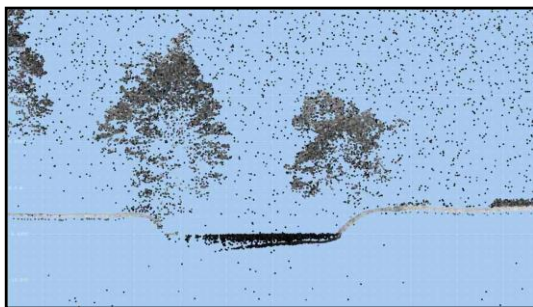


# **Nové technologie batymetrie vodních toků a nádrží pro stanovení jejich zásobních kapacit a sledování množství a dynamiky sedimentů**

Certifikovaná metodika výsledků výzkumu, vývoje a inovací

**Pavel Novák a kol.**



**T A**

**Č R**

Program **Alfa**

**2017**



*Autoři:* RNDr. Pavel Novák, Ph.D. <sup>1</sup> (novak.pavel@vumop.cz)  
Ing. Radek Roub, Ph.D. <sup>2</sup> (roub@fzp.czu.cz)  
Ing. Tomáš Vybíral, Ph.D. <sup>3</sup> (tomas.vybiral@georeal.cz)  
Ing. Jiří Hlaváček <sup>4</sup> (jiri.hlavacek@aquamonitoring.cz)  
Ing. Štěpán Marval <sup>1,2</sup>  
Ing. Tomáš Hejduk <sup>1</sup>  
Ing. Luděk Bureš <sup>2</sup>  
Ing. Václav Hradílek <sup>2</sup>  
doc. Ing. Petr Máca, Ph.D. <sup>2</sup>  
Ing. Jana Maxová <sup>1</sup>  
Ing. Lucie Ptáčníková <sup>1</sup>  
Ing. Pavel Čuba <sup>4</sup>  
Ing. Martin Vacek <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., Žabovřeská 250, 156 27 Praha 5

<sup>2</sup> Česká zemědělská univerzita v Praze, Kamýcká 961/129, 165 00 Praha 6 - Suchbátka

<sup>3</sup> GEOREAL spol. s r.o., Hálkova 12, 301 00 Plzeň

<sup>4</sup> AQUAMONITORING, s.r.o. - Jedovnická 2346/8, 628 00 Brno – Líšeň

*Recenzovali:*

Ing. Martin TOMEK - Vodohospodářský rozvoj a výstavba a.s. - Oddělení plánování a koncepcí Nábřeží 4, 150 56 Praha 5 – Smíchov

Ing. Marie KURKOVÁ, Ph.D. - Ministerstvo zemědělství ČR - Odbor vodohospodářské politiky a protipovodňových opatření, Těšnov 65/17, Praha 1, 110 00

*Poděkování:*

Metodika vznikla za finanční podpory Technologické agentury ČR, programu ALFA a jako plánovaný výstup projektu č. TA04020042 „Nové technologie batymetrie vodních toků a nádrží pro stanovení jejich zásobních kapacit a sledování množství a dynamiky sedimentů“.

Metodiku schválil pro využití v praxi Zeměměřický úřad, osvědčením č. ZÚ-04010/2017-11001 ze dne 19. 12. 2017.

V roce 2017 v nákladu 50 ks vydal VÚMOP, v.v.i.

Tisk: Rhodos spol. s r.o., Vyšehradská 51, 128 00 Praha 2

Vydání: první, 2017

ISBN 978-80-87361-81-8

© Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., Žabovřeská 250, 156 27 Praha 5, www.vumop.cz

Ředitel: doc. Ing. Radim Vácha, Ph.D.



## Obsah

<b>I. Cíl metodiky</b> .....	4
<b>II. Vlastní popis metodiky</b> .....	5
1. Úvod .....	5
2. Vymezení základních pojmů.....	10
3. Seznam použitých zkratk .....	11
4. Teoretické minimum.....	13
5. Problematika sedimentů.....	18
6. Katalog opatření omezujících transport sedimentů do vodních toků a nádrží.....	20
7. Metody sběru dat .....	23
8. Testované technologie/aparatury batymetrického měření.....	28
<b>III. Srovnání novosti postupů</b> .....	41
<b>IV. Popis uplatnění Certifikované metodiky</b> .....	42
<b>V. Ekonomické aspekty</b> .....	44
9. Pořizovací náklady testovaných batymetrických metod .....	44
10. Náklady na realizaci batymetrického měření .....	47
<b>VI. Závěr</b> .....	50
Seznam tabulek.....	51
Seznam obrázků.....	51
Seznam použité související literatury .....	52
Seznam výsledků a publikací.....	57
Certifikační doložka.....	60



## I. Cíl metodiky

Cílem metodiky je prezentace vhodných metod pro získání relevantních dat o batymetrii vodních toků a nádrží. Základním cílem je zavedení nových metodických přístupů pro stanovení kapacit vodních toků a nádrží ve vazbě na sledování množství a dynamiky sedimentů do uživatelské praxe.

Z důvodu komplexního pojetí předkládané certifikované metodiky jsou přílohou certifikované metodiky rovněž katalogové listy s konkrétními opatřeními pro předcházení vzniku sedimentů a tím snižování zásobních kapacit vodních toků a nádrží.

Dílčí cíle je možné kvantifikovat:

- zodpovědět základní otázky v oblasti batymetrie vodních toků a nádrží, tj. jaké technologie na měření aplikovat, jak pracovat se získanými daty, jak tato data aplikovat v praxi,
- získat poznatky v oblasti sledování jak samotného množství sedimentů, tak jejich dynamiky,
- navrhnout katalog opatření s popisem konkrétních návrhů (preventivního charakteru), které budou omezovat samotný vznik sedimentů a jejich transport do vodního toku či vodní nádrže,
- ověřit vhodnost současného softwarového vybavení pro práci s pořízenými datovými sadami, nesoucí batymetrické informace o vodních tocích a nádržích.



## II. Vlastní popis metodiky

### 1. Úvod

Pro území ČR bylo zpracováno několik digitálních výškopisných databází v rámci resortu Českého úřadu zeměměřického a katastrálního (ČÚZK) a Ministerstva obrany ČR (MO ČR). Resort MO ČR spravuje digitální model reliéfu (DMR) 2,5. generace a DMR 3. generace - výškopisný model ve formě nepravidelné trojúhelníkové sítě (TIN).

Ze současných výškopisných databází, které ČÚZK, respektive Zeměměřický úřad, spravuje a aktualizuje, je třeba uvést Základní bázi geografických dat (ZABAGED), která je reprezentována několika datovými sadami s různou úrovní podrobnosti a přesnosti výškopisu. Mezi základní báze patří:

- **ZABAGED® - výškopis 3D vrstevnice**, kterou tvoří tři typy objektů vrstevnic se základním intervalem 5, 2 nebo 1 m v závislosti na morfologii terénu.
- **ZABAGED® - výškopis grid 10 x 10 m** je digitální model reliéfu v podobě pravidelné sítě třírozměrných bodů, který je odvozen z vrstevnic a terénních hran ZABAGED®. Přesnost výšky jednotlivých výškopisných bodů je obdobná pro obě datové sady, tedy 0,7-1,5 m v otevřené krajině, 1-2 m v sídlech a 2-5 m v zalesněném území.

Na území ČR bylo v letech 2009 – 2013 provedeno výškopisné mapování metodou leteckého laserového skenování (LLS), které je základem nového výškopisu s vyšší přesností.

LLS bylo realizováno systémem LiteMapper 6800 firmy IGI GmbH s využitím leteckého laserového skeneru RIEGL LMS – Q680 s příslušenstvím pro autonomní určování polohy skeneru GPS (Global Positioning System) a IMU (Inertial Measurement Unit). Z této měřické kampaně vycházejí následující tři výškopisné produkty:



- **Digitální model reliéfu území České republiky 4. generace (DMR 4G)** ve formě rastru  $5 \times 5$  m se střední výškovou chybou 0,3 m ve volném terénu a 1 m v zalesněném území,
- **Digitální model reliéfu území České republiky 5. generace (DMR 5G)** ve formě TIN se střední výškovou chybou 0,18 m ve volném terénu a 0,3 m v zalesněném území,
- **Digitální model povrchu území České republiky 1. generace (DMP 1G)** ve formě TIN se střední výškovou chybou 0,4 m pro přesně prostorově vymezené objekty (budovy) a 0,7 m pro objekty přesně neohraničené (lesy a další prvky rostlinného krytu) [1, 2].

Stále však chybí informace o výškopisu pod vodní hladinou, jaké jsou zásobní (retenční) kapacity vodních nádrží, kolik je uloženo sedimentů ve vodních tocích či vodních nádržích a jaká je jejich dynamika. Relevantní informace neposkytne žádný z výše uvedených výškopisných produktů. Tato skutečnost je dána principem leteckého laserového skenování, které je založeno na určování geocentrických souřadnic bodů na zemském povrchu metodou prostorového rajonu, kdy počátek rajonu je dán polohou „ohniska“ leteckého laserového skeneru, určenou zpravidla pomocí globálních navigačních satelitních systémů (GNSS) s využitím korekcí pro zpřesnění souřadnic do cílového geodetického referenčního systému. Vzdálenost pozemního bodu od ohniska skeneru je vypočítána z časového úseku uplynulého mezi vysláním a přijetím odraženého laserového paprsku. Standardně se používá infračervený laserový paprsek. Ten je vhodný pro mapování rostlého terénu, nikoliv však vodních ploch, neboť vodní hladina infračervený paprsek pohlcuje.

Alternativou může být využití technologie duálního LIDARu, využívajícího rozdílů dvou laserových paprsků o různé vlnové délce. Další možností je využití moderního přístrojového vybavení, jakým je např. RiverSurveyor M9 v sestavě s externí stanicí - konfigurace RTK (Real Time



Kinematic) s polohovou přesností do 3 cm, dále EcoMapper AUV (Autonomous Underwater Vehicle).

V současné době je v České republice problematika sedimentů a s nimi spojené erozní činnosti velice aktuálním tématem. Eroze je definována jako proces, při kterém vlivem činnosti vody, větru (potažmo ledu, sněhu) dochází k rozrušování půdního povrchu a transportu půdních částic. V případě vodní eroze je hlavním činitelem působení srážek a povrchového odtoku, v důsledku kterého dochází k rozrušování půdního (nebo obecně zemského) povrchu i ke změnám v částicovém složení [3]. Vodní erozi považujeme za jeden z plošných zdrojů znečištění ve vztahu k povrchovým vodám, ať již z hlediska její kvality, tak i kvantity. Výsledkem transportu splavenin je nejen snižování kapacity vodních toků a nádrží, snížení retence půdy vlivem úbytku orníční vrstvy, ale rovněž eutrofizace – nárůst sinic a řas jako důsledek vnosu fosforu vázaného na sediment. Jak popisuje [4], probíhá eroze ve třech základních formách – jako eroze plošná, výmolová a proudová, přičemž každá z těchto forem se dělí na několik stádií podle rozsahu, intenzity a průběhu procesu.

Současné přístupy v oblasti modelování transportu splavenin popisují vždy tři na sebe navazující a sebe navzájem podmiňující procesy. V prvním kroku je vždy hydrologická část, která řeší vznik povrchového odtoku.

Druhým krokem je vlastní eroze, způsobená jednak dopadem dešťových kapek a jednak vlastním odtokem. Třetí částí je pak odhad transportní kapacity povrchového odtoku a z toho vyplývající transport splavenin. Z hlediska popisu principu, na kterém je model založen, je možné modely kategorizovat na empirické, jako je metoda USLE (Universal Soil Loss Equation) [5] a modely z této metody odvozené (RUSLE, WATEM/SEDEM, USPED, RUSLE2, aj.). Druhým typem modelů fyzikálně založených jsou EROSION3D, WEPP, SMODERP aj. [3]. Zcela oddělenou otázkou je chování transportovaného sedimentu v korytech a vodních nádržích. Modely 1D popisující transport splavenin tokem (GSTARS, HEC-6, FLUVIAL, DREAM-1, TUG) nejsou v podmínkách ČR dosud kalibrovány, složitější



2D a 3D modely nejsou dosud standardně využitelné pro řešení transportu sedimentů v povodí [6].

Při transportu erodovaného materiálu povrchovým odtokem se velká část zachytí již přímo na pozemcích a dále v povodí. Proto celková ztráta půdy vypočtená metodou USLE výrazně převyšuje množství splavenin. Poměr mezi množstvím splavenin a celkovým erozním smyvem potom označujeme jako „sediment delivery ratio (SDR)“ – česky poměr odnosu splavenin. Výpočty poměru odnosu se zabývala řada autorů. Nicméně v České republice je dlouhodobě testována a ověřena pouze Williamsova metoda [7], která je doporučena i metodikou Ochrana zemědělské půdy před erozí [8].

