

## VYUŽITÍ DAT LETECKÉHO LASEROVÉHO SKENOVÁNÍ NA TOCÍCH A V PŘÍBŘEŽNÍCH ZÓNÁCH

Kateřina UHLÍŘOVÁ<sup>1</sup>, Hana NOVÁKOVÁ<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., Podbabská 2582/30,  
160 00, Praha 6, Česká republika

<sup>1</sup> [uhlirova@vuv.cz](mailto:uhlirova@vuv.cz)

<sup>2</sup> [hana\\_novakova@vuv.cz](mailto:hana_novakova@vuv.cz)

### Abstrakt

Metoda leteckého laserového skenování (dále LLS) patří v současnosti k nejmodernějším technologiím pro pořizování prostorových geografických dat. Od konce roku 2009 probíhá v České republice nové výškopisné mapování celého území s využitím této metody. Vzhledem k hustotě bodů, jejich přesnosti a budoucího pokrytí celého území ČR se dá předpokládat, že se produkty LLS stanou jedním ze základních výškopisných podkladů. Díky spolupráci se Zeměměřickým úřadem v Pardubicích jsou od roku 2009 na pracovišti Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka, v.v.i. zkoumány možnosti využití těchto výrazně přesnějších datových zdrojů k aktualizaci vodohospodářských dat, zejména Digitální báze vodohospodářských dat – DIBAVOD. Referát navazuje na řešení a výsledky v roce 2009, kdy byla zpracována testovací data v oblasti Dobruška (47 km<sup>2</sup>) a je zaměřen především na testování možného využití dat LLS na tocích a v příbřežních zónách. K výzkumu byla použita data z probíhajícího výškopisného mapování ČR (2009 - 2012). Jako studijní lokality byly zvoleny dvě oblasti o ploše 300 km<sup>2</sup> v Polabí (okolí Poděbrad a Nymburka) a na Jičínsku, které dohromady zahrnují více než 80 km zkoumaných toků. Hlavními cíli výzkumu byla analýza přesnosti dat pro stanovení záplavových území a možnost identifikace výškových překážek na tocích. K porovnání základních charakteristik výškopisných dat byla současně použita data fotogrammetrického měření, geodetického zaměření a zdokonalený výškopis ZABAGED<sup>®</sup>. Prostorové analýzy byly prováděny v prostředí ArcGIS.

**Klíčová slova:** letecké laserové skenování, Lidar, vodní hospodářství, digitální model terénu, záplavová území.

**Keywords:** airborne laser scanning, Lidar, water management, digital terrain model, floodplain area.

### 1 ÚVOD

Technologie leteckého laserového skenování (LLS) je v současnosti využívána k pořizování prostorových geografických dat nového výškopisu České republiky [1]. Mapování probíhá od konce roku 2009 v rámci projektu nového výškopisného mapování území České republiky (2009 - 2012) pod záštitou Českého úřadu zeměměřického a katastrálního, Ministerstva zemědělství a Ministerstva obrany ČR. Základními produkty budou 2 typy digitálního modelu reliéfu (DMR) a digitální model povrchu (DMP).

Díky spolupráci Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka, v.v.i. (VÚV) se zpracovatelem dat, Zeměměřickým úřadem v Pardubicích (ZÚ), je možné zkoumat využití testovacích i koncových dat ve vodním hospodářství (např. k aktualizaci vodohospodářských dat). V loňském roce byly na testovacích datech (pořízených v rámci experimentálního skenování) v okolí Dobrušky (47 km<sup>2</sup>) řešeny první úkoly z této oblasti, viz [2].

## 2 CÍLE

Výzkum v roce 2010 navázal na předchozí výsledky s cílem ověřit jejich platnost v dalších lokalitách, na koncových datech a pro toky odlišných charakteristik. Zaměřuje se proto do dvou typů lokalit: Polabí (rovina, velký vodní tok a jeho přítoky) a Jičínsko (pahorkatina, podhorský tok).

