

## NOVÉ ZDROJE GEOPROSTOROVÝCH DAT POKRÝVAJÍCÍCH CELÉ ÚZEMÍ STÁTU OD ROKU 2010 – PRVNÍ VÝSLEDKY VÝZKUMU JEJICH KVALITATIVNÍCH PARAMETRŮ

Jiří ŠÍMA

Oddělení geomatiky, Fakulta aplikovaných věd, Západočeská univerzita v Plzni

Univerzitní 22, 306 14, Plzeň, Česká republika  
*simaj@kma.zcu.cz*

### Abstrakt:

Rok 2010 se stal v České republice historickým přelomem pokud jde o získávání aktuálních geoprostorových dat pokrývajících celé území státu. Na 36 % území České republiky bylo realizováno *digitální letecké měřické snímkování* v barevném (RGB) a blízkém infračerveném (NIR) pásmu spektra s rozlišením cca 0,20 m na zemi s primárním cílem vytvořit v rámci dlouhodobého projektu periodického leteckého měřického snímkování *datbanku* těchto digitálních obrazových záznamů a *digitální barevné ortofotografické zobrazení celého území státu* s rozlišením 0,25 m na zemském povrchu. Tím bylo v zásadě ukončeno dosavadní letecké měřické snímkování na film a následné přesné skenování fotografických snímků do rastrové formy nutné pro další počítačové zpracování.

Současně bylo úspěšně realizováno *letecké laserové skenování* cca 42 % území státu v rámci Projektu tvorby nového výškopisu území České republiky. Jeho cílem je vytvořit *digitální model reliéfu* vysoké hustoty a přesnosti (High Resolution Elevation Data) a také *digitální model povrchu* celého státního území do konce roku 2015. Tím budou uspokojeny požadavky řady odvětví státní správy na poskytování kvalitních výškopisných informací a závazky České republiky v rámci projektu INSPIRE.

Investory obou projektů jsou Český úřad zeměměřický a katastrální, Ministerstvo obrany ČR a Ministerstvo zemědělství ČR. Hlavními zpracovateli prvotních geoprostorových dat jsou Zeměměřický úřad a Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad. Oddělení geomatiky Fakulty aplikovaných věd Západočeské univerzity v Plzni spolupracuje již od zrodu obou projektů na definování a hodnocení kvalitativních parametrů všech předpokládaných či již realizovaných výsledných produktů.

Předložený referát uvádí první výsledky výše popsaných aktivit v roce 2010 a některé informace o dostupnosti nových zdrojů geoprostorových dat pro tvůrce a uživatele geografických informačních systémů.

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

### Abstract

Year 2010 became a turning point as far as gathering of up-to-date geospatial data from the whole territory of the Czech Republic concerned. *Aerial survey with digital cameras* in RGB and NIR spectral bands with on-the-ground resolution of 0,20 m covered 36 % of the state territory. Periodically repeated digital image records will serve as a *database* for photogrammetric processing – preferentially of *digital colour orthoimagery of the Czech Republic* with on-the-ground resolution of 0,25 m. The era of taking aerial photographs on film and their subsequent rastering by means of precise photogrammetric scanners was de facto closed for this purpose.

At the same time *aerial laser scanning* of 42 % of the state territory was successfully realized within the Project of New Hypsometry of the Czech Republic. Its main goal is to provide bodies of state administration with High Resolution Elevation Data in form of *Digital Ground Model* and *Digital Surface Model* of the whole state territory by 2015. New models of hypsometry will fulfil all requirements of the INSPIRE project as well.

Czech Office for Surveying, Mapping and Cartography, Ministry of Defence and Ministry of Agriculture are investors of both projects. Land Survey Office and Military Geographical and Hydrometeorological Office are main compilers of digital image and LIDAR data. Department of Geomatics at the Faculty of Applied Sciences of the University of West Bohemia in Pilsen collaborates in definition and evaluation of quality parameters of all resulting products from the very beginning of development of all above mentioned projects.

Presented paper introduces first results of those activities in 2010 and some useful information on accessibility of new sources of geospatial data for designers and users of geographic information systems.

**Keywords:** digital aerial survey, orthophoto imagery, aerial laser scanning, digital ground model, digital surface model, Czech Republic

## 1 PERIODICKÉ LETECKÉ MĚŘICKÉ SNÍMKOVÁNÍ A TVORBA DIGITÁLNÍHO ORTOFOTA ČR

Od roku 2003 je finančně zajištěno periodické barevné letecké měřické snímkování a tvorba digitálního barevného ortofota celého území České republiky (ČR) v tříletém intervalu z rozpočtových kapitol ústředních správních úřadů – Českého úřadu zeměměřického a katastrálního (ČÚZK), Ministerstva obrany ČR (MO ČR) a Ministerstva zemědělství ČR (Mze ČR). Zajišťování realizace uvedených děl je těmto orgánům uloženo zákony ČR, případně i legislativou Evropské unie. Parametry leteckého měřického snímkování jsou voleny tak, aby výsledný produkt – *Ortofoto ČR* – byl plně použitelný zejména pro tyto důležité úkoly státní správy v České republice:

- vytvoření a aktualizace registru půdy pro administraci a kontrolu zemědělských dotací na skutečně obdělávanou plochu (podle zákona č.252/1997 Sb., ve znění pozdějších předpisů, a projektu IACS),
- aktualizace Základní báze geografických dat (ZABAGED®) a její využití pro tvorbu základních státních mapových děl středních měřítek (podle zákonů č.359/1992 Sb. a č. 200/1994 Sb., obojí ve znění pozdějších předpisů),
- aktualizace Digitálního modelu území (DMÚ 25) a jeho využití pro tvorbu vojenských topografických map (podle zákonů č.2/1969 Sb. a č.200/1994 Sb., obojí ve znění pozdějších předpisů),
- poskytnutí geoprostorových obrazových dat z území ČR pro účely Evropské unie v rámci projektu INSPIRE (podle zákona č.123/1998 Sb., ve znění pozdějších předpisů. a příslušné legislativy Evropské unie).