Z pohledu přímého měření je v současné době k dispozici několik batymetrických modelů (ETOPO1-Arc-Minute Global Relief Model, SRTM, atd.), které jsou však globálního charakteru a jejichž rozlišení neposkytuje adekvátní podklad pro potřebné analýzy. Do popředí se tak dostávají již popisované letecké skenovací "batymetrické" systémy (HawkEye II, aj.), které představují jeden z hlavních směrů pro získávání informací o výškopisu pod vodní hladinou. Přestože k prvním lokálním měřením hloubek byla používána olovnice, je dnes k měření hloubek nejčastěji používán sonar, což je systém, který využívá vyslané a odražené akustické vlny k detekci a lokalizaci ponořených objektů, anebo k měření vzdálenosti ke dnu. Batymetrie je v globálním měřítku primárně určena k vytvoření přesných map pro plavbu námořních lodí, v průmyslu (např. při hledání ropných polí nebo při pokládání podmořských kabelů) a při hledání specifických cílů (např. vraků lodí). Ve vojenství slouží například k vyhledávání min.

Mladší metodou batymetrie je mikro-batymetrie. Mikro-batymetrická hloubka je složená z hodnoty ze sonaru či výškoměru (ADCP apod.) a hodnoty z tlakoměru. V České republice je využíváno speciální plavidlo (tlačný remorkér) Valentýna II, které k mapování používá ultrazvukové vysílače nainstalované na sklápěcím systému. Výložníkový systém slouží zpravidla k měření hloubek na říčních tocích, ke kontrole vodních cest po průchodu velkých vod a k vyhledávání plavebních překážek. Využitelný je





---

rovněž systém PARASOUND, jenž proniká do mělkých geologických vrstev. Data se pak dále zpracovávají do finální verze, přičemž systém s větším bočním a vertikálním rozlišením dokáže rozlišit horní vrstvy sedimentu. Vysoké rozlišení je v daném případě výsledkem tzv. parametrického efektu, kde jsou zároveň vysílány dvě frekvence. Naproti tomu akustický Dopplerův systém ADCP je typem sonaru, který zaznamenává rychlosti proudu v různých hloubkách. Základními používanými typy jsou jednopaprscíté, mnohapaprscíté a boční sonary.



## 2. Vymezení základních pojmů

### *průtok vody*

- objemové množství vody v daném profilu vodního toku vyjadřující protoklý objem vody za jednotku času,

### *matematický (hydrodynamický) model*

- numerický model popisující proudění kapaliny (vody),

### *sediment*

- usazenina, složená z částic pevných látek, které se vlivem tíže usadily, sediment může být tvořen jakoukoliv látkou, která může být v přírodě přenesena větrem nebo vodním tokem i ze značně vzdálených míst,

### *batymetrie*

- obor zabývající se měřením hloubky pod vodní hladinou, výsledky jsou prezentovány v podobě batymetrických map,

### *LIDAR*

- je metoda dálkového měření vzdálenosti na základě výpočtu doby šíření pulsu laserového paprsku odraženého od snímaného objektu.



### 3. Seznam použitých zkratek

AGL	- above ground level
AUV	- autonomous underwater vehicle
ADCP	- Acoustic Doppler Current Profiler
ČHMÚ	- Český hydrometeorologický ústav
ČR	- Česká republika
ČÚZK	- Český úřad zeměměřický a katastrální
ČZU	- Česká zemědělská univerzita
DGPS	- Differencial Global Positioning System
DMR	- digitální model reliéfu
DMR 4G	- digitální model reliéfu České republiky 4. generace
DMR 5G	- digitální model reliéfu České republiky 5. generace
DVL	- Doppler Velocity Log
EGNOS	- European Geostationary Navigation Overlay Service
GIS	- Geografické informační systémy
GNSS	- Global Navigation Satellite System
GPS	- Global Positioning System
HEC-RAS	- Hydrologic Engineering Centres River Analysis System
HDOP	- Horizontal Dilution of Precision
IMU	- Inertial Measurement Unit – inerciální měřicí jednotka
LLS	- Letecké laserové skenování
LMS	- Letecké měřické snímkování
LBLS	- Letecké batymetrické laserové skenování
LIDAR	- LIght Detection And Ranging
NIR	- Near Infra-red - blízká infračervená část spektra
ORP	- Obec s rozšířenou působností
PCM	- Power and Comunication Module



---

PARASOUND - PARAMetric echoSOUNDer

PRV - Program rozvoje venkova

RTK - Real Time Kinematic

SDR - Sediment delivery ratio

SRTM - Shuttle Radar Topography Mission,

SONAR - SOund Navigation And Ranging

TAČR - Technologická agentura České republiky

TIN - Triangulated Irregular Network

UVC - Underwater Vehicle Control

USLE - Universal Soil Loss Equation

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

ZABAGED - Základní Báze Geografických Dat



#### 4. Teoretické minimum

##### *Jednopaprscitý sonar*

V současnosti jsou používány sonary v několika modifikacích. Základní variantou je jednopaprscitý sonar (echolot) využívající jediného paprsku tvaru kuželu. Úhel záběru paprsku je od 10 do 30°. Čím je tento úhel větší, tím větší plochu dna snímá [9]. Převodník, který vysílá a zpracovává zvukové vlny, vybíráme podle hloubky vody. Do mělkých vod je vhodný převodník se širokým záběrem a do hlubších vod se záběrem užším. Při použití nevhodného převodníku dochází ke zhoršení rozlišení nebo vzniku mrtvých zón. Nejvýhodnější je jít střední cestou při nastavení 20° rozevření. Echolot je běžně používán například rybáři. Zařízení vysílá zvukové vlny směrem ke dnu, které se od něj odrazí zpět. Sbírá vrácené zvukové vlny, které po zpracování graficky znázorní ve formě grafu na displeji. Nevýhodou tohoto zařízení je, že pokud se zvukové vlny odrazí od výše položeného povrchu dna, pak vše pod touto úrovní zůstane pod mezí rozlišitelnosti. Z tohoto důvodu není toto zařízení vhodné pro plošnou batymetrii [10].

##### *Mnohopaprscitý sonar*

Mnohopaprscitý sonar je zařízení, které funguje na stejné bázi jako výše zmíněný jednopaprscitý sonar. Rozdíl je v tom, že umožňuje ve velkém rozlišení mapovat najednou více lokalit. Zjednodušeně se dá říci, že ze zařízení vychází více paprsků do několika bodů. Uspořádání těchto míst obvykle vytváří bodový pás kolmý na směr pohybu plavidla a vzniká tak souvislý obraz povrchu pod vodní hladinou. Tato oblast se nazývá pokos z anglického swath. Maximální úhel záběru povrchu dna v pokosu je až 120° a doba, za kterou vznikne jeden pokos, odpovídá době odrazu zvuku z nejvzdálenějšího místa snímání čili z okraje. Mnohopaprscitý sonar je díky své komplexnosti dražší než několik jednopaprscitých, ale tuto nevýhodu vyváží výrazné zkrácení operační doby. Tato metoda nachází nejvhodnější



uplatnění při zkoumání hlubokých oceánských oblastí, kde je operační čas velmi drahý [11].

Rozšířenou metodou mnohopaprscitého sonaru je tzv. interferometrický sonarový systém neboli fázové měření batymetrickým sonarem. Prvotní využití bylo pro oceánská batymetrická měření [12]. Později se tento systém uplatnil především při měření v mělkých vodách, kdy dokáže sbírat data v pásu až 12 krát širším, než je hloubka pod měřicí aparaturou [13]. Tento fakt značně zkracuje čas potřebný k získání plného zaměření dna a dovoluje průzkum v dostatečné vzdálenosti od prvků komplikujících měření v mělkých vodách.

### ***Boční sonar***

Dalším typem je boční sonar, který má jiný cíl než zkoumat tvar oceánského dna. Boční sonar totiž odhaluje informaci o složení dna, protože schopnost absorbovat a odrazet zvuk se u různých materiálů liší. Některé typy materiálů, jako jsou kovy nebo nově vzniklé sopečné horniny, jsou v odrazení zvuku velmi efektivní. Na druhou stranu jíly a naplavený sediment jsou na tom o poznání hůře. Díky znalostem těchto charakteristik lze ze síly odrazu zvuku vyvodit informaci o kompozičním složení povrchu dna. Boční sonar tedy ve skutečnosti vyhodnocuje sílu odrazu vyslaných zvukových pulzů. Takový sonar nachází výborné uplatnění v kombinaci s mnohopaprscitým sonarem a dohromady nám dává velmi dobrý přehled o tvaru a složení oceánského dna [11].

### ***Výložníkový systém***

Takzvaný výložníkový systém provozuje Povodí Vltavy, státní podnik. Jedná se o speciální plavidlo sloužící pro batymetrická měření. Kontrolují se hloubky a stav koryta vodních toků např. po povodních. Dále může vyhledávat naplavené překážky na vodních cestách. Plavidlo je po bocích doplněno o výložníky osazené sonary. Manipulace s výložníky je zajištěna hydraulicky. Určení v prostoru obstarává globální polohový systém (GPS)



s přijímačem na plavidle a na břehu. Měření doplňují radiolimmigrafy (výška hladiny), inklinometr (sklon) a gyrokompas [14].

### ***Parasound - Sub-bottom profiling***

Parasound neboli Sub-bottom profiling je metoda batymetrie fungující na bázi parametrického principu – parametrického echosounderu a zkoumá vrstvy sedimentu [9]. Jedná se o moderní metodu měření mocnosti sedimentu, která pracuje na principu síly odrazu zvukového paprsku a lze ji nazvat profilování pod úrovní dna z anglického překladu sub-bottom profiling. Nižší frekvence zvukového paprsku proniká hlouběji do sedimentu avšak s nižším rozlišením dat, naopak zvukový paprsek s vyšší frekvencí proniká do menších hloubek sedimentu, ale poskytuje data ve vyšším rozlišení. Hloubku průniku zvukového paprsku dále omezuje složení a charakter sedimentu (hrubozrnný nebo vysoce ztuhlý sediment). Využití naleznou tyto systémy především v příbřežních zónách, při geotechnických průzkumech, průzkumech nerostného bohatství nebo při mapování biotopů. Získaná data pak zahrnují mocnost sedimentu a jeho kvalitativní charakteristiku v různých vrstvách celkové mocnosti profilu [15, 16].

### ***Acoustic Doppler current profiler***

Acoustic Doppler current profiler (ADCP) je nástroj k měření rychlosti vody v celém vodním sloupci. Pokud je zařízení umístěno na mořském dně, dokáže měřit rychlosti v pravidelných vzdálenostech až k vodní hladině. Pokud je měřicí zařízení instalováno vodorovně např. na mostních pilířích ve vodním toku nebo na plavidle pohybujícím se v příčném směru, tak slouží ke zjištění profilu dna. Zařízení může být nainstalováno na spodní části trupu plavidla, kde měří rychlost proudění.

Princip fungování metody ADCP je v použití zvuku. Pomocí zvukových vln se měří rychlost proudění vody na základě Dopplerova jevu. Zvuk má vyšší frekvenci, když se přibližuje, než když se vzdaluje.



ADCP funguje tak, že vysílá krátké sekvence zvuku do vody při konstantní frekvenci. Zvukové sekvence mají tak vysoký tón, že je člověk není schopen vnímat. Jak zvukové vlny cestují prostorem, tak se odrážejí od rozptýlených částic v pohybuující se vodě a vrací se zpět k zařízení. Dopplerův jev způsobuje, že zvukové vlny odražené zpět od pohybuující se částice dál od zařízení mají mírně sníženou frekvenci, když se vrací. Částice pohybuující se směrem k zařízení vrací zpět vlny o vyšší frekvenci. Rozdíl ve frekvenci mezi vlnami vyslanými a přijatými se nazývá Dopplerův posun. Nástroj používá tento posun k výpočtu rychlosti pohybuující se částice ve vodním sloupci čili rychlosti vodního proudu.

Nevýhody této technologie jsou např. ve vysoké frekvenci vysílaného zvuku, která sice poskytuje vysokou přesnost dat, ale neproniká do větších hloubek. Také u průzračně čistých vod může nastat problém, pokud se ve vodě nenachází dostatečné množství částic. Další překážkou jsou turbulentní vody, kde vznikají bubliny způsobující nepřesnosti měření, především v oblasti hladiny [17].

Manuální měření příčných profilů probíhá tak, že se plovák plynule přetahuje po vodní hladině pomocí lanka tak, aby byl změřen požadovaný profil [18].