Tento článek se bude věnovat dvěma hlavním analýzám:

- identifikace příčných překážek v korytě vodního toku včetně porovnání s jiným zdrojem dat
- využitelnost dat v oblasti příbřežních zón jako podkladu pro stanovení záplavových území

## 3 POPIS ÚZEMÍ A CHARAKTERISTIKY DAT

V závislosti na postup pořizování a zpracování dat LLS na pracovišti ZÚ a s ohledem na cíle projektu byly vybrány následující oblasti (2 bloky – každý o rozloze 300 km<sup>2</sup>):

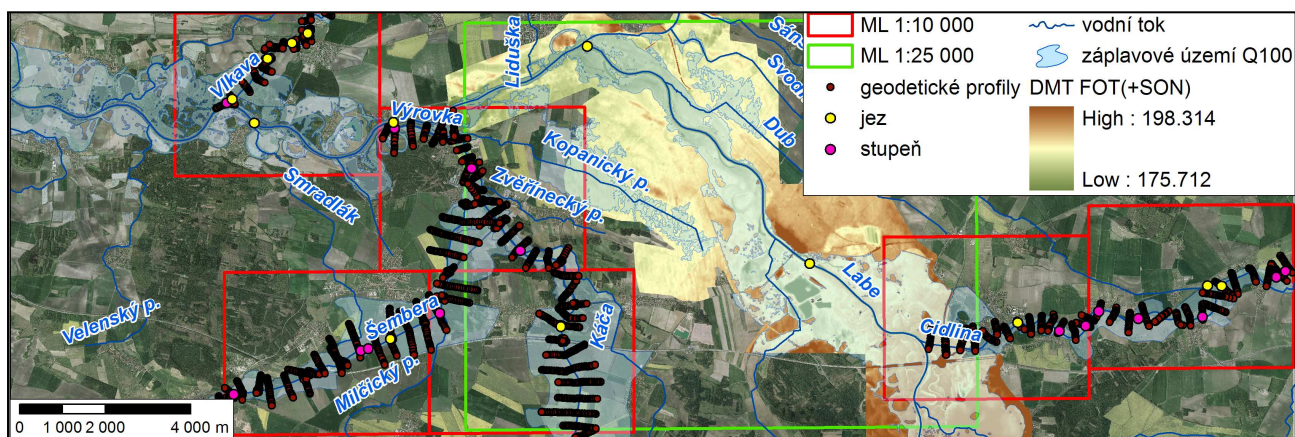
- S\_030 – Jičínsko (Javorka)
- S\_044 – Polabí – Lysá nad Labem - Nymburk - Poděbrady - Velký Osek (Labe, Výrovka, Šembera, Vlkava, Cidlina)

Skenování v těchto lokalitách proběhlo 20.11.2009 (S\_030) a 21.11.2009 (S\_044). Data byla stejně jako v případě experimentálního sběru snímána z výšky 1200-1500 m, čemuž odpovídá průměrná hustota mračka 1,2 bod.m<sup>-2</sup>. V těchto oblastech jsou stanovena záplavová území na výše vyjmenovaných tocích.

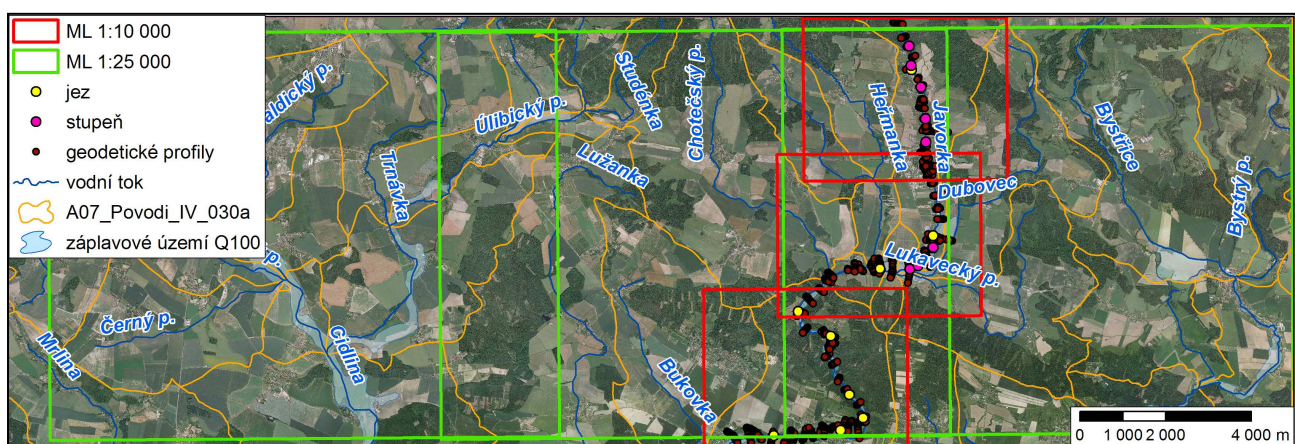
Pro řešení byla použita následující data (výčet včetně roku pořízení):

