrazené na obr. 1. Bližšie informácie o projekte a o poskytovaní údajov sú uvedené v [2].
- Online formou prostredníctvom Mapového klienta ZBGIS<sup>®</sup>. Vzhľadom na veľký objem údajov je možné exportovať údaje DMR 5.0 a DMP 1.0 na jedenkrát v rozsahu cca 400 km<sup>2</sup> a mračná bodov v rozsahu cca 2 km<sup>2</sup> [3].

## 5 Záver

V čase písania tohto príspevku sú k dispozícii produkty LLS z prvých deviatich lokalít. Kontrolou kvality sa ukazuje, že produkty dosahujú vysokú presnosť vo výške i v polohe jednak na spevnených, ale aj na nespevnených plochách. Výsledky kontrolných meraní uvedené v tab. 1 a 2 spĺňajú a dokonca až prevyšujú očakávania ÚGKK SR. Podľa doterajšieho priebehu projektu sa dá odhadnúť, že by mohol byť ukončený v roku 2023.

### Literatúra

- [1] K. Leitmannová – M. Kalivoda: *Projekt leteckého laserového skenovania SR. Geodetický a kartografický obzor*, 2018, č. 5, s. 101-104.  
<https://archivnimapy.cuzk.cz/zemvest/cisla/Rok201805.pdf>
- [2] Geoportál ÚGKK SR <https://www.geoportal.sk/sk/udaje/lls-dmr/>
- [3] Mapový klient ZBGIS<sup>®</sup>, téma Terén <https://zbgis.skgeodesy.sk/mkzbgis/sk/teren>