## **LIDAR**

Název LIDAR je akronymem z anglických slov „Light Detection and Ranging“. Jedná se o metodu zaměřování, která pracuje na principu zpětného odrazu světelného paprsku v závislosti na čase. LIDAR se běžně používá k vytváření map s vysokým rozlišením napříč obory, jako jsou geodézie, archeologie, geografie, geologie, geomorfologie, seismologie, aj. Tato technologie se také používá pro ovládání a navigaci u některých autonomních přístrojů (auta, ponorky, roboti atd.). Specifickou kategorií jsou skenery umožňující skenování povrchu pod vodní hladinou, tzv. letecké batymetrické laserové skenování povrchu (LBLS). LBLS je tedy technologie pro měření





---

v relativně mělkých pobřežních vodách s využitím leteckého laserového skenování, viz kap. 8.3 [19, 20].



## 5. Problematika sedimentů

Procesy eroze na zemědělské půdě a s tím spojená sedimentace ve vodních nádržích jsou aktuálně jedním z největších globálních vodohospodářských problémů [21, 22, 23, 24]. Po celém světě mají procesy eroze, transportu půdních částic a sedimentace významný dopad na environmentální, ekonomickou i sociální sféru. Více než padesát procent původní zásobní kapacity světových nádrží bude pravděpodobně ztraceno v průběhu následujících třiceti let kvůli sedimentaci [25]. Zanášení vodních toků a nádrží produkty vodní eroze způsobuje především zmenšení průtočnosti koryt vodních toků, akumulálních prostorů vodních nádrží a ovlivňuje jejich hydraulickou funkci, kdy se zkracuje doba zdržení, zvyšuje se rychlost průtoku nádrží a snižuje se zabezpečení odběru vody. Obecně tím dochází ke snížení akumulace vody v území. Naopak při poklesu vody v nádrži (např. při dlouhodobém období sucha) se obnažují velké plochy usazeného materiálu. Přímý kontakt těchto usazenin se vzduchem je příčinou jejich zrychlené mineralizace, přičemž jakost vody se po opětovném zatopení prudce zhoršuje. Sedimenty navíc obsahují značné množství živin a rizikových látek [26].

Půda se dostává do styku s velkým množstvím chemických látek různého druhu a různého stupně toxicity (průmyslová hnojiva, pesticidy, různé druhy zemědělských odpadů i odpady průmyslové, ukládané na půdu nebo do půdy). Spolu s půdními částicemi je do vodních toků, melioračních staveb a vodních nádrží přinášeno i velké množství živin a dalších chemických látek, které negativně ovlivňují jakost vody, způsobují její eutrofizaci a samotným pronikáním do povrchových i podzemních vod ohrožují jejich možné využití. Smyvy obsahují zpravidla vyšší koncentraci živin než původní půda, protože živiny se ve větším množství nacházejí v horních vrstvách půdního profilu a jemné frakce zeminy jsou snadno vyplavovány [27].

Transport sedimentů do nádrže a rychlost sedimentace závisí na mnoha faktorech. Jsou jimi množství a distribuce srážek, rozmístění a typ



---

vegetačního pokryvu, velikost povodí, geologické a geomorfologické poměry ve sběrné oblasti i míra antropogenních zásahů do krajiny [28, 29].

Na počátku batymetrických měření hloubek pro kvantifikaci sedimentů byla používána olovnice. Dnes se k měření nejčastěji používá sonar, přičemž do popředí zájmu se rovněž dostává LBLS. Získáním DMR, který bude reflektovat i požadovanou informaci o morfologii vodního dna, je možné analyzovat zásobní kapacity vodních toků a nádrží. Dále je možné kvantifikovat množství sedimentů ve vodních tocích či nádržích, sledovat jejich dynamiku, respektive identifikovat kritické body vstupu sedimentů do vodních toků a nádrží (tvorba sedimentačních kuželů), a v důsledku toho přijímat taková opatření, která možnosti deponování sedimentů ve vodních tocích a nádržích omezí.



## 6. Katalog opatření omezujících transport sedimentů do vodních toků a nádrží

Problém transportu sedimentů do vodních toků a nádrží nelze v drtivé většině případů řešit na samotném vodním toku či v jeho absolutní blízkosti. Jedná se o problém úzce související s problematikou erozních procesů, a proto je nutné při návrhu těchto opatření vycházet z postupů protierozní ochrany. Odnos neboli ztráta půdy je výsledkem nedostatečné protierozní ochrany zemědělských pozemků. Ztráta půdy je zpravidla trvalá, protože i v případě jejího zachycení a odtěžení se jen zcela výjimečně vrací zpět na pozemek. Uvolňování a odnos částic se často děje ve velkém měřítku. Mnohdy se při intenzivních srážkách smyje mělká půdní vrstva a obnaží se půdní podklad.

Transportované půdní částice, nesené vodním tokem, sedimentují ve vodních nádržích, v nichž dochází zanášením ke snížení kapacity objemu a k potížím při provozu. U mnoha nádrží se jedná každoročně až o 5% objemu. Velké množství sedimentu se ukládá zejména na přítoku do nádrže. V této části se snižuje hloubka vody a vznikají předpoklady pro zarůstání vynořenou (emerzní) vegetací. Ta zvyšuje stabilitu sedimentů a koeficient drsnosti, což přispívá k dalšímu zpomalení průtoku vody, tedy zvýšení míry sedimentace [30].

K omezování procesů eroze a transportu sedimentů slouží soubor opatření, který je uveden v následujícím členění:

### *Agrotechnická opatření*

Agrotechnická opatření spočívají v používání protierozních agrotechnologií na orné půdě. Mezi tato opatření patří bezorebné obdělávání pozemků, vrstevnicové obdělávání pozemků, používání ochranných plodin a mulčování. Nejvíce podléhá erozi půda bez vegetačního pokryvu, proto je nutné zařadit do osevních postupů i meziplodiny [31].



### ***Organizační opatření***

Použitím organizačních opatření lze řešit především ochranu proti erozi plošné a rýhové. Snížení erozní ohroženosti pozemků pomocí těchto opatření se docílí optimálním funkčním a prostorovým uspořádáním pozemků a změnou v rozmístování plodin dle jejich ochranného vlivu na půdu. Obecně lze organizační protierozní opatření popsat jako opatření, která protierozní ochranu řeší návrhem optimálního tvaru pozemku a jeho situování vůči terénu (svahu) a situováním pěstovaných plodin v závislosti na erozní ohroženosti [32].

### ***Technická opatření***

Technická opatření zachycují povrchově odtékající vody na chráněném bloku, převádí co největší část povrchového odtoku na vsak do půdního profilu a snižují rychlost odtékající vody. Z hlediska finančního a realizačního jsou technická opatření náročnější než opatření agrotechnická a organizační.

Technická opatření se navrhují obvykle po vyčerpání možností řešení protierozní ochrany organizačními a agrotechnickými zásahy. Pokud se potřeba protierozních opatření týká většího rozsahu zemědělských pozemků v jednom katastrálním území, je vhodné ochranu půdy řešit v rámci komplexních pozemkových úprav, kdy se současně řeší majetkoprávní vztahy a návrhy ochranných opatření.



Kategorie	Id	Název
agrotechnická opatření	1	bezorebné obdělávání pozemků
	2	vrstevnicové obdělávání pozemků
	3	využívání ochranných plodin a mulčování
organizační opatření	4	změna osevního postupu
	5	změna způsobu pěstování plodin
	6	změna tvaru a velikosti pozemku
	7	zatravnění a zalesnění orné půdy
technická opatření	8	průlehy
	9	terasy
	10	protierozní hrázky
	11	záchytné, svodné a cestní příkopy

Tab. 1. - Opatření omezující transport sedimentů do vodních toků a nádrží.

Kompletní katalog opatření omezujících transport sedimentů do vodních toků a nádrží obsahující katalogové listy zpracované dle Tab. 1 je přílohou certifikované metodiky.



## 7. Metody sběru dat

Za posledních 50 let se techniky mapování dna pod vodní hladinou změnilly tak, aby se plně využil potenciál „nových“ akustických a vizuálních technologií, stejně jako zlepšený výkon počítačové techniky. Přibližně od roku 1990, tedy doby nástupu geografických informačních systémů (GIS) a GPS, se výrazně zlepšila přesnost technik pro mapování batymetrií. S rostoucími výkony počítačů a úložišť dat se dále zvyšuje rychlost shromažďování dat, což umožňuje sběr většího množství detailů. S využitím nejnovějších technologií se měření batymetrie stává uživatelsky přístupnější, kdy se k pořízeným datům automaticky přiřazují souřadnice X, Y, H.

### 7.1. Měření profilů olovnicí

Nad hladinou se natáhne měřické pásmo a v jeho směru se poté ve vybraných místech spouští olovnice připevněná na další měřické pásmo. Tak se zaměří svislá vzdálenost mezi pásmem a dnem. Tato metoda se v praxi využívá pouze okrajově. Při měření hloubek větších než cca 1,5 m je nutné používat loď. Zároveň zde není žádný mechanismus automatického záznamu dat. Uplatnění je jen tehdy, když nejsou jiné technické prostředky k dispozici nebo nemají dostatečný dosah, protože měřické pásmo může být i několik set metrů dlouhé. Efektivita (rychlost) měření je několik bodů za hodinu podle podmínek. Výstupem z měření jsou přímky s několika hloubkami zaměřenými pásmem. Neposkytuje velkou představu o průběhu zaměřeného dna a hlavní nevýhoda spočívá v měření charakteristiky dna „naslepo“, měřič nevidí přesně to, co měří a nemůže tedy podchytit lokální terénní odlišnosti a dobře je interpretovat. Na měření jsou potřeba dva lidé.

### 7.2. Měření polární metodou a GNSS, GNSS-RTK

Batymetrická měření lze provádět tehdy, kdy se dokáže měřič bezpečně pohybovat po zaměřovaném dně. Měření se provádí pomocí totální stanice nebo GNSS - RTK (Global Navigation Satellite System). Přesnost takového měření je v řádu jednotek centimetrů v závislosti na použité metodě. Při



měření hloubek větších než cca 1,5 m je nutné používat lod'. Nové totální stanice a geodetické přístroje využívající technologie GNSS-RTK mají většinou možnost plně automatického záznamu dat, což významně urychluje průběh měření. Omezení pro použití na měření vodního dna z lodi je v dosahu geodetických trasírek, prakticky do 10 m. Efektivita (rychlost) měření je několik desítek bodů za hodinu při měření z lodi. Pokud je voda mělká a lze se v ní pohybovat pěšky, lze zaměřit i 100 - 300 bodů za hodinu podle podmínek. Stále platí, že měřič většinou zaměřované dno nevidí a tudíž nemusí vždy správně podchytit charakter zaměřovaného povrchu. Na druhou stranu ovšem může měřit s větší hustotou bodů vedoucí k přesnější informaci o charakteru dna. V dnešní době je již standardem časté použití moderních GNSS aparatur využívajících k výpočtu polohy a výšky sítě referenčních stanic (v Česku např. CZEPOS nebo Trimble VRS Now), které poskytují korekční data přes internet i v reálném čase.

### **7.3. Měření polární metodou, GNSS, GNSS-RTK v kombinaci se sonarem**

Při využití GNSS nebo polární metody v kombinaci se sonarem je měřič navíc vybaven sonarem pro přesné určování hloubek. Nové troj-frekvenční sonary mají dosah několik set metrů. Efektivita a měřické výstupy jsou stejné jako v případě měření polární metodou nebo GNSS metodou bez sonaru.

Měření metodou GNSS-RTK v kombinaci se sonarem je považováno za nejefektivnější pozemní metodu - měřič je vybaven aparaturou GNSS-RTK s automatickým záznamem dat, člunem s motorem a digitálním sonarem, který komunikuje s GNSS aparaturou a v reálném čase odesílá hodnoty hloubek do uložiště GNSS aparatury. Efektivita měření je závislá v podstatě pouze na rychlosti záznamu GNSS aparatury a pokud to podmínky umožňují, je v současné době reálné zaměřit několik bodů za sekundu. Takto lze zaměřit i několik tisíc bodů za hodinu, s přesností na jednotky centimetrů. Plošný rozsah měření je závislý na rychlosti použitého člunu. Omezením je průjezdnost vodní plochy, kdy lze použít motorové plavidlo s max. ponorem





40 cm. Další omezení přináší GNSS aparatura, která ztrácí přesnost v blízkosti vzrostlé vegetace. Na měření je potřeba jeden člověk.

#### 7.4. Měření duálním LIDARem

Specifickou kategorií jsou skenery umožňující skenování povrchu pod vodní hladinou, tzv. letecké batymetrické laserové skenování povrchu. Jedná se tedy o technologie využívané pro měření v relativně mělkých pobřežních vodách s využitím leteckého laserového skenování [19]. Letecké batymetrické laserové skenování se v posledních letech velmi dynamicky rozvíjí a nyní umožňuje zaměření povrchu s rozlišením více než 20 bodů/m<sup>2</sup> a přesností určení výšky do 10 cm, a to jak pro vodní hladinu, tak i pro povrch dna.