- data leteckého laserového skenování – zapůjčeno od Zeměměřického úřadu v Pardubicích 2010 (20.-21.11.2009)
  - DMR4G – digitální model reliéfu 4. generace ve formě gridu 5x5 m (střední chyba výšky 0,30 m) [1]
  - DMR5G– digitální model reliéfu 5. generace ve formě TIN (střední chyba výšky 0,18 m – odkrytý terén, 0,30 m zalesněný terén) [1] - v okolí toku Javorky
  - klasifikovaná data rostlého terénu („ground“) ve formě TIN (střední chyba výšky není stanovena z důvodu absence manuálních kontrol) – v okolí toků v Polabí,
- geodetické podklady (zaměření příčných řezů) pro určení záplavových území – zapůjčeno od Povodí Labe s.p. 2010 (Cidlina 1998, Šembera 2004, Javorka 2004, Výrovka 2006, Vlkava 2008)
- fotogrammetrické měření + sonar – zapůjčeno od Povodí Labe s.p. (2005 – 2008)
- data Technicko-provozní evidence geodatabáze ISyPo (Informační Systém Povodí) - osy toků, objekty na tocích (mosty, jezy, stupně aj.) - zapůjčeno od Povodí Labe s.p., aktualizace průběžná, zapůjčení dat 2010
- zdokonalený výškopis ZABAGED<sup>®</sup> (grid 10 x 10 m) – zapůjčeno od ČÚZK, aktualizace průběžná, zapůjčení 2010
- vrstvy vodních toků, vodních nádrží, záplavových území Q100 z databáze DIBAVOD – VÚV T.G.M., v.v.i., aktualizace průběžná

Zájmové oblasti včetně rozsahu vstupních dat jsou zobrazeny na Obr. 1 a Obr. 2.



Obr. 1. S\_044 Polabí – rozložení vstupů a výstupů



Obr. 2. S\_030 Jičínsko – rozložení vstupů a výstupů

#### 4 ANALÝZY - POSTUP ŘEŠENÍ A VÝSLEDKY

Obě analýzy navazují na řešení v předchozím roce, kdy byl výzkum zaměřen na tok Dědina a jeho záplavové území. Základní postupy jsou shodné s předchozím řešením, v některých případech došlo k určitým inovacím.

Příprava vstupních dat spočívala v první řadě v jejich převodu z textového formátu do formátu geodatabáze ArcGIS Desktop jako třídy prvků nebo rastru.

##### 4.1 Identifikace příčných překážek v korytě vodního toku

V roce 2009 bylo cílem zjistit, zda je možné rozlišit v podélném profilu toku Dědina 3 určité stupně (v obci Dobruška), což se u stupňů s rozdíly hladin 0,5 m a 0,7 m jednoznačně podařilo. Analýzám v roce 2010 předcházelo průzkum zdrojů, které by mohly obsahovat geografické informace o překážkách na vodních tocích. Jediným nalezeným zdrojem byla databáze evidence správců toků – ISyPo (Informační systém povodí). Evidence existuje od 60. let 20. století a prochází neustálým vývojem a aktualizací. Polohová přesnost dat ISyPo by měla být na úrovni mapy 1 : 10 000, i když v extrémních případech může být chyba u objektů díky odvození od kalibračních objektů kilometráže až 100 m. Polohová přesnost 5 – 10 m je podle pracovníků povodí Labe pro účely databáze ISyPo dostatečná.

Základní zpracování dat ISyPo ukázalo, že některé z dotčených objektů (jezy, stupně, mosty) nejsou zahrnuty nebo aktualizovány, a že nejsou evidovány výšky objektů nebo rozdíly hladin. V databázi chybí například 3 stupně na toku Dědina analyzované v loňském roce. Při terénním průzkumu bylo tedy ověřeno, zda konkrétní objekty ISyPo na vodním toku skutečně existují, byly změřeny jejich základní výškové údaje

