

Možnosti využití laserového snímání povrchu pro vodohospodářské účely

Autoři: Ing. Kateřina Uhlířová, Ph.D., Mgr. Aleš Zbořil – VÚV T. G. Masaryka, v. v. i., Podbabská 2582/30, 160 00 Praha 6, uhlirova@vuv.cz, tel: 220 197 345, zboril@vuv.cz, tel: 220 197 400

Úvod

Letecké laserové skenování (LLS) patří v současnosti k nejmodernějším technologiím pro pořizování prostorových geografických dat. Nachází své uplatnění zejména pro tvorbu digitálního modelu reliéfu (DMR), kde je zastoupen pouze rostlý terén, a digitálního modelu povrchu (DMP), který zahrnuje kromě terénu i stavby a vegetační kryt. Uplatnění této moderní technologie se předpokládá i v České republice, kdy se v letech 2009 – 2012 předpokládá realizovat nové výškopisné mapování celého území republiky právě s využitím metody LLS.

V souvislosti s tímto projektem byly na pracovišti Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka, v. v. i. (VÚV) zkoumány možnosti využití těchto výrazně přesnějších datových zdrojů k aktualizaci vodohospodářských dat, zejména Digitální báze vodohospodářských dat (DIBAVOD). Hlavními cíli výzkumu bylo zpřesnění polohy os vodních toků, identifikace příčných překážek v korytě toku v souvislosti se stanovením podélného profilu vodní hladiny a posouzení vhodnosti použití dat LLS v příbřežních zónách jako vstupu do 1D nebo 2D hydrodynamických modelů pro stanovení záplavových území.

Připravované výškopisné mapování

Český úřad zeměměřický a katastrální připravil ve spolupráci s Ministerstvem zemědělství a Ministerstvem obrany ČR projekt nového výškopisného mapování celého území České republiky (ČR). Jedním z hlavních důvodů je nedostatečná přesnost a vysoká míra generalizace současných digitálních modelů reliéfu, které neumožňují interpretovat objekty mikroreliéfu s požadovanou přesností. Aplikace metody LLS nabízí dosažení vysoké hustoty výškových bodů i výškové přesnosti, která v zásadě odpovídá současným i perspektivním požadavkům uživatelů geografických informací v ČR. Metoda LLS se oproti ostatním návrhům pro zlepšení databází výškopisu (využití digitální stereofotogrammetrie nebo automatizované obrazové korelace překrývajících se měřických snímků) jeví ekonomicky a produkčně nejefektivnější, o čemž svědčí i její stále častější použití ve vyspělých zemích Evropy, USA a v Kanadě. Skenování a zpracování dat bude zahájeno na podzim 2009 v pásmu „Střed“ a úzce souvisí s tvorbou periodického ortofotografického zobrazení celého území ČR v tříletém intervalu.

Plánované letecké laserové skenování bude mít tyto základní parametry: Výška letu nad terénem se bude pohybovat mezi 1200 – 1500 m a průměrný překryt sousedních skenovacích pasů bude 40 - 50 %, čímž bude dosažena hustota bodů minimálně 1bod/m² se střední chybou měření délky prostorového rajonu do 0,03 m.

Po zpracování dat vzniknou v různých časových horizontech tyto 3 realizační produkty:

1. **Digitální model reliéfu území České republiky 4. generace (DMR 4G)** ve formě mříže (GRID) 5 x 5 m s úplnou střední chybou výšky 0,3 m v odkrytém terénu a 1 m v zalesněném terénu.
2. **Digitální model reliéfu území České republiky 5. generace (DMR 5G)** ve formě nepravidelné sítě výškových bodů (TIN) s úplnou střední chybou výšky 0,18 m v odkrytém terénu a 0,3 m v zalesněném terénu.

3. **Digitální model povrchu území České republiky 1. generace (DMP 1G)** ve formě nepravidelné sítě výškových bodů (TIN) s úplnou střední chybou výšky 0,4 m pro přesně vymezené objekty (budovy) a 0,7 m pro objekty přesně neohrazené (lesy a další prvky rostlinného půdního krytu).

