

# Projekt tvorby nového výškopisu území České republiky

Ing. Karel Brázdil, CSc.

Zeměměřický úřad  
Pod sídlištěm 9/1800, 18211 Praha 8, Česká republika  
karel.brazdil@cuzk.cz

**Abstrakt.** Český úřad zeměměřický a katastrální připravuje ve spolupráci s Ministerstvem zemědělství ČR a s Ministerstvem obrany ČR nové výškopisné mapování území České republiky. Pro řešení se předpokládá aplikovat moderní technologii leteckého laserového skenování. Článek popisuje základní charakteristiky projektu.

**Klíčová slova:** geoinformatika, výškopis, laserové skenování, digitální model reliéfu, digitální model povrchu.

**Abstract.** The Czech Office for Surveying, Mapping and Cadastre in cooperation with Ministry of Agriculture and Ministry of Defence of the Czech Republic is preparing to create a new digital elevation model of the whole state territory. Modern technology of Airborne Laser Scanning shall be used in this project. The article describes its basic characteristics.

**Keywords:** geomatics, elevation, laser scanning, digital terrain model, digital surface model.

## 1 Úvod

Cílem tohoto příspěvku je informovat odbornou veřejnost o záměru Českého úřadu zeměměřického a katastrálního (ČÚZK), Ministerstva zemědělství České republiky (MZe ČR) a Ministerstva obrany České republiky (MO ČR) zajistit nové výškopisné mapování území České republiky digitální metodou leteckého laserového skenování.

Výškopisné databáze jsou využívány v řadě informačních systémů veřejné správy České republiky (ČR). Jsou důležité pro tvorbu státních mapových děl i pro výstavbu geografických informačních systémů ve státní správě a územní samosprávě, kde informace o výškových poměrech a sklonitosti terénu jsou důležité například pro plánování a projektování výstavby pozemních, dopravních a vodohospodářských staveb, pro řízení opatření na úseku ochrany životního prostředí, pro plánování a organizování zemědělské a lesnické výroby i pro koncepční plánování a projektování rozvoje obcí.

Digitální výškopisné databáze nacházejí své významné uplatnění v oblasti krizového řízení a managementu. Členitost terénu má jeden z nejdůležitějších vlivů na průchodnost a průjezdnost záchranné a zásahové techniky a zásadním způsobem limituje použití letecké záchranné služby. Znalost terénních charakteristik včetně objektů mikroreliéfu tak významným způsobem ovlivňuje kvalitu rozhodování o nasazení sil a prostředků integrovaného záchranného systému i Armády České republiky při řešení následků živelních pohrom a průmyslových a dopravních havárií a ve svých důsledcích tak limituje rychlost a efektivitu zásahů.

Záměr zajistit nové výškopisné mapování území ČR vychází ze skutečnosti, že současná výškopisná data a výškopisné produkty jsou v určitých územních typech již zastaralé a svou přesností a kvalitou limitují rozvoj územně orientovaných informačních a řídicích systémů. Cílem „Projektu nového mapování výškopisu České republiky“ je zajistit kvalitní geografickou datovou infrastrukturu, jednotnou a standardizovanou pro celé území ČR, nezbytnou pro potřeby orgánů státní správy, orgánů územní samosprávy i pro mezinárodní veřejné účely ve smyslu zásad a požadavků evropské směrnice INSPIRE.

## 2 Stručné zhodnocení stavu výškopisných databází v České republice

V současné době je na území ČR zpracováno několik digitálních výškopisných databází různé kvality, a to zejména v resortu ČÚZK a v resortu MO ČR. Stručný přehled druhů a kvalitativních charakteristik současných výškopisných databází poskytuje tabulka 1. Podrobnější informace lze získat například v [8].