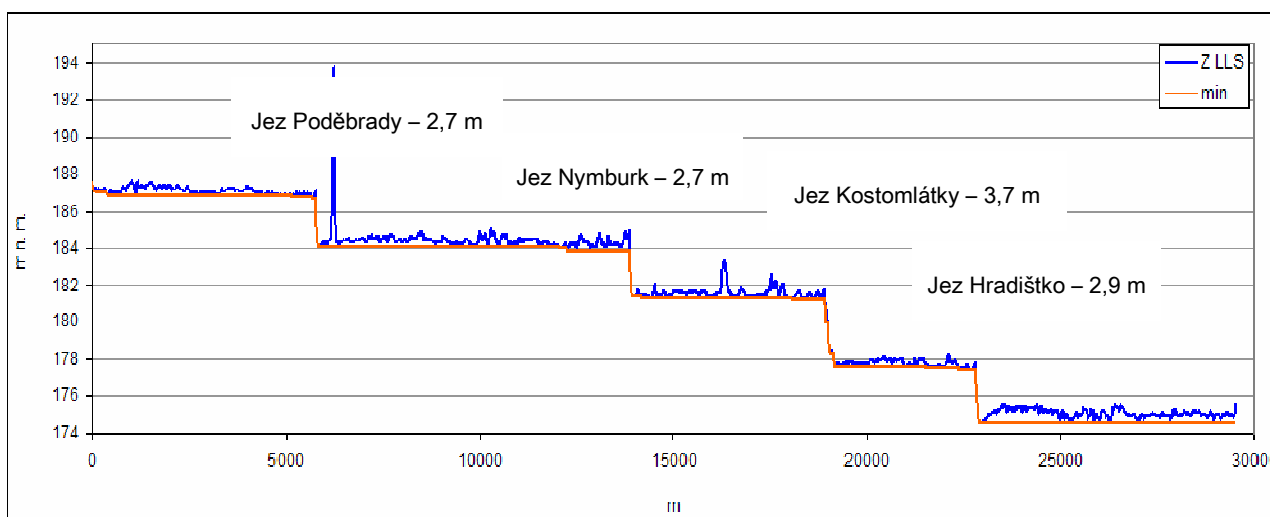
(zejména rozdíl hladin) a provedena fotodokumentace. Informace o jezích na Labi byly převzaty z [3]. Podle databáze ISyPo se na řešených tocích kromě Labe nachází 43 stupňů, hrazení a jezů na délce cca 50 km toků. Z toho jich bylo v terénu prozkoumáno 36. Největší odchylku v poloze měl jez na toku Javorce a to 160 m. Očíslované překážky včetně hodnoty rozdílu hladin a popisu jsou součástí mapových výstupů (překážky ISyPo).

Dalším krokem v této části úkolu byla analýza podélného profilu z dat LLS. K tomu účelu je nezbytné mít k dispozici polohově přesnou vrstvu toků, aby osa toku probíhala v ose koryta patrného v datech LLS. Současné datasety vodních toků (DIBAVOD, ISyPo) tento požadavek nesplňují, takže bylo nutné osu toku vytvořit. Rozestup vrcholů podélného profilu byl zvolen vzhledem k požadované přesnosti polohy nalezených objektů 10 m u Labe a cca 5 m u ostatních toků. K sestrojení podélného profilu hladiny toku je nutné ke stanovení výšek využít co nejpřesnější model terénu, tzn. DMR5G ve formě TIN případně terén ve formě TIN. V případě velkého toku jako Labe, kde se očekávají velké jezy a kde se řeší větší území, je možné čerpat hodnoty ze stejných dat LLS převedených do rastru 1x1 m (z kapacitních důvodů).

Pokud je profil orientován shora dolů, lze jej bod po bodu zjednodušit tím, že se místo vyšší hodnoty nadmořské výšky vezme předchozí minimum. Základní předpoklad pro toto vyhlazení je skutečnost, že v datech LLS obvykle nedochází k odrazům od vodní hladiny, takže úroveň hladiny přibližně odpovídá krajním odrazům u břehu. Čím blíže jsou odrazy k toku, to znamená čím nižší mají nadmořskou výšku, tím je hladina reprezentována přesněji. Tímto postupem se z podélného profilu vyloučí vliv odrazů dále od břehu - těch s vyšší nadmořskou výškou. Skoky se v podélném profilu hladiny dají snadno určit a odfiltrovat podle požadovaného rozdílu hladin.

Z výsledků vyplývá, že z vyhlazených podélných profilů jsou jednoznačně rozeznatelné velké jezy na Labi (Obr. 3) i ostatních tocích. Ze stupňů lze identifikovat ty, kde je rozdíl hladin větší než 0,4 m. U některých toků lze dosáhnout lepších výsledků v závislosti na šířce, charakteru toku a příbřežních zón. Obecně lze říci, že z dat LLS nelze jednoznačně identifikovat překážky, které způsobují rozdíl hladin menší než 0,4 m, vyhrazené stavidlové jezy (např. Víkava) a stupně zanesené sedimentem.

Identifikované stupně s rozdílem hladin větším než 0,4 m jsou (včetně číslování a hodnoty rozdílu hladin) součástí mapového výstupu (překážky LLS).