K úspěšnému plnění vyjmenovaných hlavních úkolů a s ohledem na kapacitní možnosti zpracovatelů a krátké termíny, ve kterých muselo být Ortofoto ČR každoročně na 1/3 území státu k dispozici, bylo v letech 2003 – 2008 realizováno s prostorovým rozlišením (rozměrem pixelu) 0,50 m- Vzhledem k tomu, že využití tohoto produktu se rozšířilo i na plnění jiných úkolů i mimo orgány státní správy a technologie tvorby se významně urychlila, bylo od roku 2009 zvoleno vyšší prostorové rozlišení – 0,25 m na zemském povrchu. Významnou vlastností Ortofota ČR je jeho vysoká *absolutní polohová přesnost* ve vztahu k souřadnicovému referenčnímu systému Jednotné trigonometrické sítě katastrální (S-JTSK). Obsáhlými testy na Západočeské univerzitě v Plzni byla zjištěna střední souřadnicová chyba dobře identifikovatelných bodů  $m_{xy} = 0,53$  m na ortofotu s prostorovým rozlišením 0,50 m na zemském povrchu a  $m_{xy} = 0,35$  m při rozlišení 0,25 m [1]. Příčinou je zejména způsob zajištění optimálního počtu a rozložení výchozích vlíčovacích bodů pro digitální automatickou blokovou aerotriangulaci, a to pouhou signalizací vybraných trigonometrických a zhušťovacích bodů. Dosažená přesnost produktu vyvolala iniciativu orgánů státní správy i jiných uživatelů využít Ortofoto ČR s rozlišením 0,25 m k plnění dalších úkolů, zejména:

- k identifikaci výskytu hrubých a systematických chyb na katastrálních mapách před jejich digitalizací,
- k posouzení aktuálnosti katastrální mapy v rámci revize katastrálního operátu,
- jako vynikající podklad pro řešení projektových a analytických úloh, kde je kromě aktuálního a snadno srozumitelného obsahu ortofota zapotřebí absolutní polohové přesnosti dobře identifikovatelných bodů a objektů, charakterizované střední souřadnicovou chybou lepší než 1 metr,

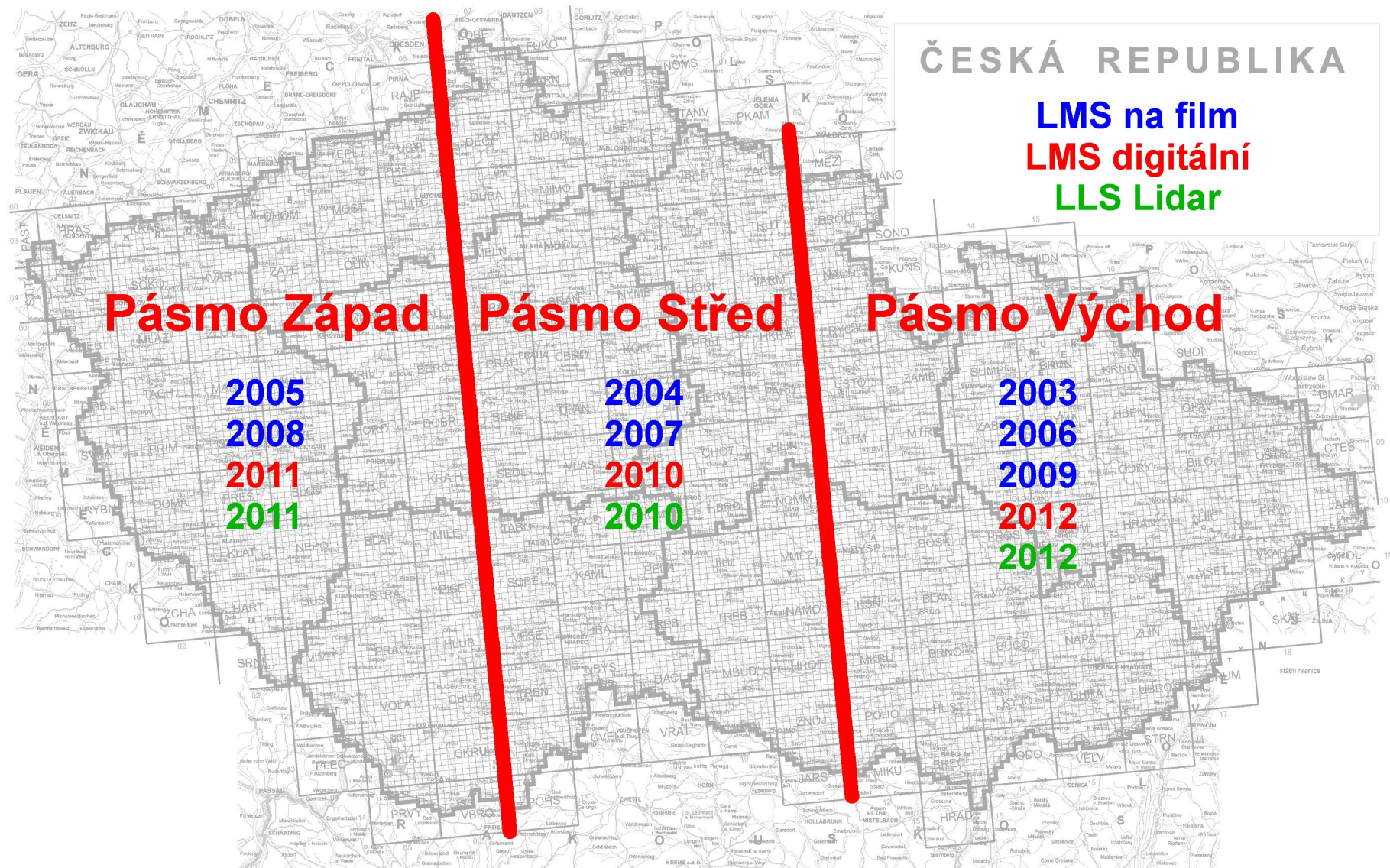
a není dosud k dispozici digitální katastrální mapa (např. některé operace při komplexních pozemkových úpravách),