**Tabulka 1.** Závěry hodnocení výškopisných modelů ČR

Název databáze	Obsah	Střední chyba výšky ( $\sigma_z$ )
ZABAGED® – výškopis	Vektorizované vrstevnice ZM 10 uložené jako 3D objekty ve formátu DGN.	0,7–1,5 m v odkrytém terénu 1–2 m v intravilánech 2–5 m v zalesněných územích
ZABAGED® – zdokonalený výškopis	Aktualizované a zpřesněné vrstevnice ZM 10, doplněné o terénní hrany náspů, výkopů, břehů, nádrží apod.	0,7–1,5 m v odkrytém terénu 1–2 m v intravilánech 2–5 m v zalesněných územích
ZABAGED® – mříž 10 x 10 m	Odvozený model z databáze ZABAGED® – zdokonalený výškopis do formy mříže (GRID) 10 x 10 m	1,5–2,5 m v odkrytém terénu 2–3 m v intravilánech 3–7 m v zalesněných územích
DMR 2,5. generace	Výškový model ve formě mříže (GRID) 100 x 100 m	3–5 m v odkrytém terénu 5–8 m v intravilánech 10–15 m v zalesněných územích
DMR 3. generace	Výškový model ve formě nepravidelné sítě TIN získaný stereofotogrammetrickou metodou	1–2 m v odkrytém terénu 1–2 m v intravilánech 3–7 m v zalesněných územích

S výjimkou DMR 3. generace vytvořeného MO ČR stereofotogrammetrickým mapováním v letech 2003 až 2008 vycházejí všechny v tabulce uvedené výškopisné databáze z jediného původního zdroje, t.j. z vojenského topografického mapování ČSSR prováděného v letech 1952 až 1957 pro vojenskou topografickou mapu v měřítku 1:25000 a následně pro topografickou mapu v měřítku 1:10000 vytvářenou společně civilní i vojenskou zeměměřičskou službou ČSSR v letech 1957 až 1971. I přes následné aktualizace a modifikace se však nepodařilo udržet homogenitu a aktuálnost uvedených výškopisných databází. Jedním z hlavních nedostatků současných digitálních modelů reliéfu je jejich nedostatečná přesnost a vysoká míra generalizace, která neumožňuje s požadovanou přesností interpretovat objekty mikroreliéfu ani prostorově lokalizovat jiné geografické objekty v třídímních geografických informačních systémech. Dosud postrádaným produktem je digitální model povrchu (DMP), který je již delší dobu požadován zejména v resortech MO ČR, Ministerstva vnitra ČR a Ministerstva dopravy ČR k zajištění tvorby mezinárodních databází standardů ICAO (International Civil Aviation Organization) pro účely řízení letecké dopravy na území ČR.

## 3 Projekt nového mapování výškopisu České republiky

Na základě vyhodnocení uživatelských potřeb výškopisných dat z území celé ČR a zhodnocení možných metod tvorby a aktualizace výškopisných databází bylo navrženo zajistit tvorbu nového výškopisu ČR metodou leteckého laserového skenování.

### 3.1 Základní principy leteckého laserového skenování

Metoda leteckého laserového skenování je založena na určování geocentrických souřadnic ( $x_p, y_p, z_p$ ) bodů na zemském povrchu metodou prostorového rajonu, kdy počátek rajonu je dán polohou „ohniska“ leteckého laserového skeneru ( $x_0, y_0, z_0$ ), určenou zpravidla pomocí DGPS v souřadnicovém referenčním systému WGS 84, a kde směr laserového paprsku je dán součtem úhlů natočení ( $\kappa, \varphi, \omega$ ) souřadnicové soustavy skeneru (vzhledem ke geocentrické souřadnicové soustavě systému WGS 84) a úhlu ( $\Theta$ ), pod kterým je laserový paprsek odchýlen od „svislice“ při vyslání ze skeneru. Úhly natočení skeneru ( $\kappa, \varphi, \omega$ ) vzhledem ke geocentrické souřadnicové soustavě systému WGS 84 jsou měřeny za letu pomocí velmi přesného inerciálního navigačního systému. Vzdálenost pozemního bodu od