##### *Základními komponenty duálního LIDARu jsou:*

- základní měřicí jednotka, která obsahuje vysílací (emitor) a přijímací optiku laserového paprsku, detektor signálu, zesilovač, záznamník časového zdržení a potřebné elektronické komponenty;
- optický skenovací mechanismus, jako je například rotující zrcadlo, které se používá k rozptýlení paprsku v příčném směru letové dráhy;
- elektronická jednotka poskytující kontrolní funkci celého systému a zároveň zpracovává získaná data;
- globální polohovací systém GNSS;
- software k ovládání a koordinování činnosti každého základního komponentu systému, ukládá a předběžně zpracovává data shromážděná během celého letu;
- zařízení pro snímání obrazu povrchu jako jsou digitální kamera s plošným snímačem, videokamera nebo kamera s liniovým snímačem (pushboom scanner) [19, 34].



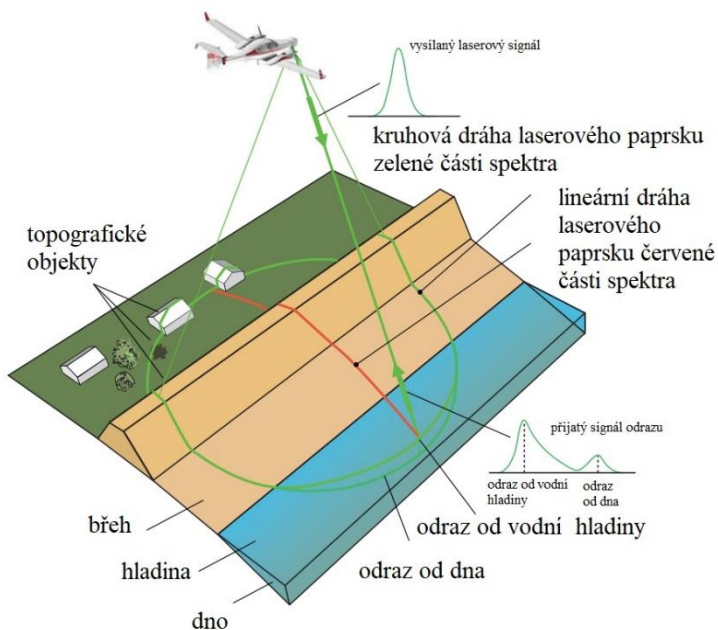
---

Princip batymetrického skenování spočívá v použití měřicí jednotky, která emituje s vysokou frekvencí full-wave (~ široká škála odrazů) laserové impulsy/paprsky ve dvou úrovních spektra:

- Paprsek v oblasti blízké infračervené (NIR) části spektra s vlnovou délkou 1064 nm. Tento typ laserového paprsku je téměř zcela pohlcován vodní hladinou, proto slouží především pro veškeré odrazy předmětů na povrchu.
- Paprsek v zelené části spektra s vlnovou délkou 532 nm – slouží především pro průchod signálu vodní hladinou (lze použít i zelenomodrou část spektra). Tento typ laserového paprsku se jednak odráží od hladiny, současně i vodní hladinou prostupuje a následně se odráží ode dna.

V principu se měří vzdálenosti mezi dvěma úseky - jednotkou a zemským povrchem/vodou a pak mezi rozhraním vzduch/voda a dnem. Na základě rychlosti paprsků a časového úseku (a při zohlednění dalších vlivů např. měřicích přístrojů, atmosféry), který uplyne mezi vysláním laserových paprsků, jejich odrazem a zpětným zachycením, optický přijímač na palubě letadla detekuje pulsní odrazy z obou úseků. U kontinuálního režimu laseru je paprsek frekvenčně modulován a vzdálenost je určována i za pomoci fázového posunu.

Pomocí SW algoritmů a analýz odrazů jsou vypočtena výškopisná data povrchu pod hladinou a to ve formě třírozměrných bodů (3D) se souřadnicemi X, Y, H.



Obr. 1. – Princip duálního LIDARu.

Pro systém duálního LIDARu se uvádí maximální hloubka záznamu batymetrických dat vyšší než 50 metrů v závislosti na výkonnosti využitého systému, průhlednosti a proudění vody. Předpoklad pro úspěšné batymetrické zaměření duálním LIDARem je hloubka 2 – 3x větší než průhlednost určená Secchiho deskou [35].



## 8. Testované technologie/aparatury batymetrického měření

V rámci řešeného projektu byly testovány aparatury nesoucí nejmodernější technologie pro sběr batymetrických dat. Jednou z nich bylo zařízení RiverSurveyor M9. Tato aparatura byla testována celkem na třech nosných plavidlech, kterými byly Hydroboard I/II tažený za motorizovaným člunem, trimaran na dálkové ovládání a speciálně upravený kajak. Druhou aparaturou byla tzv. mini ponorka EcoMapper AUV. Dále byl testován přístup LBLs s využitím duálního LIDARu. V průběhu projektu také byla testována využitelnost konvenčních metod při sběru batymetrických dat. Jako poslední testovaný přístup lze považovat využití měřicího plavidla Joska, kdy data poskytnutá od Povodí Vltavy, státní podnik byla využita jako referenční podklad při testování výše uvedených metod.

### 8.1. RiverSurveyor M9

Zařízení RiverSurveyor M9 od firmy SonTek je robustním a vysoce přesným systémem ADCP vytvořeným přímo pro měření říčního průtoku, rychlostního příčného profilu proudu vody a hloubky z pohyblivého nebo stálého plavidla. V případě měření hloubek je s tímto přístrojem možné měřit v rozsahu od 0,2 m do 80 m. Přístroj kombinuje moderní a ověřenou instrumentaci ADCP se softwarem pro PC a mobilní zařízení. Skládá se z následujících součástí: Devíti-paprskového těla měřicího přístroje RiverSurveyor M9, které nese procesní elektroniku, kompas, dvouosé náklonové čidlo, teplotní čidlo, 8 GB vnitřní paměť, 4 čidla o frekvenci 3 MHz, 4 čidla o frekvenci 1 MHz (vše v Janus konfiguraci) a jedno čidlo (echosounder) o frekvenci 0,5 MHz, které je umístěno na středu. Tělo M9 je propojeno s napájecím a komunikačním modulem. Při běžném nastavení je umístěna na těle M9 GPS anténa, která je skrze kabel samostatně s napájecím a komunikačním modulem propojena přes koaxiální kabel.

- Napájecí a komunikační modul zpracovává GPS signál z vlastní GPS umístěné na těle měřicího zařízení. Dále zpracovává bluetooth signál, prostřednictvím kterého komunikuje s mobilním zařízením, a kterým

dochází k ovládání celého měřicího systému. Dále je přítomna rádiová anténa zpřesňující pomocí komunikace s RTK stanicí výškovou a horizontální polohovou přesnost. Do tohoto vodotěsného modulu je vkládána nabíjecí baterie, která napájí celý měřicí systém.



Obr. 2. - Rozložení čidel na sonaru RiverSurveyor M9.

- Referenční RTK stanice je osazena velice podobným komunikačním modulem jako je ten, který slouží k napájení a komunikaci přímo se sonarem. V tomto případě je však jednodušší. Má za úkol zpřesňovat polohově měřicí zařízení, proto je vybaveno GPS anténou, která přijímá signál 10 Hz a dále ho pomocí modemu a rádiové antény zasílá ve frekvenci 1 Hz hlavnímu napájecímu a komunikačnímu modulu. RTK stanice je nejčastěji připevňována na stativu. Maximální udávaná vzdálenost, do které by nemělo dojít k ovlivnění kvality signálu mezi sonarem a RTK, jsou 2 km.
- Důležitou součástí je PC určené k ovládání aparatury, na kterém je nainstalován software *RiverSurveyor Live* pro PC. Druhou variantou je ovládání zařízení pomocí chytrého telefonu, kde je podmínkou instalace *RiverSurveyor Live* pro telefon/tablet. Výše popsany

hardware je potřebný k ovládnání měřicí aparatury a zprostředkovává tak vlastní sběr batymetrických dat. Software umožňuje, kromě ovládnání v reálném čase, také následné zpracování dat a jednoduchý export do databáze.

- Kompletní aparatura se stává z konstrukce vlastního sonaru (se všemi výše popsány součástmi) a jeho nosiče, k němuž je systém při sběru dat připevněn. Nosné plavidlo musí být konstruováno tak, aby splňovalo potřeby vycházející z fyzikální podstaty způsobu měření, rozsahu použití a uživatelského komfortu. Při řešení výzkumného projektu byla testována tři nosná plavidla, Obr. 3, a to Hydroboard I/II (A), trimaran vlastní konstrukce (B) a speciálně upravený kajak (C).



Obr. 3. – Nosná plavidla testované měřicí aparatury RiverSurveyor M9.

### ***Hydroboard I/II tažený za motorizovaným člunem***

Originální nosné plavidlo dodávané firmou SonTek. Toto plavidlo je vhodné pro zaměřování rychlostních profilů vodních toků. Plavidlo nedisponuje vlastním pohonem, proto je nutné jej umístit za jiné - tažné plavidlo nebo na nosná lana a pohybovat s plavidlem manuálně. Pro manuální obsluhu tohoto plavidla jsou zapotřebí minimálně 2 osoby. Plavidlo Hydroboard I disponuje pružnou konstrukcí, umožňující použití hlavně v oblasti nižších rychlostí proudění - zavlažovací kanály, nádrže. Nová generace plavidel Hydroboard II se vyznačuje novým designem pro zajištění lepší stability při vyšších rychlostech vedoucí k vyšší přesnosti pořizovaných dat.



### ***Nosné plavidlo trimaran***

Experimentální nosné plavidlo poháněné elektromotory bylo vyvinuto pro potřeby batymetrických měření vodních ploch a pomalu tekoucích vodních toků. Hlavní výhodou je dálkové ovládání plavidla a možnost použití na vodních nádržích, kde je omezen provoz spalovacích motorů. Obsluhu měřicí jednotky dokáže zajistit jedna osoba. Díky umístění lodních šroubů do postranních plováků nedochází při sběru dat k ovlivňování měřicí jednotky, která je umístěna ve středovém plováku. Nevýhodou je vysoká časová náročnost při zaměřování rozsáhlejších vodních ploch nad 3 ha [36].

### ***Měřicí kajak***

Experimentální manuálně poháněné nosné plavidlo. Plavidlo bylo vyvinuto pro potřeby batymetrického mapování vodních nádrží a pomalu tekoucích vodních toků. Při samotném měření nedochází k ovlivňování měřicí aparatury. Díky umístění měřicí jednotky před obsluhou kajaku je zabezpečen neustálý dohled nad měřicí aparaturou. Výhodou je vysoký akční rádius a operabilita. Nevýhodou je vysoká časová náročnost při zaměřování rozsáhlejších vodních ploch větších než 3 ha [37].

#### ***8.1.1. Průběh měření***

Průběh měření je identický pro všechna výše uvedená plavidla. Zpravidla se skládá z přípravy před měřením a vlastního měření. V rámci přípravy před měřením je nutné vhodně umístit RTK referenční stanici, sestavit měřicí aparaturu a zadat vstupní data (salinita, magnetické deklinace, název měřeného úseku, ponor senzoru ve vodě, aj.). Posledním krokem přípravy je kalibrace kompasu.

Poté lze začít vlastní měření. Měření je možné provádět po různém počtu libovolně dlouhých úseků, které jsou následně samostatně vyhodnocovány. U batymetrického zaměřování vodních nádrží se zpravidla využívá měření v "jednom úseku", kdy je libovolný počet bodů systematicky rozmístěný po



mapované ploše. Při zaměřování říčních rychlostních profilů se zpravidla volí více samostatných úseků odpovídajících příčným profilům.

### ***8.1.2. Batymetrické měření vodních ploch***

Důležitou přípravou před měřením je vyhledání nejvhodnějšího místa pro umístění RTK stanice a odhadnutí případných lomových linií (brod, bývalá silnice, skalní výběžek) v nádrži. Tyto terénní prvky by měly být, pokud to lze, při mapování zohledněny a detailněji zaměřeny. Geometrie a hustota měření by měly být naplánovány předem tak, aby reflektovaly potřeby zaměření geomorfologie vodní nádrže. Potřeby zaměření se mohou lišit dle rozlišení výsledného DMR dna nádrže a velikosti požadované statistické chyby vyjádřené např. prostřednictvím RMSE (Root Mean Square Error). Jelikož přístroj neudává validní informace o nadmořské výšce, je nutné v případě potřeby těchto dat získat tyto informace z jiného zdroje, např. vodočetné latě umístěné na výpustném zařízení.

