

Využití hydrologického měření při schematizaci koryt vodních toků pro potřeby hydrodynamických modelů na podkladě dat leteckého laserového skenování

CERTIFIKOVANÁ METODIKA
VÝSLEDKŮ VÝZKUMU,
VÝVOJE A INOVACÍ



Pavel Novák a kol.



VÚMOP, v.v.i.
2015

Technologická agentura ČR

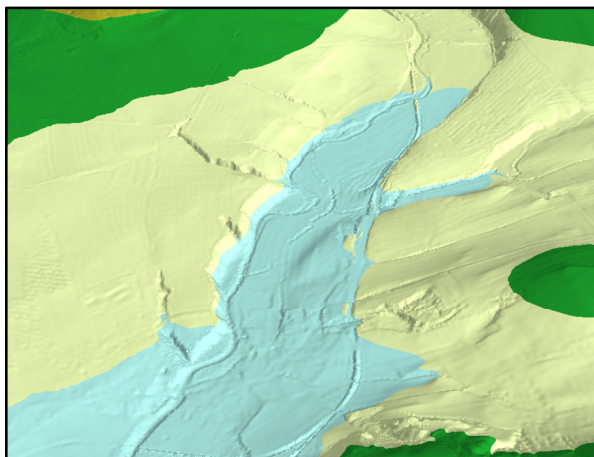
T A

Č R

Program Alfa

**Využití hydrologického měření při schematizaci koryt
vodních toků pro potřeby hydrodynamických modelů na
podkladě dat leteckého laserového skenování**

Certifikovaná metodika výsledků výzkumu, vývoje a inovací



listopad 2015



TA02020139

Obsah

| | | |
|------|---|----|
| I. | Cíl metodiky | 3 |
| II. | Vlastní popis metodiky | 4 |
| a) | Úvod | 4 |
| b) | Vymezení základních pojmů | 6 |
| c) | Seznam použitých zkratk | 7 |
| d) | Teoretické minimum: Matematické modely | 8 |
| e) | Teoretické minimum: Vstupní data | 8 |
| f) | Teoretické minimum: Hydrologické měření | 16 |
| g) | Představení SW Crosolver a CroSolver for ArcGIS | 18 |
| h) | Příprava vstupních dat | 19 |
| i) | PreProcessing | 21 |
| j) | Výpočetní mechanismus | 29 |
| k) | PostProcessing | 34 |
| III. | Srovnání „novosti postupů“ | 38 |
| IV. | Popis uplatnění Certifikované metodiky, | 39 |
| V. | Ekonomické aspekty | 41 |
| VI. | Závěr | 43 |
| | Seznam tabulek | 44 |
| | Seznam obrázků | 44 |
| | Seznam použité související literatury | 45 |
| | Seznam publikací | 47 |
| | Certifikační doložka | 50 |



I. Cíl metodiky

Znalost míry povodňového nebezpečí patří k aktuálním problémům v celospolečenském měřítku. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2007/60/ES (povodňová směrnice) ukládá členským státům vytvořit plány pro zvládání povodňových událostí a stanovuje pevné termíny dílčích kroků řešení. K analýze a mapování povodňových rizik slouží simulace 1D a 2D hydrodynamických modelů, které poskytují detailní představu o působení povodně v konkrétním terénu. Reálnost a kvalita modelování povodňových jevů a stavů s využitím hydrodynamických modelů určují vstupní data pro tvorbu výpočetní geometrie vodního toku.

Cílem zpracované metodiky je ověření vhodnosti využití dat leteckého laserového skenování pro matematické výpočty v hydrodynamických modelech. Pozornost je věnována především možnostem (polo)automatického generování nezbytných povinných hran a profilu koryta vodních toků, které tato data a priori neobsahují.

V návaznosti na provedené analýzy a matematické výpočty byly konstruovány metodické návody pro přípravu výpočetní geometrie vodního toku. Metodické postupy byly vytvořeny tak, že kombinují pro finální podobu výpočetní geometrie data z hydrologického měření s daty leteckého laserového skenování.



II. Vlastní popis metodiky

a) Úvod

Průtok vody představuje základní hydrologickou veličinu vyjadřující objem vody, který proteče daným profilem vodního toku za jednotku času. Letecké laserové skenování (dále LLS) povrchu patří k nejmodernějším technologiím pro pořizování prostorových geografických dat. Znalost těchto dvou poznatků vytváří v kombinaci vhodný předpoklad pro tvorbu relevantního digitálního modelu reliéfu (DMR) vstupujícího do hydrodynamických modelů. Vysoké finanční požadavky na geodetické zaměření příčných profilů koryta vedly k posouzení možností, jakým vhodným způsobem snížit vynakládané finanční prostředky na získání této informace. Během výzkumu proto byla alternativována možnost využít hydrologické měření při pořizování výškopisných dat LLS povrchu při sestavování jednotlivých simulačních epizod v hydrodynamickém modelu.

Jedním z nejdůležitějších podkladů pro hydrodynamické modely jsou vstupní data pro schematizaci koryta vodního toku. Získaná výškopisná data jsou rozhodující i při samotné volbě hydrodynamického modelu pro prováděné simulace. Méně náročnými modely z hlediska výškopisu území jsou jednorozměrné (1D) modely, kterým pro výpočet postačí příčné profily koryta a přílehlé inundace. V případě dvourozměrných (2D) modelů výpočet již vyžaduje detailní DMR, který přesně vystihuje morfologii sledovaného území. Na základě požadavků vstupních dat 1D a 2D modelů se odvíjí i finanční náročnost na pořízení těchto dat.

Daný způsob předpokládá využití stanovené průtoky z doby pořizování výškopisných dat metodou LLS při tvorbě modelovaných scénářů, kdy je modelovaná epizoda snížena o naměřenou hodnotu průtoky z doby pořizování dat, čímž je přesně vystižena zbývající část profilu koryta, která není metodou LLS v DMR reflektována.

Druhým testovaný přístup předpokládá využití stanovené průtoky z doby pořizování výškopisných dat metodou LLS při tvorbě již samotné výpočetní geometrie vodního toku, kdy je výpočetní trať připravena pouze



z dat LLS dodatečně zahlobena o naměřenou hodnotu průtoku z doby pořizování dat, čímž je zajištěna odpovídající podoba DMR, která není metodou LLS v případě profilace vodního toku (vodní hladiny) zaznamenána.

Zpracovaná metodika popisuje, jak aplikovat dané přístupy v praxi, kdy je pro přípravu výpočetní geometrie vodního toku využito popisované syntézy dat hydrologického měření s daty LLS.

V metodice je popsán metodický přístup, který byl i zpracován a převeden do softwarové podoby pro tvorbu výpočetní geometrie vodních toků.

Software první varianty je vytvořen v prostředí aplikace ArcMap, jako její dílčí nadstavba (extenze) v ModelBuilder. Daný software je určen pro přípravu geometrických dat pro uživatele firmy ESRI.

Pro komplexní využití byl v průběhu řešení projektu připraven i software druhé varianty, který není vázán na již existující uživatelské rozhraní. Uživatelé tak jsou i projekční firmy, které nedisponují licencí ESRI.

Jeden z rozhodujících faktorů pro získání relevantních výsledků z hydrodynamických modelů, představují vstupní data pro schematizaci koryta vodního toku (Coveney et al., 2010). Dle požadavku na vstupní data je možné kvantifikovat i použité hydrodynamické modely, které budou pro provádění simulace použity. Jednorozměrné (1D) hydrodynamické modely se vyznačují nižšími požadavky na vstupní data, kdy výpočetní trať je tvořena souborem příčných profilů koryta vodního toku, naproti tomu u dvourozměrných (2D) hydrodynamických modelů je nutné sestavit pro celé řešené území detailní digitální model reliéfu, tj. přilehlé inundace, ale i samotného vodního toku. S ohledem na vstupní data a použitý model roste i finanční náročnost celého projektu.

Letecké laserové skenování (zkráceně LIDAR z angl. Light Detection and Ranging) patří k nejnovějším technologiím pro pořizování prostorových dat o území (Dolanský, 2004). Metoda LLS je založena na principu odrazu laserových paprsků, které interpretují obraz měřených objektů laserovému paprsku. Na základě tohoto paprsku vyslaného k



TA02020139

zemskému povrchu je změřena vzdálenost, kterou urazí směrem k povrchu měřeného území nebo objektu.

Většina lidarových systémů je tvořena LIDAR scannerem, přijímačem GPS (Global Positioning System) a inerciální měřicí jednotkou (IMU), což je palubní počítač a zařízení pro ukládání dat (Šíma, 2009).

Nachází své uplatnění především při vytváření přesných digitálních modelů terénu a povrchu, které jsou následně využívány v různých oborech (doprava, lesnictví, životní prostředí, obrany, atd.), včetně hydrologie a říční hydrauliky.

V současné době probíhají činnosti, které ve spolupráci Českého úřadu zeměměřického a katastrálního (ČÚZK), Ministerstva zemědělství České republiky (ČR) a Ministerstva obrany ČR, takovéto datové zdroje poskytnou. Budou (pro některá území již jsou) vytvořeny tyto realizační produkty - Digitální model reliéfu území ČR 4. generace (DMR 4G), Digitální model povrchu území ČR 1. generace (DMP 1G), Digitální model reliéfu území ČR 5. generace (DMR 5G).

Základní parametry jednotlivých realizačních produktů jsou popsány v práci (Brázdil, 2009). Možnosti využití dat LLS v oblasti hydrologie a říční hydrauliky popisují např. práce (Uhlířová and Zbořil, 2009).

b) Vymezení základních pojmů

matematický (hydrodynamický) model

- numerický model popisující proudění kapaliny (vody),

příčný profil

- průsečík svislé roviny s terémem zpravidla sestrojený kolmo ke směru proudění,

průtok vody

- objemový průtok vody v daném profilu vodního toku vyjadřující proteklý objem vody za jednotku času,



TA02020139

Manningův součinitel drsnosti

- součinitel popisující odpor proudění,

sklon svahu

- poměr výšky k půdorysné délce svahu,

břehová čára

- průsečnice plochy břehu (bočního ohraničení koryta vodního toku) s plochou přilehlého území; určena hladinou vody, která zpravidla stačí protékat korytem vodního toku, aniž se vylévá do přilehlého území.)

digitální model povrchu

- představuje digitální model terénu doplněný o veškeré umělé a přírodní objekty (např. vegetace nebo budovy)

digitální model reliéfu

- je digitální reprezentací reliéfu terénu, která je složena z dat a interpolačního algoritmu umožňujícího odvozovat nadmořské výšky v libovolných bodech nacházejících se uvnitř modelované oblasti

c) Seznam použitých zkratek

| | |
|---------|--|
| ČHMÚ | - Český hydrometeorologický ústav |
| ČR | - Česká republika |
| ČÚZK | - Český úřad zeměměřický a katastrální |
| ČZU | - Česká zemědělská univerzita |
| DMP | - digitální model povrchu |
| DMP 1G | - digitální model povrchu České republiky 1. generace |
| DMR | - digitální model reliéfu |
| DMR 4G | - digitální model reliéfu České republiky 4. generace |
| DMR 5G | - digitální model reliéfu České republiky 5. generace |
| GPS | - global positioning system |
| HEC-RAS | - Hydrologic Engineering Centers River Analysis System |
| IMU | - inerciální měřicí jednotkou |

Využití hydrologického měření při schematizaci koryt vodních toků pro potřeby hydrodynamických modelů na podkladě dat leteckého laserového skenování



TA02020139

| | |
|---------|---|
| LLS | - letecké laserové skenování |
| TAČR | - Technologická agentura České republiky |
| TIN | - Triangulated Irregular Network |
| VÚMOP | - Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i. |
| VRV | - Vodohospodářský rozvoj a výstavba, a.s. |
| ZABAGED | - Základní Báze Geografických Dat |

d) Teoretické minimum: Matematické modely

Pro simulaci hydraulických jevů se využívají hydrodynamické modely, které jsou schopny na základě schematizace reálného prostředí a rovnic popsat a znázornit proudění vody. Dle schematizace reálného prostředí můžeme hydrodynamické modely dělit podle různých kritérií. Jedním z nich je dimenze modelu, kde rozlišujeme modely na jednorozměrné (1D), dvourozměrné (2D) a příp. jejich kombinaci (1D/2D).