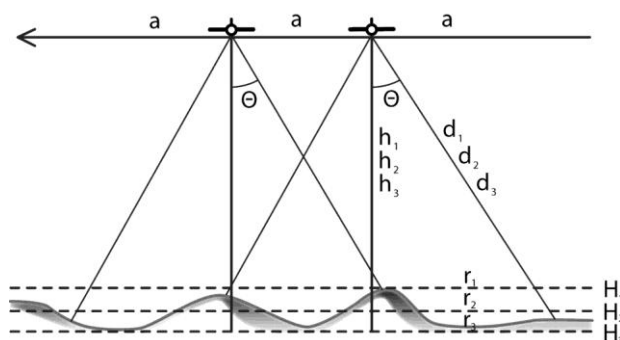
„ohniska“ skeneru je vypočítána z času uplynulého mezi vysláním a přijetím odraženého laserového paprsku.

Letecký laserový skener je zařízení, které rozmítá laserový paprsek v rovině přibližně kolmé na dráhu letu a měří vzdálenosti od skeneru k pozemním bodům, a to s frekvencí až 160 000 měření za vteřinu. V takovém případě je letecký laserový skener schopen zaměřit až 160 řad výškových bodů za vteřinu s 1000 výškovými body v každé řadě. Výsledným produktem vlastního skenování jsou soubory (mračna) výškových bodů v geocentrických souřadnicích  $(x_p, y_p, z_p)$ .

### 3.2 Hlavní charakteristiky návrhu leteckého laserového skenování ČR

Kvalita leteckého laserového skenování je základním předpokladem pro dosažení požadovaných parametrů výsledných produktů. Ovlivňují ji zejména výška letu, rychlost letu, stabilita letu, meteorologické a klimatické podmínky a parametry laserového skeneru.

S přihlédnutím na fyzikální vlastnosti laserového paprsku, jeho odrazivost od různých materiálů a s ohledem na požadované kvalitativní parametry výsledných výškopisných produktů, navrhuje se provádět letecké laserové skenování maximálně ze střední výšky 1500 m nad terénem, kdy lze reálně dosáhnout hustoty měření až 1 bod/m<sup>2</sup>. Dalším důležitým předpokladem pro dosažení kvalitní zdrojové databáze výškových bodů je provádění leteckého laserového skenování převážně v mimovegetačním období, aby laserové paprsky v maximální míře pronikaly vegetací k zemskému povrchu. Základní parametry letů jsou zřejmé z obrázku 1 a z údajů uvedených v tabulce 2.



Obr. 1. Parametry leteckého laserového skenování

Tabulka 2. Parametry leteckého laserového skenování

Parametr	Hodnoty		
Nadmořská výška letu (letová hladina) (H)	1800 m	2100 m	2400 m
Střední výška letu nad terénem (h)	1500 m	1500 m	1250 m
Minimální nadmořská výška skenovaného území (H3)	100 m	400 m	700 m
Střední nadmořská výška skenovaného území (H2)	300 m	600 m	1150 m
Maximální nadmořská výška skenovaného území (H1)	500 m	800 m	1600 m
Vzdálenost letových drah (a)	833 m	833 m	769 m
Překryt skenování (q)	45-59 %	45-59 %	30-64 %
Maximální vychýlení paprsku ( $\Theta_{max}$ )	30°	30°	30°
Minimální délka paprsku v nadiru ( $h_1$ )	1300 m	1300 m	800 m
Maximální délka paprsku v nadiru ( $h_3$ )	1700 m	1700 m	1700 m
Minimální radiální vzdálenost ( $r_1$ )	750,5 m	750,5 m	462,0 m
Maximální radiální vzdálenost ( $r_3$ )	981,5 m	981,5 m	981,5 m
Maximální délka paprsku na okraji skenování ( $d_3$ )	1963,0 m	1963,0 m	1963,0 m

Parametry uvedené v tabulce 2 zajišťují, že pro území o nadmořské výšce od 100 do 800 m bude dosažen průměrný překryt skenování 52 %. Tím bude zajištěno, že v oblastech překrytu sousedních

skanovaných pásů bude dosažena dvojnásobná hustota výškových bodů, budou minimalizovány skryté prostory (stíny) za budovami a v lesích bude dosaženo vyšší úspěšnosti průniku laserového paprsku rostlinným krytem. V horských oblastech s nadmořskou výškou nad 700 m bude skenování provedeno s menší výšky nad terénem a tím bude zajištěna vyšší hustota bodového pole a zvýšena pravděpodobnost průniku laserového paprsku lesními porosty.