- jako informační podklad pro analýzy v rámci národní inventarizace lesů,
- jako integrální součást Digitální mapy veřejné správy (DMVS) podle Memoranda [2].

V letech 2003 – 2009 bylo letecké měřické snímkování realizováno analogově, tj. pořízením snímků na film v přirozených barvách a jejich následným převodem do digitální rastrové formy pomocí přesného fotogrammetrického skeneru. Ve všech případech byly použity širokoúhlé letecké měřické komory o formátu snímku 230 x 230 mm a současně s expozicí snímků byly zaznamenány prvky jejich vnější orientace, tj. souřadnice projekčního centra snímku a 3 úhlové parametry zjištěné palubními aparaturami GPS a IMU. Již od roku 2003 byla věnována pozornost specialistů MO ČR a ČÚZK realizaci přímého digitálního záznamu obrazových dat s měřickou kvalitou. Na světový trh bylo uvedeno několik typů digitálních leteckých měřických kamer, z nichž nejpoužívanější ve střední Evropě jsou kamery UltraCam firmy Vexcel. Těmito kamerami se vybavily i specializované české firmy, které v ČR podnikají v oblasti leteckého měřického snímkování. S cílem zvýšit kvalitu leteckých snímků a Ortofota ČR připravil Český úřad zeměměřický a katastrální zadání veřejné soutěže na *digitální letecké měřické snímkování* Pásmo Střed (viz obr. 1) v roce 2010. V této soutěži poprvé zvítězila zahraniční firma, jejíž kapacity a zkušenosti výrazně přispěly ke splnění náročných termínů snímkování i vyhotovení Ortofota ČR s pozoruhodným zvýšením absolutní polohové přesnosti a zejména interpretability barevně velmi kvalitního produktu.

**Tab. 1.** Porovnání parametrů leteckého měřického snímkování území ČR v letech 2009 a 2010

Parametry leteckého měřického snímkování (LMS)	2009	2010
Typ leteckého měřického snímkování	analogové (na film)	digitální
Typ letecké kamery	RMK TOP 15, LMK 15	UltraCam Xp
Konstanta letecké kamery $f$	152 mm	100,5 mm
Formát výsledného snímku	230 x 230 mm	68,4 x 104 mm
Průměrné dosažené měřítko snímků	1: 18 070	1: 32 050 ( $k = 1,77$ )
Průměrně dosažená relativní výška letu $h_r$	2747 m	3221 m ( $k = 1,17$ )
Požadovaný podélný překryt snímků $p$	60 % (-4 %, +10 %)	60 % (-4 %, +10 %)
Požadovaný příčný překryt snímků $q$	25 % (30 % ve městech)	25 % (-5 %, +10 %)
Počet snímků použitých pro AAT / 100km <sup>2</sup>	24	55,7 ( $k = 2,32$ )
Snímkovaná část území ČR	Pásmo – Východ	Pásmo – Střed
Plocha snímkovaného území	27 728 km <sup>2</sup>	29 090 km <sup>2</sup>
Plocha zobrazená na 1 snímku	17,28 km <sup>2</sup>	7,31 km <sup>2</sup> ( $k = 0,42$ )
Objem rastrových dat / km <sup>2</sup>	40,2 MB	85,4 MB ( $k = 2,1$ )
Rozměr pixelu v rovině obrazového záznamu	15 $\mu$ m	6 $\mu$ m
Rozměr pixelu na zemi	0,271 m	0,192 m
Spektrální charakteristika výsledných produktů LMS	barevný (RGB) v přirozených barvách	černobílý panchromatický barevný (RGB) barevný infračervený
Radiometrické rozlišení	8 bitů / pixel / pásmo	13 bitů / pixel / pásmo