[1]

Základní princip LLS – sběr a zpracování dat

Data o zemském povrchu jsou získávána pomocí vysílání laserových paprsků v podobě pulzů ze skeneru, který je umístěn na leteckém nosiči. LLS má vlastní zdroj záření a není tedy odkázán na sluneční svit (jako fotogrammetrie). Jsou zaznamenány odrazy od povrchu a to jak zemského tak i od objektů na zemském povrchu. Poloha bodu je vypočítána prostorovým rajonem, kdy vzdálenost bodu od nosiče je určena časem, který uplyne mezi vysláním paprsku a přijetím jeho odrazu od terénu nebo dalších objektů zpět do skeneru a směr paprsku je určen z prvků vnější orientace měřených pomocí aparatury GPS a inerciálním navigačním systémem. [2, 3]

Odraz laserového paprsku může být jediný nebo vícenásobný. K vícenásobnému odrazu (s výrazným výškovým rozdílem) dochází především v lesích a na okrajích budov. V lesích je obvykle část energie paprsku odražena od vysoké vegetace, zatímco zbytek pronikne níže. Jeho díl se opět odrazí kupříkladu od nízké vegetace a zbylá část paprsku se dostane až k terénu a zpět do skeneru. Uvádí se, že přibližně 10 až 25 % paprsků pronikne lesním porostem. Z hlediska prostupnosti vegetace je tedy nejvhodnější doba pro sběr dat v období vegetačního klidu. Další podmínkou je absence sněhové pokrývky.

Data pořízená pomocí LLS mají podobu tzv. mračna bodů. Jedná se o nepravidelně rozmístěná bodová data. Pomocí automatických procesů filtrace a klasifikace se rozliší odrazy od staveb, vegetace a rostlého terénu a separují se hrubé chyby. Filtrovaná data „rostlého“ terénu pak slouží jako základ digitálního modelu reliéfu (DMR). [3]

Pohled (2D a 3D) na filtrované a klasifikované vrstvy terénu, vegetace a budov je vidět na obr. 1. Oblast bez dat vymezuje hladinu toku.

Mapování vodních ploch a dna

Pro využití ve vodním hospodářství je podstatné chování laserového paprsku v blízkosti vodních ploch. Skenery vhodné k celoplošnému mapování používají laser v blízkém infračerveném spektru. Ze spektrální charakteristiky vody je známo, že voda toto záření téměř zcela pohlcuje. Pokud je účelem zjistit hranici vodní plochy (u povodní například záplavovou čáru) nebo geometrii inundačního území, je tato vlnová délka velmi vhodná. V datech se vodní plocha bude jevit jako oblast s velmi nízkou hustotou bodů. Přibližnou výšku hladiny je možno zjistit z výšek bodů odražených přímo od břehů. [4]

Pro mapování pod vodní hladinu je v případě laseru nutné použít zelenou nebo modrozelenou část spektra, která vodou není pohlcována a může tak projít až ke dnu a od něj se odrazit zpět. Ve světě existují systémy pro mapování pobřežních vod využívají principu duálního použití jak infračerveného záření (mapuje hladinu), tak i současně záření zelenomodrého (mapuje dno). Systém se nazývá DIAL – Differential Absorption Lidar. U velmi průzračné vody a klidné hladiny lze mapování provádět teoreticky až do hloubky 50 m. Pro tyto systémy je nutná výrazně nižší výška letu (200 – 400 m). [4] Pro mapování dna vodních toků a ploch ve větších hloubkách se v našich podmínkách používají zejména sonary umístěné na plavidlech.

Popis území a charakteristiky dat

K řešení byla použita testovací data z lokality Dobruška ve východních Čechách. Prostor, který byl zaměřen pomocí LLS, má rozlohu přibližně 47 km². Nadmořská výška se na území

pohybuje od 268 do 425 m n. m. Území je poměrně intenzivně zemědělsky využíváno. Orná půda pokrývá téměř 60 % území, lesní porosty představují 20 % rozlohy, 10 % připadá na sídla a 7 % na trvalé travní porosty. Lokalita není příliš sklonitá: sklon do 5 % má 65 % území, sklonu 5 až 10 % odpovídá 22 % plochy.

Z vodohospodářského hlediska byla pozornost zaměřena především na tok Dědina (v některých zdrojích se nazývá Zlatý potok). Délka úseku, který protéká zaměřeným územím, je cca 9 km. Charakter toku je na většině území přirozený se šířkou koryta 6 – 8 m. V intravilánu města Dobrušky je v úseku cca 1 km koryto upravené, lichoběžníkového tvaru, opevněné kamenem do betonu se třemi příčnými stabilizačními stupni s výškou od dolní hladiny 0,5 m, 0,7 m a 0,3 m v době terénního průzkumu (pro orientaci budou v dalším textu uváděny tyto výšky, ačkoli rozdíly hladin jsou samozřejmě trochu odlišné a závisí na aktuálním stavu vody). Šířka ve dně se v tomto úseku pohybuje od 2 do 6-ti metrů. Normální hloubka vody je do 15 cm, jen pod stupni jsou poměrně hluboké tůně.