Obr. 3. Podélný profil úseku Labe nevyhlazený a vyhlazený včetně 4 jezů

#### 4.2 Využitelnost dat v oblasti příbřežních zón

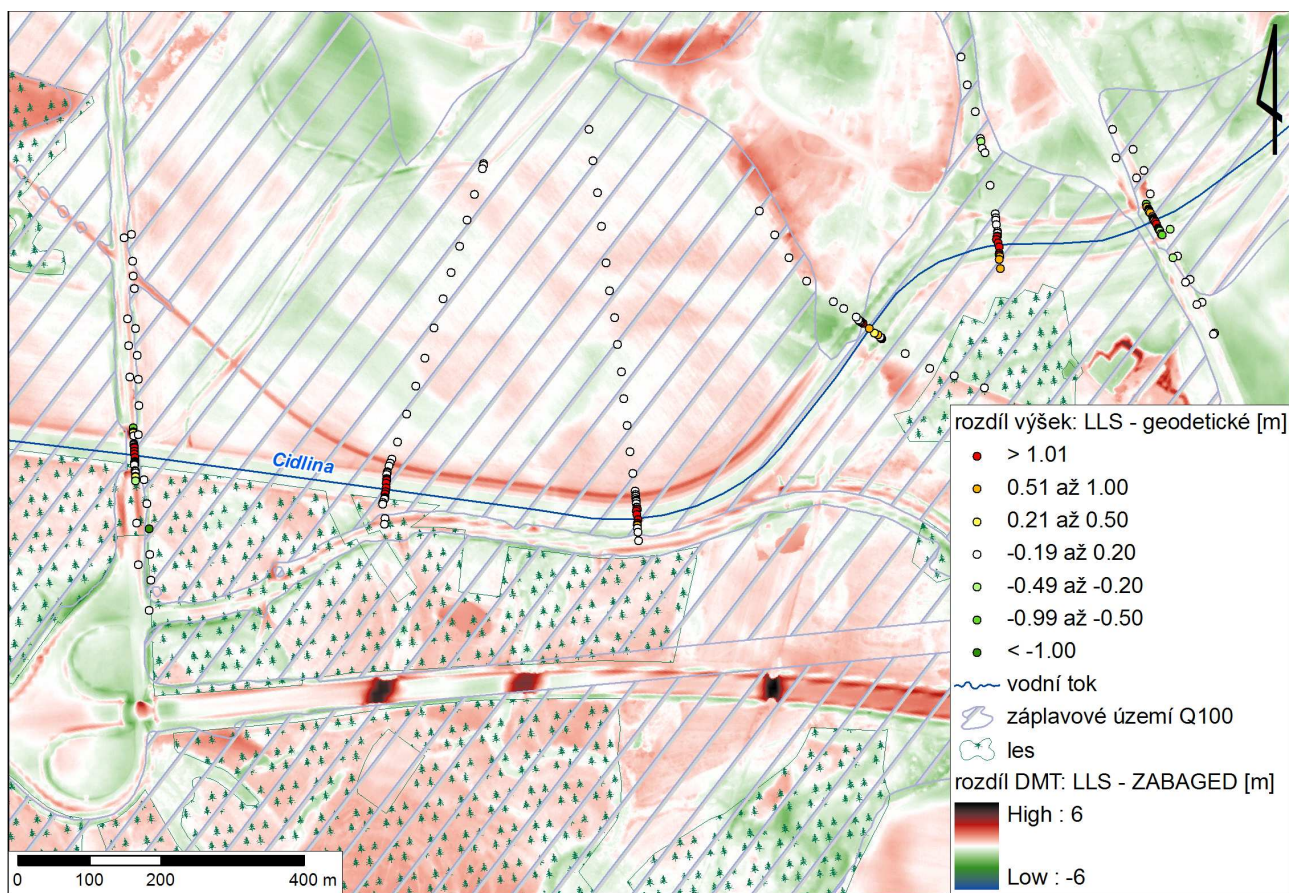
Letecké laserové skenování patří vedle klasického geodetického zaměření (profilů koryta toku a údolních profilů) a fotogrammetrického mapování (inundací) k základním metodám pořizování geodetických podkladů pro hydrodynamické modely. Díky stále rostoucí přesnosti a hustotě dat LLS si lze položit otázku, v jakých

oblastech by mohla tato data nahradit finančně a technicky náročné geodetické zaměření. Z předchozího výzkumu na toku Dědina (40 příčných profilů) vyplývá, že použitelnost dat LLS v podobě DMR5G jako podkladu pro stanovení záplavových území se omezuje pouze na inundace. Vlastní koryto (zejména oblast pod vodou) a objekty na toku musí být dodatečně zaměřeny geodeticky.

