

Technologie připevnění a stabilizace měřicí aparatury RiverSurveyor M9 na kajaku za účelem měření batymetrie malých vodních nádrží

Ověřená technologie



T A

Č R

Technologická
agentura
České republiky

listopad 2017



Autoři:

Ing. Václav Hradílek ¹	(hradilek@fzp.czu.cz)
Ing. Radek Roub, Ph.D. ¹	(roub@fzp.czu.cz)
RNDr. Pavel Novák, Ph.D. ²	(novak.pavel@vumop.cz)
Ing. Tomáš Vybíral ³	(tomas.vybiral@georeal.cz)
Ing. Štěpán Marval ^{1,2}	
Ing. Tomáš Hejduk, Ph.D. ²	
Ing. Jiří Hlaváček ⁴	
Ing. Luděk Bureš ¹	

¹Česká zemědělská univerzita v Praze, Kamýcká 961/129, 165 00 Praha 6 - Suchbátka

²Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., Žabovřeská 250, 156 27 Praha 5

³GEOREAL spol. s r.o., Hálkova 12, 301 00 Plzeň

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

Recenzovali:

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

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

Poděkování:

Ověřená technologie 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“.

V roce 2017 v nákladu 25 ks vydal VÚMOP, v.v.i.

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

Vydání: první, 2017

ISBN 978-80-87361-72-6

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

Pověřený řízením veřejné výzkumné instituce: doc. Ing. Radim Vácha, Ph.D.



Obsah:

1.	Úvod - potřebnost a využití ověřené technologie	4
2.	Vymezení základních pojmů	7
3.	Seznam použitých zkratk	8
4.	Základní principy užívané v batymetrii	9
5.	Popis technologie	13
5.1	Měřicí aparatura	13
5.2	Princip použité metody sběru dat	14
5.3	Nosič – nosné plavidlo	15
5.4	Technologie připevnění RiverSurveyou M9	16
5.5	Teplotní stratifikace	21
5.6	Průběh a ověření přesnosti měření	23
6.	Popis způsobu testování	25
	Soustava MVN Litovicko-Šáreckého potoka	26
	Soustava Jevanského potoka	29
	Soustava Říčanského potoka	31
	Hracholusky, Němčice, Fojtka	33
7.	Zdroje doplňkových dat	34
	DMR	34
	DIBAVOD	34
	Manipulační a provozní řád	34
8.	Výhody a omezení	35
9.	Ekonomické a inovativní přínosy	37
10.	Souhrn a závěr	38
	Literatura	39
	Seznam obrázků a tabulek	42



1. Úvod - potřeba a využití ověřené technologie

Procesy eroze na zemědělské půdě a s tím spojená sedimentace ve vodních nádržích jsou aktuálně jedním z největších globálních vodohospodářských problémů [1, 2, 3, 4]. 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 zanesení sedimenty [1]. Zanášení vodních toků a nádrží produkty vodní eroze způsobuje především zmenšení průtočnosti koryt vodních toků, akumulčních 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, poněvadž sedimenty obsahují značné množství živin a rizikových látek [1].

Transport sedimentů do nádrže a rychlost sedimentace závisí na mnoha faktorech. Jsou jimi množství a distribuce srážek, rozmištění a typ vegetačního pokryvu, velikost povodí, geologické a geomorfologické poměry ve sběrné oblasti i míra antropogenních zásahů do krajiny [5, 6].

Autor [7] zmiňuje rovněž tzv. vnitřní zanášení rybníků. Aktuálně nastavené trendy v rybářském hospodaření s tendencí k vysokým obsádkám, společně s enormním přísunem živin způsobují vnitřní zanášení rybníků.

V současné době bylo dokončeno nové výškopisné mapování metodou leteckého laserového skenování území České republiky (ČR), které poskytne nové výškopisné produkty.

V současné době je tak k dispozici vysoce kvalitní výškopisný digitální model reliéfu České republiky získaný metodou leteckého laserového skenování (LLS). Výškopisné mapování probíhalo v rámci společného projektu Českého úřadu zeměměřického a katastrálního (ČÚZK), Ministerstva obrany (MO) a Ministerstva zemědělství (MZe) s názvem



„Projekt tvorby nového výškopisu České republiky“ [8] a bylo dosaženo výstupů:

- Digitální model reliéfu 4. generace (DMR 4G) ve formě rastru 5 x 5 m s úplnou střední chybou výšky 0,30 m v odkrytém terénu a 1 m v zalesněném terénu.
- Digitální model reliéfu 5. generace (DMR 5G) ve formě nepravidelné sítě bodů (TIN) s úplnou střední chybou výšky 0,18 m v odkrytém terénu a 0,30 m v zalesněném terénu.
- Digitální model povrchu 1. generace (DMP 1G) ve formě nepravidelné sítě bodů (TIN) s úplnou střední chybou výšky 0,4 m pro přesně vymezené objekty a 0,7 m pro objekty přesně neohrazené (lesy a další prvky rostlinného půdního krytu).