Území ČR má být skenováno po blocích o rozměrech až 10 × 30 km v závislosti na vertikální členitosti skenovaného území. Jednotlivé bloky budou skenovány v závislosti na převládající nadmořské výšce území v bloku v jedné z následujících letových hladin (tj. z absolutních výšek letu) 1800 m n. m., 2100 m n. m. a 2400 m n. m.

### 3.3 Postupy zpracování výškopisných dat

Zpracování výškopisných dat a tvorbu výsledných realizačních produktů bude zajišťovat zeměměřický odbor Zeměměřického úřadu v Pardubicích ve spolupráci s oddělením fotogrammetrie Vojenského geografického a hydrometeorologického úřadu v Dobrušce. Jako základní technologické vybavení se předpokládá využívat především softwarové nástroje ze skupiny programů SCOP++ z produkce německé firmy INPHO GmbH a software a nadstavby ArcGIS z produkce firmy ESRI.

Pro zvýšení důvěryhodnosti a zejména přesnosti DMR 5G bude na území ČR zaměřeno cca 800 komparačních základů. Komparační základnou se rozumí zpravidla horizontální bodové mikropole o rozměrech cca 100 × 100 m se zaměřenou sítí výškových bodů v mřížce obvykle 10 × 10 m a se zaměřenými významnými vodorovnými hranami vybraných objektů, například staveb, nebo bazénů.

Vstupními daty pro vytvoření výškopisných modelů budou data z leteckého laserového skenování, Ortofoto ČR, současné výškopisné databáze, geodeticky zaměřená data z komparačních základů, případně další geodeticky zaměřená výškopisná data.

Základním technologickým postupem při zpracování výškopisných dat je automatizovaná filtrace dat s využitím programu SCOP++ LIDAR. Tento sofistikovaný software zajišťuje automatizovanou separaci zaměřených výškových bodů ze vstupních mračen dat do čtyř samostatných datových souborů, které obsahují pouze data o paprscích, které se odrazily od země, staveb a od vegetace. Čtvrtý soubor obsahuje chybné odrazy od objektů mimo zemský povrch.

K odhalení hrubých chyb budou využity také dosavadní výškopisné modely, které se předpokládá použít k identifikaci prostorů s nadměrnými rozdíly současného a nového výškového modelu. Takové prostory budou individuálně posuzovány tak, aby již pro generování DMR 4G byly odhaleny a opraveny hrubé chyby způsobené zejména neprostupností laserového paprsku hustým lesním porostem.

K zajištění požadované kvality DMR 5G a DMP 1G budou data celoplošně manuálně kontrolována a interaktivně opravována. Základními nástroji budou programy DT Master ze skupiny programů SCOP++ a ArcGIS Spatial Analyst a ArcGIS 3D Analyst ze skupiny programů ESRI, umožňující vizualizovat mračna výškopisných bodů a provádět jejich opravy a modifikaci. Datovými zdroji budou výškopisná data po hrubé filtraci, vytvořený stínovaný model reliéfu, Ortofoto ČR, případně další aktuální informační podklady.

Výsledné produkty DMR 4G, DMR 5G a DMP 1G budou transformovány do souřadnicových referenčních systémů JTSK a WGS 84/UTM a "řezány" do standardizovaných ukládacích jednotek. V případě uložení dat v JTSK bude základní ukládací jednotkou prostor o velikosti 2 × 2,5 km vymezený kladem státní mapy 1:5000 (SM 5). V případě uložení dat v referenčním souřadnicovém systému WGS 84/UTM se předpokládá data ukládat po blocích o velikosti 10 × 10 km vymezených rovinnou souřadnicovou sítí WGS 84/UTM.