Hydrodynamických modelů je celá řada. V České republice je nejrozšířenějším modelem HEC-RAS z několika důvodů, z nichž nejvíce převládá fakt, že je volně stažitelný. Jeho uživatelské prostředí je přívětivé, dokumentace softwaru a použitých rovnic je obsáhlá a přehledná, pomocí doplňkového softwaru HEC-GeoRAS je možné připravit podklady a prezentovat výsledky např. v prostředí ArcGIS.

e) Teoretické minimum: Vstupní data pro přípravu výpočetní geometrie (LLS, fotogrammetrie, atd.)

Topografická data

Topografická data pro potřeby hydrologických výpočtů jsou převážně data výškopisná, s důrazem na zachycení výškových poměrů v zájmovém území. Výškopis je reprezentován formou digitálního modelu reliéfu. Kvalita digitálního modelu reliéfu, charakterizovaná přesností a mírou detailu, zásadním způsobem ovlivňují přesnost a správnost výpočetních modelů.

Využití hydrologického měření při schematizaci koryt vodních toků pro potřeby hydrodynamických modelů na podkladě dat leteckého laserového skenování



TA02020139

Přesnost DMR

- je dána přesností měření souřadnic X, Y, H jednotlivých bodů, která vyplývá z metody měření a použitých přístrojů

Míra detailu

- je dána hustotou měřených bodů (rastr) a minimální výškou měřených terénních stupňů

Reprezentace výškopisných dat (popis)

Vektorová reprezentace

Základní výšková data jsou reprezentována povinnými hranami (breaklines) a body (mass points). Povrch je reprezentován trojúhelníkovou sítí TIN. Základním prvkem struktury je trojúhelník.

Rastrová reprezentace

Základní výšková data jsou reprezentována pravidelnou nebo nepravidelnou mřížkou bodů. Reprezentací povrchu je RASTR. Základním prvkem rastrové struktury je buňka.

Základní topografická data pro potřeby hydrologických výpočtů

Data charakterizující tok

- Břehové čára
- Umělé a přirozené překážky (objekty)
- Osa toku (využití při generování koryta toku)

Data v nejbližším okolí toku

- Výškopisná data – povinné hrany a body výškopisu
- Rozsah v jednotkách až desítkách metrů

Využití hydrologického měření při schematizaci koryt vodních toků pro potřeby hydrodynamických modelů na podkladě dat leteckého laserového skenování



TA02020139

Data v okolí toku

- Výškopisná data – převážně bodová reprezentace
- Rozsah v desítkách metrů až po jednotky kilometrů

Metody pořízení požadovaných dat

Pozemní měření

Pozemní měření využívá moderních geodetických postupů a přístrojů. Využívají se totální stanice, které kombinují přesné měření úhlů a délek pro určování polohy a výšky bodů. V dnešní době je velmi časté použití moderních GNSS aparatur (přístroje přijímající data z několika družicových navigačních systémů jako GPS, GLONASS apod.), které jsou schopné určovat polohu s velmi vysokou přesností v krátkém čase. V minulosti se pro měření často používala dvojice GNSS aparatur, kdy jedna musela být umístěna na známém bodě. Dnes se zejména používají sítě referenčních stanic (v Česku např. CZEPOS nebo Trimble VRS Now), které poskytují přes internet data i v reálném čase.

Zhodnocení metody pro potřeby hydrologických výpočtů

Pozemní geodetické měření přináší nejvyšší přesnost měřeným vektorovým datům, ovšem s nejvyšší časovou náročností na pořízení. Zásadní výhodou je přítomnost geodeta/zpracovatele na konkrétní lokalitě, a tudíž podchycení reálné situace v terénu. Vegetace v přímém okolí měřené lokality zde není faktorem ovlivňující přesnost měření.

Letecké měřické snímkování (letecká digitální fotogrammetrie)

Procesy a produkty letecké digitální fotogrammetrie jsou velmi efektivní bezkontaktní metodou pořízení požadovaných dat. 3D mapování metodou stereoskopické vyhodnocování dochází k vytvoření umělého stereoskopického (prostorového) vjemu ze dvou sousedních leteckých snímků, díky kterému lze určit prostorovou souřadnici určovaného bodu.

Pro sběr dat se v dnešní době používá digitálních měřických leteckých kamer spojených s inerciálním navigačním systémem (GNSS

Využití hydrologického měření při schematizaci koryt vodních toků pro potřeby hydrodynamických modelů na podkladě dat leteckého laserového skenování



TA02020139

aparatura a inerciální navigační jednotka - IMU). Toto spojení umožňuje sběr digitálních snímků velmi vysokého rozlišení (jednotky centimetrů) a dosažení vysoké přesnosti výsledných produktů letecké digitální fotogrammetrie.

Pro stereoskopické vyhodnocení se používá specializovaná vyhodnocovací stanice (PC) se zařízením pro vznik umělého stereoskopického vjemu.

Velmi často se v blízkosti vodních toků vyskytuje vegetace v podobě stromů a keřů, která může znemožnit určení prvků na zemském povrchu. Z toho důvodu je výhodná kombinace leteckého měřického snímkování s pozemním měřením pro doměření nevyhodnocených míst. Pozemní měření je nutné použít pro zaměření vlícovacích bodů a také jako kontrolní metodu vyhodnocovaných prvků.

Dosažitelná přesnost se odvíjí od parametrů vlastního leteckého snímkování:

- velikost pixelu leteckého snímku,
- přesnost, počet a rozmístění vlícovacích bodů,
- přesnost určení prvků vnější orientace snímků,

Zhodnocení metody pro potřeby hydrologických výpočtů

Letecké měřické snímkování je bezkontaktní metoda určování prostorové polohy bodů pomocí stereoskopického vyhodnocování. Její výhodou je rychlý sběr dat, ale s nižší přesností než u pozemního měření. Snímkování nelze provádět za každého počasí a ideálně v době vegetačního klidu. Kombinace s pozemními metodami je velmi efektivní a přesná.

Letecký laserscanning

Letecké laserové skenování je metodou určování prostorové polohy velkého počtu bodů na zemském povrchu, stavbách a vegetaci (výsledkem je mračno bodů).



Parametrem ovlivňující dosaženou přesnost je u leteckého laserového skenování hustota (počet) bodů na 1 metr čtvereční. Hustotu bodů lze ovlivnit zvolením měřicího přístroje a zejména výškou letu.

Nepříznivým faktorem je zde opět vegetace, která zakrývá zemský povrch. Současné letecké skenery si dokáží poradit i s vícenásobným odrazem snímacího paprsku a odlišit (odfiltrovat) tak vegetaci. Je nutné však počítat se sníženou hustotou bodů na metr čtvereční i s jejich nižší přesností.

Při práci s mračnem bodů je nezbytné používat i některé metody (automatické nebo poloautomatické) filtrace, což může mít za následek vnesení chyb nebo ztrátu důležitých informací. To se týká zejména ostrých hran a přechodů ve výškopisu. Moderní programy pro práci s mračny bodů nabízejí možnost detekce hran a interpolace v mračnu bodů, výsledek ale nemusí být vždy správný a odpovídající reálnému stavu v terénu.

Zhodnocení metody pro potřeby hydrologických výpočtů

Letecké laserové skenování je další použitelnou metodou bezkontaktního určování prostorových dat. Nevýhodou je náročná práce s pořízeným mračnem bodů a vegetační porost jako u leteckého snímkování. Pro použití při mapování vodních toků je vhodné použít hodnotu hustoty bodů na $m^2 > 4$ bodů.

Tabulka 1: Dosažené přesnosti jednotlivými metodami

| Metoda | Dosažená přesnost ve výšce |
|--------------------|----------------------------|
| Pozemní | 1 - 10 cm |
| Letecké snímkování | 10 - 20 cm |
| Letecký laser | 10 - 20 cm |

DMR 4G



TA02020139

Digitální model reliéfu České republiky 4. Generace (DMR 4G) představuje zobrazení přirozeného nebo lidskou činností upraveného zemského povrchu v digitálním tvaru ve formě výšek diskretních bodů v pravidelné síti (5 x 5 m) bodů o souřadnicích X, Y, H, kde H reprezentuje nadmořskou výšku ve výškovém referenčním systému Balt po vyrovnání (Bpv). Model vznikl z dat pořízených metodou leteckého laserového skenování výškopisu území České republiky v letech 2009 až 2013 (hustota skenování 1-2 body na m²).

DMR 4G je určen k analýzám terénních poměrů regionálního charakteru a rozsahu, např. při projektování rozsáhlých dopravních a vodohospodářských záměrů, modelování přírodních jevů, apod.

Přesnost měřených dat: střední chyba výšky:

0,3 m v odkrytém terénu

1 m v zalesněném terénu

Vhodnost použití datové sady:

Tato datová sada je pro účely přesného hydrologického modelování nevhodná. Hlavním nedostatkem je malý detail v oblasti vodních toků – méně přesná identifikace břehové linie a dalších terénních stupňů v blízkosti vodního toku. Jako doplňková data lze využít.

DMR 5G

Digitální model reliéfu České republiky 5. Generace (DMR 5G) představuje zobrazení přirozeného nebo lidskou činností upraveného zemského povrchu v digitálním tvaru ve formě výšek diskretních bodů v nepravidelné trojúhelníkové síti (TIN) bodů o souřadnicích X, Y, H, kde H reprezentuje nadmořskou výšku ve výškovém referenčním systému Balt po vyrovnání (Bpv).

Model vznikl z dat pořízených metodou leteckého laserového skenování výškopisu území České republiky v letech 2009 až 2013 (hustota skenování 1-2 body na m²).



TA02020139

DMR 5G je určen k analýzám terénních poměrů lokálního charakteru a rozsahu, např. při projektování pozemkových úprav, plánování a projektování dopravních, vodohospodářských a pozemních staveb, modelování přírodních jevů lokálního charakteru, apod.

DMR 5G je základní zdrojovou databází pro tvorbu vrstevnic určených pro mapy velkých měřítek a počítačové vizualizace výškopisu v územně orientovaných informačních systémech vysoké úrovně podrobnosti.