Metoda LLS umožňuje obecně získávání velkého objemu dat v krátkém časovém intervalu. Ve spojení s poměrně vysokým stupněm automatizace jejich zpracování při vytváření digitálního modelu terénu a povrchu představuje jednu z nejefektivnějších metod při získávání relevantních prostorových dat [9, 10].

Otázkami přesto zůstává, co se nachází pod vodní hladinou? Jaké jsou akumulární a retenční kapacity vodních toků a nádrží? Kolik máme sedimentů ve vodních tocích a nádržích? Nebo jaká je jejich dynamika? Na tyto otázky hledá odpovědi vědní obor batymetrie.

Přestože prvotní vymezení oboru batymetrie bylo úzce spojeno s měřením hloubek oceánů, moří a jezer při vytváření námořních map pro bezpečnější navigaci, při hledání ropy nebo vraků lodí, v posledních letech je tento obor velice expandujícím a nalézá široké uplatnění v řadě dalších oborů.

Získáním digitálního modelu reliéfu (DMR), který bude zahrnovat informace o morfologii dna nádrží a toků, bude 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 umožní deponování sedimentů ve vodních tocích a nádržích omezí.

Batymetrickým měřením se zabývá řada zahraničních autorů, avšak většinou se jedná o studie, které se zaměřují na batymetrii moří a oceánů [11,



12, 13, 14, 15]. Menší skupina autorů se zabývá batymetrickým měřením na jezerech, nádržích a řekách [16, 17, 18, 19, 20]. Přestože se v zahraničí problematice oboru batymetrie věnuje řada odborníků, v podmínkách ČR nebyla doposud dostatečně otestována technologie, která by byla plně využitelná s ohledem na specifické podmínky českých „rybníků“.

Opakování batymetrického měření na malých vodních nádržích (MVN) je důležitým nástrojem na zjištění změn sedimentačních procesů v nádrži a určení objemu zadržené vody. Při periodickém sběru dat je tedy možné sledovat genezi a dynamiku sedimentu a kontrolovat stav například po extrémních hydrologických situacích.

Odhadovaný objem sedimentů v ČR je 197 mil. m³, to si můžeme představit jako 24 cm vysokou vrstvu sedimentu rozprostřenou ve všech nádržích ČR [21]. Autoři článku [22] uvádí roční nárůst sedimentu na středně velkých nádržích od 8 do 14 mm, za povodně však uvádí dosažení mnohonásobně větších hodnot, například na vodní nádrži Pastviny je dokumentován nárůst 130 mm/rok.

V současné době, kdy ve vyšší míře postihují ČR hydrologické extrémy, je důležité znát objem zadržené povrchové vody v krajině a její retenční potenciál, který sama krajina s již existujícími nádržemi má. Zatím jsou známy jen hrubé odhady celkového objemu vody v MVN. Technologie, pomocí které je možné současný stav přesně určit a vytvořit tak batymetrickou databázi současného stavu, je již delší dobu k dispozici, avšak až nyní byla dostatečně otestována technologie připevnění měřicího zařízení na loď, která měřicí zařízení nese.

V průběhu řešení výzkumného projektu Technologické agentury ČR, programu ALFA „Nové technologie batymetrie vodních toků a nádrží pro stanovení jejich zásobních kapacit a sledování množství a dynamiky sedimentů“ byla vyvinuta technologie na upevnění měřicího zařízení RiverSurveyor M9, které umožňuje batymetrické měření.



2. Vymezení základních pojmů

Průtok vody

- objemový průtok 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 moře, jedná se vlastně o podvodní podobu hypsometrie, výsledky se vyjadřují v podobě batymetrických map,

lidar

- moderní technologie k detekci objektů a měření vzdáleností při využití laserového paprsku.