Jednotlivé datové modely a sady dat budou ukládány na diskových polích v databázi Oracle s využitím aplikace řízení dat Top DM z produkce německé firmy INPHO GmbH, která zajišťuje "bezešvé" nahlížení výškopisných dat, provádění výběrů dat podle uživatelských požadavků i zápis a organizaci nezbytných metadat.

### 3.4 Výsledné výškopisné produkty

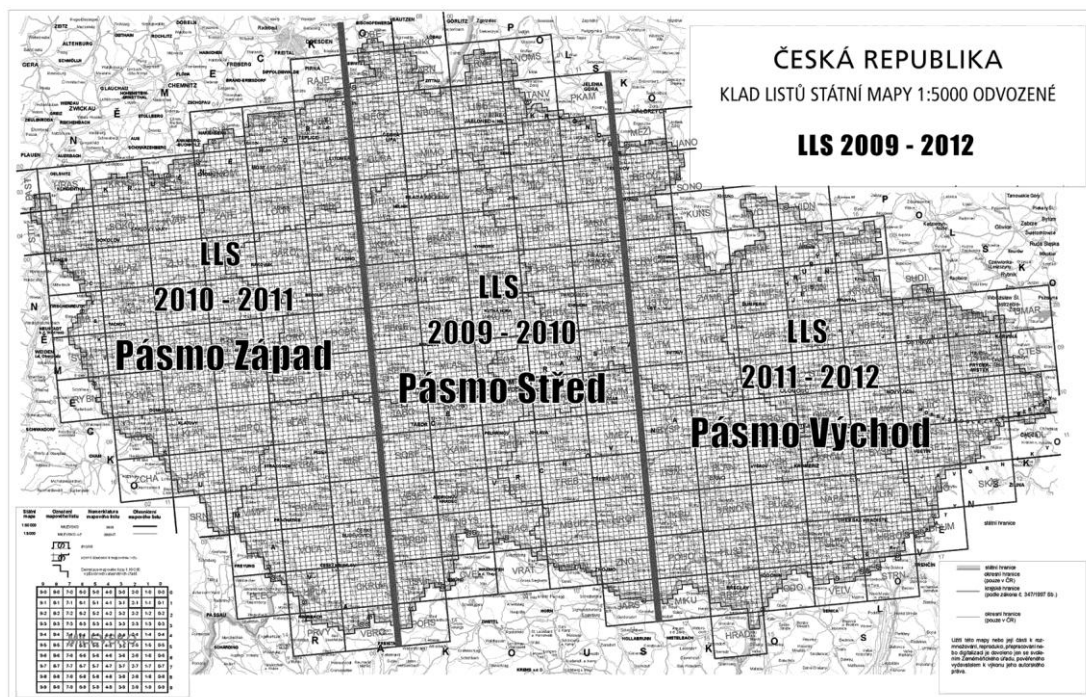
- **Digitální model reliéfu území České republiky 4. generace (DMR 4G)** ve formě mříže (GRID)  $5 \times 5$  m se střední chybou výšky  $\sigma_z = 0,30$  m v odkrytém terénu a 1 m v zalesněném terénu. Tento model bude vytvářen po částech území ČR, kde již proběhne letecké laserové skenování, a to v termínech vždy do půl roku po naskenování příslušného území. Z celého území ČR bude vytvořen do jednoho roku po ukončení skenování.
- **Digitální model reliéfu území České republiky 5. generace (DMR 5G)** ve formě nepravidelné sítě vybraných výškových bodů (TIN) se střední chybou výšky  $\sigma_z = 0,18$  m v odkrytém terénu a 0,3 m v zalesněném terénu. Tento model bude vytvořen do tří let po ukončení snímkování celého území ČR, tedy do konce roku 2015. Postupně však bude vytvářen v částech území, kde již proběhne skenování, a to v termínech do dvou let po naskenování tohoto území.
- **Digitální model povrchu území České republiky 1. generace (DMP 1G)** ve formě nepravidelné sítě vybraných výškových bodů (TIN) se střední chybou výšky  $\sigma_z = 0,4$  m pro přesně prostorově vymezené objekty (budovy) a  $\sigma_z = 0,7$  m pro objekty přesně neohraničené (lesy a další prvky rostlinného půdního krytu). Tento model bude vytvořen do tří let po ukončení skenování území ČR. Postupně však bude vytvářen v částech území, kde již proběhne skenování, a to v termínech do dvou let po naskenování tohoto území.