Přesnost měřených dat: střední chyba výšky:

0,18 m v odkrytém terénu

0,3 m v zalesněném terénu

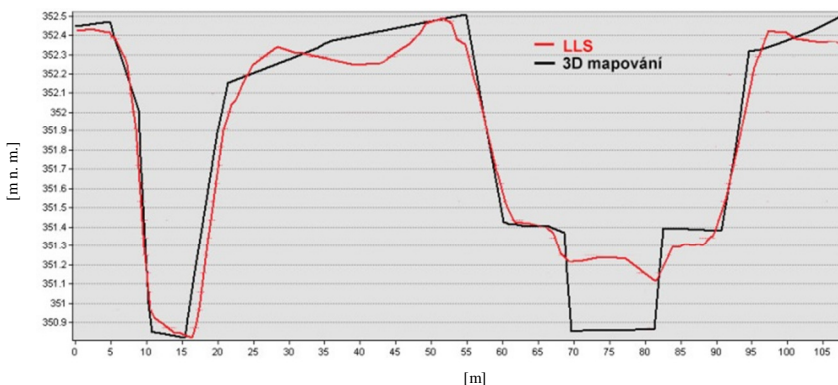
Vhodnost použití datové sady:

Tato datová sada i přes vyšší podrobnost a přesnost nedosahuje potřebné míry detailu v blízkosti vodních toků pro standardní geodetická měření. Bez editace a úpravy může být DMR 5G vhodným zdrojem pro méně přesné modelování. Je však dobrým zdrojem jako doplňková vrstva.

Největším problémem jsou nedostatky způsobené automatickými a poloautomatickými metodami filtrace, které se nejvíce projevují u vodní hladiny, břehové čáry a terénních stupňů (přikopy, slepá ramena, přítoky apod.).



TA02020139



Obrázek 1 Porovnání dat DMR 5G a 3D vyhodnocení z leteckých snímků

Tabulka 2: Informace o použitých datech

| Lokality | Datum pořízení dat DMR 5G | Datum pořízení leteckého snímkování |
|------------------|---------------------------|-------------------------------------|
| Úslava – Úsek I | 30. 03. 2011 | 25. 04. 2013 |
| Úslava – Úsek II | 30. 03. 2011 | 25. 04. 2013 |
| Úhlava – Úsek I | 30. 03. 2011 | 25. 04. 2013 |
| Otava | 18. 04. 2011 | 01. 11. 2013 |

ZABAGED

Základní báze geografických dat České republiky (ZABAGED) je digitální geografický model území České republiky (ČR). ZABAGED je součástí informačního systému zeměměřictví a patří mezi informační systémy veřejné správy. Je vedena v podobě bezesřvé databáze pro celé území ČR, v centralizovaném informačním systému spravovaném Zeměměřickým úřadem.

ZABAGED® - výškopis 3D vrstevnice tvoří 3 typy objektů vrstevnic se základním intervalem 5, 2 nebo 1 m v závislosti na charakteru terénu a dále vybrané terénní hrany. Objekty jsou reprezentovány trojrozměrnou vektorovou prostorovou složkou. Přesnost výšky vrstevnic je

Využití hydrologického měření při schematizaci koryt vodních toků pro potřeby hydrodynamických modelů na podkladě dat leteckého laserového skenování



TA02020139

závislá na sklonu a členitosti terénu a dosahuje 0,7-1,5 m v odkrytém terénu, 1-2 m v sídlech a 2-5 m v zalesněném terénu.

ZABAGED® - výškopis grid 10 x 10 m je digitální model reliéfu v podobě pravidelné mříže (10 x 10 m) trojrozměrně vedených (3D) bodů, který je odvozený z vrstevnic a terénních hran ZABAGED®. Přesnost výšky jednotlivých výškopisných bodů je obdobná jako u zdrojových vrstevnic, tedy 0,7-1,5 m v odkrytém terénu, 1-2 m v sídlech a 2-5 m v zalesněném terénu.

Vhodnost použití datové sady:

Tato datová sada je pro účely základního nebo přesného hydrologického modelování nevhodná. Nevyhovuje přesností ani detailem.

f) Teoretické minimum: Hydrologické měření (kontinuální monitoring)

Hydrologické měření představuje druhou složku technického řešení schematizace vodního toku pro hydrodynamické modely. Hydrologické měření je v ČR v kompetenci Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) a podniků Povodí. Hydrologický monitoring je možné rozdělit do dvou odlišných programů, které ovšem spolu úzce souvisí a vzájemně se ovlivňují. Prvním z programů je program kvalitativního monitoringu, který ovšem není uplatnitelný z hlediska schematizace vodního toku pro hydrodynamický model. Druhým z programů, který je již uvažován pro uplatnění při tvorbě geometrie do hydrodynamického modelu, je kvantitativní monitoring.

Program kvantitativního monitoringu povrchových vod zahrnuje monitoring vodních toků a vybraných vodních útvarů stojatých vod, přičemž z hlediska využitelnosti pro hydrodynamický model je podstatné měření na vodních tocích.

I když drobné toky představují větší část hydrografické sítě ČR (78% celkové délky), jsou pro ně jen výjimečně k dispozici soustavná hydrologická pozorování (Hrádek J. & Sobota J., 1999), což je nicméně s



ohledem na možnost uplatnění hypotézy o syntéze dat LLS s daty z hydrologického měření pozitivní, poněvadž jsou hydrologická pozorování soustředěna především na významné vodní toky, na kterých je možné použití syntézy dat aplikovat.

Rozsah monitorovací sítě vodních toků nepokrývá všechny vodní útvary povrchových vod, kterých je v ČR navrženo 1070, a ani v dohledné budoucnosti není její rozšíření na všechny vodní útvary reálné. Struktura této sítě však pokrývá významné vodní toky a jejich povodí tak, aby za pomoci hydrologické analogie (Hladný J., 2002; Plate E. J., 2002; Giannoni F. a kol., 2003; Fowler H. J. a kol., 2005) umožňovala zpracování hydrologických charakteristik pro libovolné místo v říční síti.

Na území ČR je v současnosti v provozu cca 494 stanic s hydrologickým měřením na významných vodních tocích. Přehled počtu objektů kvantitativního monitoringu vodních toků je uveden v tab. 3.

Kontinuita hydrologického měření na celkových 494 stanicích tak poskytuje adekvátní předpoklad k úvaze o možnosti využití zjištěných hodnot z měření průtoků při tvorbě korektní geometrie pro hydrodynamický model.

Tabulka 3: Přehled počtu objektů kvantitativního monitoringu vodních toků

| Povodí | Počet stanic s měřením hladiny | Počet stanic s měřením průtoků |
|----------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Horní a střední Labe | 112 | 112 |
| Horní Vltava | 47 | 47 |
| Berounka | 40 | 40 |
| Dolní Vltava | 40 | 39 |
| Ohře a dolní Labe | 49 | 49 |
| Odra | 61 | 61 |
| Morava | 75 | 75 |
| Dyje | 70 | 69 |
| celkem | 494 | 492 |



TA02020139

g) Představení SW Crosolver a CroSolver for ArcGIS

Crosolver

Program CroSolver (Cross-section Solver) je určen pro výpočet průtočného profilu toku na základě souřadnic břehů. Základní schematizací průtočného profilu je lichoběžník. Volbou parametru m (sklon svahu příčného profilu) lze však dosáhnout i profilu obdélníkového. Výpočet rozměrů průtočného profilu je proveden na základě Chézyho rovnice dosazené do rovnice kontinuity. Výpočet je prováděn v režimu ustáleného rovnoměrného proudění. Vstupními daty jsou dvojice bodů ohraničující rozsah příslušného příčného profilu na rozhraní hladiny a břehu. Každý bod je zadán ve formátu X, Y, H. Přičemž hodnoty X, Y udávají polohové souřadnice bodu a hodnota H udává výškovou souřadnici. Dalšími vstupními parametry jsou návrhový průtok, Manningův součinitel drsnosti, sklon svahu příčného profilu a minimální vzdálenost mezi příčnými profily. Při výpočtu jsou dopočteny souřadnice pravé a levé paty svahu koryta každého průtočného profilu. Výstupem je opět "textový" soubor se souřadnicemi vstupních i nově dopočtených bodů.

Nástroj je volně ke stažení na odkazu:

<http://www.kvhem.cz/vyzkum/software>.

Ve stažených datech jsou uloženy skripty v jazyce R a stručný manuál k nástroji. Program byl vytvořen jako knihovna funkcí pro programovací jazyk R. Pro použití programu je tedy nutné mít nainstalovaný program R.

CroSolver for ArcGIS

Nástroj CroSolver_ToolBox (Cross-section Solver ToolBox) pro přípravu geometrických dat na podkladě syntézy dat hydrologického měření s daty leteckého laserového skenování byl vytvořen jako nástroj ArcToolBox pro ArcGIS pomocí programovacího jazyku Python. Nástroj



TA02020139

umožňuje preprocessing dat na základě osy vodního toku a bodů LLS. Výstupem jsou textové soubory obsahující vypočtené souřadnice veškerých bodů a hydraulických charakteristik příčných profilů a soubory ve formátu shapefile popisující oblast zahloubeného koryta (polygon), povinných spojnic příčných profilů, břehů, pat svahů a osy (polyline) a lomových bodů (point).

Nástroj je volně ke stažení na odkazu:

<http://fzp.czu.cz/vyzkum/software.html>.

Ve stažených souborech jsou uloženy skripty v jazyce Python (koncovka „.py“), samotný ArcToolbox (koncovka „.tbx“), který se spouští z prostředí ArcGIS, manuál k nástroji a vzorová data. Nástroj není potřeba instalovat, stačí jej buď spustit přímo z ArcCatalogu, nebo přidat do ArcToolBoxu.

Nástroj CroSolver_ToolBox v sobě zahrnuje nejen výpočet zahloubení koryta vodního toku, ale i přípravu dat pro výpočet a uložení výsledných dat do 3D shapefilů.

h) Příprava vstupních dat

Vstupní data – DMR

Digitální model reliéfu (DMR) představuje zobrazení přirozeného nebo lidskou činností upraveného zemského povrchu v digitálním tvaru ve formě výšek diskretních bodů v síti bodů o souřadnicích X, Y, H, kde H reprezentuje nadmořskou výšku ve výškovém referenčním systému Balt po vyrovnání (Bpv). Body vznikly dat pořízených metodou leteckého laserového skenování výškopisu. Jako vstupní data je použit textový soubor s body DMR.

Data DMR musí být v textovém formátu s koncovkou „.txt“ a daty řazenými v pořadí XYH. Digitální model reliéfu je ve formě použitelné pro nástroj standardně dodáván.