3. Seznam použitých zkratek

ADCP	- Acoustic doppler current profiler
ČHMÚ	- Český hydrometeorologický ústav
ČR	- Česká republika
ČUZK	- Český úřad zeměměřický a katastrální
ČZU	- Česká zemědělská univerzita
DIBAVOD	- Digitální báze vodohospodářských dat
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
GIS	- Geografické informační systémy
GPS	- Globální polohový systém
HDOP	- Horizontal dilution of precision
HEC-RAS	- Hydrologic engineering center's river analysisSystem
KVHEM	-Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování
LIDAR	- Light imaging, detection, and ranging
LLS	- letecké laserové skenování
LMS	- letecké měřické snímkování
MO	- Ministerstvo obrany
MVN	- malá vodní nádrž
MZe	- Ministerstvo zemědělství
ORP	- Obec s rozšířenou působností
RTK	- Real timekinematic/ kinematika v reálném čase
SONAR	-Sound navigation and ranging
TAČR	- Technologická agentura České republiky
TIN	- Triangulated irregular network
VN	- vodní nádrž
VUMOP	- Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.
ZABAGED	- Základní báze geografických dat



4. Základní principy užívané v batymetrii

K batymetrickým měřením je v současné době snaha využívat metody, které sníží měřicí čas nutný na sběr dat. Proto je stále častěji používán a zdokonalován systém leteckého sběru batymetrických dat. Nicméně jak ukazují dosažené poznatky [23], tyto metody není v ČR zatím možné účinně využívat. Proto je v podmínkách ČR pozornost soustředěna na metody, které poskytují relevantní data o morfologii dna pod vodní hladinou. Dnes se k měření hloubek na vodních nádržích a vodních tocích v ČR nejčastěji používá sonar. Sonar je systém, který využívá vyslaných a odražených akustických vln k detekci a lokalizaci ponořených objektů anebo k měření vzdálenosti od vysílajícího přístroje ke dnu.

4.1. Jednopaprscitý sonar

V současnosti jsou používány sonary v několika modifikacích. Základní variantou je jednopaprscitý sonar. Ten se liší ve frekvenci zvuku, který využívají pro měření hloubky. Čím nižší frekvence tím větší hloubku je možné měřit. Rozptyl používaných frekvencí je dle specifikace široký, a to od stovek MHz do stovek KHz. U některých přístrojů je možné dle předpokládané hloubky nastavovat požadovanou frekvenci pomocí převodníku, který vysílá a zpracovává zvukové vlny. Do mělkých vod je vhodný převodník s širokým záběrem a do hlubších s užším. Při použití nevhodného převodníku dochází ke zhoršení rozlišení, nebo vzniku mrtvých zón. Jednopaprscité sonary jsou běžně používány například rybáři. Zařízení vysílá zvukové vlny směrem ke dnu, které se od něj odráží zpět. V současné době jsou k dispozici přístroje, které vysílají dvě odlišné frekvence, tedy duální jednopaprscité sonary. Tyto sonary mají tu výhodu, že nízká frekvence v řádu desítek KHz má schopnost proniknout sedimentem a vysoká, stovky KHz, se odrazí ode dna. Následně pak vzniká komplexní informace nejen o dně, ale také o složení sedimentu. V případě technologie upevněné na měřicí kajak jde o jednopaprscitý sonar s frekvencí 0,5 MHz s možností alternování signálu z velice malých hloubek 0 – 0,4 m vyšší frekvencí 1 respektive 3 MHz.



4.2. Mnohopaprscitý sonar

Mnohopaprscitý sonar je nástroj, který funguje na stejné bázi jako výše zmíněný jednopaprscitý. Rozdíl je v tom, že nevysílá jeden zvukový paprsek, ale více paprsků najednou zaměřených do odlišných směrů tak, aby došlo k zaměření pásu dna. Tomuto zaměřenému pásu se říká „swath“ a jeho šíře je dána aktuální hloubkou a velikostí zvolené frekvence měření. V případě těchto technologií je již samozřejmá možnost nastavení různých emitovaných frekvencí v rozsahu možností přístroje. Při volbě takového přístroje je nutné znát přibližný rozsah hloubek, které budou tímto přístrojem proměřovány. Mnohopaprscitý sonar je díky své komplexnosti dražší a náročnější na provoz než jednopaprscitý, ale tuto nevýhodu vyváží výrazné zkrácení operační doby. Tato metoda nachází nejvýhodnější uplatnění při proměřování hlubokooceánské krajiny, velkých nádrží a řek. Nedostatkem této metody je však nutnost nasazení relativně velké měřicí lodě, která ze své podstaty nemůže být využita v oblastech mělčin, příbřežních zón a většiny MVN [24].

