

## NOVÉ VÝŠKOPISNÉ MAPOVÁNÍ ČESKÉ REPUBLIKY

Petr DUŠÁNEK<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Zeměměřický úřad, Pod sídlištěm 1800/9, 182 11, Praha, Česká republika  
*petr.dusanek@cuzk.cz*

### Abstrakt

V roce 2008 vznikl *Projekt tvorby nového výškopisu České republiky*. Hlavním zdrojem dat při tvorbě nových výškopisných modelů ČR byla zvolena metoda leteckého laserového skenování (LLS). Nové výškopisné mapování celého území ČR je realizováno ve spolupráci tří resortů – Českého úřadu zeměměřického a katastrálního (ČÚZK), Ministerstva obrany (MO) a Ministerstva zemědělství (MZe).

Od začátku roku 2014 je pro celé území republiky dostupný Digitální model reliéfu 4. generace (DMR 4G) ve formě pravidelné sítě bodů s rozlišením 5 x 5 m. Digitální model reliéfu 5. generace (DMR 5G) ve formě nepravidelné trojúhelníkové sítě je v současnosti dostupný v rozsahu cca 37 tisíc km<sup>2</sup>. Digitální model povrchu 1. generace (DMP 1G) pokrývá cca 36 tisíc km<sup>2</sup>.

Příspěvek poskytuje jednak obecné informace o Projektu tvorby nového výškopisu České republiky, ale také informace o technologických postupech při zpracování dat leteckého laserového skenování.

### Abstract

In 2008 the Project of Creating a New Altimetry of the Czech Republic was introduced. Method of airborne laser scanning (ALS) was selected as main source of data acquisition. New elevation mapping of entire area of the Czech Republic is realized in cooperation of three resorts – Czech Office for Surveying, Mapping and Cadastre (COSMC), Ministry of Defense (MoD) and Ministry of Agriculture (MoA).

Since beginning of 2014 whole area of the Czech Republic is covered by Digital Terrain Model of 4th generation (DMR 4G) in form of regular grid with point's resolution of 5 x 5 m. Digital Terrain Model of 5th generation (DMR 5G) in form of irregular triangular network covers approx. 34 thousands km<sup>2</sup>. Digital Surface Model of 1th generation (DSM 1G) covers approx. 30 thousands km<sup>2</sup>.

Paper provides general information about Project of Creating a New Altimetry of Czech Republic, but also informs about technology of processing airborne laser data.

**Klíčová slova:** letecké laserové skenování, digitální model reliéfu, digitální model povrchu, Česká republika

**Keywords:** aerial laser scanning, digital terrain model, digital surface model, Czech Republic

### 1 PROJEKT NOVÉHO VÝŠKOPISNÉHO MAPOVÁNÍ ČESKÉ REPUBLIKY

„Dosavadní“ celoplošný digitální výškový model České republiky vznikl v letech 1995 až 2000 digitalizací vrstevnic Základní mapy ČR 1: 10 000. Takto vznikl digitální model reliéfu, tzv. ZABAGED® – výškopis 3D vrstevnice. V následujících letech docházelo ke zdokonalování tohoto modelu pomocí stereofotogrammetrického vyhodnocení terénních hran a zahuštění výškových bodů v rovinatém území. Tyto snahy vedly k redukci hrubých chyb a k odstranění nehomogenity původního vrstevnicového modelu. Následně v letech 2008 až 2010 byl zejména pro účely počítačových aplikací vytvořen z tohoto vektorového modelu model gridový, tzv. ZABAGED® – výškopis grid 10 x 10 m. Celková přesnost výškopisu ČR, která je charakterizována střední výškovou chybou  $m_h = 0,7 - 1,5$  m v odkrytém terénu, 1 – 2 m v intravilánu a 2 – 5 m v zalesněném území, se však zásadně nezvýšila [1].