V letošním řešení bylo zkoumáno velké množství profilů (344). Výškopisná data byla analyzována stejným způsobem jako v předchozím roce, to znamená bylo porovnáno geodetického zaměření (GEO), LLS a ZABAGED® v geodeticky zaměřených profilech pro určení záplavových území Výrovky, Šembery, Víkavy, Cidlina (dolní část) a Javorky. Byly vyhodnoceny rozdíly jednotlivých výškopisných podkladů ve všech geodeticky zaměřených bodech. Hlavní důraz byl kladen na odchylku LLS a GEO, která nejlépe vypovídá o přesnosti dat LLS. V korytech toků se potvrdil rozdíl nadmořských výšek obou zdrojů dat. Proto se pozornost zaměřila do oblastí inundací. Oproti vyhodnocení z roku 2009 byly v jednotlivých profilech odděleny části odpovídající korytu a inundaci a současně byly odfiltrovány konstrukce mostů a lávek, aby bylo výsledné statistické vyhodnocení (Tab. 1) co nejvíce průkazné. Pro grafické zobrazení výsledků analýz bylo kromě barevného podkladního rastru rozdílu LLS a ZABAGED® použita bodová vrstva odchylek LLS a GEO v příčných profilech v inundaci. Tyto vrstvy tvoří základ mapových výstupů v měřítku 1 : 10 000, rozložení je na Obr. 1 a Obr. 2. Na Obr. 4 je ukázka těchto dat v blízkosti ústí Cidlina do Labe. V mapových výstupech nejsou z důvodu zpřehlednění uvedeny hodnoty v korytech.

**Tab 1.** Statistické vyhodnocení odchylek LLS a GEO.

rozdíl LLS-GEO	Inundace				Koryto			
	Průměr [m]	Sm. odchylka [m]	Min [m]	Max [m]	Průměr [m]	Sm. odchylka [m]	Min [m]	Max [m]
<b>Šembera</b>	-0.07	0.29	-0.75	4.35	0.10	1.05	-6.87	2.18
<b>Víkava</b>	-0.06	0.17	-0.65	1.27	0.41	1.19	-2.47	4.06
<b>Výrovka</b>	-0.10	0.14	-1.19	0.84	0.16	0.98	-3.79	5.07
<b>Cidlina</b>	-0.12	0.13	-0.44	0.99	0.46	0.85	-2.73	3.37
<b>Javorka</b>	-0.02	0.20	-1.56	2.65	0.47	1.13	-4.29	5.07
<b>Všechny toky</b>	<b>-0.06</b>	<b>0.21</b>	<b>-1.56</b>	<b>4.35</b>	<b>0.34</b>	<b>1.08</b>	<b>-6.87</b>	<b>5.07</b>