TA02020139

| Soubor | Upravit | Možnosti | Kódování | Nápořveda |
|-----------------------|---------|----------|-----------------------|-------------------|
| -711198.7540400001500 | | | -980713.7149999999700 | 289.5800000000018 |
| -711194.8890400001500 | | | -980713.4319999999100 | 289.2909999999974 |
| -711201.5090400001500 | | | -980713.4120000000100 | 289.6499999999942 |
| -711197.0950400001600 | | | -980712.9560000000100 | 289.3790000000008 |
| -711200.7830400001300 | | | -980712.8869999999900 | 289.5580000000045 |
| -711192.2040400001000 | | | -980712.7619999999900 | 289.0540000000037 |
| -711190.1020400001400 | | | -980712.3429999999900 | 288.9900000000052 |
| -711182.4270400001000 | | | -980712.3140000000100 | 289.1469999999972 |
| -711188.1680400001400 | | | -980712.1699999999300 | 289.0460000000021 |
| -711184.1740400001900 | | | -980711.7759999999500 | 288.9949999999953 |
| -711200.7710400001400 | | | -980711.6620000000100 | 289.3120000000054 |
| -711180.0260400001400 | | | -980711.4569999999400 | 289.1370000000024 |
| -711199.8430400001800 | | | -980711.4440000000200 | 289.1159999999945 |
| -711190.7040400001000 | | | -980711.3310000000100 | 288.8249999999971 |

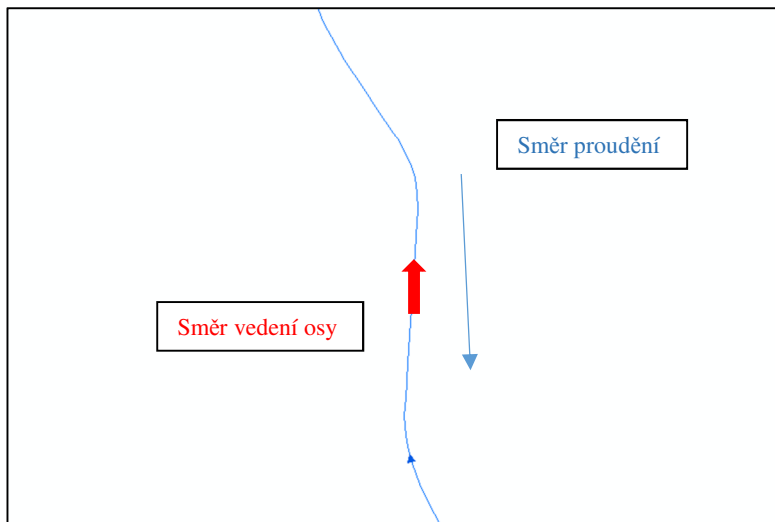
Obrázek 2 Ukázka vstupních dat DMR

Hydrologická data

Koryto vodního toku je zahlubováno na základě hydrologického měření v době pořízování LLS. Je potřeba znát nejen průtok, ale i charakteristiku koryta vodního toku. Parametry jsou průtok, drsnostní součinitel koryta, sklony svahů, vzdálenost vyhlazení hladiny a výběr metody zahloubení.

Vstupní data - Osa vodního toku

Jedním ze vstupních dat pro přípravu výpočtu zahloubení je osa řešeného úseku vodního toku. Jedná se o formát shapefile polyline. Důležité je její směřování proti proudu toku, tj. ve směru vzrůstajícího staničení. Osa definuje řešený úsek a trasování vodního toku.



Obrázek 3 Zobrazení orientace směřování osy řešeného vodního toku

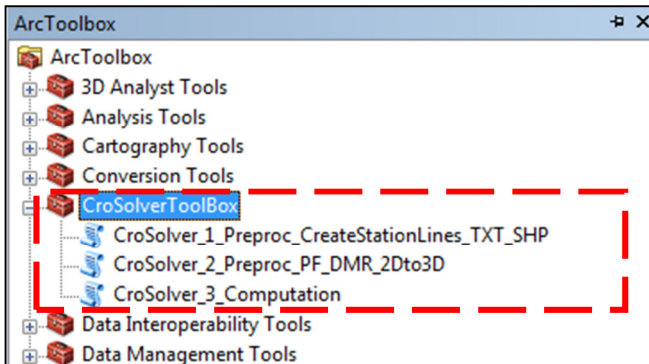
i) PreProcessing

Nástroj CroSolver je vytvořen pro práci v prostředí ArcGIS Desktop verze 10.0, 10.1 a 10.2. Nástroj je možno přidat do ArcToolboxu jako balíček nástrojů, odkud může být spuštěn z produktů ESRI ArcCatalog, ArcScene či ArcMap. Nebo je možno spouštět nástroj rovnou z ArcCatalogu. Jednotlivé nástroje CroSolver umístěné v ArcToolBoxu spouštějí skripty napsané v programovacím jazyce Python.

Součástí CroSolverToolbox jsou tři nástroje, ze kterých první dva slouží pro preprocessing a jeden jako výpočetní a postprocessing zároveň.

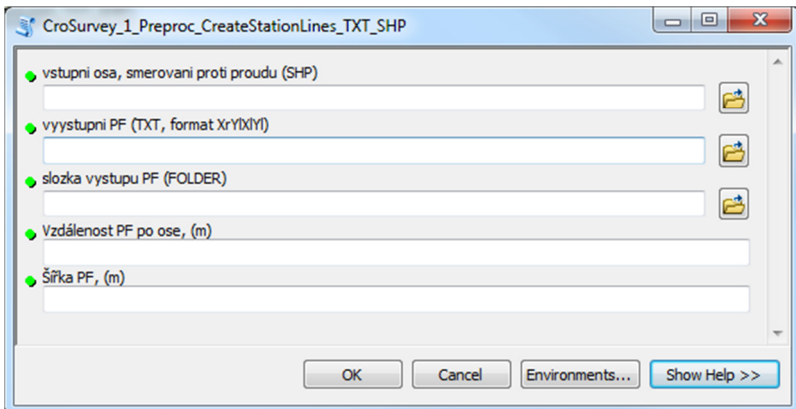


TA02020139



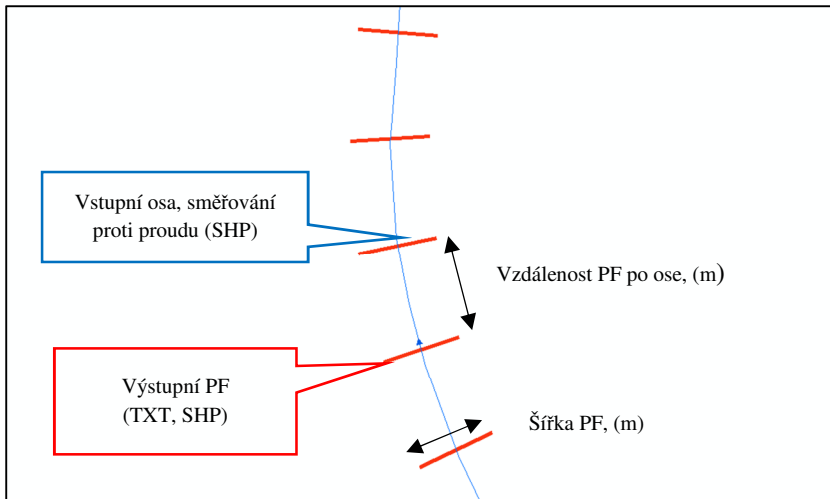
Obrázek 4 Ukázka přidání nástroje CroSolver do ArcToolboxu

Vytvoří na základě osy, vzdálenosti mezi profily a šířce profilů body levého a pravého konce profilu ve formátu TXT a linii mezi těmito body ve formátu SHP (Polyline). Tyto body slouží k následnému hledání bodů LLS.



Obrázek 5 Vzhled nástroje „PreProc_CreateStationLines_TXT_SHP“

Využití hydrologického měření při schematizaci koryt vodních toků pro potřeby hydrodynamických modelů na podkladě dat leteckého laserového skenování



Obrázek 6 Zobrazení vstupních a výstupních dat nástroje

Tabulka 4: Popis vstupních dat a formátů nástroje
„PreProc_CreateStationLines_TXT_SHP“

| Parametr nástroje | Vstup/ Výstup | Formát | Popis formátu | Popis |
|---|------------------|-------------------|----------------------|--|
| Vstupní osa, směřování proti proudu (SHP) | Vstup | Shapefile | .shp | Shapefile osy vodního toku vedoucí proti směru proudění, tj. ve směru staničení. |
| Výstupní PF (TXT, format XrYrXIYI) | Výstup | Textový soubor | .txt | Umístění a název textového souboru, do kterého se uloží souřadnice krajních bodu (levého a pravého břehu) |
| Složka výstupu PF (FOLDER) | Výstup | Složka | Existující složka | Složka, do které budou uloženy příčné profily vytvořené na základě vstupních dat. |
| Vzdálenost PF po ose, (m) | Vstup | Číslo | Desetinné číslo | Vzdálenost mezi profily v ose vodního toku v metech. |
| Šířka PF, (m) | Vstup | Číslo | Desetinné číslo | Celková šířka příčného profilu v metrech. |

Využití hydrologického měření při schematizaci koryt vodních toků pro potřeby
hydrodynamických modelů na podkladě dat leteckého laserového skenování



TA02020139

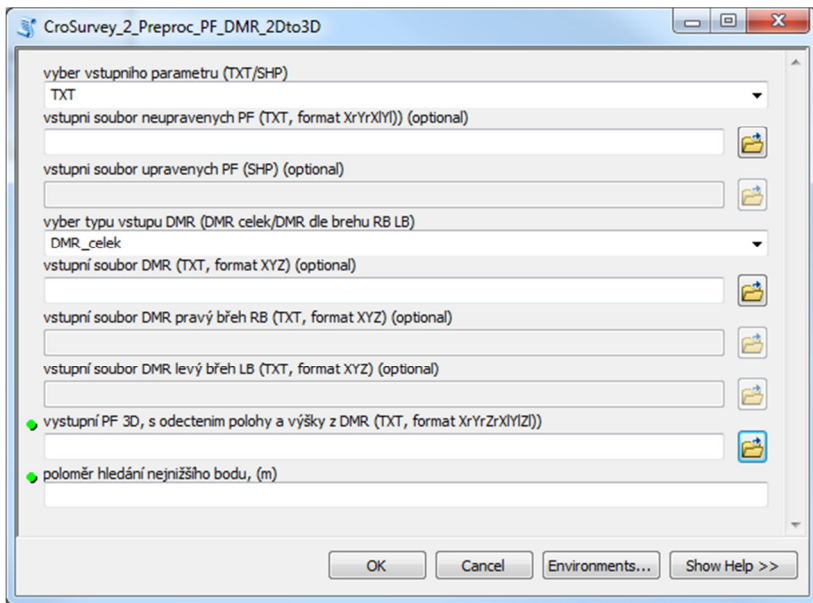
Druhý nástroj připraví vytvořené příčné profily pro výpočet zahloubení. Vytvořené příčné profily jsou pouze dvourozměrné. Krajní body příčných profilů mají charakterizovat styk hladiny a břehu koryta. Z tohoto důvodu vychází smysl nástroje preprocessingu. Jelikož hledáme bod, který je co nejbližší hladině, tak pro něj platí, že má nejnižší výšku. Proto se do nástroje zadává poloměr hledání takového bodu. Nástroj v oblasti hledání nalezne nejnižší bod a vrátí jeho výšku a polohu na kolmici k příčnému profilu. Takto vzniknuvší bod charakterizuje bod na svahu břehu u hladiny.

Volba poloměru hledání musí být zvolena tak, aby se nestalo, že bude vybrán bod z opačného břehu. Může se tak stát právě u malých vodních toků, kde je šířka v hladině velmi malá. Z tohoto důvodu je v nástroji přidána možnost načtení bodů DMR jako celek, nebo bodů DMR dle břehů (PB/LB).

Pro výběr vstupního souboru popisující příčný profil jsou dvě možnosti, textový soubor a shapefile. Druhá možnost je k dispozici zejména pro případy, že se na řešeném úseku v určitých místech mění lokálně např. šířka koryta. Shapefile příčných profilů je možno upravit před pokračováním práce s nástrojem zahlubování koryta, tak aby příčné profily přibližně odpovídaly šířce koryta v hladině. U shapefile se však nesmí vkládat nové profily nebo měnit jejich posloupnost.