### ***8.1.3. Batymetrické měření vodních toků***

Při batymetrickém měření vodních toků, které jsou charakteristické podélným spádem hladiny, je nutné provést souběžné zaměření hladiny. V případě měření "systémem příčných profilů" je nutné v čase měření každého profilu zaměřit u obou břehů nadmořskou výšku hladiny. Průměr těchto hodnot bude při zpracování dat definovat nadmořskou výšku hladiny profilu. V případě měření systémem "jednoho úseku" je nutné určovat nadmořskou výšku každého jednotlivě zaměřovaného bodu. Toho lze docílit například souběžným měřením přesnou GPS.

### ***8.1.4. Následné zpracování a kontrola dat získaných RiverSurveyor M9***

Po ukončení měření je možné přenést měřená data ze zařízení RiverSurveyor M9 do počítače k následnému zpracování. Přenesení dat je možné pouze softwarem RiverSurveyor Live. Přenesené soubory jsou





standardně pojmenovány na základě data a času měření, např. 20140604105904 (rok-měsíc-den-hodina-minuta-vteřina). Pro každý zaměřovaný úsek jsou příslušné 4 soubory, v nichž soubor \*.riv je datový soubor se záznamem měření.

Další operace s naměřenými soubory dat, jako je změna vstupních údajů, vizualizace, hodnocení přesnosti, export dat a jiné, lze provádět v prostředí software RiverSurveyor Live. Software působí jako zobrazovací systém kompletně naměřených dat a tak záleží na uživateli, která data si přeje v danou chvíli zobrazit a nadále s nimi pracovat. V prostředí RiverSurveyor Live lze provádět korekce na základě dodatečných měření.

Software RiverSurveyor Live obsahuje také tabulkový náhled. V tabulkovém náhledu je možné přidávat a odebírat sloupce s jednotlivými atributy měření. Takto si může uživatel upravit tabulku do podoby pro kopírování dat (Save to Clipboard) k dalšímu zpracování. Následné zpracování lze provést například v prostředí MS Office - Excel.

Další možností zpracování dat je využití standardního exportu do prostředí Matlab nebo do textového souboru (ASCII - \*.sum). Export do textového souboru je omezen pouze na předdefinované atributy měření. Takto vyexportovaná data lze otevřít v textovém souboru (\*.txt) a nadále běžným způsobem zpracovávat.

Filtrování dat a hodnocení jejich kvality se provádí dle požadavku uživatele. Nejčastějším požadavkem je odstranění dat s nízkou přesností měření. Polohovou přesnost měření lze hodnotit dle parametru HDOP (Horizontal Dilution of Precision). Hloubkovou přesnost přímo hodnotit nelze, lze však sledovat výsledky tří senzorů o rozdílných frekvencích, prostřednictvím kterých jsou hloubková data pořizována. Pokud je mezi pořizovanými daty výrazný skokový rozdíl, je možné využít zdroj dat z jiného čidla. Tyto rozdíly jsou především způsobeny ponořenými předměty. Pro zvýšení přesnosti hloubkového měření je vždy vhodné využít přístroje



---

CastAway, který provádí korekci vertikálního rozložení teploty a konduktivity, tedy korekci rychlosti šíření zvuku pod vodní hladinou.

## 8.2. EcoMapper AUV

Systém AUV EcoMapper od firmy YSI Incorporated, představuje zařízení, které se v současné době ve světě využívá v široké škále hydrografického výzkumu. EcoMapper byl navržen tak, aby umožňoval rychlý sběr hloubkových dat, kvalitativních parametrů vody a detekci objektů pomocí side-scan sonaru. AUV EcoMapper představuje přístroj, který je schopný samostatně se pohybovat po povrchu i pod povrchem volné hladiny a vykonávat záznam dat. Zařízení EcoMapper tvoří dvě základní od sebe neodlučitelné části, tedy část hardwarová a softwarová.

Z konstrukčního hlediska (hardwarová část) EcoMapper tvoří 3 hlavní sekce. V přední sekci jsou umístěné senzory, které slouží k měření kvalitativních parametrů vody, tlakový senzor a DVL senzor, který slouží pro navigaci zařízení při misích pod vodní hladinou. Ve střední části zařízení jsou umístěny elektronické komponenty, baterie a integrovaná palubní jednotka. V zadní sekci je pak umístěný lodní šroub pohánějící zařízení a GPS anténa, která slouží při navigaci v případě měření na hladině.

EcoMapper po dobu měření shromažďuje data a předem zadané parametry ve vteřinových intervalech, ke kterým automaticky přidává georeferenční data. Měření batymetrie se provádí pomocí integrovaného víceúčelového sonaru (mnohopaprscitý sonar). Měření kvalitativních parametrů vody zahrnuje informace o teplotě, konduktivitě, množství rozpuštěného kyslíku, zákalu, pH/ORP, chlorofylu, salinitě apod.



Obr. 4. – Hardwarové rozložení aparatury EcoMapper AUV.

### Technická specifikace přístroje EcoMapper AUV:

- rozměry: průměr 14,73 cm, délka 160,8 cm;
- hmotnost: 20,41 kg;
- hloubkový dosah: až 100 m;
- napájení: 600 WHrs Li-Ion akumulátor;
- kapacita baterie: v závislosti na rychlosti plavidla (8 h výdrž při 5 km/h);
- rychlost: 2 – 7 km/h;
- software: Vector Map – pro plánování misí a prohlížení dat  
Sonar Mosaic – zpracování sonarových dat  
UVC- provoz, spuštění mise, dálkové ovládnání;
- elektronická výbava: procesor Intel Atom s operačním systémem Windows XP a 80 GB harddiskem;
- jedno-paprscový sonarový hloubkoměr:
 

frekvence	500 kHz;
rozsah skenování	až 80 m
přesnost	± 0,2 cm/s
rozlišení	0,001 m/s
vnitřní vzorkovací frekvence	až 70 Hz
- datová komunikace:
 

bezdrátové připojení Ethernet 802,11 g,	2,4 GHz rádiové spojení (při misích na hladině)
-----------------------------------------	-------------------------------------------------
- navigace:
 

povrchová navigace	GPS (EGNOS korekce)
podpovrchová navigace	využitím DVL
- cena: 3,5 – 7 mil. Kč dle vybavení



Z důvodu vysoké pořizovací ceny je Ecomapper vybaven bezpečnostními prvky. Celé tělo monitorovacího torpéda je rozděleno několika přepážkami a v jednotlivých sekcích jsou instalována vlhkostní čidla. Pokud čidlo identifikuje vlhkost, EcoMapper se přepne z měřicí mise do záchranné a při hladině doplňuje do předem určeného místa.

### 8.3. Duální LIDAR Riegl VQ-880G

V průběhu řešení projektu byla testována plně integrovaná laserová aparatura pro kombinaci hydrografického a topografického mapování, duální LIDAR Riegl VQ-880G. Využitelnost této technologie byla ověřována poprvé ve specifických podmínkách České republiky. Celkem byla testována na osmi lokalitách, z toho na pěti MVN (rybníku Mydlák, Padrtské rybníky, oblast České Kanady – 2 rybníky, Všerubský rybník) dvou VN (Hracholusky a Němčice) a cca šestikilometrovém úseku říčního toku (Vltava u Hluboké nad Vltavou).

Jedním z hlavních vlivů na dosažené výsledky z provedených testovacích skenování byly špatné meteorologické podmínky během vlastní letecké kampaně. Zásadním negativním faktorem byla vysoká vlhkost, která se vyskytovala v den náletu, kvůli občasnému dešti se sněhem. Vyskytující se srážky pak působily jako šum naskenovaný v samotných mračnecích bodů. Změna podmínek nastala velice rychle a atypicky na měsíc duben a letové plány již nemohly být změněny, mj. z organizačních a finančních důvodů.

Přestože vybavení bylo parametricky obdobné, jako použil [34], relevantní výsledky byly dosaženy pouze do hloubky 1,5 m - 2 m pod vodní hladinou. Tato skutečnost, přestože mohla být způsobena zákallem či specifickým prouděním vybraných lokalit, bohužel objektivně nezdůvodňuje rozdíl mezi uváděným zdrojem a výsledky, které byly získány v rámci prováděné měřicí kampaně. Hloubka 1,5 m - 2 m. pod vodní hladinou citelně omezuje využitelnost dané metody měření. Pro širší zavedení metody LBLS do uživatelské praxe v podmínkách ČR je proto důležité navazující výzkum soustředit na eliminaci dopadů vnějších podmínek (volba doby náletu),



pořizování dat směřovat do ustáleného vodního stavu, tj. kdy průtok vody není ovlivněn předchozí srážkou, která způsobí zakalení, apod.

### **Technická specifikace přístroje Riegl VQ-880G:**

Rozsah skenování:  $\pm 20^\circ$  úhel

- řádkový (infračervený skener),
- kruhový (zelený skener),

Frekvence laserového pulsu	145 kHz	245 kHz	550 kHz
Odrazivost cíle $\Delta \geq 20\%$	900 m	700 m	500 m
Odrazivost cíle $\Delta \geq 60\%$	1 500 m	1 200 m	850 m
Maximální výška letu (AGL)	800 m	650 m	450 m
Minimální měřená délka	10 m		
Přesnost	25 mm		

#### **Maximální efektivní počet měření:**

- 45 000 měř. /sec (@ 145 kHz PRR (frekvence pulsu) &  $40^\circ$  (úhel rozsahu skenování)),
- 79 000 měř. /sec (@ 245 kHz PRR (frekvence pulsu) &  $40^\circ$  (úhel rozsahu skenování)),
- 177 200 měř. /sec (@ 550 kHz PRR (frekvence pulsu) &  $40^\circ$  (úhel rozsahu skenování)).

#### **Vlnová délka a šířka laserového paprsku:**

Infračervené spektrum:	1,064 nm
Infrazelené spektrum:	532 nm
Šířka laserového paprsku:	0,2 mrad.

#### **IMU/GNSS vlastnosti a přesnost:**

Roll, Pitch (náklony kolem podélné a příčné osy letadla):	0,0025°
Heading (náklony ve směru letu):	0,005°
IMU Sampling Rate (frekvence měření hodnot IMU):	200 Hz
Position Accuracy (přesnost určení pozice):	horizontální <0,05 m vertikální <0,1

#### **Integrovaná digitální kamera:**

RGB Camera s rozlišením 29 MPixel  
Sensor Dimensions (rozměry senzoru): diagonální 43 mm  
(full format) Focal Length of Camera Lens (ohnisková vzdálenost objektivu kamery): 50 mm  
Field of View (FOV) (šířka max. záběru): cca  $40^\circ \times 27^\circ$



### **8.3.1. Následné zpracování dat získaných duálním LIDAREm**

Z naměřených dat IMU a GNSS je vypočítána přesná trajektorie letu. Ta je následně použita pro vypočtení výsledného mračna bodů – a to ze znalosti trajektorie a dat ze snímačů skenerů. GNSS jednotka je nakonfigurovaná na měření (většinou) v systému ETRS89, výsledné mračno bodů je tedy ve stejném souřadnicovém systému.

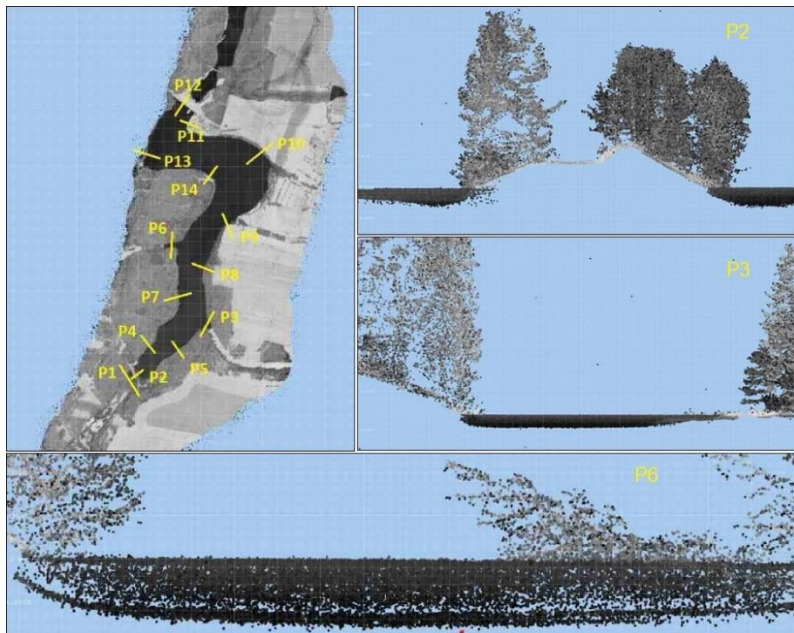
Na základě analýzy výsledných mračen je nutné vytipovat pozemní vřícovací a kontrolní body. Jako body se nejlépe použijí charakteristické rohy střešních pláštů nebo charakteristické značky viditelné na základě rozdílné intenzity odrazu (čáry na tenisových kurtech, bílé vodorovné silniční značení, atp.). Body se zaměří nejčastěji pomocí metody GNSS-RTK s vysokou přesností (min. 2 cm v X, Y resp. 5 cm v H), v systému ETRS89 a použijí jako vřícovací body transformace mračen bodů pro zpřesnění výsledků samotných měření. Směrodatná odchylka transformace by měla vycházet do cca  $\pm 6 - 8$  cm, primární souřadnicový systém naměřených dat je ETRS89 s elipsoidickými výškami [35].