DMR 4G by tedy měl být vytvořen na celém území ČR již do konce roku 2012. Tento záměr směřuje k rychlejšímu uspokojení části uživatelů, kterým vyhoví výše uvedená hustota výškopisných bodů a přesnost zobrazení výšky georeliéfu.

Produkty DMR 5G a DMP 1G se stanou základními výškovými modely území ČR republiky, ze kterých budou odvozovány specifikované produkty podle potřeb uživatelů. Vytvořeny budou do konce roku 2015.

### 3.5 Sektory zpracování dat

Výchozí návrh rozdělení území ČR pro účely leteckého laserového skenování je znázorněn na obr. 2.



Obr. 2. Pásma leteckého laserového skenování

Postup skenování předchází státnímu digitálnímu leteckému měřickému snímkování území ČR v rozlišení 0,20 - 0,25 m v terénu, které bude realizováno rovněž v tříletém intervalu v letech 2010 až 2012. Letecké laserové skenování a zpracování výškopisných dat do formy DMR 4G bylo zahájeno již v roce 2009 na Pásmu Střed tak, aby data DMR 4G mohla být použita pro ortogonalizaci leteckých měřických snímků a tvorbu Ortofota ČR na Pásmu Střed již v roce 2010. V dalších dvou letech pak budou vytvořeny DMR 4G v Pásmu Západ a Pásmu Východ.

### 3.6 Hlavní zásady normalizace

Uvedené výsledné realizační produkty budou zpracovány podle jednotných pravidel na celém území ČR. Tím je naplněn základní princip státní normalizace vyjádřený v zákoně č. 200/1994 Sb., o zeměměřictví, ve znění pozdějších předpisů.

Produkty budou zpracovány v souřadnicových referenčních systémech WGS 84/UTM a JTSK a ve výškovém systému Baltském – po vyrovnání (Bpv) v souladu s nařízením vlády č. 430/2006 Sb., o stanovení geodetických referenčních systémů a státních mapových děl závazných na území státu a zásadách jejich používání.

Navržená formální struktura datovýchází TIN a GRID bude odpovídat základním požadavkům mezinárodních standardů OGC (Open Geospatial Consortium, Inc.).

K jednotlivým datovým sadám budou vedeny metainformace v souladu s požadavky ISO 19115.

## 4 Zásady spolupráce ČÚZK s MZe ČR a MO ČR

K zajištění tohoto náročného úkolu byla podepsána „Dohoda o spolupráci při tvorbě digitálních databází výškopisu území České republiky“ mezi ČÚZK MZe ČR a MO ČR. Smluvní strany se budou podílet na plnění projektu následujícím způsobem:

- ČÚZK zajistí projektovou přípravu leteckého laserového skenování a organizaci spolupráce s MO ČR a MZe ČR.
- ČÚZK zajistí v letech 2009–2015 zpracování laserových dat do formy výsledných databází výškopisu v rozsahu tří čtvrtin území ČR.
- MZe ČR se bude podílet na úhradě nákladů na letecké laserové skenování formou pronájmu leteckého laserového skeneru.
- MO ČR zajistí v letech 2009–2012 realizaci leteckého laserového skenování svými odbornými kapacitami a letadlem typu L 410 FG. Dále zajistí v letech 2009–2015 zpracování laserových dat do formy výsledných digitálních databází výškopisu v rozsahu jedné čtvrtiny území ČR.
- MO ČR se bude po celou dobu řešení úkolu, tj. v období let 2009–2015, podílet na přípravě technologií pro zpracování dat leteckého laserového skenování.

## 5 Závěr

Realizací projektu budou vytvořeny zcela nové výškopisné databáze o území ČR. DMR 5G se stane základní a trvale aktualizovanou výškopisnou databází, ze které budou generovány odvozené výškopisné produkty a databáze pro různé aplikace a informační systémy veřejné správy ČR.