Experimentální sběr dat LLS v této lokalitě proběhl ve dnech 24. 4. a 26. 6. roku 2008. Data byla pořízena z výšky 1200 – 1500 m a hustota mračna je cca 1,2 bod/m².

Data jsou primárně pořizována v souřadnicovém referenčním systému WGS-84 a v elipsoidické výšce. Poskytnuta byla v zobrazení UTM (zóna 33N) v textovém ASCII formátu (X, Y, Z). Následně byla na pracovišti VÚV převedena do standardního souřadného systému S-JTSK East North a výškového systému Balt po vyrovnání. Hodnoty výšek jsou zaokrouhlené na milimetry. Pro řešení byly poskytnuty následující sady dat:

- Klasifikované mračno bodů (1,2 bod/m²) – např. vrstva terén, budovy, vegetace atd., střední souřadnicová chyba - 0,18 m.
- Digitální model reliéfu v podobě DMR 4G (5 x 5 m), střední souřadnicová chyba - 0,30 m.

Analýza možností zpřesnění geometrie vodního toku

V datech LLS jsou velmi dobře rozpoznatelná koryta toků. Ukázalo se, že polohová přesnost současných dat vodních toků je v porovnání s daty LLS podstatně nižší. Rozdíl činí místy až 20 metrů. Odlišnosti mohou mít několik příčin:

- datasey ZABAGED[®] a DIBAVOD odpovídají generalizací zákresu měřítku 1 : 10 000
- nepřesnosti digitalizace v důsledku neprůzornost hustým vegetačním doprovodem toku na ortofotosnímku
- jiné chyby.

Na obr. 2 je znázorněn jeden z případů, kdy osa vodního toku současné databáze neprochází osou koryta a na několika místech je i mimo koryto. Koryto toku je dobře zřetelné jak z mezer mezi body LLS, tak z vytvořeného modelu TIN. Důvodem je v tomto případě neprůhlednost doprovodné vegetace na ortofotosnímku.

Z analýzy dat vyplývá, že data LLS mohou být vhodným zdrojem pro zpřesnění průběhů os malých vodních toků a zjištění břehových čar plošných vodních toků.

V současné době je vyvíjen postup automatické generace os toků z DMT z dat LLS.

Identifikace příčných stupňů ve vodního toku

K nalezení příčných stupňů je nezbytnou podmínkou přesná osa toku a co nejpřesnější model terénu, to znamená TIN z mračna bodů vrstvy terén. Obr. 3 zobrazuje TIN úseku toku se dvěma stupni (převýšení 0,5 a 0,7 m) včetně jejich detailů. Hodnoty u bodů s krokem cca 5 m označují nadmořskou výšku (vpravo) a výškový rozdíl od níže položeného bodu (vlevo). Červeně jsou zvýrazněny body nejbližší stupňům. V pravém dolním rohu je fotografie horního

stupně (0,7 m). Součástí obrázku je i podélný profil hladiny toku zobrazeného úseku, kde stupně tvoří znatelné skoky. Takto se podařilo stanovit všechny 3 stupně. Obtížnější bylo určení skluzu o výšce cca 0,3 m, který je umístěn necelé 3 m od neodfiltrovaného mostu. I přes tuto okolnost se podařilo stupeň identifikovat. Z výsledků vyplývá, že na základě dat LLS lze nalézt příčné překážky s výškou od 0,3 m. Dalším záměrem bude metodu zautomatizovat a uplatnit ji na tocích různého charakteru.

Podklad pro stanovení záplavových území

LLS patří vedle klasického geodetického zaměření profilů koryta toku a údolních profilů a fotogrammetrického mapování inundací k základním metodám pořizování geodetických podkladů pro hydraulické modely. Stále rostoucí přesnost a hustota dat LLS si klade otázku, zda by mohla tato data alespoň částečně nahradit finančně a technicky náročné geodetické zaměření. V zájmovém území je možno přistoupit k vzájemnému porovnání výškopisných dat, neboť v roce 2002 byla na toku Dědina stanovena záplavová území a mezi geodetické podklady patřilo fotogrammetrické mapování (pouze dolní část toku) a geodetické zaměření podrobných profilů koryta toku i údolních profilů (rok 1999). Celou situaci včetně následně popsání srovnání zobrazuje obr. 4.