Ze systému ETRS89 jsou poté mračna bodů transformována do S-JTSK pomocí transformačního programu ETJTZU 2013 (schváleném ČÚZK). Výstupem je tedy mračno nasnímaných bodů v podobě seznamu souřadnic X, Y (polohový systém S-JTSK) a H (Balt po vyrovnání - Bpv) tvořící DMR.

Po pořízení dat leteckého batymetrického laserového skenování a navazujících postprocessingových operací jsou k dispozici mračna bodů. Po tvorbě DMR zájmové lokality je možné provádět klasifikaci. Klasifikaci je vhodné provádět automaticky ve specializovaných SW na základě analýzy vlny dopadu pulsu a vyhodnocení odraženého signálu. Pro účely kategorizace mračna bodů je vhodné rozdělit na tři základní třídy (kolik cílů zasáhl paprsek a kolikátý cíl je zasažen):

- jediný odraz – reliéf (mimo hladinu);
- první odraz – vodní hladina;

- poslední odraz – břehy pod vodní hladinou a dno (v ideálním případě).



Obr. 5. – Profilace výsledků duálního LIDARu – Pilotní lokalita Němčice.

Pomocí výše popsaných testovaných přístupů batymetrického zaměření je umožněn sběr dat popisující morfologii dna pod vodní hladinou. Jednotlivé metody mají jak výhody, tak i svá omezení, a proto je důležité určit správnou metodu pro konkrétní lokalitu. Parametry určující vhodnost dané metody jsou např. hloubka dosahu měření, mobilita, rychlost sběru dat nebo vhodnost využití metody na rozsáhlých plochách vodních nádrží. Pro usnadnění při výběru vhodné metody batymetrického zaměření byla zpracována tabulka do podoby rozhodovacího procesu vhodnosti využití jednotlivých batymetrických metod v podmínkách ČR (Tab. 2).



Testované přístupy sběru batymetrie dat	Parametry rozhodující pro výběr vhodného přístupu měření batymetrie v podmínkách ČR						
	měření batymetrie do 1 m	měření batymetrie nad 1 m	mobilita*	rychlost sběru dat více než 1 ha/hod	negativní ovlivnění měření meteorologickými podmínkami	vhodnost měření vodních ploch větších než 5 ha	vhodnost měření vodních ploch menších než 5 ha
RiverSurveyor M9/hydroboard	X	X	X	X	X	X	X
RiverSurveyor M9/trimaran	X	X	X		X		X
RiverSurveyor M9/kajak	X	X	X		X		X
EcoMapper AUV		X	X	X		X	
Duální Lidar	X			X	X	X	
Konvenční metody	X		X		X		X
Olovnice	X	X	X		X		X
Měřicí člun Joska		X		X		X	

Tab. 2. – Tabulka rozhodující o využití nejvhodnější metody batymetrického měření v podmínkách ČR.

\*mobilita – provedení měření není závislé na příjezdové cestě do vody, aparaturu je možné převést v osobním automobilu





### III. Srovnání novosti postupů

V současné době se dostávají do popředí aktivity spojené se zvyšující se extremitou srážkových úhrnů, kdy dochází ke střídání období s vysokými úhrny srážek - v krátkém čase, s obdobím sucha. S takto narůstající extremitou dochází i k výraznějším projevům erozní činnosti a povodňových událostí, tedy k procesům, které jsou s proměnlivostí distribuce srážek spojeny. Novost řešení spočívá v systému použitých metod s cílem vytvoření technologického postupu pro sběr, analýzu a zpracování relevantních dat pod vodní hladinou z pohledu morfologie dna vodních toků a nádrží.

V současné době je k dispozici několik alternativ, jak požadovaná data o množství sedimentů a zásobních/retenčních kapacitách vodních toků a nádrží pomocí moderních informačních technologií získat. Bylo proto nutné tyto metody na získání požadovaných dat sjednotit, metodicky popsat, a vytvořit jednoduché návody, jak tato data pořizovat. Znalost těchto nových poznatků poskytne nové možnosti, jak identifikovat kritická místa, jaká nápravná opatření učinit a především jaká preventivní opatření navrhnout, aby k ukládání sedimentů nedocházelo.

Metodika prezentuje možnosti využití a srovnání moderních technologií (jak přímých, tak i distančních) pro sběr a analýzu dat o morfologii dna vodních toků a nádrží. Takto pořízená data v kombinaci s daty LLS poskytnou široce uplatnitelné datové zdroje, které v současné době nejsou k dispozici. Zcela zásadní výhodou leteckého sběru dat (v kombinaci se zaměřováním z vodní hladiny), která byla jasně ověřena na testovacích lokalitách, je pořízení konzistentních dat o stejné přesnosti na velkém území v řádu stovek km<sup>2</sup> ve stejném časovém okamžiku – např. rámci letecké kampaně během jednoho dne.



## IV. Popis uplatnění Certifikované metodiky

Nově získané poznatky budou přenášeny do strategických materiálů v gesci Ministerstva zemědělství a Ministerstva životního prostředí.

Zvyšující se množství erodované půdy a s tím spojený nárůst sedimentů ve vodních tocích a nádržích snižuje jejich retenční kapacitu, čímž ve svém důsledku zvyšuje škody během povodňových událostí. Je například uváděno, že potenciální retenční schopnost rybníků přesahuje cca 620 mil. m<sup>3</sup> objemu. Z údajů Operačního programu rybníkářství 2007 – 2013 vyplývá, že v rybnících se však nachází odhadem 1/3 sedimentů, což snižuje jejich retenční objem na cca 420 mil. m<sup>3</sup>.

S touto skutečností souvisí i samotná finanční náročnost na odstranění sedimentů z vodních toků a vodních nádrží, která se pohybuje v řádech milionů korun na jednu akci. Finanční prostředky vynaložené v souvislosti s odbahněním rybníků je možné získat z dotačního programu 129 290 „Podpora opatření na drobných vodních tocích a malých vodních nádržích“ s cílem zadržení vody v krajině, eliminace erozních smyčů, včetně posílení protipovodňové funkce rybníků a zvýšení jejich bezpečnosti. Doba trvání dotačního programu 129 290, jehož administrátorem je Ministerstvo zemědělství, je podle schválené dokumentace naplánována do roku 2020.

Získání nových poznatků o měření morfologie terénu pod vodní hladinou, které ve svém důsledku umožní i přesné stanovení množství sedimentů ve vodním toku/nádrži (oproti současným odhadům) umožní zcela efektivně směřovat státní podporu do míst, kde je realizace opatření skutečně potřebná.

Zpracovaný soubor opatření je možné použít jako jeden z podkladů pro nové plánovací období PRV - Program rozvoje venkova.

V případě, že jsou určeny pozemky nejvíce se podílející na dotaci splavenin do vodních toků a nádrží, je možné vhodnými opatřeními v rámci uváděného PRV podpořit účinné hospodaření pro zlepšení stavu vodních toků a nádrží.



---

Oproti tomu povodňové situace, resp. jejich následky představují na území České republiky z ekonomického hlediska největší hrozby přírodních katastrof. Vzniku povodní nelze zabránit, lze pouze zmírnit jejich dopad na životy a majetek obyvatel. Povodně na našem území způsobily za posledních 15 let škody za více než 170 mld. Kč a významně vstoupily do života společnosti. Po extrémní povodni na Moravě v roce 1997 bylo zřejmé, že povědomí o existenci mimořádných povodní bylo ve všech oblastech života státu velice nízké. Důsledkem této skutečnosti byla jak elementární nepřipravenost na přírodní povodňové katastrofy, tak významná opomenutí a nesystémovost v rozvoji území podél vodních toků, k nimž došlo během téměř stoletého období bez významných povodní. Nedílnou úlohu hraje rovněž v dané problematice neznalost retenčních/zásobních kapacit vodních toků a nádrží, která je v současnosti dosud pouze odhadována či je využito modelů, přičemž chybí následná verifikace s naměřenými daty.



## V. Ekonomické aspekty

Ekonomické aspekty byly vyčísleny ve dvou kategoriích v závislosti na testovaných metodách. První kategorií (kap. 9) jsou vyčíslené pořizovací náklady vybavení umožňující měření batymetrie. Druhou kategorií (kap. 10) jsou vyčíslené náklady na realizaci batymetrického zaměření. Ekonomické zhodnocení je stanoveno jako průměrné na základě zkušeností odborníků s přihlédnutím ke znalosti místních podmínek.

### 9. Pořizovací náklady testovaných batymetrických metod

Ceny na pořízení vybavení jsou orientační a mohou se lišit v závislosti na technologickém vybavení daných aparatur.

#### 9.1. Pásmo s olovnicí

- dvě ocelová měřická pásma, cena do (podle délky):	5 000,- Kč
- loď ~ nafukovací člun:	10 000,- Kč
- elektromotor:	5 000,- Kč
- baterie:	1 000,- Kč
- 4x železné jehly:	400,- Kč
- Microsoft Office SW + kancelářské vybavení:	<u>2 500,- Kč</u>
<b>Vstupní náklady:</b>	<b>23 900,- Kč</b>

#### 9.2. Polární metoda nebo GNSS / GNSS-RTK

- GPS nebo GNSS přístrojové vybavení (cena podle typu a přesnosti) do:	450 000,- Kč
- loď ~ nafukovací člun:	10 000,- Kč
- trasírka + odrazný hranol:	15 000,- Kč
- specializovaný SW zajišťující stažení a navazující úpravy dat:	10 000,- Kč



---

- elektromotor:	5 000,- Kč
- standardní SW + kancelářské vybavení:	2 500,- Kč
- baterie:	1 000,- Kč
4x železné jehly:	<u>400,- Kč</u>
<b>Vstupní náklady:</b>	<b>493 900,- Kč</b>

### 9.3. Polární metoda / GNSS / GNSS-RTK + sonar

- GPS nebo GNSS přístrojové vybavení (cena podle typu a přesnosti) do:	450 000,- Kč
- trasírka + odrazný hranol:	15 000,- Kč
- specializovaný SW zajišťující stažení a navazující úpravy dat:	10 000,- Kč
- loď ~ nafukovací člun:	10 000,- Kč
- elektromotor + baterie:	6 000,- Kč
- standardní SW + kancelářské vybavení:	2 500,- Kč
- sonar + baterie:	6 000,- Kč
4x železné jehly:	<u>400,- Kč</u>
<b>Vstupní náklady:</b>	<b>499 900,- Kč</b>

### 9.4. Duální LIDAR

- nosný letoun – pilotovaný:	12,0 mil. Kč
- GNSS/IMU jednotka pro použití v letadle:	4,0 mil. Kč
- duální LIDAR:	25,0 mil. Kč
- sady specializovaných PC a SW:	
o SW (+ PC) pro preprocessing dat:	1,0 mil. Kč
o SW pro zpracování a úpravu dat:	0,5 mil. Kč
o Další PC a obslužný software:	<u>0,1 mil. Kč</u>
<b>Vstupní náklady:</b>	<b>42,6 mil. Kč</b>

---



### 9.5. *RiverSurveyor M9 s RTK GPS, CastAway*

- RiverSurveyor M9 měřicí aparatura:	1 150 000,- Kč
- dálkově ovládaný trimaran:	250 000,- Kč
- specializovaný SW HydroSurveyor:	250 000,- Kč
- přístroj CastAway:	150 000,- Kč
- loď ~ nafukovací člun:	10 000,- Kč
- elektromotor:	5 000,- Kč
- baterie:	<u>1 000,- Kč</u>

**Vstupní náklady: 1 816 000,- Kč**

### 9.6. *EcoMapper AUV*

- EcoMapper AUV (10 paprskový systém – DVL, SW pro programování + vyhodnocení měření):	4 950 000,- Kč
- boční sonar včetně SW:	700 000,- Kč
- rozšíření o měření kvality vod:	250 000,- Kč
- Hydrophon:	190 000,- Kč
- souprava pro údržbu :	<u>88 000,- Kč</u>

**Vstupní náklady: 6 269 500,- Kč**



## 10. Náklady na realizaci batymetrického měření

Stanovení nákladů na realizaci batymetrického měření bylo provedeno s ohledem na základní časovou měřicí jednotku (1 den). Pro jednotlivé metody byly stanoveny ceny na den měření, ceny za zaměření jednoho kilometru (1 km) říčního toku a ceny za zaměření jednoho hektaru (1 ha) vodní plochy. Nejlépe vypovídající hodnotou o cenách batymetrického měření jsou stanovené náklady na jeden den měření, ze kterého byly následně generovány ceny za zaměření 1 km říčního toku či zaměření 1 ha vodní plochy.