4.3. Boční sonar

Dalším typem měřicího zařízení fungujícího na základě zvuku je boční sonar, který má jiný cíl než zkoumat, pořizovat samotná data o batymetrii. Boční sonar může poskytnout bližší informaci o složení dna a břehů nádrže či toku. Dokáže rozlišit strukturu dna na základě schopnosti detekce odrazu zvuku od různých materiálů. 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 o těchto charakteristikách lze ze síly odrazu zvuku vyvodit informaci o kompozičním složení povrchu dna. Tento sonar bývá užíván jako doplňkový k jedno či více praprscitému sonaru [24].

4.4. Výložníkový systém

Takzvaný výložníkový systém provozuje Povodí Vltavy, státní podnik. Jedná se o speciální plavidlo sloužící pro účely batymetrie. Kontrolují se hloubky a stav koryta vodních toků např. po povodních. Dále může vyhledávat naplavené překážky na vodních cestách. Plavidlo je po bocích osazeno výložníky se sonary a v případě potřeby se hydraulicky vyklápějí. Určení v prostoru obstarává systém GPS s přijímačem na plavidle a břehu.



Měření doplňují radiolimnigrafy (výška hladiny), inklinometr (sklon) a gyrokompas [25]. Tento výložníkový systém je omezen na hlavní splavné toky ČR.

4.5. 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 zespodu na lodi, kde měří rychlost proudění s tím, jak se loď pohybuje.

Princip fungování metody ADCP je v použití zvuku. Pomocí emitovaných a přijímaných zvukových vln se měří rychlost rozptýlených částic ve vodním sloupci, které mají rychlost proudící vody, a to na základě Dopplerova jevu. Zvuk má vyšší frekvenci nebo výšku, když se přibližuje, než když odchází. Známým příkladem je změna frekvence zvuku projíždějícího automobilu.

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 odráží od rozptýlených částic v pohybující se vodě a zpětně se vrací k zařízení. Dopplerův jev způsobuje, že zvukové vlny odražené zpět od pohybující se částice dál od zařízení mají mírně sníženou frekvenci, když se vrací. Částice pohybující 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 pohybující se částice ve vodním sloupci čili rychlosti vodního proudu. Mimo měření rychlosti jednotlivých částic měří i celkovou hloubku tak, aby mohlo dojít při znalosti průtočného profilu na přepočet průtoku.

Tuto technologii nelze využívat, v případě testovaného přístroje RiverSurveyor, pro vyšší hloubky toku než je 30 m, a to především kvůli vysokým použitým frekvencím (1 a 3 MHz). Nicméně je možné, díky vysokým frekvencím, s přístrojem určit velice detailně distribuci rychlostí v jednotlivých svislicích v celém měřeném profilu. Pozornost se musí

věnovat velice čistým vodám z důvodů nízkého obsahu rozptýlených částic. V případě přístrojů pracujících na bázi sonaru je důležité sledovat, jestli v průběhu měření nedochází k „probublávání“ měřeného profilu. Přítomnost bublin v měřeném profilu mění fyzikální vlastnosti profilu, což způsobuje zásadní chyby při měření. Konstrukční provedení ADCP pro RiverSurveyor je prezentováno na **Obr. 1** [26].



*Obr. 1 – Acoustic Doppler current Profiler (HydroSurveyor.) – měřicí hlavice/sonda
Průměr 128,4 mm. Postranní, žluté senzory o frekvenci 1 MHz. Černé senzory o frekvenci 3 MHz.
Žlutý senzor na středu těla: hloubkoměr (echosounder). Šedý senzor: teploměr.*