V oblasti, kde je k dispozici nejvíce výškopisných dat, byly provedeny analýzy různých DMR vzniklých na základě leteckého laserového skenování (označeno LLS), fotogrammetrie (FOT) a ZABAGED[®] zdokonaleného výškopisu (ZAB). Vzhledem k podrobnosti porovnávaných dat (FOT - vzdálenost bodů cca 1 m až 20 m, ZAB - grid 10 m, LLS - grid 5 m) bylo rozlišení rozdílových rastrů stanoveno na 5 m. Výsledné rozdíly jsou barevně znázorněny v pravé části obr. 4. Vyplývá z nich, že LLS je průměrně 0,36 m pod úrovní FOT se směrodatnou odchylkou 0,33 m. Kladné hodnoty v levé části jsou způsobeny chybou vzniklou při testovacím skenování. Rozdíly LLS a ZABAGED[®] jsou výraznější a nahodilejší, střední hodnota rozdílu je také -0,36 m a směrodatná odchylka je 0,56 m. Jak se dalo očekávat, větší rozdíly jsou patrné především v místech koryta toku, a to zejména v porovnání se ZABAGED[®]. Výškopis ZABAGED[®] nezahrnuje geometrii koryt menších toků.

Další srovnání se týkalo přímo příčných profilů toku a inundací. V celém úseku bylo k dispozici asi 40 geodeticky zaměřených profilů, jejichž průměrná vzdálenost byla cca 200 m. Nadmořské výšky všech dostupných zdrojů byly vztaženy k polohovému umístění jednotlivých geodeticky zaměřených bodů. Porovnány byly nadmořské výšky z geodetického zaměření (GEO), laserového leteckého snímání (LLS), fotogrammetrického mapování (FOT) a z gridu ZABAGED[®] 10 x 10 m zdokonalený výškopis (ZAB). Kromě toho byl přidán další profil z dat LLS (krok 0,5 m), aby se zjistilo, jak LLS vystihuje lomové terénní linie koryta a inundačního území. Obr. 4 obsahuje ve své dolní části 4 charakteristické příčné profily z různých oblastí. Dochází k uspokojivé shodě LLS a GEO. Ve většině případů leží výška změřená fotogrammetricky nad a výška změřená laserovým skenováním pod geodetickým zaměřením. V oblasti fotogrammetrie se průměrné rozdíly výšek v korytě pohybují kolem 0,36 m GEO - LLS a 0,57 m FOT - GEO. Pro inundační území jsou tyto hodnoty cca 0,25 m v obou případech (profily A a B). Ve střední části se hodnoty LLS pohybují 0,30 – 0,40 m pod hodnotami GEO (profil C). Naopak k výborné shodě došlo u profilů v horní části toku - údolí v lese (profil D).

Profilům ze ZABAGED[®] odpovídá menší měřítko i rozlišení rastru 10 metrů. Výsledky porovnání digitálních modelů terénu i profilů mohou ukazovat na systematickou chybu LLS. Je třeba brát v úvahu, že tvary koryt určené geodeticky nemusí být vzhledem ke svému pořízení v roce 1999 úplně aktuální.

Kromě analýzy rozdílu různých DMR byly z dat LLS vygenerovány vrstevnice (equidistanta 2 m) a porovnány se současnými vrstevnicemi ZABAGED[®]. Výsledné mapky, vztahující se

k rozdílnému využití území (les, orná půda, intravilán), ukazuje obr. 5. Vyplývá z nich, že k výraznému zpřesnění výškopisu dojde především na území lesů. V ostatních případech nepřekračují rozdíly mezní chybu, která činí polovinu vzdálenosti mezi vrstevnicemi.

Diskuze a závěr

Nové výškopisné mapování metodou LLS přinese kvalitní výškopisné informace, které najdou uplatnění v mnoha oborech lidské činnosti. Z pohledu vodního hospodářství umožní přesnost a hustota nových výškopisných dat rozvoj a aktualizaci dat stávajících (DIBAVOD). Kromě toho se otevře cesta různým automatizovaným metodám zpracování dat a grafických produktů.

Základem bude zpřesnění sítě vodních toků, včetně aktualizace jejich kilometráže. K identifikaci výškových objektů na i nad vodním tokem (tzn. stupně, jezy, mosty atd.) by mohl přispět automatický postup analýzy podélného profilu vodní hladiny. Data LLS se stanou základním z geodetických podkladů a budou hrát velkou roli při tvorbě map povodňového nebezpečí a rizika, které jsou požadovány Evropskou směrnicí. Z analýzy testovacích dat vyplývá, že po odstranění systematických chyb by data měla být vhodná pro určení geometrie inundace i koryta některých drobných vodních toků, kde je malá hloubka vody. V případě velkých vodních toků je potřeba provést další výzkum a zvážit využití dalších metod pro mapování terénu pod hladinou. Geodetické zaměření bude potřeba v případě objektů na vodním toku, u koryt s nezanedbatelnou hloubkou vody a jiných specifických případech. Neoddiskutovatelný smysl bude mít přesný DMR při stanovení rozvodnic a ploch povodí, které jsou základem k určení objemu srážek. Tento výzkum neproběhl, protože zkoumaná oblast nebyla pro tyto analýzy dostatečně rozlehlá. Přesnost a hustota DMR z LLS umožní zpracování studií a plánovacích dokumentací pro přípravu retenčních nádrží (např. preventivní protipovodňová opatření, akumulace vody, atd.). DMR poskytne dostatečně podrobná data pro nejrůznější modelování v oblasti ochrany povrchových i podzemních vod.