### *Náklady batymetrického měření:*

#### **10.1. Měření pomocí pásem s olovnici**

- velikost zaměřeného území za 1 den: < 2 km toku; < 5 ha vodní plochy
- doba zpracování a klasifikace dat: < 1 hod
- cena zpracování a klasifikace dat: 4 000,- Kč/den
- personální zabezpečení měření: 2 osoby
- náklady na osobu personálního zabezpečení měření: 5 000,- Kč/den
- náklady na technické zabezpečení: 2 000,- Kč/den
  
- náklady na den měření batymetrie olovnici: **12 500,- Kč**
- náklady na zaměření 1 km říčního toku: **6 250,- Kč**
- náklady na zaměření 1 ha vodní plochy: **2 500,- Kč**

#### **10.2. Měření polární metodou nebo GNSS**

- velikost zaměřeného území za 1 den: < 5 km toku; < 30 ha
- doba zpracování a klasifikace dat: < 2 dny
- cena zpracování a klasifikace dat: 4800,- Kč/den
- personální zabezpečení měření: 2 osoby
- náklady na osobu personálního zabezpečení měření: 5000,- Kč/den



- 
- náklady na technické zabezpečení: 2000,- Kč/den
  - náklady na den měření polární metodou nebo GNSS: **21 600,- Kč**
  - náklady na zaměření 1 km říčního toku: **4 320,- Kč**
  - náklady na zaměření 1 ha vodní plochy: **720,- Kč**

### **10.3. Měření polární metodou / GNSS-RTK + sonar**

- velikost zaměřeného území za 1 den: < 10 km toku; < 50 ha
- doba zpracování a klasifikace dat: < 2 dny
- cena zpracování a klasifikace dat: 6000,- Kč/den
- personální zabezpečení měření: 2 osoby
- náklady na osobu personálního zabezpečení měření: 5000,- Kč/den
- náklady na technické zabezpečení: 3500,- Kč/den
  
- náklady na den měření metodou / GNSS-RTK + sonar: **25 500,- Kč**
- náklady na zaměření 1 km říčního toku: **2 550,- Kč**
- náklady na zaměření 1 ha vodní plochy: **510,- Kč**

### **10.4. Duální - LIDAR**

- velikost zaměřeného území za 1 den: < 200 km toků; < 1 000 km<sup>2</sup>
- doba zpracování a klasifikace dat: < 10 dnů
- cena zpracování a klasifikace dat: 45 000,- Kč/den
- personální zabezpečení měření: 5 osob
- náklady na osobu personálního zabezpečení měření: 12 000 Kč/den
- náklady na technické zabezpečení: 10 000,- Kč/den
  
- náklady na den měření batymetrie duálním LIDAREm: **115 000,- Kč**
- náklady na zaměření 1 km říčního toku: **575,- Kč**
- náklady na zaměření 1 ha vodní plochy: **1,15,- Kč**





### **10.5. Měření metodou RiverSurveyor M9 s RTK-GPS, CastAway**

- velikost zaměřeného území za 1 den: < 10 km toku; < 50 ha
- doba zpracování a klasifikace dat: < 2 dny
- cena zpracování a klasifikace dat: 8000,- Kč/den
- personální zabezpečení měření: 2 osoby
- náklady na osobu personálního zabezpečení měření: 5000,- Kč/den
- náklady na technické zabezpečení: 10000,- Kč/den
  
- náklady na den měření metodou / RS M9 s RTK-GPS, člun:  
**36 000,- Kč**
- náklady na zaměření 1 km říčního toku: **3 600,- Kč**
- náklady na zaměření 1 ha vodní plochy: **720,- Kč**

### **10.6. Měření metodou EcoMapper AUV**

- velikost zaměřeného území za 1 den: < 15 km toku; < 100 ha
- doba zpracování a klasifikace dat: < 2 dny
- cena zpracování a klasifikace dat: 8000,- Kč/den
- personální zabezpečení měření: 2 osoby
- náklady na osobu personálního zabezpečení měření: 5000,- Kč/den
- náklady na technické zabezpečení: 40000,- Kč/den
  
- náklady na den měření metodou / EcoMapper: **66 000,- Kč**
- náklady na zaměření 1 km říčního toku: **4 400,- Kč**
- náklady na zaměření 1 ha vodní plochy: **660,- Kč**



## VI. Závěr

Možnosti uplatnění každé z testovaných metod batymetrického měření jsou rozdílné z mnoha různých pohledů. Ať je jím rozloha zaměřených ploch za jeden den nebo rozsah měřitelných hloubek. Je potřeba vždy uvažovat za jakým účelem je batymetrické zaměření prováděno a jaká přesnost zaměření bude vyžadována. S tím úzce souvisí i následné zpracování dat.

Výsledná data jsou ve formátu tabulkových dat se souřadnicemi X, Y, H. Data v tomto formátu je možné zpracovávat velkým množstvím přístupů ať už interpolačních nebo statistických metod dle jejich konečného účelu.

Testovaný přístup s největším potenciálem pro pořizování batymetrických dat je metoda při využití duálního LIDARu. V řadě odborných publikací je možné nalézt informace, že maximální hloubka, do které lze reálně získávat batymetrická data pomocí LBLS, dosahuje až 70 m v závislosti na výkonnosti využitého systému a také na zákalu a proudění vody [34]. Z prezentovaných výsledků je patrné, že sledovaná metoda se z pohledu určení morfologie dna pod vodní hladinou v podmínkách ČR osvědčila do hloubek cca 2 m. Pro získání relevantních dat i ve větších hloubkách pod vodní hladinou je proto nutné tuto metodu i nadále testovat.

Pro širší zavedení metody LBLS do uživatelské praxe v podmínkách ČR je proto důležité navazující výzkum soustředit na eliminaci dopadů negativně ovlivňující pořizování surových dat.

Implementace zpracované certifikované metodiky do uživatelské praxe je umocněna ekonomickou a environmentální potřebou s ohledem na narůstající význam erozní ohroženosti z pohledu ochrany vodních toků a nádrží před zanášením sedimenty. Z tohoto pohledu je nutné určit, jaké množství erodovaného materiálu bylo transportováno vodními toky dále hydrografickou sítí a jaký objem zaujímají sedimenty ve vodních nádržích.



---

## Seznam tabulek

Tab. 1. – Opatření omezující transport sedimentů do vodních toků a nádrží.

Tab. 2. – Tabulka rozhodující o využití nevhodnější metody batymetrického měření v podmínkách ČR.

## Seznam obrázků

Obr. 1. – Princip duálního LIDARu.

Obr. 2. – Rozložení čidel na sonaru RiverSurveyor M9.

Obr. 3. – Nosná plavidla testované měřicí aparatury RiverSurveyor M9.

Obr. 4. – Hardwarové rozložení aparatury EcoMapper AUV.

Obr. 5. – Profilace výsledků duálního LIDARu – Pilotní lokalita Němčice.

## Seznam příloh

Příloha 1. – Katalog opatření omezujících transport sedimentů do vodních toků a nádrží (na CD nosiči).



---

## Seznam použité související literatury

- [1] BRÁZDIL K. a kol. (2012): Technická zpráva k digitálnímu modelu reliéfu 5. generace (DMR 5G). Zeměměřický úřad, Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad. Pardubice 2012. cit. 19. 1. 2017, [http://geoportal.cuzk.cz/Dokumenty/TECHNICKA\\_ZPRAVA\\_A\\_DMR\\_5G.pdf](http://geoportal.cuzk.cz/Dokumenty/TECHNICKA_ZPRAVA_A_DMR_5G.pdf)
- [2] BRÁZDIL, K. (2009): Projekt tvorby nového výškopisu území České republiky. Geodetický a kartografický obzor, ročník 55 (97), č. 7, s. 145-151.
- [3] KRÁSA, J. (2010): Empirické modely vodní eroze v ČR - nástroje, data, možnosti a rizika výpočtů, docentská habilitační práce, Praha: ČVUT, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného hospodářství, 158 s.
- [4] HOLÝ, M., (1994): Eroze a životní prostředí, ČVUT Praha. 383 s. ISBN 80-01- 01078-3. Ochrana zemědělské půdy před erozí, metodika UVTIZ 5/1992.110 s.
- [5] WISCHMEIER, W. H., SMITH, D. D. (1978): Predicting Rainfall Erosion Losses – A Guide to Conservation Planning. Agr.Handbook No. 537, US Dept.of Agriculture, Washington.
- [6] YANG, Z., H. WANG, Y. SAITO, J. D. MILLIMAN, K. XU, S. QIAO, AND G. SHI (2006): Dam impacts on the Changjiang (Yangtze) River sediment discharge to the sea: The past 55 years and after the Three Gorges Dam, Water Resour. Res., 42, W04407.
- [7] WILLIAMS, J. R. (1977): Sediment delivery ratios determined with sediment and runoff models. In: Erosion and solid matter transport in inland waters. pp 168-179. IAHS-AISH publication No. 122.
- [8] JANEČEK, M. et al (2007): Ochrana zemědělské půdy před erozí, metodika, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i, Praha.



- 
- [9] POKORNÁ, M., 2007: Za hranice batymetrie. České vysoké učení technické, Praha, online:  
[http://www.fce.vutbr.cz/veda/JUNIORSTAV2007/pdf/Sekce\\_6.2/Pokorna\\_Marketa\\_CL.pdf](http://www.fce.vutbr.cz/veda/JUNIORSTAV2007/pdf/Sekce_6.2/Pokorna_Marketa_CL.pdf), cit. 9. 7. 2014.
- [10] GARMIN, 2000. Fishfinder 240 owner's manual. Garmin, 40 s., online:  
[http://static.garmincdn.com/pumac/FishFinder240\\_OwnersManual.pdf](http://static.garmincdn.com/pumac/FishFinder240_OwnersManual.pdf), staženo: 9. 7. 2014.
- [11] SEABEAM (2000): Multibeam sonar – Theory of operation. L-3 Communications SeaBeam Instruments, 141 Washington Street, East Walpole, MA 02032-1155.
- [12] CERVENKA, P., MOUSTIER, C., (1994): Postprocessing and corrections of bathymetry derived from sidescan sonar systems: Application with SeaMARC II," IEEE Journal of Oceanic Engineering, vol. 19, no. 4, pp. 619–629.
- [13] BRISSON, L. N., WOLFE, D. A., STALEY M. (2014): Interferometric Swath Bathymetry for Large Scale Shallow Water Hydrographic Surveys, Proceedings of Canadian Hydrographic Conference, St. John's N&L.
- [14] POVODÍ VLTAVY (2014): <http://www.pvl.cz/vodohospodarske-informace/vymerovaci-lode/valentyna>, cit. 27.8.2014.
- [15] KUHN, G., WEBER, M.E. (1993): Acoustical characterization of sediments by Parasound and 3.5 kHz systems: related sedimentary processes on the southeastern Weddell Sea continental slope, Antarctica – Marine Geology. 113, 201-217
- [16] SALEH M., RABAH M., (2016): Seabed sub-bottom sediment classification using parametric sub-bottom profiler. In NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics, Volume 5, Issue 1, 2016, Pages 87-95, ISSN 2090-9977.
- [17] WHOI (2014):  
<http://www.whoi.edu/instruments/viewInstrument.do?id=819>, cit. 27. 8. 2014.
-



- 
- [18] SONTEK (2014):  
<http://www.sontek.com/solutionsdetail.php?Bathymetric-Surveying-3>, cit. 27.8.2014.
- [19] GUENTHER, G. C.-CUNNINGHAM, A. G.-LAROQUE, P. E. REID, D. J.: Meeting the accuracy challenge in airborne Lidar bathymetry. Proceedings, 20th EARSeL Symposium Workshop on LiDAR Remote Sensing of Land and Sea. Dresden, Germany, June 16-17, 2000, 28 pp.
- [20] DOLANSKÝ, T. Lidary a letecké laserové skenování. Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem, 2004. Acta Universitatis Purkynianae. ISBN 80-7044-575-0.
- [21] VRÁNA, K., BERAN, J. (2013): Rybníky a účelové nádrže. Praha: ČVUT, ISBN 9788001040027.
- [22] PIMENTEL, D., BURGESS, M. (2013): Soil Erosion Threatens Food Production. Agriculture 2013, 3, str. 443-463, doi:10.3390/agriculture3030443, cit. 21. 6. 2017: <<https://www.bmbf.de/files/agriculture-03-00443.pdf>>.
- [23] WALLING E. D. FOR THE INTERNATIONAL SEDIMENT INITIATIVE OF UNESCO-IHP (2009): The impact of global change on erosion and sediment transport by rivers: current progress and future challenges. Paris, France: Unesco, 2009. ISBN 9789231041358, cit. 21. 6. 2017: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0018/001850/185078E.pdf>>.
- [24] ISSAKA, S., ASHRAF, A. M. (2016): Impact of soil erosion and degradation on water quality: a review. Journal: Geology, Ecology, and Landscapes ,Volume 1, 2017, str. 1-11, cit. 21. 6. 2017, <<http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/24749508.2017.1301053?needAccess=true>>.
- [25] UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION, International Hydrological
-