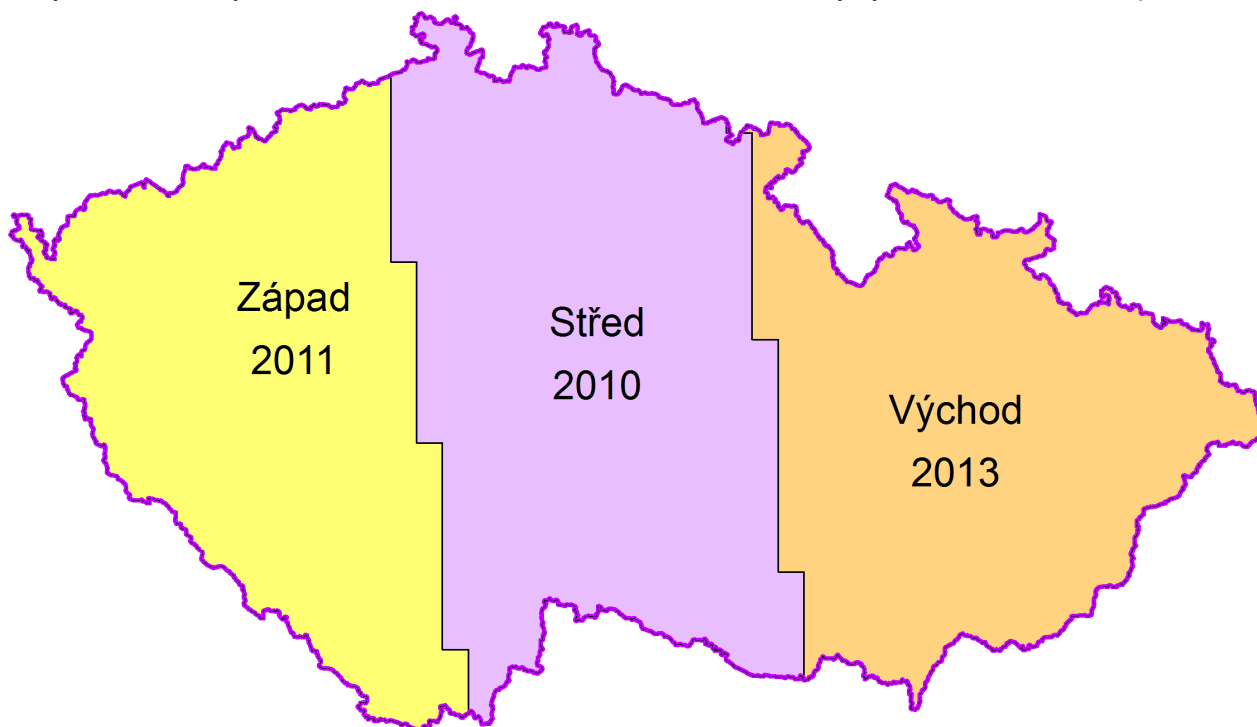
Na základě analýz provedených v letech 2006 – 2008 bylo konstatováno, že dosavadní výškopisné modely ČR nedostačují potřebám státní správy a územní samosprávy. Proto byl v roce 2008 v Zeměměřickém úřadě (ZÚ) zpracován *Projekt tvorby nového výškopisu České republiky* [2]. V roce 2009 byla podepsána dohoda ČÚZK, MO a MZe o spolupráci na realizaci nového výškopisného mapování v letech 2009 – 2015 [3]. Jako nejvhodnější technologie byla zvolena metoda leteckého laserového skenování (LLS). Výslednými produkty

jsou *Digitální model reliéfu 4. generace (DMR 4G)*, *Digitální model reliéfu 5. generace (DMR 5G)* a *Digitální model povrchu 1. generace (DMP 1G)*.

V rámci *Technického projektu tvorby nového výškopisu České republiky* [4] byly rozděleny působnosti zúčastněných resortů a byl sestaven základní harmonogram postupu řešení.