Očekává se, že významných efektů bude dosaženo při aplikaci přesných výškopisných modelů v oblastech rozvoje krizového řízení, a při výcviku štábů a jednotek složek integrovaného záchranného systému ČR a při přípravě a výcviku štábů a vojsk Armády České republiky. Nové výškopisné modely umožní rozvoj a uplatnění simulačních technologií a trenažérové techniky při výcviku na plnění úkolů krizového charakteru. Aplikace přesných výškopisných databází v řídicích a informačních systémech umožní další rozvoj funkcionalit těchto systémů a uplatnění moderních metod rozhodování a řízení

v krizových stavech. Aplikací DMP v informačním systému řízení letového provozu, v leteckých trenežerech, simulátorech a v palubních navigačních a řídicích systémech bude v letecké informační službě dosaženo naplnění požadavků na zobrazování výškopisu území ve smyslu předpisu L15, o letecké informační službě, a tím i významného zvýšení bezpečnosti vojenského i civilního letového provozu nad územím ČR.

V resortech Ministerstva životního prostředí ČR a MZe ČR umožní DMR 5G například výpočty objemů srážek a odtoků z povodí, přesné vymezení záplavových území, zpřesnění průběhů vodních toků včetně jejich spádů a odtokových charakteristik. V resortu MZe ČR umožní DMR 5G stanovit odtokové směry vod a na jejich základech efektivně ovlivňovat zemědělskou výrobu včetně užívání chemických hnojiv a tím zvýšit ochranu povrchových i podzemních vod. Resortu Ministerstva pro místní rozvoj ČR, resortu Ministerstva dopravy ČR a orgánům územní samosprávy bude poskytnut jeden z nejdůležitějších územně analytických podkladů pro plánování a projektování pozemní, dopravní a vodohospodářské výstavby v jejich působnosti.

V resortu ČÚZK umožní kvalitní výškopis tvorbu nové generace Ortofot ČR a to s rozlišením 0,25 m v území s absolutní polohovou přesností lepší než 0,5 m a následně pak i zvýšení přesnosti Základní báze geografických dat České republiky (ZABAGED<sup>®</sup>) až o 50 % současné polohové přesnosti zobrazení jednotlivých kategorií geografických objektů. V neposlední řadě bude zkvalitněna tvorba vrstevnic ve státních mapových dílech v měřítku 1 : 5 000 a 1 : 10 000. Četným uživatelům ve státní správě i územní samosprávě budou poskytnuty přesnější a kvalitnější kartografické podklady a geografické databáze pro územně orientované plánování a řízení rozvoje v jejich působnosti.

## Reference

- [1] Projekt tvorby nového výškopisu České republiky. Zeměměřický úřad, Praha, 2008.
- [2] Technický projekt tvorby nového výškopisu České republiky. Zeměměřický úřad, Praha, 2008.
- [3] INPHO GmbH, DGM Baden-Württemberg. 2008.
- [4] LEICA Geosystems: The point density you want, the accuracy you need. 2008.
- [5] OPTECH International, Inc.: Get the accuracy you've always wanted. 2008.
- [6] RIEGL Laser Measurement GmbH: Riegl Airborne Laser Scanning Systems. 2008.
- [7] SCHLEYER, A. Das Laserscan-DGM von Baden-Württemberg. Karlsruhe, 2000.
- [8] ŠÍMA, J.; EGRMAJEROVÁ, L. Ověření přesnosti digitálního modelu reliéfu Základní báze geografických dat. Geodetický a kartografický obzor. 2004, roč. 50, č. 11, s. 213–231. ISSN 0016-7096.
- [9] ŠÍMA, J. Abeceda leteckého laserového skenování. Geobusiness. 2009, č. 4.
- [10] WARRINER, T.; MANDELBURGER, G. Generating a New High resolution DTM Product from various Sources. Vienna, 2008.
- [11] Implementation profile for High Resolution Elevation Products. National Geospatial-Intelligence Agency, USA, 2009