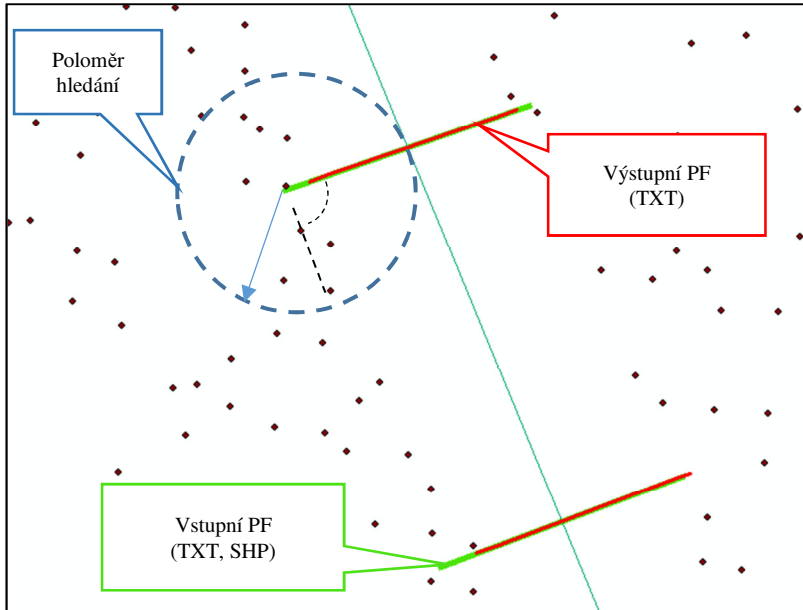
TA02020139



Obrázek 7 Vzhled nástroje „PreProc_PF_DMR_2Dto3D“



TA02020139



Obrázek 8 Zobrazení vstupních a výstupních dat nástroje s funkcí vyhledání nejnižšího bodu DMR a vrácení na kolmici k příčnému profilu



TA02020139

| Soubor | Úpravy | Formát | Zobrazení | Nápoředa | | |
|----------------|----------------|---------|----------------|----------------|---------|--|
| Xr | Yr | Zr | x1 | y1 | z1 | |
| -711460.734354 | -980464.157947 | 282.497 | -711461.002975 | -980469.084481 | 281.905 | |
| -711450.709439 | -980464.36909 | 282.378 | -711451.032019 | -980469.268316 | 282.01 | |
| -711440.747025 | -980466.357498 | 282.183 | -711441.369002 | -980471.125208 | 281.988 | |
| -711430.841103 | -980468.416235 | 281.998 | -711431.797386 | -980472.870308 | 281.914 | |
| -711420.962255 | -980470.409645 | 282.154 | -711422.233029 | -980475.356381 | 282.213 | |
| -711411.292299 | -980473.184757 | 282.123 | -711412.655215 | -980477.931022 | 281.945 | |
| -711401.935392 | -980476.947286 | 282.366 | -711403.332359 | -980481.312423 | 281.88 | |
| -711392.678029 | -980480.922185 | 282.154 | -711394.099504 | -980484.917365 | 281.995 | |
| -711383.302786 | -980484.487478 | 282.147 | -711385.130698 | -980489.265707 | 282.175 | |
| -711374.104175 | -980488.450263 | 282.089 | -711375.84257 | -980492.88822 | 282.328 | |
| -711364.743949 | -980492.000791 | 282.202 | -711366.366416 | -980496.047643 | 282.072 | |
| -711355.615411 | -980496.113728 | 282.175 | -711357.188657 | -980499.998621 | 282.168 | |
| -711346.003561 | -980498.988544 | 282.292 | -711347.801115 | -980503.505934 | 282.315 | |
| -711336.71393 | -980502.618856 | 282.424 | -711338.695355 | -980507.780986 | 282.471 | |
| -711327.362937 | -980506.075534 | 282.621 | -711328.979565 | -980510.516245 | 282.132 | |
| -711317.861793 | -980509.120332 | 282.656 | -711319.922686 | -980515.095037 | 282.24 | |
| -711308.379095 | -980512.234186 | 282.967 | -711310.403911 | -980518.31383 | 282.288 | |
| -711298.845144 | -980515.19636 | 282.538 | -711300.701674 | -980520.975813 | 282.718 | |
| -711289.407577 | -980518.388029 | 282.558 | -711290.811466 | -980523.198716 | 282.556 | |
| -711279.414366 | -980518.981745 | 282.892 | -711280.557877 | -980524.338791 | 282.419 | |
| -711269.803503 | -980519.714928 | 282.422 | -711270.170383 | -980524.312448 | 282.438 | |
| -711260.246269 | -980519.24407 | 282.522 | -711259.932017 | -980524.038025 | 282.358 | |
| -711250.502636 | -980518.350491 | 282.501 | -711249.708219 | -980523.968397 | 282.597 | |
| -711240.953178 | -980516.538784 | 282.567 | -711239.711104 | -980521.341922 | 282.472 | |
| -711232.020047 | -980512.633692 | 282.5 | -711230.246871 | -980517.09775 | 282.524 | |

Obrázek 9 Zobrazení výstupního textového souboru popisující polohu a výšku pravého a levého konce příčného profilu

Využití hydrologického měření při schematizaci koryt vodních toků pro potřeby hydrodynamických modelů na podkladě dat leteckého laserového skenování



TA02020139

Tabulka 5: Popis vstupních dat a formátů nástroje „PreProc_PF_DMR_2Dto3D“

| Parametr nástroje | Vstup/ Výstup | Formát (popis) | Popis |
|---|------------------|-----------------------|--|
| Výběr vstupního parametru (TXT/SHP) | Vstup | Výběr ze seznamu | Výběr formátu vstupního souboru z rozevíracího seznamu (TXT/SHP) |
| Vstupní soubor neupravených PF (TXT, formát XrYrXIYI) | Vstup | Textový soubor (.txt) | Podmíněno výběrem vstupu <i>TXT</i> . |
| Vstupní soubor upravených PF (SHP) | Vstup | Shapefile | Podmíněno výběrem vstupu <i>SHP</i> . |
| Výběr typu vstupu DMR (DMR celek/DMR dle břehu RB LB) | Vstup | Výběr ze seznamu | Výběr druhu vstupních dat DMR z rozevíracího seznamu. Výběr jednoho souboru s daty DMR, nebo data DMR pro každý břeh zvlášť. |
| Vstupní soubor DMR (TXT, formát XYZ) | Vstup | Textový soubor (.txt) | Podmíněno výběrem vstupu <i>DMR_celek</i> . Textový soubor s body DMR obsahující informace XYZ. |
| Vstupní soubor DMR pravý břeh RB (TXT, formát XYZ) | Vstup | Textový soubor (.txt) | Podmíněno výběrem vstupu <i>DMR_dle_brehu</i> . Textový soubor s body DMR obsahující informace XYZ pravého břehu. |
| Vstupní soubor DMR levý břeh LB (TXT, formát XYZ) | Vstup | Textový soubor (.txt) | Podmíněno výběrem vstupu <i>DMR_dle_brehu</i> . Textový soubor s body DMR obsahující informace XYZ levého břehu. |
| Výstupní PF 3D s odečtením polohy a výšky z DMR (TXT) | Výstup | Textový soubor (.txt) | Výstupní textový soubor se souřadnicemi a výškami levého a pravého břehu. |
| Poloměr hledání nejnižšího bodu (m) | Vstup | Číslo (desetinné) | Poloměr hledání nejnižšího bodu z podkladu DMR. |

Využití hydrologického měření při schematizaci koryt vodních toků pro potřeby hydrodynamických modelů na podkladě dat leteckého laserového skenování



TA02020139

j) Výpočetní mechanismus

Výpočet zahloubení koryta vodního toku je založen na připravených datech z preprocessingu a charakteristikách koryta vodního toku. Výpočet je proveden pro ustálené rovnoměrné proudění s využitím rovnice kontinuity a Chézyho rovnice s výpočtem rychlostního součinitele dle Manninga.

$$Q=v \cdot S$$

$$v=C \cdot \sqrt{R \cdot i}$$

$$R=S/O$$

$$C=1/n R^{1/6}$$

kde:

Q průtok, ($m^3 \cdot s^{-1}$)

S průtočná plocha, (m^2)

v rychlost proudění, ($m \cdot s^{-1}$)

C rychlostní součinitel, ($m^{0.5} \cdot s^{-1}$)

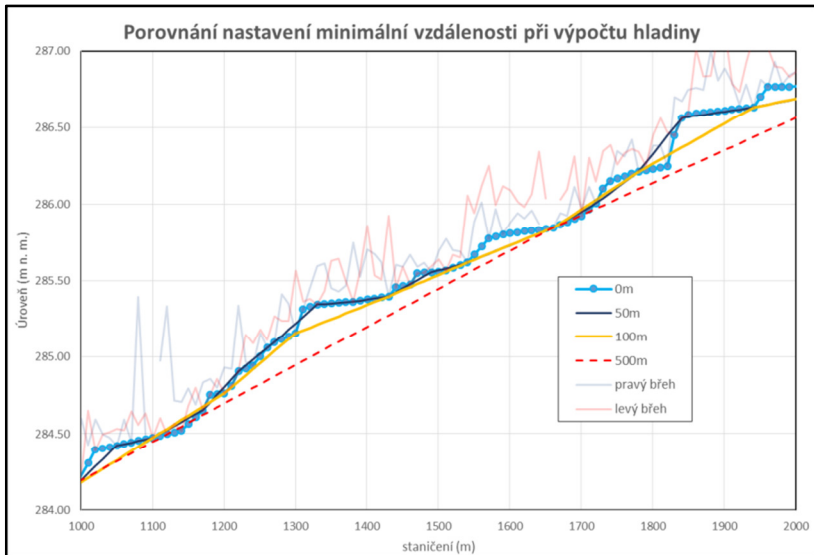
i sklon hladiny, (-)

R hydraulický poloměr, (m)

n Manningův drsnostní součinitel, (-)

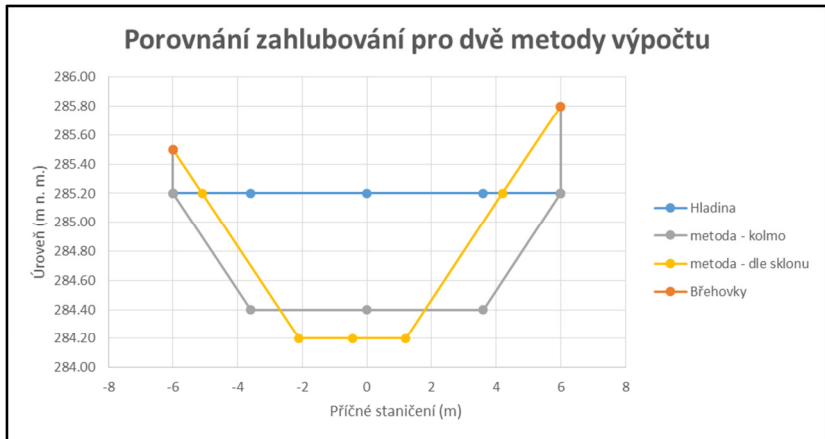
Samotný výpočet má na výběr dvě metody zahloubení a volitelný parametr pro určení sklonu hladiny. Sklon hladiny je počítán mezi sousedícími příčnými profily, kdy je vždy vybrána nižší úroveň z levého a pravého břehu (styk svahu a hladiny). Směr výpočtu je ve směru proudění. V případě, že by mezi dvěma příčnými profily byl sklon opačný, tj. vzrůstající ve směru proudění, je příčný profil pro výpočet úrovně hladiny přeskočen a následně zpětně dopočten interpolací.