## 2 POŘÍZENÍ DAT

Pro účely LLS bylo území ČR rozděleno do třech oblastí (Obr. 1). Jako první skenované území pro LLS bylo zvoleno pásmo *Střed*, které bylo skenováno v roce 2010, v roce 2011 bylo naskenováno pásmo *Západ* a s ročním zpožděním byl v roce 2013 projekt LLS dokončen zmapováním pásma *Východ*. Plánování letových drah LLS bylo zvoleno v návaznosti na referenční souřadnicový systém UTM / WGS 84 pásmo 33.



Obr. 1. Rozdělení ČR pro LLS

### 2.1 Letecký laserový skener

K pořízení dat byl použit systém Litemapper 6800 skládající se z leteckého laserového skeneru RIEGL LMS Q-680, záznamového zařízení, palubní aparatury GNSS a inerciální měřické jednotky (IMU) firmy IGI. Jejich technické parametry jsou uvedeny v Tab. 1.

Tab 1. Technické parametry Litemapper 6800 (zdroj [1])

Součást Systému	Vlastnosti	Technické parametry
Skener RIEGL LMS Q-680	Frekvence laserových pulzů	60 – 240 kHz
	Preciznost měření délky rajonu	0,02 m
	Divergence laserového paprsku	Max. 0,5 mrad
	Registrovaný počet odrazů	Plná návratová vlna (full wave)
	Skenující mechanika	Rotující hranol
	Úplný úhel záběru	60 °
Aparatura GNSS	Vzorek skenování	Rovnoběžné stopy
	Frekvence snímání polohy	2 Hz
Aparatura IMU	Střední souřadnicové chyby ( $m_x$ , $m_y$ , $m_h$ )	0,10 m
	Frekvence snímání úhlových prvků VO*	400 Hz
	Střední chyby měření úhlů ( $\omega$ , $\varphi$ , $\kappa$ )	0,003 °, 0,003 °, 0,007 °

\*) VO = vnější orientace senzoru

## 2.2 Plánování letů

Každé pásmo bylo rozděleno do náletových bloků, jejichž délka byla stanovena na 20, nebo 30 km, šířka všech bloků byla 10 km. Převážná většina bloků byla orientována ve směru východ - západ. Rozdělení do bloků vycházelo z výškové členitosti georeliéfu. Pokud to letové podmínky dovozovaly, byly náletové bloky operativně spojovány do „dvojbloků“, čímž vznikly bloky o délce až 60 km.

Pro každý blok byly vytvořeny dva projekty, jeden pro jarní období (od oblevy do 30. 4.) a druhý pro vegetační období (od 1. 5.). Charakteristiky obou projektů jsou uvedeny v Tab. 2. Ve vegetačním období bylo přistoupeno k létání z nižší výšky a snížení frekvence vysílání laserových pulzů. Tento krok zajistil lepší prostupnost laserových paprsků vzrostlou vegetací. V Tab. 2. je uvedeno, že byly naplánovány dvě příčné letové osy, které měly zajistit lepší vyrovnání a georeferencování měřických pásů. Vzhledem k tomu, že aparatura GNSS a IMU fungovaly bezchybně, byly z důvodu ušetření letového času příčné osy vypuštěny.

**Tab 2.** Parametry skenování

Parametr	Jarní období	Vegetační období
Střední výška letu nad terénem	1 400 m	1 200 m
Počet podélných os	12	14
Vzdálenost podélných os	830 m	715 m
Počet příčných os	2	2
Příčný překryt pásů	50%	50%
Frekvence laserových pulzů	120 kHz	80 kHz

## 2.3 Uskutečnění letů

Vlastní sběr dat byl uskutečněn armádním fotogrammetrickým letounem L-410 FG., jehož domovskou základnou je letiště v Praze Kbelských (LKKB). Během období pořizování dat byla využívána všechna letiště spravovaná Armádou ČR. V odlehlých oblastech byla výjimečně využívána i civilní letiště. Nejvíce vzletů/přistání bylo uskutečněno z letišť LKKB, Plzeň Líně (LKLN), České Budějovice (LKCB), Karlovy Vary (LKKV), Pardubice (LKPD), Čáslav (LKCV), Náměšť nad Oslavou (LKNA) a Přerov (LKPO). Během nejexponovanějších období byly uskutečňovány až tři tříhodinové lety denně a naskenováno bylo až 1200 km<sup>2</sup> denně. Náročnost létání je patrná z Tab. 3.