Problémem, se kterým se bude potřeba při zpracování vypořádat, jsou obrovské objemy dat a tedy vysoké nároky na výpočetní techniku. Objem bodové vrstvy třídy terén ve formátu shp byl pro celé zkoumané území (47 km²) 7,8 GB. Pravděpodobně nebude možné řešit rozsáhlé oblasti a nutností bude data optimalizovat a členit je na menší celky.

Použitý software

Prostorové výpočty a analýzy byly prováděny v prostředí ArcGIS 9.3 s využitím nadstavbe Spatial Analyst, 3D Analyst, ArcHydro, ETGeoWizard a XTools Pro.

Poděkování

Článek vznikl za podpory VZ 0002071101 – „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“, 2005 – 2011.

Data z testovacího laserového snímání pro výzkumné účely poskytl Zeměměřický úřad, pracoviště Pardubice.

Data ke stanovení záplavových území zapůjčil podnik Povodí Labe s.p. se sídlem v Hradci Králové.

Literatura

[1] Brázdil, K. (2009): Projekt tvorby nového výškopisu území České republiky, ročník 55/97, 2009, číslo 7, 145 - 151 str., Geodetický a kartografický obzor.

[2] Šíma, J. (2009): Abeceda leteckého laserového skenování, ročník 2009, číslo 3, 22 - 25 str., GeoBusiness.

[3] Dušánek, P. (2008): Tvorba digitálních modelů terénu z dat leteckého laserového skenování a jeho využití pro aktualizaci výškopisu ZABAGED, Diplomová práce na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy v Praze na Katedře aplikované geoinformatiky a kartografie. Vedoucí diplomové práce Ing. Markéta Potůčková, Ph.D.

[4] Dolanský, T. (2004): Lidary a letecké laserové skenování, Acta Universitatis Purkynianae 99, Studia geoinformatica, Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem, 2004, ISBN 80-7044-575-0

Souhrn česky

Letecké laserové skenování (LLS) patří k nejmodernějším technologiím pro pořizování prostorových geografických dat. Nachází své uplatnění zejména pro tvorbu digitálního modelu reliéfu a digitálního modelu povrchu. V letech 2009 - 2012 se připravuje nové výškopisné mapování území České republiky s využitím technologie LLS. V souvislosti s tímto projektem byly na testovacích datech z lokality Dobruška zkoumány možnosti využití těchto přesnějších datových zdrojů k aktualizaci vodohospodářských dat, zejména DIBAVOD (Digitální báze vodohospodářských dat). Výsledky jsou obsahem tohoto článku.

Cílem byla analýza využitelnosti dat LLS ke zpřesnění polohy os vodních toků a identifikace příčných překážek v korytě vodního toku v souvislosti se stanovením průběhu vodní hladiny. Kromě toho bylo součástí výzkumu i porovnání přesnosti různých digitálních modelů terénu a posouzení vhodnosti použití dat LLS v příbřežních zónách jako vstupu do hydrodynamických modelů pro stanovení záplavových území.

Souhrn anglicky

Airborne Laser Scanning (ALS) belongs to modern technologies for production of geospatial data. It is used mainly for production of digital terrain models and digital surface models. New altimetric survey of the whole state territory using ALS technology is prepared in the Czech Republic in 2009 – 2012. In connection to this project, potential utilization of ALS data in water management was examined on pilot area around Dobruska town, particularly the update of DIBAVOD (digital database of water management data). The results are the content of this article.

More accurate position of stream line and identification of vertical cross objects in streams in connection to water level determination were some of the goals. Comparison of different digital elevation models (emphasis on accuracy) and suitability assessment of using ALS data as input in hydrodynamic models to specify floodplain areas were also part of the research.