Obr. 1. Harmonogram LMS a LLS České republiky

Na první pohled se zdají být použité parametry digitálního leteckého měřického snímkování nevýhodné z hlediska menšího formátu výsledného snímku, což se projeví v nutnosti pořídit 2,5násobek celkového počtu snímků a objemu obrazových dat k dalšímu zpracování. Jsou však k dispozici palubní záznamové jednotky s kapacitou 4,2 TB dovolující během jednoho snímkového letu pořídit až 6600 obrazových záznamů. Zpracování obrazových dat v rámci aerotriangulace i tvorby ortofot se též významně urychlilo, např. postprocessing standardního bloku AAT o ploše 2000 km<sup>2</sup> (obsahující průměrně 1030 snímků, 53 výchozích vlíčovacích bodů, 69 200 spojovacích bodů mezi 2 – 6 sousedními snímky, 549 500 převážně automaticky měřených hodnot a 69 240 neznámých) trvá nyní 30 sekund, zatímco před dvěma lety ještě 3 – 4 minuty. Digitální letecká měřická kamera však poskytuje *současně* černobílý panchromatický obraz s extrémně vysokým rozlišením (až 6μm v rovině snímku) a tentýž obraz v přirozených barvách (R, G, B) a v blízkém infračerveném pásmu spektra (NIR). Radiometrická kvalita digitálních snímků je výrazně vyšší (13 bitů/pásmo/kanál) a je k dispozici programové vybavení pro případné radiometrické korekce a barevné vyrovnání sousedících snímků nebo zvýšení čitelnosti (interpretability) snímků pořízených za zhoršených atmosférických či světelných podmínek (nad městy, povrchovými doly, v pozdějších odpoledních hodinách, pod vysokou oblačností apod.). Tyto výhody se vztahují i na barevná nebo barevná infračervená *ortofota* vyhotovená z digitálních snímků, jejichž kvalitativní i kvantitativní interpretace poskytuje uživatelům výrazně lepší výsledky. Další přednosti se týkají vyšší absolutní polohové přesnosti ortofot vytvořených z těchto obrazových dat a rovněž vyšší přesnosti určení některých prvků vnější orientace všech snímků v příslušném bloku, jak je zřejmé z údajů v tabulce 2.

**Tab.2.** Porovnání parametrů digitální automatické blokové aerotriangulace v letech 2009 a 2010

Parametry AAT podle programu MATCH-AT	2009	2010	
Celkový počet bloků AAT	17	16	
Průměrný počet snímků ve standardním bloku 2000 km <sup>2</sup>	476	1030 (k= 2,16)	
Počet snímků na 1 výchozí vlíčovací bod (VB)	8, 6	20, 6 (k= 2,4)	
Počet VB na 100 km <sup>2</sup> snímkaného území	2, 856	2, 846 (k= 0, 996)	
Průměrný počet aut. měřených spojovacích bodů / snímek	30, 6	79, 6 (k= 2,6)	
Průměr středních chyb souřadnic spojovacích bodů	S <sub>X</sub>	0, 083 m	0, 027 m (k= 0,325)
	S <sub>Y</sub>	0, 076 m	0, 022 m (k= 0,289)
	S <sub>H</sub>	0, 146 m	0, 075 m (k= 0,514)
Průměr středních hodnot zbytkových chyb souřadnic na výchozích vlíčovacích bodech	M' <sub>X</sub>	0, 134 m	0,113 m (k= 0,843)
	M' <sub>Y</sub>	0, 149 m	0,100 m (k= 0,671)
	M' <sub>H</sub>	0, 263 m	0, 200 m (k= 0,760)
M' <sub>H</sub> v promile relativní výšky letu	0, 096 ‰	0, 062 ‰ (k= 0,646)	
Průměr středních chyb měření palubní aparaturou GIS	m <sub>x</sub>	0, 211 m	0,116 m
	m <sub>y</sub>	0, 341 m	0, 387 m
	m <sub>H</sub>	0, 174 m	0,120 m
Průměr středních chyb měření palubní aparaturou IMU	m <sub>ω</sub>	0, 011 <sup>0</sup>	0, 011 <sup>0</sup>
	m <sub>φ</sub>	0, 010 <sup>0</sup>	0, 013 <sup>0</sup>
	m <sub>κ</sub>	0, 028 <sup>0</sup>	0, 012 <sup>0</sup>
Průměr jednotkových středních chyb σ <sub>o</sub> / [pixel]	6, 0 μm / 0,4 pixelu	1, 2 μm / 0, 2 pixelu	
charakterizujících přesnost vyrovnání bloků AAT			

I když do roku 2009 byl průměrný počet leteckých měřických snímků 8 na 1 signalizovaný výchozí vlíčovací bod (VB) a při digitálním leteckém měřickém snímkování od roku 2010 jde o 12 – 31 menších snímků, hustota VB na 100 km<sup>2</sup> území ČR zůstává stejná. 7 – 15 % vlíčovacích bodů v jednotlivých blocích nevstupuje do výpočtu digitální automatické aerotriangulace, ale slouží jako *kontrolní body* pro odhad absolutní polohové i výškové přesnosti dobře identifikovatelných *podrobných bodů* uvnitř příslušného bloku digitálních leteckých měřických snímků při následném digitálním *stereofotogrammetrickém vyhodnocení*.

První analýzy 16 bloků AAT s použitím digitálních snímků v přirozených barvách (RGB) ukázaly, že odhady středních chyb souřadnic  $x, y, H$  ( $M_x, M_y, M_H$ ) lze získat vynásobením středních hodnot zbytkových chyb na výchozích vlíčovacích bodech po transformaci bloku do souřadnicového referenčního systému JTSK ( $M'_x, M'_y, M'_H$ ) koeficientem 1,5 až 2,5 (viz Tab. 3).

K odhadu výsledné polohové přesnosti podrobných bodů získaných pointací kurzoru na georeferencovaném digitálním barevném Ortofotu ČR je vhodné vypočítat střední souřadnicovou chybu  $M_{XY}$ ; (viz Poznámka <sup>1)</sup> k Tab. 3), k jejímu čtverci přičíst čtverec střední chyby pointace (obvykle 0,7 pixelu na zemském povrchu) a součet obou čtverců odmocnit podle zákona o přenášení středních chyb. S využitím konkrétních výsledků získaných digitální automatickou aerotriangulací pomocí programu MATCH-AT v 17 blocích v roce 2010 a s uvážením střední chyby pointace kurzorem 0,175 m (0,25 m x 0,7) lze získat odhady parametrů přesnosti v rozmezích, která jsou uvedena v Tab.3.