**Tab 3.** Přehled uskutečněných letů

Parametr	Hodnota
Naskenované území	78 836 km <sup>2</sup>
Letové hodiny	975
Hodiny skenování	657
Počet vzletů	333
Počet měřických pásů	3472
Přibližný počet měřených bodů	110 mld.*

\* všechny odrazy včetně chybných měření (zbloudilé paprsky a odrazy od oblačnosti)

## 3 ZPRACOVÁNÍ DAT

Zpracování dat lze rozdělit do třech základních kroků.

### 3.1 Předzpracování dat

Po uskutečnění sběru dat byla na letecké základně stažena data z laserového skeneru i z palubní GNSS a IMU, která byla následně převezena na pracoviště zeměměřického odboru Pardubice. Poloha letadla z palubní GNSS byla zpřesněna diferenční opravou GNSS za pomoci dat ze Sítě permanentních stanic GNSS České republiky (CZEPOS). Zpřesněná trajektorie registrovaná s frekvencí 2 Hz byla interpolací zahuštěna na frekvenci 400 Hz (IMU) a doplněna o úhly vnější orientace ( $\omega$ ,  $\phi$ ,  $\kappa$ ). Z dat pořízených skenerem bylo vytvořeno mračno bodů v souřadnicovém systému skeneru, které bylo následně pomocí trajektorie letu georeferencováno do geodetického referenčního systému WGS 84 / UTM. K odstranění zbytkových chyb v určení orientace skeneru bylo použito tzv. metody vyrovnání měřických pásů. Následně byly jednotlivé měřické pásy vyexportovány a uloženy do databáze. Pro další zpracování byla data rozřezána do pravidelných oblastí (2 x 2 km).

### 3.2 Automatická filtrace

Pro tvorbu digitálního modelu reliéfu je nutné mračno bodů rozdělit na data, která náleží zemskému povrchu a na objekty, které se nacházejí nad zemským povrchem. Pro automatizovanou filtraci je využit software SCOP++, resp. robustní filtrace vyvinutá Technickou univerzitou ve Vídni. Tento algoritmus funguje iterativně. Je vybrán nejnižší bod v pravidelné mřížce. Z takto vybraných bodů je interpolován digitální model. V dalším kroku jsou pomocí vah vyhodnoceny body, ty které se nalézají příliš vysoko nad terémem mají nulovou váhu a do dalšího výpočtu nevstupují. Podrobnější popis robustní filtrace je uveden v [5], porovnání různých filtračních algoritmů je popsáno v [6].