Klíčová slova

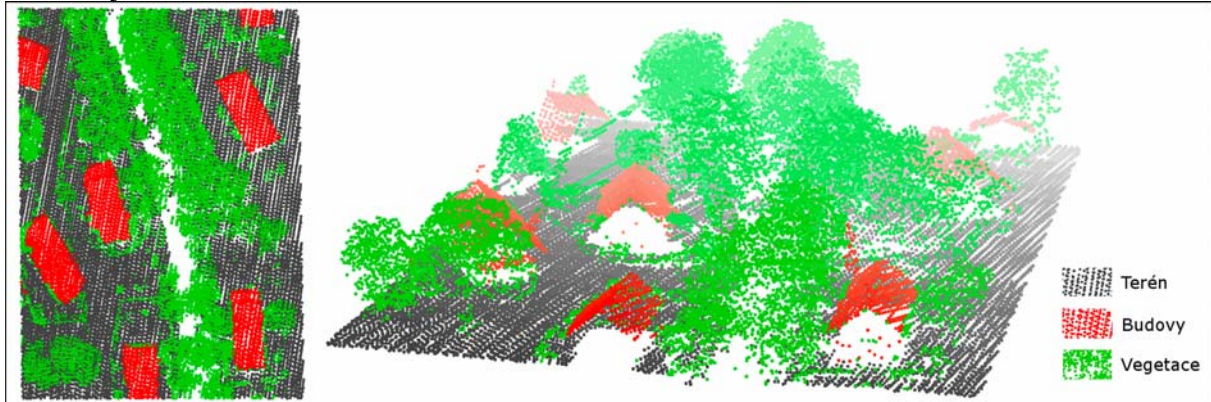
Vodní hospodářství, letecké laserové skenování, digitální model terénu, záplavová území

Keywords

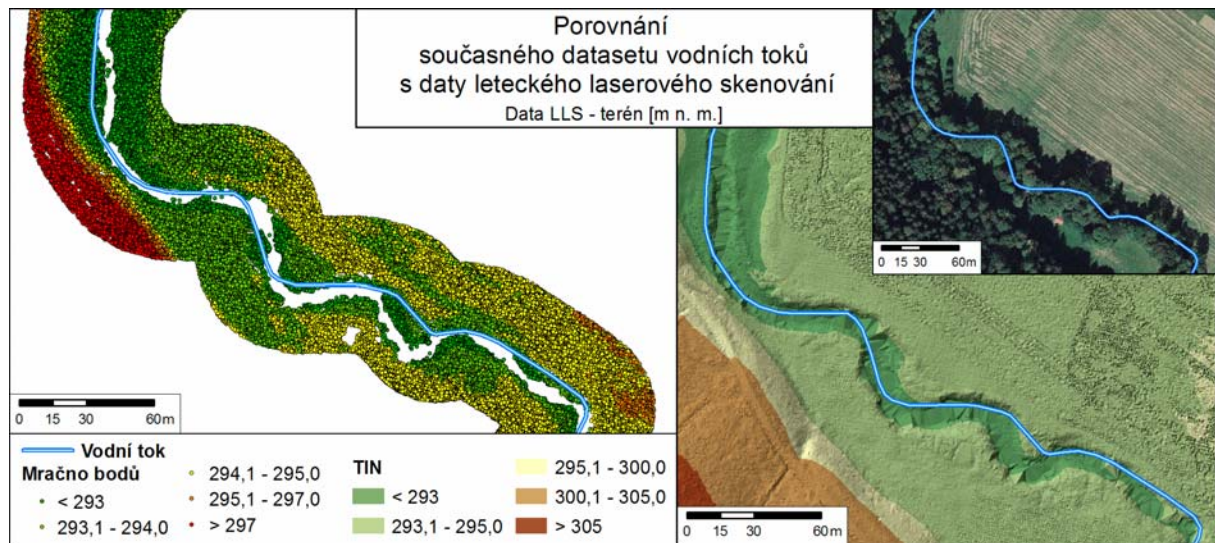
Water management, Airborne laser scanning, digital terrain model, floodplain area