**Tab. 3.** Odhad dosažitelné přesnosti fotogrammetrického vyhodnocení stereodvojic digitálních snímků a digitálního Ortofota ČR z dat leteckého měřického snímkování v roce 2010

Metoda fotogrammetrického vyhodnocení	digitální stereofotogrammetrie	pointací na Ortofotu ČR
Průměr středních hodnot zbytkových chyb AAT na výchozích vlíčovacích bodech		$M'_x = 0,113$ m $M'_y = 0,111$ m $M'_H = 0,200$ m
Optimální odhad přesnosti digitálního stereofotogrammetrického vyhodnocení (k = 1,5)	$M_x = 0,17$ m $M_y = 0,15$ m $M_{XY} = 0,16$ m <sup>1)</sup> $M_H = 0,30$ m	
$M_H$ v promile relativní výšky letu	0,093 ‰ $h_r$ <sup>3)</sup>	
Optimální odhad přesnosti pointací kurzorem na Ortofotu ČR		$M_{XY} = 0,24$ m <sup>1)</sup> (1 pixel)
Kritický odhad přesnosti <sup>2)</sup> digitálního stereofotogrammetrického vyhodnocení (k = 2,5)	$M_x = 0,28$ m $M_y = 0,25$ m $M_{xy} = 0,27$ m $M_H = 0,50$ m	
$M_H$ v promile relativní výšky letu	0,155 ‰ $h_r$ <sup>3)</sup>	
Kritický odhad přesnosti <sup>2)</sup> pointací kurzorem na Ortofotu ČR		$M_{XY} = 0,32$ m <sup>1)</sup> (1,3 pixelu)

Poznámky:

<sup>1)</sup> Střední souřadnicová chyba  $M_{XY} = [0,5 (M_x^2 + M_y^2)]^{0,5}$

<sup>2)</sup> Kritický odhad se týká zejména hůře identifikovatelných podrobných bodů na digitálních snímcích a Ortofotu ČR, případně i tvarově velmi nestandardních bloků AAT

<sup>3)</sup> Výsledky potvrzují teoretický předpoklad že přesnost výšek při digitálním stereofotogrammetrickém vyhodnocení leží mezi přesností analytického a analogového vyhodnocení snímků na filmu

V současné době se objevují tendence k dalšímu zvyšování rozlišovací schopnosti ortofotografického zobrazení *celého území ČR*, a to s velikostí pixelu 0,10 – 0,12 m na zemském povrchu. Z prvních publikovaných ukázek je zřejmé vyšší rozlišení detailů (subjektivní pocit větší ostrosti obrazu). Menší pixel však také přináší 4násobně zvětšený objem dat ke zpracování i využití a vůbec nemusí přinést zvýšení absolutní polohové přesnosti ortofota, pokud nejsou učiněna speciální opatření (přesné zaměření a signalizace vlíčovacích bodů, aplikace přesnějšího digitálního modelu reliéfu než je dosud používán).

Při úvahách o účelnosti takového záměru je nutno zvážit využitelnost takového produktu na celém území ČR z hlediska ekonomické náročnosti a návratnosti investic.

Reálnou informaci o složení půdního krytu území ČR poskytují Souhrnné přehledy o půdním fondu z údajů katastru nemovitostí [3]. K 31.12.2009. tvoří 88,9 % z celkové plochy ČR (7886492 ha) orná půda, trvalé travní porosty, lesy, vodní plochy, dobývací prostory, neplodná půda, skládky a jiné plochy mimo zastavěná území, kde efektivní využití rozlišení 0,10 m – 0,12 m na zemském povrchu je sotva obhajitelné. Pouze 11,1 % území ČR tvoří chmelnice, vinice, zahrady, zastavěné plochy a nádvoří, komunikace a plochy využívané ke společenským účelům (hřbitovy, sportoviště aj.), kde může být vyšší rozlišení ortofota užitečné (lze spočítat chmelové štoky, keře vinné révy). Nesporné je v případě *sídel* (větších obcí a měst), i když přesností a možnostmi interpretace některých objektů (např. vlastnických hranic mimo zástavbu a v důsledku zakrytí objektů stromy a dopravními prostředky) nemůže suplovat digitální katastrální mapu nebo technickou mapu obce). Při výskytu vyšší zástavby je namísto použití technologie *věrného ortografického zobrazení* (true ortho), která však vyžaduje realizaci většího počtu letových drah a pořízení přesného *digitálního modelu povrchu* (staveb, konstrukcí a vegetace). To se odráží i poměrně vysoké ceně takového produktu. Vzhledem k rozptýlení vhodných lokalit na území ČR půjde vždy o lokální projekty, které již jsou a zřejmě budou i nadále v kompetenci specializovaných soukromých firem.

## 2 LETECKÉ LASEROVÉ SKENOVÁNÍ PRO TVORBU NOVÉHO VÝŠKOPISU ČESKÉ REPUBLIKY

Dosavadní „klasický“ výškopis, pokrývající celé území České republiky, je součástí Základní mapy ČR 1: 10 000 jako grafický vrstevnicový model se základním intervalem vrstevnic 2 m. V rámci tvorby Základní báze geografických dat (ZABAGED®) v letech 1995 – 2000 byl tento model digitalizován do vektorové formy a tak vytvořen *digitální model reliéfu* (ZABAGED® - výškopis) ve formě souboru charakteristických bodů vrstevnic, důležitých pro reprezentaci jejich křivosti a doplněných jejich nadmořskými výškami ve tvaru [x, y, H] v souřadnicovém referenčním systému JTSK a výškovém systému Balt – po vyrovnání. Snahy o jeho revizi a zdokonalení analytickým či digitálním stereofotogrammetrickým vyhodnocením průběhu terénních hran a větší hustoty výškových bodů v rovinatém území sice vedly k redukci velkého počtu hrubých chyb a nehomogenity původního vrstevnicového modelu, ale jeho přesnost, charakterizovaná střední výškovou chybou  $m_H = 0,7 - 1,5$  m v odkrytém terénu, 1 – 2 m v intravilánech a 2 - 5 m v zalesněném území, se nijak nezvýšila.