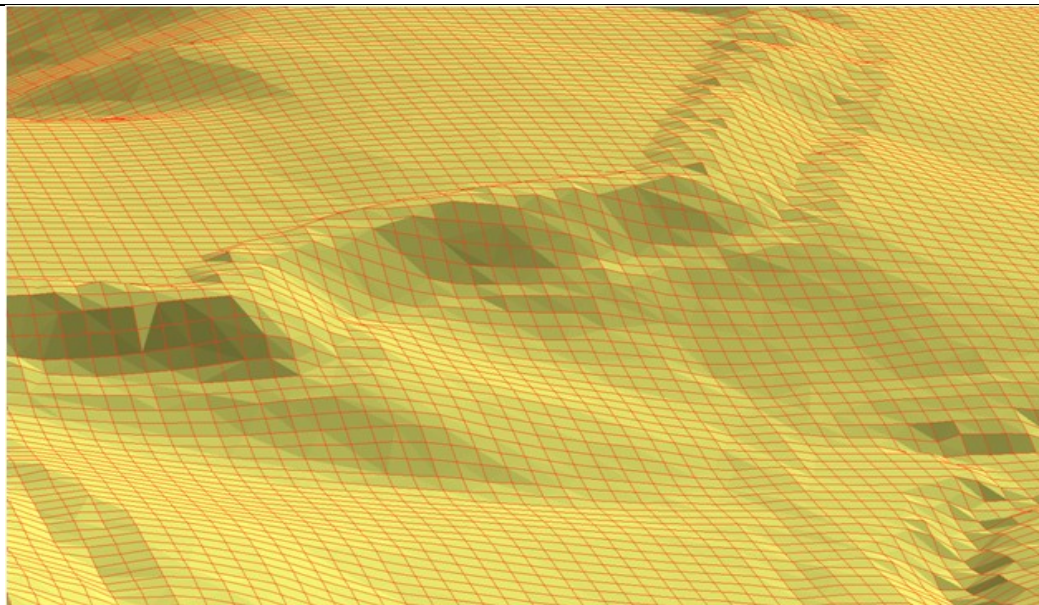
### 3.3 Manuální editace

Automatická filtrace je schopna rozdělit mračno bodů na body nacházející se na zemském povrchu a na body nacházející se nad nad zemským povrchem. Toto rozdělení bodů však není dokonalé, proto je nutná manuální kontrola a editace výsledných dat. Největší problémy jsou v oblastech s hustou městskou zástavbou, ve skalnatých a zalesněných oblastech. Dalším problematickým územím jsou pole pokrytá vegetací (obilniny, luštěniny, apod.) naskenovaná v letním období. Tuto kontrolu a editaci finálních modelů zajišťují zaškolené operátorky zeměměřického odboru Pardubice a VGHMÚř v Dobrušce. Jako základní nástroj používají software DT Master, který umožňuje jednak prohlížet výškopisná data ve 3D vizualizaci a jednak přeřazovat jednotlivé body do příslušných kategorií. Cílem řešení je rozdělit mračno výškopisných bodů na body nacházející se na povrchu země a na body, které dopadly na objekty nad zemským povrchem.

## 4 VÝSLEDNÉ PRODUKTY

### 4.1 DMR 4G

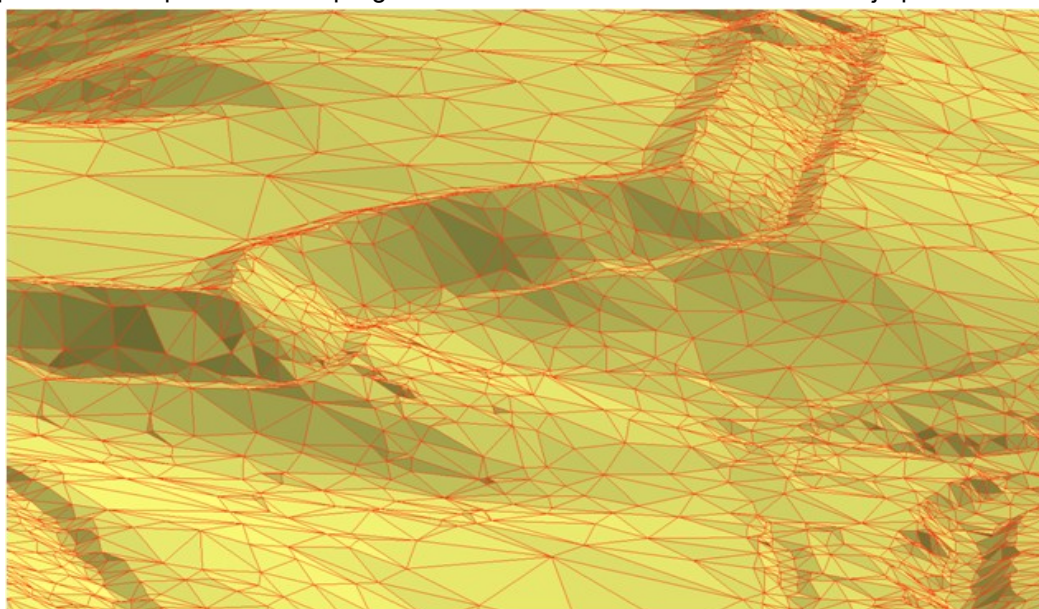