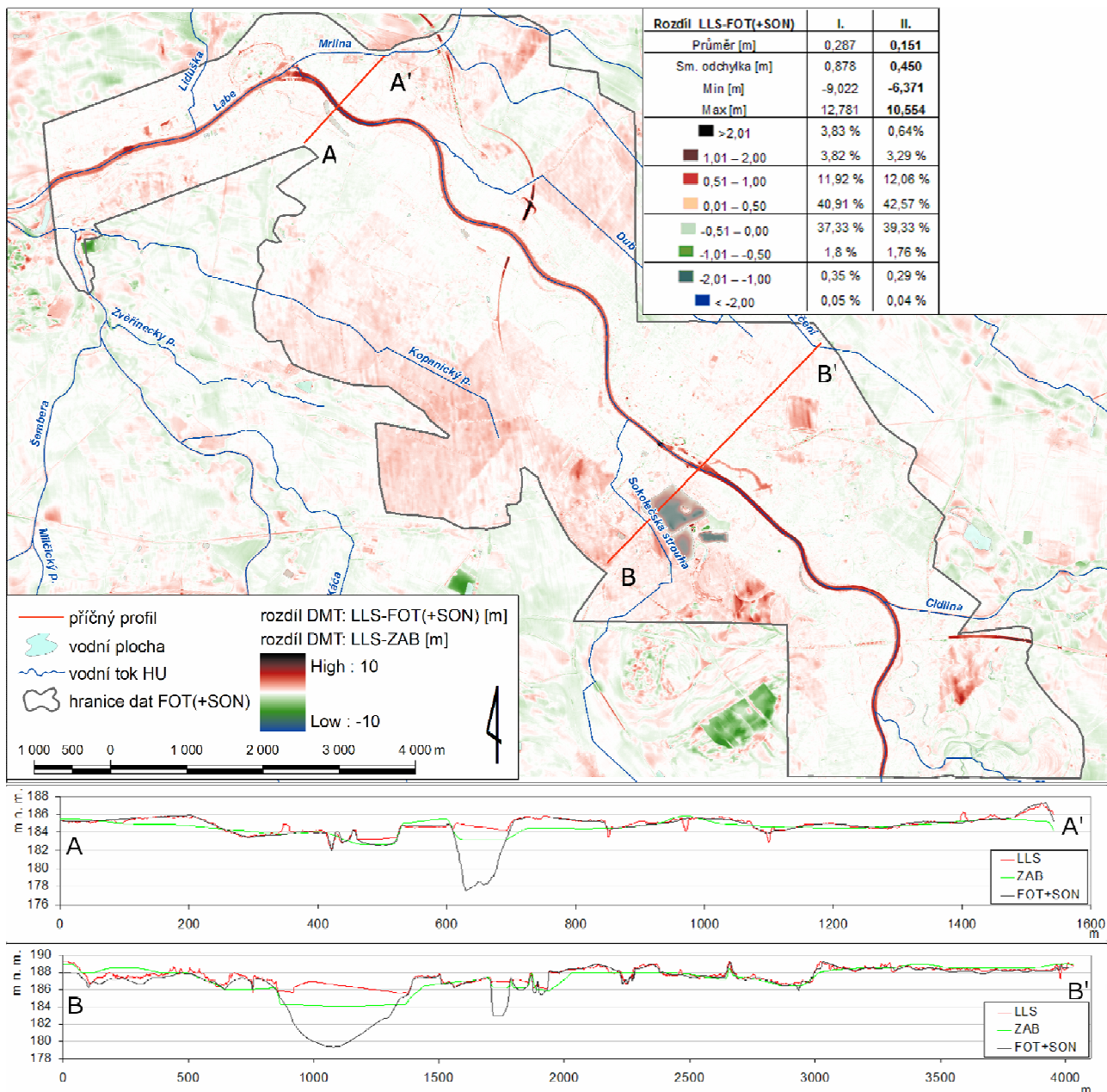


Obr. 4. Odchyly výškopisných dat v záplavovém území Cidliny

V příbřežních zónách Labe existuje druhý používaný výškopisný podklad pro stanovení záplavových území a to fotogrammetrické zaměření (FOT), zde je navíc v kombinaci se zaměřením koryta Labe a některých vodních ploch sonarem (SON). Druhou možnou analýzou výškopisných podkladů tedy bylo porovnání těchto dat s daty LLS („ground“). Jelikož se oba datové zdroje mohou považovat za plošně spojitě, dají se vyjádřit rastrovým datovým modelem a tedy rozdílovým rastrem (1x1 m), v tomto případě LLS mínus FOT(+SON) a LLS mínus ZABAGED v oblastech okolo fotogrammetrického zaměření. Druhý rozdílový rastr, který je zároveň podkladním rastrem při bodovém porovnání LLS a GEO, je zajímavý v případě, že zaměřené profily nebo oblast FOT nedosahují k hranici záplavových území a tedy velmi pravděpodobně bylo počítáno s daty ZABAGED®.

Statistické vyhodnocení a procentuální rozdělení hodnot rozdílového rastru LLS mínus fotogrammetrie v kombinaci se sonarem bylo provedeno pro 2 případy, a to pro celou oblast fotogrammetrie (I.), nebo pro oblast fotogrammetrie bez toků, nádrží, většiny silničních komunikací (II.). V druhém případě byly z dat odfiltrovány známé chyby a nebylo tedy bráno v úvahu měření sonarem, nepřesné zanesení silnic ve FOT, případně neaktuálnost fotogrammetrických dat. Odchyly výškopisných dat ve formě rastru, ukázkové příčné profily a statistické vyhodnocení ukazuje Obr. 5.

Mapovým výstupem je vzhledem k nižšímu rozlišení vstupních dat 1 list v měřítku 1 : 25 000 (viz Obr. 1).



Obr. 5. Rozdílové rastry, ukázkové příčné profily a statistické vyhodnocení v záplavovém území Labe

Výsledky analýzy přesnosti ve sledovaných profilech ukazují, že v inundaci jsou výšky LLS průměrně 6 cm pod geodetickým zaměřením se směrodatnou odchylkou 21 cm. Podobné porovnání rastry LLS s fotogrammetrickými daty (s odfiltrovanými vodními toky, vodními plochami a silnicemi) představuje průměrný rozdíl 15 cm a směrodatnou odchylku 45 cm. Za předpokladu, že nejpřesnějším datovým zdrojem je geodetické zaměření, naznačují výsledky z obou let, že data LLS (DMR5G) jsou přesnější než data fotogrammetrického měření. Různé rozlišení dat je patrné i na příčných profilech na Obr. 5.