V souvislosti s přechodem rozlišení ortografického zobrazení celého území ČR na 0,25 m na zemském povrchu a vzhledem k zájmu řady resortů státní správy byl odborníky v Zeměměřickém úřadě zpracován v roce 2008 *Projekt tvorby nového výškopisu území České republiky* [4] a následně byla v roce 2009 podepsána dohoda nejvyšších představitelů ČÚZK, MO ČR a Mze ČR o spolupráci na realizaci tohoto projektu v letech 2009 – 2015 [5]. Jejím předmětem bylo zejména vymezení obsahu a rozsahu spoluúčasti na financování, zajištění technických prostředků a kapacity odborných pracovníků a v neposlední řadě i zásady šíření výsledných databází výškopisu celého území ČR.

Jako technicky i nákladově efektivní byla zvolena metoda *leteckého laserového skenování* v letech 2009 – 2012 a počítačové zpracování získaných geoprostorových dat do finálních produktů označených zkratkami *DMR 4G*, *DMR 5G* a *DMP 1G*. O parametrech leteckého laserového skenování (LLS) a předpokládané formě a přesnosti všech zmíněných produktů referoval K. Brázdil na Sympoziu GIS Ostrava 2010 [6].

V Technickém projektu [7] byly rozděleny působnosti odborných orgánů a složek účastníků Dohody (zejména Zeměměřického úřadu, Vojenského geografického a hydrometeorologického úřadu a 24. základny dopravního letectva MO ČR) a sestaven časový a operační harmonogram.

Pro účely leteckého laserového skenování celé České republiky v letech 2009 – 2012 bylo území státu rozděleno na 3 pásma obdobná těm, která byla definována pro periodické letecké měřické snímkování od roku 2003. Zatímco letové dráhy pro LMS jsou rovnoběžné s osou Y souřadnicového referenčního systému JTSK, bloky i plány letových drah LLS jsou voleny v návaznosti na souřadnicový referenční systém UTM / WGS 84. Bloky mají rozměry 10 x 10 km, 10 x 20 km nebo 10 x 30 km v závislosti na výškové členitosti georeliéfu, tak aby se střední nadmořské výšky sousedních základních modulů 10 x 10 km lišily maximálně o 150 m. V každém bloku byly zvoleny 2 *komparační základny* na rovinných plochách bez vegetačního krytu a na nich geodeticky (zpravidla metodou GPS-RTK) zaměřena síť minimálně 30 kontrolních bodů se střední souřadnicovou a výškovou chybou do 0,06 m.

Po víceméně zkušebním LLS několika bloků v závěru podzimu 2009 byla převážná část bloků v Pásmu Střed (29 460 km<sup>2</sup>) a navíc severní část Pásmu Západ (3150 km<sup>2</sup>) naskenována v období březen – říjen 2010. Realizace těchto prací i v méně příznivém období (léto) byla vynucena dlouho se udržující sněhovou pokrývkou na jaře a zákazem letů po výbuchu sopky na Islandě. Odstranění vlivů rychle rostoucího a hustšího vegetačního krytu na polích tak zvýšilo kapacitní nároky na manuální plošné korekce registrovaných výšek, aby výsledná data reprezentovala v maximální míře rostlý terén (georeliéf). V roce 2010 bylo naskenováno celkem 32 610 km<sup>2</sup> (41, 36 % území ČR). V 1381 pásech LLS bylo zaznamenáno a počítačovým zpracováním určeno *cca 42,7 miliardy bodů* jejich výškami (H) ve výškovém systému Balt – po vyrovnání a souřadnicemi (y,x) v systému JTSK a (E,N) v systému UTM / WGS 84. Ke splnění tohoto úkolu bylo třeba 151 vzletů letounu L 410 FG a 405 letových hodin (z toho 282 hodin vlastního skenování).

K záznamu dat LLS byl použit pronajatý systém *Litemapper 6800* sestávající z leteckého laserového skeneru RIEGL LMS Q-680, záznamového zařízení, palubní aparatury GPS Nova Tel a inerciální měřické jednotky (IMU) firmy IGI. Jejich technické parametry uvádí Tab. 4.

**Tab. 4.** Technické parametry systému Litemapper 6800

Součást systému	Vlastnosti	Technické parametry
Skener RIEGL LMS Q-680	frekvence laserových pulsů	60 – 240 kHz
	preciznost měření délky rajonu	0,02 m
	divergence laserového paprsku	max. 0,5 mrad
	registrovaný počet odrazů	neomezený (full wave)
	skenující mechanika	rotující hranol
	úplný úhel záběru	60 °
	vzorek skenování	rovnoběžné stopy
Aparatura GPS Nova Tel	frekvence snímání prostorové polohy	2 Hz
	střední souřadnicové chyby ( $m_x$ , $m_y$ , $m_H$ )	0,10 m
Aparatura IMU	frekvence snímání úhlových prvků VO	400 Hz
	střední chyby měření úhlů ( $\omega$ , $\phi$ , $\kappa$ )	0,003 °, 0,003 °, 0,007 °

Poznámka: VO = vnější orientace senzoru

Letecké laserové skenování bylo realizováno ze dvou středních relativních výšek letu: 1400 m s frekvencí laserových pulsů 80 kHz (používána v období bez vzrostlé vegetace; blok byl pokryt 12 pásy (střídavě ve směru Z-V a V-Z) a 1200 m s frekvencí 120 kHz pro zajištění lepší průchodnosti laserového pulsu vegetačním krytem (blok byl pokryt 14 pásy). Příčný překryt pásů dosáhl až 50 % v rovinatém území a min. 35 % v horském terénu.