Digitální model reliéfu 4. generace vzniká v první fázi víceméně automatickými postupy. Cílem je vytvořit první verzi výškopisného modelu požadovaného pro technologii tvorby Ortofota ČR, kdy DMR 4G je základním podkladem pro ortogonalizaci leteckých měřických snímků. Vstupem do procesu tvorby DMR 4G jsou data po automatické robustní filtraci. Z dat, která jsou robustní filtrací vyhodnocena jako zemský povrch, je vybrán nejnižší bod v pravidelné síti 5 x 5 m. Množina těchto bodů však obsahuje zbytkové chyby z nesprávné klasifikace, ty jsou manuálně editovány. Z vybrané množiny výškopisných bodů (nepravidelná síť bodů) je následně lineární predikcí interpolován výškopisný model v pravidelné mřížce výškopisných bodů v intervalu 5 x 5 m. Interpolace je prováděna odděleně pro geodetický referenční systém WGS 84/UTM a S-JTSK. Podrobnější popis DMR 4G je popsán v *Technické zprávě k digitálnímu modelu reliéfu 4. generace* [7]. Vizualizace DMR 4G je patrná z Obr. 2. DMR 4G je model dodávaný ve formě pravidelné mřížce (GRID) s rozlišením 5 x 5 m se střední chybou určení výšky 0,30 m v odkrytém terénu a 1,00 m v terénu pokrytém vegetací.