V případě velkého počtu příčných profilů se může stát, že bude sklon hladiny velice proměnlivý a podélný sklon hladiny bude připomínat vodní tok s velkým počtem vodních stupňů, i když je ve skutečnosti sklon v celém úseku konstantní příp. pozvolně se mění. V takovém případě je možno určovat minimální vzdálenost, pro kterou bude sklon hladiny dopočítáván. Pro přehlednost je na následujícím obrázku zobrazeno několik zvolených vzdáleností na vykresleném podélném profilu.



Obrázek 10 Znárodnění volitelné minimální vzdálenosti při výpočtu hladiny

Výpočet zahloubení je volitelný ve dvou metodách z několika důvodů. Pro výpočet je důležitá úroveň hladiny a šířka koryta ve hladině. Jelikož je úroveň levého a pravého břehu (teoretický styk břehu a hadiny) rozdílná, případně je úroveň hladiny dopočtená, dochází tak k nutnosti zahloubení úrovně u jednoho či obou bodů oproti původním úrovním břehů. Při první metodě, metoda zahloubení kolmo, je zahloubení provedeno kolmo a polohové umístění nově vzniklých břehů a šířky v hladině se nemění. V druhé metodě, metoda zahloubení dle sklonu, je zahloubení k výchozí hladině provedeno na základě sklonů břehů koryta. Zahloubením hladiny se změní souřadnice břehů a tím i šířka v hladině. Porovnání metod je znázorněno na následujícím obrázku.

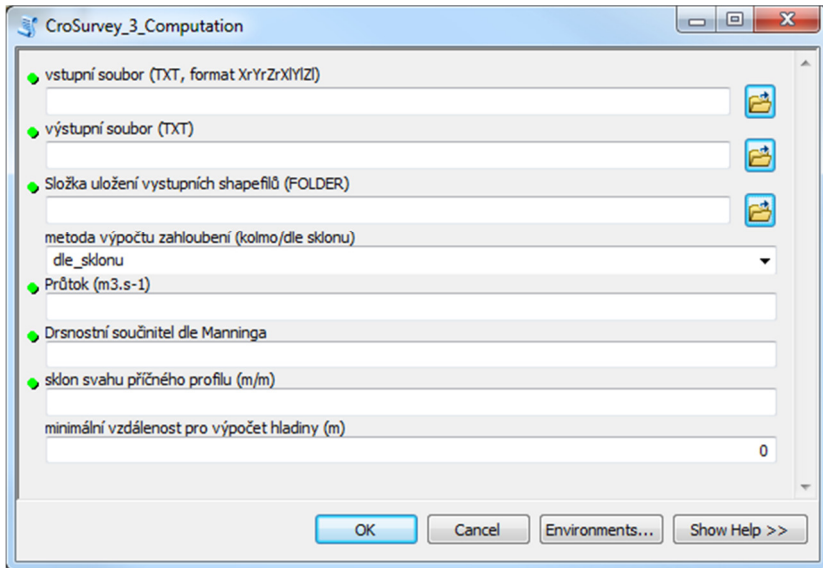


Obrázek 11 Porovnání dvou metod výpočtu zahloubení (zobrazeno na příčném řezu)

Pro případ, kdy dojde k záporné šířce ve dně při hledání průtočné plochy, je nastavena změna příčného sklonu svahů na dvojnásobek zadané hodnoty pro daný příčný profil. Pokud i nadále vychází záporná hodnota, výsledné lichoběžníkové koryto má sklony svahů 1 000:1.



TA02020139



Obrázek 12 Vzhled nástroje „Computation“



TA02020139

Tabulka 6: Popis vstupních dat a formátů nástroje „Computation“

| Parametr nástroje | Vstup/ Výstup | Formát (popis) | Popis |
|---|--------------------------|---------------------------|---|
| Vstupní soubor (TXT, format XrYrZrXIYIZI) | Vstup | Textový soubor (.txt) | Textový soubor s body břehů obsahující informace XYZ pro levý a pravý břeh. |
| Výstupní soubor (TXT) | Výstup | Textový soubor (.txt) | Umístění a název textového souboru, do kterého se uloží výsledné hodnoty souřadnic a hydraulických charakteristik. |

Využití hydrologického měření při schematizaci koryt vodních toků pro potřeby
hydrodynamických modelů na podkladě dat leteckého laserového skenování



TA02020139

| Složka uložení výstupních shapefilů (FOLDER) | Výstup | Složka | Složka, do které budou uloženy výsledné soubory shapefile. |
|--|--------|---|---|
| Metoda výpočtu zahloubení (kolmo/dle sklonu) | Vstup | Výběr ze seznamu | Výběr metody výpočtu zahloubení z rozevíracího seznamu (kolmo/dle sklonu) |
| Průtok ($m^3 \cdot s^{-1}$) | Vstup | Číslo (desetinné číslo - $m^3 \cdot s^{-1}$) | Hodnota průtoků v době pořízení LLS. |
| Drsnostní součinitel dle Manninga | Vstup | Číslo (desetinné číslo) | Manningův drsnostní součinitel koryta vodního toku v zájmovém úseku. |

k) PostProcessing

Výsledek nástroje zahloubení je v podobě textového souboru a shapefilů. Textový soubor obsahuje souřadnice všech dopočítaných poloh a výšek bodů a hydraulické charakteristiky v příčných profilech. Výsledné shapefilly jsou ve třech geometriích, body, polyline, polygon. Body jsou ve všech lomových bodech příčných profilů. Polyline tvoří povinné spojnice mezi body a vytvářejí kresbu příčných profilů, osy dna koryta, pat svahů a břehů. Polygon vytváří obalovou křivku zahloubeného koryta. Body a linie obsahují atributy o typu (Breh_pravy, Breh_levy, Pata_prava, Pata_leva, Osa, PF) a staničení, které může posloužit jako identifikátor pro spárování záznamu shapefilu a textového výstupu.

Tabulka 7: Seznam výstupních atributů s popisem

| | Popis |
|----|---|
| Xr | polohová souřadnice X pravého břehu dopočítaná dle metody výpočtu |
| Yr | polohová souřadnice Y pravého břehu dopočítaná dle metody výpočtu |
| Zr | výšková souřadnice Z pravého břehu dopočítaná dle metody výpočtu (m n.m.) |
| Xl | polohová souřadnice X levého břehu dopočítaná dle metody výpočtu |
| Yl | polohová souřadnice Y levého břehu dopočítaná dle metody výpočtu |
| Zl | výšková souřadnice Z levého břehu dopočítaná dle metody výpočtu (m n.m.) |

Využití hydrologického měření při schematizaci koryt vodních toků pro potřeby hydrodynamických modelů na podkladě dat leteckého laserového skenování



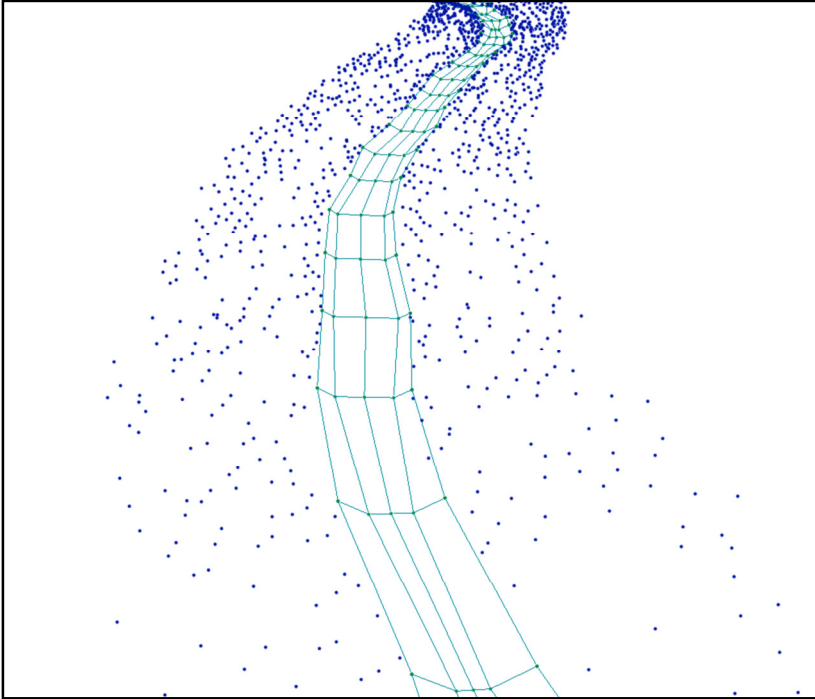
TA02020139

| | |
|-----------|--|
| B | šířka koryta v hladině (m) |
| Xmp | polohová souřadnice X osy dna koryta |
| Ymp | polohová souřadnice Y osy dna koryta |
| Zmp | výšková souřadnice Z osy dna koryta (m n.m.) |
| CS_dist | vzdálenost od vedlejšího spodního profilu (m) |
| st | staničení profilu od dolního konce úseku (m) |
| slope | podélný sklon hladiny (-) |
| h | vypočítaná hloubka vody v profilu (m) |
| ss | sklon svahů koryta použit pro výpočet zahloubení (-) |
| b | šířka koryta ve dně (m) |
| XrBed | polohová souřadnice X pravé paty svahu |
| YrBed | polohová souřadnice Y pravé paty svahu |
| ZrBed | výšková souřadnice Z pravé paty svahu (m n.m.) |
| XlBed | polohová souřadnice X levé paty svahu |
| YlBed | polohová souřadnice Y levé paty svahu |
| ZlBed | výšková souřadnice Z levé paty svahu (m n.m.) |
| Zaltitude | úroveň hladiny v profilu (m n.m.) |
| Xr_input | polohová souřadnice X pravého břehu vstupu |
| Yr_input | polohová souřadnice Y pravého břehu vstupu |
| Zr_input | výšková souřadnice Z pravého břehu vstupu (m n.m.) |
| Xl_input | polohová souřadnice X levého břehu vstupu |
| Yl_input | polohová souřadnice Y levého břehu vstupu |
| Zl_input | výšková souřadnice Z levého břehu vstupu (m n.m.) |

Využití hydrologického měření při schematizaci koryt vodních toků pro potřeby hydrodynamických modelů na podkladě dat leteckého laserového skenování



TA02020139

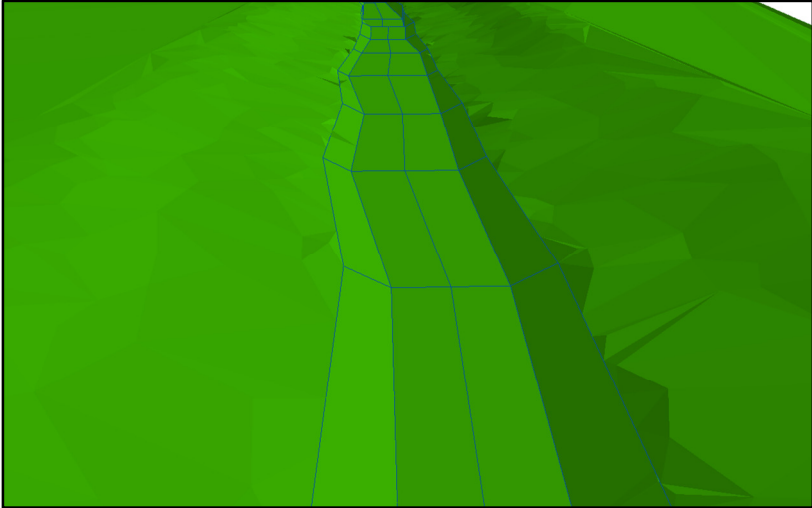


Obrázek 13 Ukázka bodů MDR (LLS) a povinných spojnic zahloubeného koryta (břehové linie, paty svahů, osa, příčné profily)

Využití hydrologického měření při schematizaci koryt vodních toků pro potřeby hydrodynamických modelů na podkladě dat leteckého laserového skenování



TA02020139



Obrázek 14 DMT ve formátu TIN se zapracovaným zahloubeným korytem



TA02020139

III. Srovnání „novosti postupů“

oproti původní metodice, případně jejich zdůvodnění, pokud se bude jednat o novou neznámou metodiku (§ 2, odst. 1, písm. b) a písm. c) zákona č. 130/2002 Sb.)