- Programme (2011): The Impact of global change on water resources: the response of unesco's international hydrology programme, cit. 21. 6. 2017, <<http://unesdoc.unesco.org/images/0019/001922/192216e.pdf>>.
- [26] FOUISOVÁ, E., REIDINGER, J. (2016): Zpráva o stavu vodního hospodářství České republiky v roce 2015. Praha: Ministerstvo zemědělství. ISBN 9788074343193.
- [27] BELL, F. G. (1998): Environmental geology: principles and practice. Malden, MA: Blackwell Science, ISBN 0865428751.
- [28] KUBINSKÝ, D., FUSKA, J., WEIS, K., LEHOTSKÝ, M., (2013): Zmeny akumuláčného objemu vodných nádrží Veľká Richňavská a Malá Richňavská. ACTA HYDROLOGICA SLOVACA. 2013, Sv. 14, č. 2, stránky 402-413.
- [29] Katalog opatření – katalogové listy. Portál eAGRI, cit. 04. 10. 2017 [http://eagri.cz/public/web/file/37011/\\_14\\_tecnicka\\_protierozni.pdf](http://eagri.cz/public/web/file/37011/_14_tecnicka_protierozni.pdf).
- [30] JANEČEK, M. 2012. Ochrana zemědělské půdy před erozí: metodika. Praha: Powerprint, ISBN 978-80-87415-42-9.
- [31] VÚMOP, v.v.i. Protierozní kalkulačka. cit. 4. 10. 2017 z: [http://me.vumop.cz/mapserv/ekalkulacka/prehled\\_opatreni.php](http://me.vumop.cz/mapserv/ekalkulacka/prehled_opatreni.php)
- [32] BATYSTA, M., DOUBRAVOVÁ, J., HALUZOVÁ, J., JACKO, K., JANEČEK, B., KAPIČKA, J., KULÍŘOVÁ, P., NEDVĚDOVÁ, V., NOVOTNÝ, I., PODHRÁZSKÁ, J., SEKÁČ, P., SKLENIČKA, P., TROMBIK, P., VÁLOVÁ, M., VOPRAVIL, J. (2014): Pozemkové úpravy - 5. doplněné vydání, cit. 4.10.2017, <[http://www.spucr.cz/frontend/webroot/uploads/files/2015/06/poze\\_mkov\\_e\\_upravy\\_2014782.pdf](http://www.spucr.cz/frontend/webroot/uploads/files/2015/06/poze_mkov_e_upravy_2014782.pdf)>.



- 
- [33] BALTSAVIAS, E. P.: Airborne laser scanning: existing systems and firms and other Resources. Institute of Geodesy and Photogrammetry, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 54: 1999, Zurich, Switzerland.
- [34] SHAN, J.-TOTH, K.: Topographic laser ranging and scanning: principles and processing. Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis Group, c2009. ISBN 1420051423.
- [35] HILL, L. L. (2006): Georeferencing: the geographic associations of information. Cambridge, Mass.: MIT Press. ISBN 9780262083546.
- [36] HLAVÁČEK, J., ROUB, R., MARVAL, Š., HEJDUK, T., ČUBA, P., HRADILEK, V., NOVÁK, P., VYBÍRAL, T., BUREŠ L. (2017): Technologie připevnění a stabilizace měřicí aparatury RiverSurveyor M9 na trimaranu za účelem měření batymetrie malých vodních nádrží, ověřená technologie, 61 str., ISBN 978-80-87361-71-9, smlouva o uplatnění ověřené technologie byla uzavřena s Lesy hl. m. Prahy.
- [37] HRADILEK, V., ROUB, R., NOVÁK, P., VYBÍRAL, T., MARVAL, Š., HEJDUK, T., HLAVÁČEK, J., BUREŠ L. (2017): Technologie připevnění a stabilizace měřicí aparatury RiverSurveyor M9 na kajaku za účelem měření batymetrie malých vodních nádrží, ověřená technologie, 47 str., ISBN 978-80-87361-72-6, smlouva o uplatnění ověřené technologie byla uzavřena s Lesy hl. m. Prahy.





## Seznam výsledků a publikací

Seznam výsledků a publikací, které předcházely metodice a byly publikovány.

### Ověřená technologie

HRADILEK, V., ROUB, R., NOVÁK, P., VYBÍRAL, T., MARVAL, Š., HEJDUK, T., HLAVÁČEK, J., BUREŠ L. (2017): Technologie připevnění a stabilizace měřicí aparatury RiverSurveyor M9 na kajaku za účelem měření batymetrie malých vodních nádrží, ověřená technologie, 47 str., ISBN 978-80-87361-72-6, smlouva o uplatnění ověřené technologie byla uzavřena s Lesy hl. m. Prahy.

HLAVÁČEK, J., ROUB, R., MARVAL, Š., HEJDUK, T., ČUBA, P., HRADILEK, V., NOVÁK, P., VYBÍRAL, T., BUREŠ L. (2017): Technologie připevnění a stabilizace měřicí aparatury RiverSurveyor M9 na trimaranu za účelem měření batymetrie malých vodních nádrží, ověřená technologie, 61 str., ISBN 978-80-87361-71-9, smlouva o uplatnění ověřené technologie byla uzavřena s Lesy hl. m. Prahy.

### Specializována mapa s odborným obsahem

HRADILEK, V., ROUB, R., NOVÁK, P., HEJDUK, T., VYBÍRAL, T., HLAVÁČEK, J., BUREŠ, L., MÁCA, P., MAXOVÁ, J., ZAJÍČEK, A., PTÁČNÍKOVÁ, L. (2015): Specializované mapy batymetrických měření pomocí echosoundingu, Zeměměřický úřad, Pod Sídlištěm 9, 182 11 Praha 8, 15. 12. 2015, ZÚ-04428/2015-11001.

HRADILEK, V., ROUB, R., NOVÁK, P., HEJDUK, T., VYBÍRAL, T., HLAVÁČEK, J., BUREŠ, L., MÁCA, P., MAXOVÁ, J., ZAJÍČEK, A., PTÁČNÍKOVÁ, L. (2016): Batymetrické měření pro stanovení množství a dynamiky sedimentů, Zeměměřický úřad, Pod Sídlištěm 9, 182 11 Praha 8, 10. 6. 2016, ZÚ-02296/2016-11001.



## Software

BUREŠ, L., ROUB, R., MÁČA, P., PECH, P.: (2016): BathySol for ArcGIS – Nástroj BathySol pro práci v prostředí ArcGIS, software.

## Odborné články

REIL, A., SKOULIKARIS, CH., ALEXANDRIDIS, T., ROUB, R. (2017): Evaluation of riverbed representation methods for 1D flood hydraulics model. *Journal of Flood Risk Management*. DOI 10.1111/jfr3.12304.

MARVAL, Š., HEJDUK, T., VELÍSKOVÁ, Y., SOČUVKA, V., DUŠEK, P., HLAVÁČEK, J., NOVÁK, P., ROUB, R., VYBÍRAL, T., BUREŠ, L. (2017): Automatizované monitorování morfologie dna vodních nádrží – pilotní studie vodárenská nádrž Nýrsko, konference s mezinárodní účastí - Vodní toky 2017, str. 107 – 114, ISBN 978–80–7458–101-4.

NOVÁK, P., ROUB, R., HRADILEK, V., MARVAL, Š., HEJDUK, T., VYBÍRAL, T., BUREŠ, L. (2017): Batymetrický přístup pro stanovení zásobních kapacit, množství a dynamiky sedimentů vodních nádrží – pilotní studie Němčice, *Vodní hospodářství*, 2017, roč. 67, číslo 9, ISSN: 1211-0760.

NOVÁK, P., ROUB, R., VYBÍRAL, T., V., MARVAL, Š., HEJDUK, T., BUREŠ, L. (2017): Letecké topo-batymetrické laserové skenování – pilotní testování v klimatických podmínkách České republiky, *Geodetický a kartografický obzor*, roč. 63/105, číslo 10, ISSN: 1211-0760.

ROUB, R., KURKOVÁ, M., HEJDUK, T., NOVÁK, P., BUREŠ, L. (2016): Comparing a hydrodynamic model from fifth generation DTM data and a model from data modified by means of CroSolver too, *AUC Geographica*, 51, No. 1, pp. 29–39.

NOVÁK, P., ROUB, R., VYBÍRAL, T., HLAVÁČEK, J., HEJDUK, T., BUREŠ, L., REIL, A. (2015): Nové technologie batymetrie vodních toků a nádrží, *Vodní hospodářství*, roč. 65, č. 3, s. 13-20. ISSN 1211-0760.



---

## Postery

MARVAL, Š., VELÍSKOVÁ, Y., HEJDUK, T., HLAVÁČEK, J., SOČUVKA, V., DUŠEK, P., NOVÁK, P. (2017): Batymetrické měření na vodárenské nádrže Nýrsko přístrojovým vybavením na bázi echosounderu, poster, GIS ESRI 2017.

HRADILEK, V., BAŠTA, P., VIZINA, Š., MÁCA, P., PECH, P. (2015): Verification of remote sensing data for measuring bathymetry on small water reservoirs. In 15th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2015, Informatics, Geoinformatics and Remote Sensing 18. 06. 2015, Albena, Bulgaria. Sofia, Bulgaria: STEF92 Technology Ltd., 2015. pp 1219–1226.

HRADILEK, V., BAŠTA, P., HEJDUK, T., MÁCA, P., ROUB, R. (2015) : Výsledky batymetrických měření pomocí echosoundingu v rámci projektu TAČR TA04220042, poster, Vodní nádrže 2015.



---

## Certifikační doložka

### *Dedikace*

Metodika vznikla za finanční podpory Technologické agentury ČR, programu ALFA a jako plánovaný výstup projektu č. TA04020042 „*Nové technologie batymetrie vodních toků a nádrží pro stanovení jejich zásobních kapacit a sledování množství a dynamiky sedimentů*“.

### *Jména oponentů*

Odborník z daného oboru:

Ing. Martin TOMEK  
Vodohospodářský rozvoj a výstavba a.s.  
Oddělení plánování a koncepcí  
Nábřežní 4, 150 56 Praha 5 – Smíchov  
Tel.: + 420 732 532 225 / +420 257 110 347  
E-mail: tomek@vrv.cz  
<http://www.vrv.cz>

Odborník ze státní správy:

Ing. Marie KURKOVÁ, Ph.D.  
Ministerstvo zemědělství ČR  
Odbor vodohospodářské politiky a protipovodňových opatření  
Těšnov 65/17, Praha 1, 110 00  
Tel: +420 605 513 963  
E-mail: kurkova.marie@mze.cz  
[www.eagri.cz](http://www.eagri.cz)



---

***Kontakty na osoby předkladatele metodiky***

RNDr. Pavel Novák, Ph.D.

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

Žabovřeská 250, 156 27 Praha 5 – Zbraslav

Tel: +420 257 027 210 / +420 728 184 577

E-mail: [novak.pavel@vumop.cz](mailto: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

Tel: +420 224 382 153 / +420 737 483 840

E-mail: [roub@fzp.czu.cz](mailto:roub@fzp.czu.cz)

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

Ing. Tomáš Vybíral, Ph.D.

GEOREAL spol. s r.o.

Hálkova 12

301 00 Plzeň

Tel.: +420 373 733 431 / +420 724 025 477

E-mail: [tomas.vybiral@georeal.cz](mailto:tomas.vybiral@georeal.cz)

<http://www.georeal.cz>

Ing. Jiří Hlaváček

AQUAMONITORING, s.r.o.

Jedovnická 2346/8

628 00 Brno - Líšeň

Tel.: +420 541 211 092 / +420 732 165 372

E-mail: [jiri.hlavacek@aquamonitoring.cz](mailto:jiri.hlavacek@aquamonitoring.cz)

<http://www.aquamonitoring.cz/>



- Prohlášení předkladatele metodiky.

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

Předkladatel prohlašuje, že smlouva o uplatnění certifikované metodiky byla uzavřena s Lesy hl. m. Prahy.

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

Předkladatel metodiky souhlasí s uveřejněním metodiky na webových stránkách Zemědělického ústavu (Ministerstva zemědělství, Ministerstva životního prostředí).