## 5 DISKUZE A ZÁVĚR

Z podoby testovacích i koncových dat se dá předpokládat, že produkty nového výškopisného mapování metodou LLS jsou a budou kvalitní výškopisná data, která najdou uplatnění v mnoha oborech lidské činnosti. Ve vodním hospodářství představuje přesnost a hustota nových výškopisných dat možnost rozvoje a aktualizace stávajících digitálních vodohospodářských dat (DIBAVOD) včetně možnosti užití

automatizovaných metod. Nicméně základním úkolem musí být zpřesnění geometrie vodního toku, kde by podle předchozího výzkumu měla být využitelná data LLS, protože v nich lze velmi dobře rozpoznat koryta toků od šířky toku cca 4 m.

Ukazuje se také, že data LLS jsou vhodná pro určení nebo zpřesnění polohy příčných objektů na toku, kdy je rozdíl hladin větší než 0,4 m, což by mohl být dobrý základ pro zanesení příčných překážek do databáze a tedy jejich katalogizaci.

Na základě porovnání geodetického zaměření a dat LLS se potvrdilo, že s daty LLS nelze počítat jako s jediným výškopisným zdrojem pro stanovení záplavových území, jelikož v korytech je většinou odchylka příliš velká. Naproti tomu se dá s odkazem na průměrnou odchylku v inundacích konstatovat, že data LLS (DMR5G) jsou vhodná jako podrobný zdroj výškopisu pro určení geometrie inundace při tvorbě map povodňového nebezpečí a rizika. Porovnání statistických vyhodnocení dat LLS a FOT a jejich rozlišení naznačuje, že přesnost dat LLS je oproti FOT větší. Se zvýšením přesnosti a podrobnosti fotogrammetrických dat se pojí větší pracnost při zpracování.

Výsledkem rozsáhlých analýz je 9 listů tematických map „Využití dat leteckého laserového skenování na tocích a v příbřežních zónách“ v měřítku 1 : 10 000 a 1 list v měřítku 1 : 25 000. Tyto výstupy si kladou za cíl co nejvíce zpřehlednit výsledky. Obsahem map jsou:

- porovnání výškopisných dat - rozdíly digitálních modelů terénu LLS a ZABAGED®
- porovnání výškopisných dat - body geodetických profilů v inundaci s barevně odlišenou odchylkou GEO a LLS
- příčné překážky (stupně, jezy, hrazení) - ISyPo
- příčné překážky (stupně, jezy, hrazení) - LLS
- podkladové informace - vodní toky a vodní nádrže, lesy

Velká podrobnost dat LLS přináší problémy při zpracování tak obrovských objemů a klade vysoké nároky na výpočetní techniku. Pravděpodobně nebude možné řešit rozsáhlé oblasti vcelku a bude nutná optimalizace dat a členění na menší celky. Pro představu byl objem dat LLS v textovém formátu před převodem do geodatabáze téměř 13 GB a jejich objem v geodatabázi před analýzami překračoval 22 GB.

Všechny výsledky jako jsou mapové výstupy, příčné profily geodetického zaměření, podélné profily hladiny toků a další materiály budou přístupné na [www.dibavod.cz/laserscan](http://www.dibavod.cz/laserscan).

## 6 PODĚKOVÁNÍ A POUŽITÝ SOFTWARE

Příspěvek vznikl za podpory výzkumného záměru MZP0002071101 „Výzkum a ochrana hydrosféry – výzkum vztahů a procesů ve vodní složce životního prostředí, orientovaný na vliv antropogenních tlaků, její trvalé užívání a ochranu, včetně legislativních nástrojů“. Data z leteckého laserového skenování pro výzkumné účely poskytl Zeměměřický úřad, pracoviště Pardubice. Data ke stanovení záplavových území a data ISyPo zapůjčil podnik Povodí Labe, s.p., se sídlem v Hradci Králové.

Prostorové výpočty a analýzy byly prováděny v prostředí ArcGIS 9.3 s využitím nadstaveb Spatial Analyst, 3D Analyst, ETGeoWizard a XTools Pro a v tabulkovém procesoru MS Excel s využitím VBA.

## LITERATURA

Brázdil, K. (2009) Projekt tvorby nového výškopisu území České republiky. Geodetický a kartografický obzor, roč. 55/97, číslo 7, s.145–151. 2009.

Uhlířová, K. (2010) Možnosti využití leteckého laserového skenování pro vodohospodářské účely. Sborník - Symposium GIS Ostrava 2010, Ostrava, 24. - 27.1.2010, VŠB - Technická univerzita Ostrava, CZ\_3\_5.

Povodí Labe, státní podnik. <http://www.pla.cz>, Zdymadla na středním Labi. cit. 15.9.2010.