Do konce roku 2010 byl též vytvořen první předpokládaný finální produkt – *Digitální model reliéfu 4. generace*

(DMR 4G) v Pásmu Střed a již i předán k využití několika uživatelům z řad investorů projektu. Tento produkt má formu čtvercové mříže o rozměrech 5 x 5 m orientované ve směru os (Y, X) souřadnicového referenčního systému JTSK nebo (E, N) UTM / WGS 84 (podle potřeb uživatele). V jejich průsečících byly interpolovány výšky z originálních dat LLS, takovým postupem, že nejprve byla provedena redukce původního souboru výškových bodů o průměrné hustotě 1, 6 bodu / km<sup>2</sup>, a to takovým způsobem, že ve čtvercích 5 x 5 m byl vždy vybrán 1 bod o nejnižší nadmořské výšce (odpovídá hustotě 0,04 bodu / m<sup>2</sup>) a výška průsečíku mříže pak odvozena *adaptivní predikcí* z těchto nepravidelně rozložených bodů.

Výšková přesnost DMR 4G byla ověřena třemi způsoby:

- na rovinných plochách 240 komparačních základů v Pásmu Střed, kde byla zjištěna průměrná systematická chyba  $c_H = -0,12$  m a úplná střední výšková chyba 0,14 m (jde o rovinné plochy bez vegetačního krytu). Po eliminaci systematické chyby dosáhla průměrná hodnota směrodatné odchylky  $\sigma_H = 0,08$  m,
- interpolací výšky 1453 trigonometrických a zhušťovacích bodů v Pásmu Střed, kde průměrná systematická chyba činila  $-0,15$  m, úplná střední výšková chyba  $m_H = 0,25$  m a směrodatná odchylka (náhodná složka)  $\sigma_H = 0,20$  m s vědomím, že trigonometrické body byly vesměs určeny trigonometrickým měřením výšek s přesností 0,10 – 0,15 m (v rovinném terénu i horší v případech nestandardního průběhu vertikální refrakce),
- geodetickým měřením v terénu s různým typem půdního krytu a sklonitosti (viz Tab.5), kdy původním předpokladům o výškové přesnosti DMR 4G (0,30 m v otevřeném terénu a 1 m v lesích) vyhověly s rezervou všechny sledované typy kromě těles komunikací, kde shlazená 5metrová mříž nemůže vystihnout výšky hran náspů, výkopů, chodníků a pod., pokud bod mříže není lokalizován přímo na této hraně.

**Tab.5.** Ověření přesnosti DMR 4G v území s různým druhem povrchu a typem vegetačního krytu <sup>1), 4)</sup>

Druh povrchu a typ vegetačního krytu	Systematická chyba	Úplná střední chyba	Maximální chyba
Orná půda	- 0, 01 m	0,13 m	0, 66 m
Louky a pastviny	- 0, 09 m	0,18 m	0, 85 m <sup>2)</sup>
Zpevněné plochy v intravilánu	- 0, 01 m	0, 07 m	0, 26 m
Parkové plochy v intravilánu	- 0, 09 m	0,14 m	0, 22 m
Křoviny a lesní plochy	- 0, 02 m	0,13 m	0, 85 m <sup>2)</sup>
Silnice a cesty	- 0, 25 m <sup>3)</sup>	0, 34 m <sup>3)</sup>	0, 77 m <sup>3)</sup>

Poznámky:

- 1) Odchylka  $\Delta H$  je definována jako rozdíl nadmořská výška LLS minus výška zjištěná geodeticky
- 2) Příčinou může být hustý a vyšší vegetační kryt na některých polích a loukách v období LLS
- 3) Kontrolní body byly často voleny na hranách a DMR 4G je výrazně shlazený
- 4) Ověření provedeno ve 25 lokalitách na 970 bodech

Produkt DMR 4G je plně využitelný pro dosažení primárního cíle v resortech ČÚZK a MO ČR a Mze ČR - tvorby digitálního ortofotografického zobrazení celého území České republiky s rozlišením 0,25 m na zemském povrchu, od roku 2010 s vyšší absolutní polohovou přesností objektů v úrovni georeliéfu. Tento „shlazený“ mřížový model je dále využitelný i pro řadu úloh řešených orgány státní správy jako je např.:

- stanovení objemů odtoků srážek z povodí,
- modelování krizových stavů, např. šíření a následků velkých průmyslových havárií,
- tvorba územně analytických podkladů podle zákona č. 183/2006 Sb.,
- poskytnutí výškových dat z území ČR pro účely Evropské unie v rámci projektu INSPIRE (podle zákona č. 123/1998 Sb., ve znění pozdějších předpisů a příslušné legislativy Evropské unie).

### 3 DOSTUPNOST NOVÝCH ZDROJŮ GEOPROSTOROVÝCH DAT PRO TVŮRCE A UŽIVATELE GIS

Správce a distributorem obou nových zdrojů geoprostorových dat, která budou pořízena na *celém území* České republiky do konce roku 2012, je pro uživatele v civilní sféře *Zeměměřický úřad* v Praze. „Výdejním“ místem je *GEOPORTÁL ČÚZK* (<http://geoportál.cuzk.cz>), kde uživatelé naleznou všechny potřebné informace o formách a podmínkách poskytování produktů *Ortofoto ČR* a *DMR 4G* od počátku roku 2011.