Nutnost kombinace používaných způsobů pořizování dat pro tvorbu geometrie hydrodynamických modelů výrazně zvyšuje finanční náročnost na celkový projekt, přičemž v případě geodetického zaměření příčných profilů koryta pro zanesení informace o korytě do konečného DMR není vyjádřena meziprofilová oblast koryta vodního toku a daný úsek je zanesen na základě editace provedené zpracovatelem.

Ve vazbě na prováděné nové výškopisné mapování ČR technologií LLS a s ohledem na prováděné hydrologické měření ČHMÚ a podniky Povodí je alternativně možná syntéza těchto dat pro tvorbu schematizace vodního toku pro hydrodynamický model, kdy je v rámci technického řešení originálním způsobem zkombinována informace o hodnotě stanovených průtoků v době pořizování výškopisných dat metodou LLS se samotnými daty LLS.



TA02020139

IV. Popis uplatnění Certifikované metodiky

Informace pro koho je určena a jakým způsobem bude uplatněna

Uvedený způsob tvorby geometrie do hydrodynamického modelu má požadovanou vypovídající hodnotu, která je výsledkem sloučení informace o hodnotě stanovených průtoků v době pořizování výškopisných dat metodou LLS se samotnými daty LLS. Postup zhotovení s využitím nástrojů GIS poskytuje dosažení požadované přesnosti, což dosud není možné dosáhnout dosavadními používanými metodami a podklady. Pokud bude standardně dodržena metodou LLS deklarovaná chyba výšky 0,18 m, pak tento postup podstatně zrychlí a zlevní predikci rozsahu záplavových území. Tam, kde jsou k dispozici povodí s měřenými profily (významné toky), bude tato metoda bezesporu přínosem. Přesnost popsaného způsobu tvorby geometrie do hydrodynamického modelu je závislá na deklarované chybě výšky 0,18 m. S rozvojem technologií pro snímání zemského povrchu bude zákonitě docházet i ke snižování této uvedené chyby. Tím se bude automaticky zvyšovat i přesnost uvedeného způsobu tvorby geometrie a také možnosti širšího rozšíření v praxi.

Přítom získávání dílčích údajů je relativně jednoznačné a přesné, což předurčuje dosažení odpovídajících výsledků i u konečné geometrie vodního toku pro potřeby hydrodynamického modelu. Pro potřeby zobecnění daného přístupu bude ovšem ještě nutné provést v budoucnu již uváděnou detailní citlivostní analýzu na kvantifikaci nejistot vstupních veličin.

Pozitivem je rovněž zjištění, že data z nového výškopisného mapování metodou LLS poskytnou pro celé území ČR požadovaný podklad pro povodňové analýzy ať již v kombinaci s geodetickým zaměřením koryt vodních toků, s využitím hydrologického měření pro snížení průtoků v modelovaných scénářích nebo s možností dodatečného zahloubení koryt vodních toků do DMR připraveného z dat LLS v kombinaci s daty z hydrologického měření.



TA02020139

Nově získané výškopisné informace naleznou uplatnění jako komplexní podklad pro řešení nejen vodohospodářské problematiky, ale i v ostatních oborech, pro které je znalost vertikální členitosti území rozhodující.

Hydrologická data vedoucí k zahloubení DMR z dat LLS poskytnou vytvoření hydrodynamického modelu, u kterého budou splněny všechny hydraulické podmínky a získané výstupy budou moci být použity při tvorbě map povodňového nebezpečí a povodňových rizik či navazujících rizikových analýz bez nutnosti zahrnout do modelu další zjednodušení, jako je například nutné při modelování povodňových scénářů se sníženým průtokem.

Popisovaná metoda pro automatickou tvorbu geometrie vodních toků s využitím LLS v kombinaci s informací o aktuálním průtoku v daném toku je ve vazbě na využívání laserového skenování ve světě lehce aplikovatelná i za hranicemi ČR. Skenované rozsáhlé lokality např. v Bavorsku, Francii, atd., kde skenování proběhlo s daleko vyšší hustotou bodů na m², než je v současnosti realizováno pro celou ČR, dávají předpoklad, že metoda syntézy by se tak mohla stát významnou i s ohledem na světové měřítko.



TA02020139

V. Ekonomické aspekty

Vyčíslení (v tis. Kč) nákladů na zavedení postupů uvedených v metodice a vyčíslení (v tis. Kč) ekonomického přínosu pro uživatele

Ekonomické aspekty studie lze nejlépe demonstrovat na pořizovacích nákladech vstupních dat DMT vč. jejich zpracování. Zásadní přínos metody získání DMT z LLS je pokrytí celého území ČR levnými, konzistentními (stejně kvalitními) a rychle dostupnými daty.

Dle informací v kap. 4.b) jsou zvažována data pouze z DMR 5G. Data 4G jsou obecně pro tyto výpočty nepoužitelná.

Vstupní data LLS jsou pro potřeby vybraných organizací výkonu státní správy dosažitelná zdarma, resp. pro potřeby výzkumných organizací, široké veřejnosti atp. za paušální poplatky. V rámci ekonomického vyčíslení nákladů je nutné dále brát v potaz náklady na pre-processing dat a jejich verifikaci.

Využívané metody sběru dat pro potřeby hydraulického modelování dle zeměměřických (geodetických) metod:

- Pořízení dat pouze standardními pozemními zeměměřickými metodami (vč. zaměření příčných profilů koryt).
- Pořízení dat pouze leteckými zeměměřickými metodami (LMS, LLS).
- Kombinací obou metod.

Co se týká odvozených (vyhodnocených) geometrických prvků z dat, tak zcela kritické aktivity pro popisovanou metodiku jsou:

- Identifikace břehové linie a dalších terénních stupňů v blízkosti vodního toku.
- Propojení/rozhraní styku pozemních dat s vodní plochou.

Popisovaná metoda řeší oba typy prvků pouze na základě DMR 5G. Pro propojení s automatickou tvorbou geometrie vodních toků je pak

Využití hydrologického měření při schematizaci koryt vodních toků pro potřeby hydrodynamických modelů na podkladě dat leteckého laserového skenování



TA02020139

vždy nutné pohlížet i z pohledu přesnosti, která dále zásadním způsobem metodu z ekonomického hlediska zlevňují nebo prodražují:

a/ požadovaná resp. dosažitelná přesnost:

- *ekonomické hledisko*: méně přesné hydraulické modelování; využití jen leteckých metod
- *hledisko přesnosti*: přesné výpočty; využití kombinace metod

b/ typ vodního toku:

- menší (úzký, meandrovitý) vodní tok
- široký vodní tok se zřejmými břehovými hranami
- kombinovaný

V tabulce je uvedeny ceny na pilotním území zpracovávaného různými hodnotami. Jako pilotní modelové území bylo zvoleno 10 říčních kilometrů s přesahem 200 m na obě strany, typ vodního toku kombinovaný; celkem 2 km².

Tabulka 8: Ekonomické aspekty

| Položka | Cena celkem v tis. Kč (bez DPH) |
|--|------------------------------------|
| Podrobné geodetické měření ve 3. třídě přesnosti (např. Technicko-provozní evidence toku), přímé měření i břehových hran, úrovně vodních hladin a příčných profilů v korytech - <u>bez nutnosti doměření dalších dat</u> | 400 |
| Přesné geodetické měření - pouze s měřením výškových bodů a významných povinných hran, (tj. hran, úrovně vodních hladin a další), bez měření příčných profilů v korytu - <u>nutnost propojení s hydrologickými daty</u> | 290 |
| Výškopis získaný z LLS – DMR 5G (včetně preprocessingu a verifikace dat), automatický výpočet břehových hran - <u>větší pracnost na propojení a úpravu dat zahlobeného koryta</u> | 50 |

Využití hydrologického měření při schematizaci koryt vodních toků pro potřeby hydrodynamických modelů na podkladě dat leteckého laserového skenování



TA02020139

Poznámky: Uvedené ceny vycházejí z komerčních průměrných cen na trhu v oblasti zeměměřičství, které zejm. v posledních 5 letech výrazně kolísají, v ceně jsou již uvažovány průměrné počty hodin a ceny za zpracování dat v komerčních firmách.

VI. Závěr

Datové zdroje (DMR 4G, DMR 5G, DMP) z prováděného mapování výškopisu ČR představují mocný nástroj nejen pro oblast hydrologie či říční hydrauliky.

Výsledky z provedených analýz prokazují oprávněnost tvrzení o možnosti syntézy dat LLS s daty z hydrologického měření při přípravě výpočetní geometrie vodního toku.

Je dosažena velice dobrá shoda příčných profilů (stanovených záplavových území) připravených pomocí softwaru CroSolver či CroSolver for ArcGIS s příčnými profily z geodetického zaměření.

Omezené datové zdroje podrobných geodetických podkladů pro detailní vystižení skutečnosti meziprofilové oblasti či časová náročnost na pořízení dat poukazují na možnost využití syntézy dat LLS a hydrologického měření v praxi.

Širší uplatnění zvolené metody bude mít i pozitivní dopad na snížení ekonomické náročnosti, která je bezesporu s pořízením výškopisu konvenčními geodetickými metodami spojena, což se promítne i do nákladů na sestavení samotného hydrodynamického modelu.

V případě tzv. malých vodních toků, kde je jeho konstantní průtočnost bezvýznamná, je automaticky volena metoda bez zahlubování pomocí dat z hydrologického měření a pouze jako kontrolní jsou využity geodeticky zaměřené profily.

Pro případy optimálně zvoleného území (ideálně typ širokého vodního toku s pravidelnými břehovými hranami) a požadavku na rychlé zpracování korektních dat pro větší zájmové území je popisovaná metodika vysoce efektivní.