**Obr. 2.** Vizualizace DMR 4G (val na keltském oppidu Závist-Šance)

#### 4.2 DMR 5G

Digitální model reliéfu 5. generace je vytvářen z dat, která projdou po automatické filtraci detailní manuální kontrolou a editací. Finální DMR 5G je po manuální editaci odvozen ve třech krocích „vyhlazování“ modelu. V prvním kroku je vybrán nejnižší bod v pravidelné mřížci 1 x 1 m, čímž je zredukován počet bodů v místech styku několika bloků a je odstraněn zbytkový šum vyrovnání měřických pásů. V druhém kroku jsou redukovány nežádoucí lokální nerovnosti (např. ornice), čímž je model vyhlazen. Výsledkem jsou původní body s upravenou výškou (max. 5 cm). V třetím kroku je původní mračno bodů zředěno při dodržení stanovené střední výškové chyby. Použity jsou automatizované algoritmy vyvinuté společností ATLAS, spol. s.r.o. a zpracované do programu ATLAS DMT. Vizualizace DMR 5G je patrná z Obr. 3.

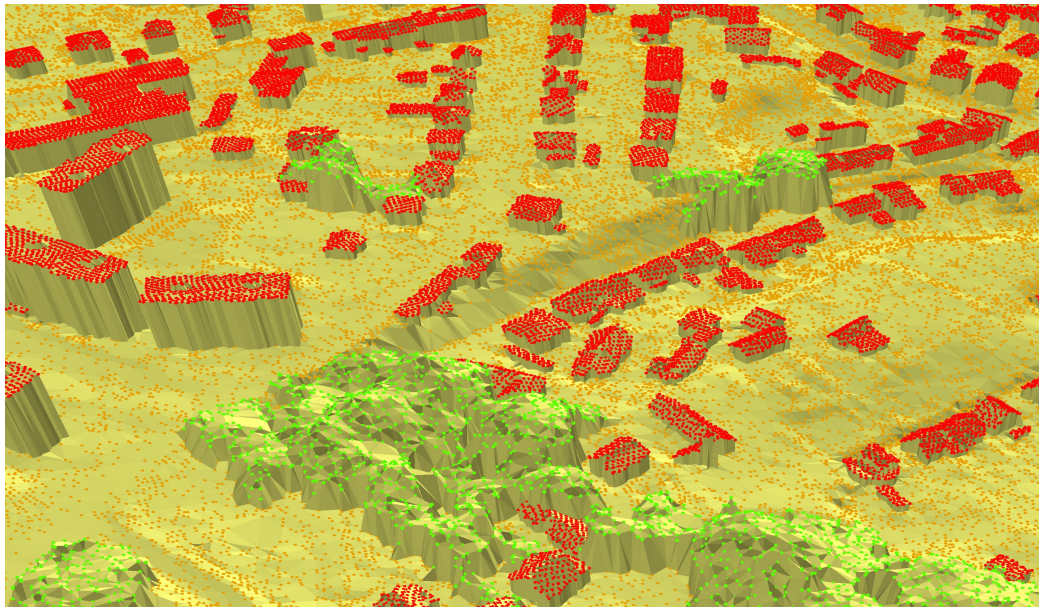


**Obr. 3.** Vizualizace DMR 5G (val na keltském oppidu Závist-Šance)



### 4.3 DMP 1G

Digitální model povrchu 1. generace je odvozen automatizovanými postupy. Jedná se o DMR 5G doplněný o objekty nad zemským povrchem. V intravilánu jsou přidány body, které jsou automatickou filtrací vyhodnoceny jako budovy, a to jen v těch místech, kde se shodují LLS data a obrysy budov z katastru nemovitostí. Co se týče vegetace jsou zařazeny body, které se nacházejí nad zemským povrchem a jejichž minimální rozloha je 25 m<sup>2</sup>. Příklad vizualizace DMP 1G je patrný z Obr. 4. Z důvodů lepší vizualizace byly rozděleny barevně body DMP 1G, budovy, vegetace a zemský povrch. Běžně je DMP 1G dodáván ve formě jednoho souboru.



Obr. 4. Vizualizace DMP 1 G (Trnov)

## 5 ZÁVĚR

V roce 2013 bylo dokončeno LLS celého území ČR. Do konce roku byl také vytvořen DMR 4G, který je od ledna 2014 poskytován uživatelům v plném územním rozsahu ČR. DMR 5G existuje v současné době z území o rozloze 36 923 km<sup>2</sup> a DMP 1G z území o rozloze 36 340 km<sup>2</sup>. Data jsou uživatelům dostupná přes Geoportál ČÚZK [www.geoportal.cuzk.cz](http://www.geoportal.cuzk.cz).

## LITERATURA

- [1] Šíma, J. (2011) Nové zdroje geoprostorových dat pokrývajících celé území státu od roku 2010 – První výsledky výzkumu jejich kvalitativních parametrů. Sborník – Symposium GIS Ostrava 2011, Ostrava, 23. - 26. ledna, VŠB-TU Ostrava (nestránkováno).
- [2] Projekt tvorby nového výškopisu České republiky. Zeměměřický úřad, Praha 2008.
- [3] Dohoda o spolupráci při tvorbě digitálních databází výškopisu území České republiky. Český úřad zeměměřický a katastrální, Ministerstvo obrany ČR, Ministerstvo zemědělství ČR, Praha 2009.
- [4] Technický projekt tvorby nového výškopisu České republiky. Zeměměřický úřad, Praha 2008.
- [5] Pfeifer, N., Stadler, O., Briese, C. (2001) Derivation of Digital Terrain Models in the SCOP Environment. OEEPE Workshop on Airborne Laserscanning and Interferometric SAR for Detailed Digital Elevation Models, OEEPE publication 40, 1 – 13
- [6] Dušánek, P. (2008) Diplomová práce, Tvorba digitálních modelů terénu z dat leteckého laserového skenování a jeho využití pro aktualizaci výškopisu ZABAGED®. Univerzita Karlova, Praha, 1-61.
- [7] Technická zpráva k digitálnímu modelu reliéfu 4. generace. Zeměměřický úřad, Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad. Pardubice 2012 (poslední revize).