Výdejní jednotkou barevného digitálního Ortofoto ČR s rozlišením 0,25 m na zemském povrchu je 1 mapový list Státní mapy 1: 5000 (2,5 x 2 km). Ortofoto ČR je poskytováno *bezplatně* orgánům veřejné správy (státní správy a územní samosprávy) pro výkon úkolů v rozsahu jejich územní působnosti.

V přiměřeném rozsahu je poskytováno *bezplatně* i vysokým školám pro zpracování bakalářských, diplomových a doktorských prací, eventuálně pro nekomerční výzkumné aktivity. I pro ostatní uživatele je cena pro nekomerční využití velmi atraktivní – pouhých 150 Kč za 1 mapový list SM 5 (2 366 255 Kč za celou ČR). Tato cena se nezměnila přesto, že přechodem na digitální letecké měřické snímkování došlo k výraznému zlepšení barevného podání a homogenity obrazových dat.

*Digitální model reliéfu 4. generace* v Pásmu Střed (ve tvaru mříže 5 x 5 m) bude k dispozici během 1. čtvrtletí 2011 ve dvou variantách:

- v souřadnicovém referenčním systému JTSK s matematickou orientací, tj,  $x = -y_{JTSK}$ ,  $y = -x_{JTSK}$ , výdejní jednotkou je list Státní mapy 1: 5000 (objem dat cca 250 000 výškových bodů),
- v souřadnicovém referenčním systému UTM/WGS 84, kde výdejní jednotkou je oblast 2 x 2 km se souřadnicemi rohů dělitelnými 2000 /objem dat cca 160 000 výškových bodů).

V obou variantách jsou nadmořské výšky bodů poskytovány ve výškovém referenčním systému Balt – po vyrovnání.

DMR 4G i další budoucí produkty (DMR 5G a DMP 1G) budou poskytovány *bezplatně* ústředním správním úřadům, z jejichž rozpočtů je Projekt tvorby nového výškopisu České republiky financován (ČÚZK, MO ČR a MZe ČR), jim podřízeným státním orgánům a jimi zřízeným nebo založeným právními osobami, k zajištění úkolů obrany státu, krizového řízení a integrovaného záchranného systému, státní správy v zemědělství, lesním a vodním hospodářství; dále též státním podnikům Povodí a státnímu podniku Lesy České republiky, které financují pronájem leteckého laserového skeneru. Výše jmenované produkty v rozsahu do 1000 km<sup>2</sup> budou rovněž *bezplatně* poskytnuty vysokým školám pro vědecké a studijní účely [5]. Cena za výdejní jednotky DMR 4G pro ostatní uživatele bude stanovena počátkem roku 2011 a publikována na Geoportálu ČÚZK.

### 4 ZÁVĚRY

Rok 2010 se stal v České republice historickým přelomem pokud jde o získávání aktuálních geoprostorových dat pokrývajících celé území státu. Na 36 % území České republiky bylo realizováno *digitální letecké měřické snímkování* v barevném (RGB) a blízkém infračerveném (NIR) pásmu spektra s rozlišením cca 0,20 m na zemi s primárním cílem vytvořit v rámci dlouhodobého projektu periodického leteckého měřického snímkování *datbanku* těchto digitálních obrazových záznamů a *digitální barevné ortofotografické zobrazení celého území státu* s rozlišením 0,25 m na zemi. Tím bylo v zásadě ukončeno dosavadní letecké měřické snímkování na film a následné přesné skenování fotografických snímků do rastrové formy nutné pro další počítačové zpracování.

Současně bylo úspěšně realizováno *letecké laserové skenování* cca 42 % území státu v rámci Projektu tvorby nového výškopisu území České republiky. Jeho cílem je vytvořit *digitální model reliéfu* vysoké hustoty a přesnosti (DMR 5G) a také *digitální model povrchu* celého státního území (DMP 1G) do konce roku 2015. Tím budou uspokojeny požadavky řady odvětví státní správy na poskytování kvalitních výškopisných informací a závazky České republiky v rámci projektu INSPIRE. Některé důležité úkoly orgány státní správy i včetně mezinárodních závazků mohou být plněny s využitím produktu DMR 4G ve tvaru mříže 5x 5 m, který je k dispozici již do poloviny roku po realizaci leteckého laserového skenování v příslušném územním pásmu (celá ČR do konce roku 2012).

**LITERATURA**

- [1] Šíma, J. (2009) Průzkum absolutní polohové přesnosti ortofotografického zobrazení celého území České republiky s rozlišením 0,50, 0,25 resp. 0,20 m v území na Západočeské univerzitě v Plzni. Geodetický a kartografický obzor, 2009 č.9, pp. 214 do 220.
- [2] Memorandum o spolupráci při přípravě, řešení, testování a realizaci projektu „Digitální mapa veřejné správy“. Ministerstvo vnitra ČR, Praha 2008.
- [3] Souhrnné přehledy o půdním fondu z údajů katastru nemovitostí České republiky. Český úřad zeměměřický a kartografický, Praha 2010.
- [4] Projekt tvorby nového výškopisu České republiky. Zeměměřický úřad, Praha 2008.
- [5] Dohoda o spolupráci při tvorbě digitálních databází výškopisu území České republiky. Český úřad zeměměřický a katastrální, Ministerstvo obrany ČR, Ministerstvo zemědělství ČR, Praha 2009.
- [6] Brázdil, K. (2010) Projekt tvorby nového výškopisu České republiky. Sborník - Symposium GIS Ostrava 2010, Ostrava, 24-27 ledna, VŠB-TU Ostrava (nestránkováno).
- [7] Technický projekt tvorby nového výškopisu České republiky. Zeměměřický úřad, Praha 2008.