Seznam tabulek

| | |
|---|----|
| Tabulka 1: Dosažené přesnosti jednotlivými metodami | 12 |
| Tabulka 2: Informace o použitých datech..... | 15 |
| Tabulka 3: Přehled počtu objektů kvantitativního monitoringu..... | 17 |
| Tabulka 4: Popis dat a nástroje PreProc_CreateStationLines_TXT_SHP .. | 23 |
| Tabulka 5: Popis dat a nástroje PreProc_PF_DMR_2Dto3D | 28 |
| Tabulka 6: Popis dat a nástroje Computation | 33 |
| Tabulka 7: Seznam výstupních atributů s popisem..... | 34 |
| Tabulka 8: Ekonomické aspekty..... | 42 |

Seznam obrázků

| | |
|--|----|
| Obrázek 1 Porovnání dat DMR 5G a 3D | 15 |
| Obrázek 2 Ukázka vstupních dat DMR | 20 |
| Obrázek 3 Zobrazení orientace směřování osy řešeného vodního toku | 21 |
| Obrázek 4 Ukázka přidání nástroje CroSolver do ArcToolboxu | 22 |
| Obrázek 5 Vzhled nástroje PreProc_CreateStationLines_TXT_SHP..... | 22 |
| Obrázek 6 Zobrazení vstupních a výstupních dat nástroje..... | 23 |
| Obrázek 7 Vzhled nástroje PreProc_PF_DMR_2Dto3D..... | 25 |
| Obrázek 8 Zobrazení vstupních a výstupních dat nástroje..... | 26 |
| Obrázek 9 Zobrazení výstupního textového souboru popisující polohu | 27 |
| Obrázek 10 Znázornění volitelné minimální vzdálenosti | 30 |
| Obrázek 11 Porovnání dvou metod výpočtu zahloubení | 31 |
| Obrázek 12 Vzhled nástroje „Computation“ | 32 |
| Obrázek 13 Ukázka bodů MDR (LLS) a povinných spojnic | 36 |
| Obrázek 14 DMT ve formátu TIN | 37 |



TA02020139

Seznam použité související literatury

BRÁZDIL, K.: Projekt tvorby nového výškopisu území České republiky. Geodetický a kartografický obzor, 2009, ročník 55 (97), č. 7, s. 145-151

COVENEY, S – FOTHERINGHAM, A.S. – CHARLTON, M; MCCARTHY, T: Dual-scale validation of a medium-resolution coastal DEM with terrestrial LiDAR DSM and GPS, COMPUTERS & GEOSCIENCES, 2010, vol. 36, Issue: 4, Pages: 489-499

DOLANSKÝ, T.: 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.

FOWLER, H. J. – EKSTRÖM, M. – KILSBY, C. G. – JONES, P. D.: New estimates of future changes in extreme rainfall across the UK using regional climate model integrations. Assessment of control climate. Journal of Hydrology 300 (2005) 212 233.

GIANNONI, F. – SMITH, J.A. – ZHANG, YU – ROTH, G.: Hydrologic modeling of extreme floods using radar rainfall estimates. Advances in Water Resources, Volume 26, Issue 2, pp. 195-203, 2003.

HLADNÝ J.: Meteorologické a hydrologické syndromy povodňové situace v srpnu 2002. In Workshop Extrémní hydrologické jevy v povodích. Praha, ČVUT, ČVHS, 12. 11. 2002, s. 13-26. ISBN 80-01-02686-8.



TA02020139

HRÁDEK F. – SOBOTA J.: Prognózy maximálních průtoků v nepozorovaných profilech povodí drobných vodních toků. In Workshop Extrémní hydrologické jevy v povodích. Praha, ČVUT, ČVHS, 25.10.1999, s. 82-85. ISBN 80-01-02072-X.

PLATE, E. J.: Flood risk and flood management. *Journal of Hydrology* 267, pp. 2-11, 2002.

ŠÍMA, J.: Abeceda leteckého laserového skenování, ročník 2009, číslo 3, 22 - 25 str., *GeoBusiness*.

UHLÍŘOVÁ, K. – ZBOŘIL, A.: Možnosti využití Laserového snímání povrchu pro vodohospodářské účely. *Vodní hospodářství*, Vol. 59, 2009, No. 12, p. 11–15.



TA02020139

Seznam publikací

Seznam publikací, které předcházely metodice a byly publikovány (pokud existují), případně výstupy z určité znalosti, jestliže se jedná o originální práci.

Odborné články

PAVLÍČKOVÁ, L. – NOVÁK, P. – ROUB, R. – HEJDUK, T. Využití geografických informačních systémů a územně plánovací dokumentace při modelování povodňového rizika. *Vodní hospodářství - VTEI*, 2012, roč. 54, č. 4, s. 1-6. ISSN: 1211-0760.

HEJDUK, T. – ROUB, R. Využití dat leteckého laserového skenování při tvorbě hydrodynamických modelů. In *HYDROMODE 2012 Kostelec nad Černými lesy*. 2012. s. 1-1

ROUB, R. – HEJDUK, T. – NOVÁK, P. Využití dat z tvorby nového výškopisu území České republiky metodou leteckého laserového skenování při analýze a mapování povodňových rizik. *Geodetický a kartografický obzor*, 2012, roč. 2012, č. 1, s. 252-268. ISSN: 0016-7096.

ROUB, R. – HEJDUK, T. – NOVÁK, P. Automating the creation of channel cross section data from aerial laser scanning and hydrological surveying for modeling flood events. *Journal of Hydrology and hydromechanics*, 2012, roč. 60, č. 4, s. 256-261. ISSN: 0042-790X.

ROUB, R. – HEJDUK, T. – NOVÁK, P. (2013): Optimization of Flood Protection by Semi-natural Means and Retention in the Catchment Area: A Case Study of Litavka River (Czech Republic). *Moravian Geographical Reports*, Vol. 21, No. 1, p. 51–66.



TA02020139

NOVÁK, P. – ROUB, R. – HEJDUK, T. – VYBÍRAL, T. – HÁNOVÁ, K. – URBAN, F. (2014): Comparison of the longitudinal and lateral profiles of watercourses using sonar-based methods (ADCP) and hydrological analogy AUC Geographica, 49, No. 2, pp. 111–119

Specializována mapa s odborným obsahem

URBAN, F. – ROUB, R. – HEJDUK, T. – NOVÁK, P. – REIL, A. – BUREŠ, L. Syntetická mapa vodního toku a přilehlé inundace, The synthetic map of watercourse and adjoining inundation area, geodetic surveying, aerial laser scanning, photogrammetry, flood, 2014, DA - Hydrologie a limnologie, D - Specializovaná mapa s odborným obsahem, Syntetická mapa vodního toku, Mapa, sestavená na podkladě syntézy dat z hydrologického měření a dat LLS vyjadřuje potenciální riziko pro jednotlivé nemovitosti v řešeném území, tj. v záplavovém území. Důležitým ekonomickým parametrem je ochrana lidských životů, snižování škod na majetku obyvatel a obcí. Aplikací postupu tvorby map do praxe dojde k výrazné úspoře finančních prostředků za geodetické zaměření., A - Výsledek využívá pouze poskytovatel, Zeměměřický úřad, Pod sídlištěm 9, 182 11 Praha 8 , 02.12.2014,

Software

HAVLÍČEK, V. – ROUB, R. – PECH, P. – HEJDUK, T. CroSolver, CroSolver, cross-section estimation, flow rate, LIDAR, laser scanning, R programming language, 2013, DA - Hydrologie a limnologie, CroSolver, <http://www.kvhem.cz/vyzkum/software/>, Zdrojové kódy funkcí pro

Využití hydrologického měření při schematizaci koryt vodních toků pro potřeby hydrodynamických modelů na podkladě dat leteckého laserového skenování



TA02020139

programovací jazyk R, autorizovaný software, freeware, Snížení nákladů spojených s použitím hydrologicko-geografických modelů, KVHEM, Fakulta životního prostředí, ČZU v Praze, 60460709, CZ - Česká republika, N - Využití výsledku jiným subjektem je možné bez nabytí licence (výsledek není licencován), N - Poskytovatel licence na výsledek nepožaduje licenční poplatek

URBAN, F. – ROUB, R. – HAVLÍČEK, V. – PECH, P. – HEJDUK, T. – BUREŠ, L. – REIL, A. CroSolver_ToolBox, CroSolver_ToolBox, cross-section estimation, flow rate, LIDAR, laser scanning, ArcGIS, 2014, DA - Hydrologie a limnologie, CroSolver_ToolBox,

<http://www.kvhem.cz/vyzkum/software/>, Zdrojové kódy funkcí pro programovací jazyk Python, autorizovaný software, freeware, Snížení nákladů spojených s použitím hydrologicko-geografických modelů, KVHEM, Fakulta životního prostředí, ČZU v Praze, 60460709, CZ - Česká republika, N - Využití výsledku jiným subjektem je možné bez nabytí licence (výsledek není licencován), N - Poskytovatel licence na výsledek nepožaduje licenční poplatek



TA02020139

Certifikační doložka

- Dedikace

Metodika vznikla za finanční podpory Technologické agentury ČR, programu ALFA a jako plánovaný výstup projektu č. TA02020139 „Využití hydrologického měření při schematizaci koryt vodních toků pro potřeby hydrodynamických modelů na podkladě dat leteckého laserového skenování“.

- Jména oponentů

Odborník z daného oboru:

Ing. Martin PAVEL

Ředitel divize

Hydrotechniky, ekologie a odpadového hospodářství

SwecoHydroprojekt a.s. - ústředí Praha

Telefon +420 261 102 306, mobil +420 725 336 974

martin.pavel@sweco.cz

Táborská 31, 140 16 Praha 4

www.sweco.cz

Odborník ze státní správy:

Ing. Pavel MARTÁK

Odbor ochrany vod - Oddělení ochrany před povodněmi

Telefon +420 267 122 853

Pavel.Martak@mzp.cz

Ministerstvo životního prostředí

Vršovická 1442/65, Praha 10, 100 10

www.mzp.cz

Využití hydrologického měření při schematizaci koryt vodních toků pro potřeby hydrodynamických modelů na podkladě dat leteckého laserového skenování



TA02020139

- Kontakty na osoby předkladatele metodiky

RNDr. Pavel NOVÁK, Ph.D.

Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.

Oddělení Hydrologie a ochrany vod - vedoucí oddělení

Žabovřeská 250, 156 27 Praha 5 – Zbraslav

Telefon +420 257 027 210, mobil +420 728 184 577

novak.pavel@vumop.cz

<http://www.vumop.cz>

Ing. Radek ROUB, Ph.D.

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

Kamýcká 129, Praha 6 – Suchbát, 165 21

Telefon +420 224 382 153, mobil +420 737 483 840

roub@fzp.czu.cz

<http://www.fzp.czu.cz>

Ing. Filip URBAN

Vodohospodářský rozvoj a výstavba a.s.

Oddělení plánování a koncepcí

Nábřeží 4, 150 56 Praha 5 – Smíchov

Telefon +420 257 110 334, mobil +420 605 210 951

urban@vrv.cz

<http://www.vrv.cz>

Ing. Tomáš VYBÍRAL, Ph.D.

GEOREAL spol. s r.o.

Hálkova 12

301 00 Plzeň

Telefon +420 373 733 431, mobil +420 724 025 477

tomas.vybiral@georeal.cz



TA02020139

<http://www.georeal.cz>

- Prohlášení předkladatele metodiky

Předkladatel metodiky prohlašuje, že zpracovaná metodika nezasahuje do práv jiných osob z průmyslového nebo jiného duševního vlastnictví.

- Prohlášení předkladatele, že souhlasí s uveřejněním jeho práce na webových stránkách certifikačního orgánu

Předkladatel metodiky souhlasí s uveřejněním metodiky na webových stránkách Českého úřadu zeměměřičského a katastrálního.

| | |
|-------------|--|
| Název | Využití hydrologického měření při schematizaci koryt vodních toků pro potřeby hydrodynamických modelů na podkladě dat leteckého laserového skenování |
| Autoři | RNDr. Pavel Novák, Ph.D., Ing. Radek Roub, Ph.D., Ing. Filip Urban, Ing. Tomáš Vybíral, Ph.D., Ing. Tomáš Hejduk, Ph.D., Ing. Jana Maxová, Mgr. Antonín Zajíček, Ph.D., Ing. Luděk Bureš |
| Vydal | Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i. |
| Vydání | První vydání, 2015 |
| Počet stran | 50 |
| Náklad | 100 |
| Tisk | Powerprint s. r. o., Brandejsovo nám. 1219/1, 165 00 Praha 6 |
| Distribuce | Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v. v. i., Žabovřeská 250, 156 27 Praha 5 |
| ISBN | 978-80-87361-49-8 |