Ing. Kateřina Uhlířová

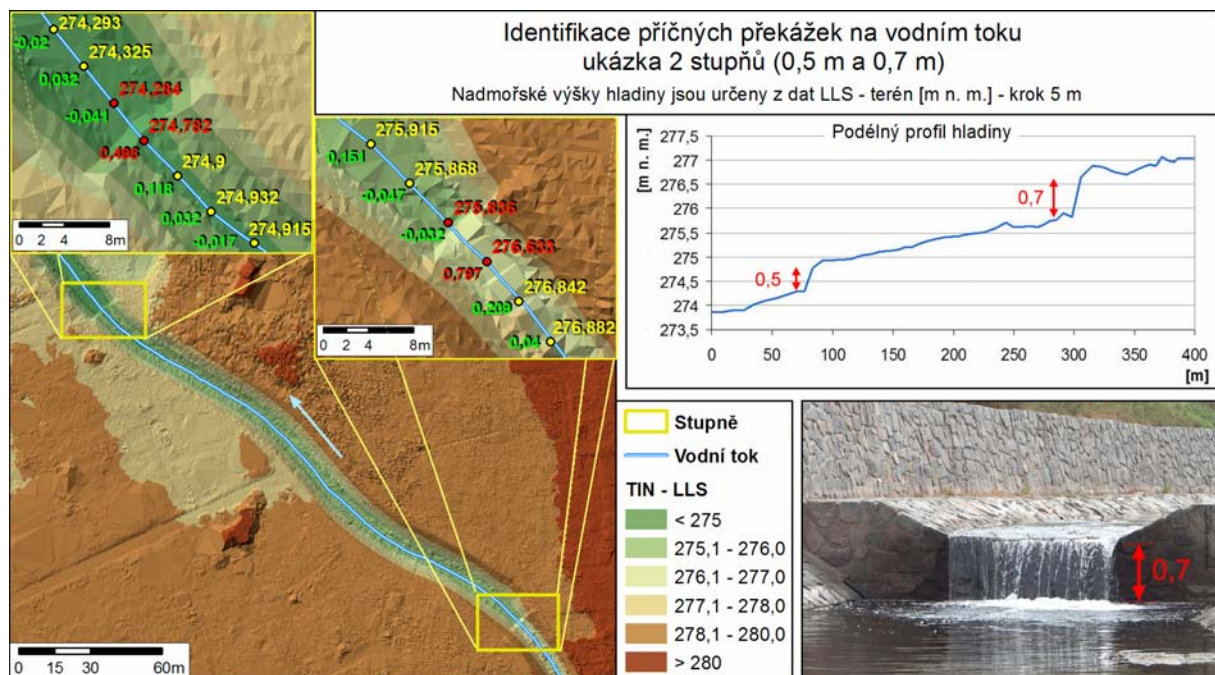
Obrázky



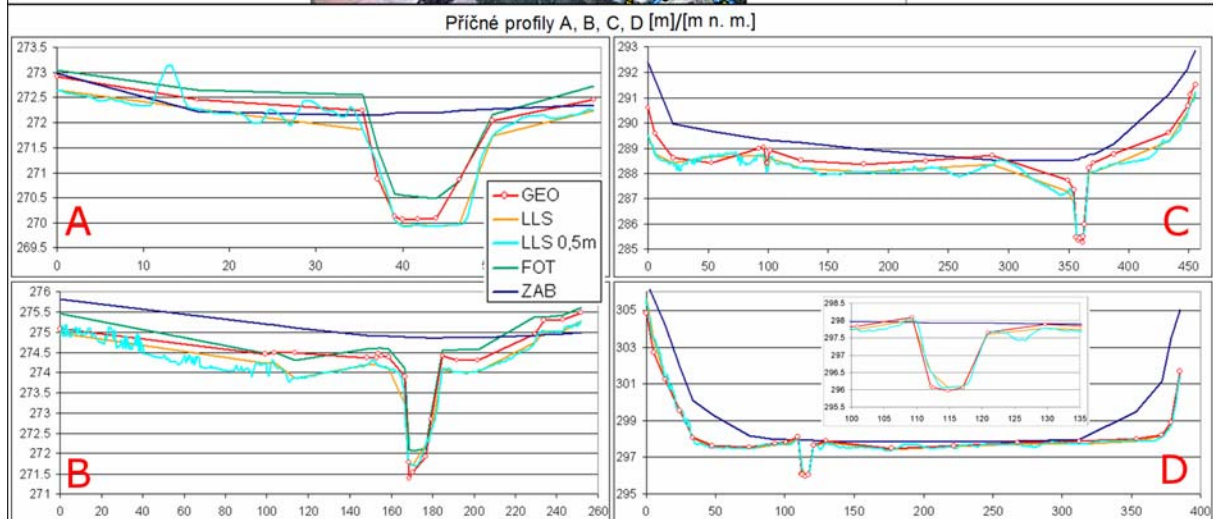
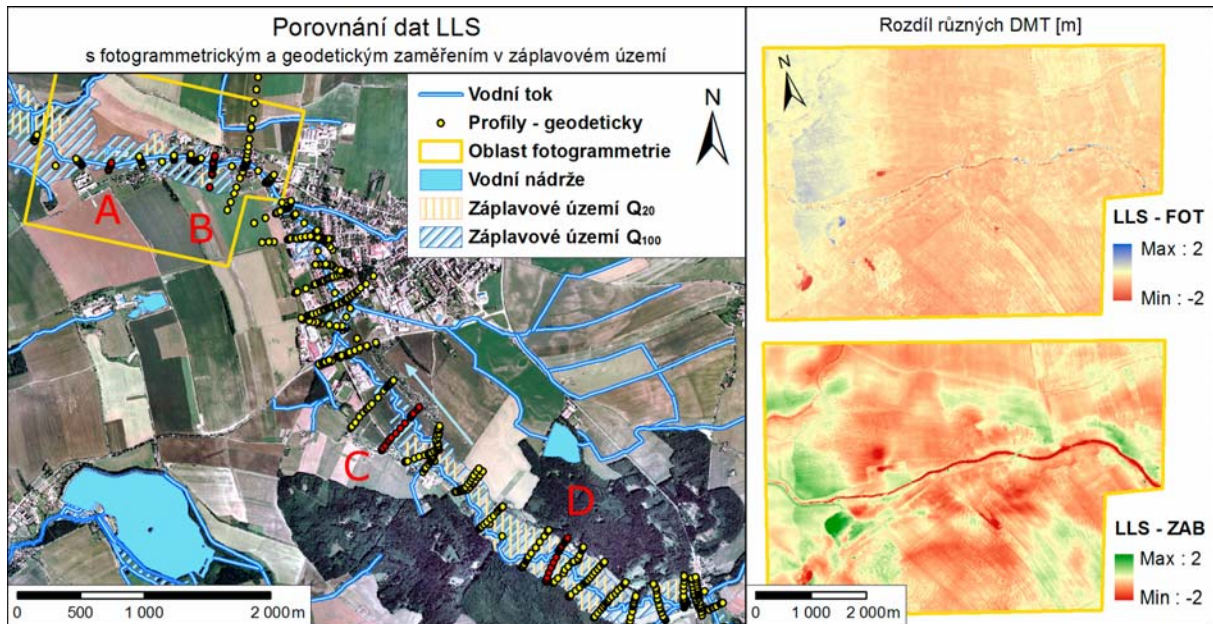
Obr. 1. 2D a 3D pohled na klasifikované mračno bodů vrstvy terénu, vegetace a budov



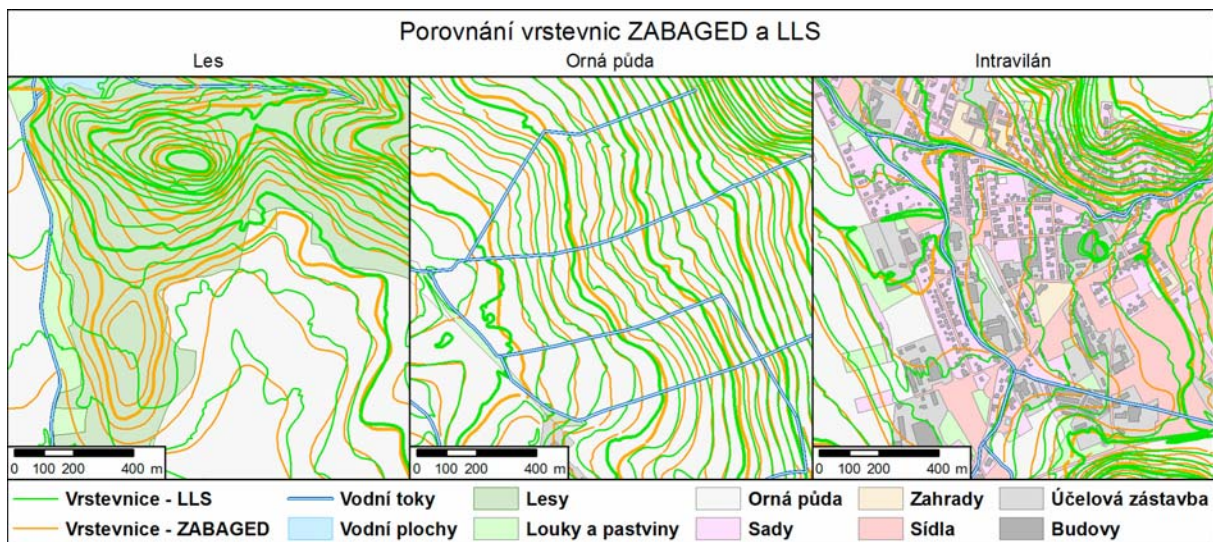
Obr. 2. Porovnání současného datasetu vodních toků s daty LLS



Obr. 3. Identifikace 2 stupňů za pomoci DMT (TIN) a podélného profilu vodní hladiny



Obr. 4. Porovnání dat LLS s fotogrammetrickým a geodetickým zaměřením



Obr. 5. Porovnání vrstevnic ZABAGED[®] a LLS