5. Popis technologie

5.1 Měřicí aparatura

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 pohybujícího se 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, dvousé 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, viz **Obr. 1**. Tělo M9 je propojeno s napájecím a komunikačním modulem. Při běžném nastavení je umístěna na těle M9 GPS anténa, která je samostatně s napájecím a komunikačním modulem propojena přes koaxiální kabel.
- Napájecí a komunikačním modul zpracovává GPS signál z vlastní GPS umístěné na těle měřicího zařízení. Dále zpracovává bluetooth signál pro komunikaci s mobilním zařízením a k ovládání celého měřicího systému. Dále je přítomna rádiová anténa, která zpřesňuje pomocí komunikace s RTK stanicí výškovou a horizontální polohovou přesnost. Do tohoto vodotěsného modulu je vkládána nabíjecí baterie, která napájí celý měřicí systém.
- RTK stanice, která má velice podobný komunikační modul 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 o 10 Hz a dále ho pomocí modemu a rádiové antény zasílá ve frekvenci 1 Hz hlavnímu napájecím a komunikačnímu modulu. RTK stanice je nejčastěji připevněná na stavivu. 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 přes chytrý telefon, kde je podmínkou nainstalovaný *RiverSurveyor Live* pro telefon. Výše popsany hardware, je potřebný k ovládání měřicí aparatury a zprostředkovává tak vlastní sběr batymetrických dat. Software umožňuje, kromě ovládání v reálném čase, také následné zpracování dat a jednoduchý export do tabulkových dat[27].

5.2 Princip použité metody sběru dat

Měřicí zařízení vysílá v jednom okamžiku zvukové paprsky o všech nastavených frekvencích. Nicméně pokud je přístroj používán na batymetrická měření bývá akcentován jeden zvukový paprsek o frekvenci 0,5 MHz. Impuls prochází skrz vodu, ode dna se odráží a putuje zpět k hladině, až jej sonar opět zachytí. Z času, který zvukový signál o známé frekvenci potřeboval k překonání vodního sloupce o známé konduktivitě a teplotě, vypočte uraženou vzdálenost, tedy hloubku a tím poskytuje přesný profil dna.

Samotné měření s kajakem lze vykonávat na jakékoliv vodní ploše. Důležitou přípravou před měřením je vyhledání nejvhodnějšího místa na mapě pro umístění stanice RTK a odhadnutí případných lomových linií (brod, bývalá silnice, skalní výběžek) v nádrži. Tyto geomorfologické prvky by měly být, při mapování zohledněny a co nejlépe zaměřeny. Před měřením je však nutné na místě provést kalibraci kompasu. Po sestavení přístroje a dokončení kalibrace je možné začít měření. Hustota měření a jeho geometrie by měla být naplánována předem a měla by reflektovat potřeby zaměření a geomorfologie nádrže. Potřeby zaměření se můžou lišit dle rozlišení výsledného DMR dna nádrže a velikosti požadované statistické chyby vyjádřené např. prostřednictvím RMSE (Root Mean Square Error). Jak již bylo zmíněno výše, přístroj neudává validní informace o nadmořské výšce, proto je nutné v případě potřeby těchto dat získat informace z jiného zdroje.



Obr. 2 – Součásti a využití měřicí aparatury: A) Použití měřicí aparatury Riversurveyor M9 při měření průtoku a příčnéhoprofilu říčního koryta. B) Referenční stanice – stativ + RTK base station. C) Prezentované použití měřicí aparatury Riversurveyor M9 při batymetrickém měření na vodní nádrži. D) Uživatelské rozhraní softwaru RiverSurveyor Live for mobile – ovládání v reálném čase.

5.3 Nosič – nosné plavidlo

Kompletní měřicí aparatura se stává z konstrukce vlastního sonaru a jeho nosiče, k němuž je systém při sběru dat připevněn. Nosič (nosné plavidlo) musí být konstruováno tak, aby splňovalo potřeby vycházející z fyzikální podstaty způsobu měření, rozsahu použití a uživatelského komfortu.

Originální nosné plavidlo v provedení Hydroboard I od firmy SonTek disponuje pružnou konstrukcí, umožňující použití kdekoli od nízkých rychlostí zavlažovacích kanálů až po vysokohorské potoky. V současnosti je k dispozici i druhá generace v podobě Hydroboard II, která se vyznačuje novým designem pro zajištění lepší stability vedoucí k vyšší přesnosti pořizovaných dat.



Obr. 3 –Hydroboard I / II od firmy SonTek

Ve vazbě na specifické podmínky vodních nádrží a plošné pořizování batymetrických dat bylo vyvinuto vlastní nosné plavidlo z přestavěné závodní debl kánoe (**Obr. 4**).

5.4 Technologie připevnění RiverSurveyou M9

Měřicí kajak je loď přestavěná ze závodní debl kánoe značky Vajda. V jednom otvoru je umístěno měřicí zařízení a v druhém je místo pro jednu osobu, která pomocí kajakářského pádla ovládá loď (**Obr. 4 – 8**). Celá loď může být zakrytá, tudíž je vhodná pro celoroční měření. Celý přístroj je připevněn na loď z nevodivého materiálu, protože součástí přístroje je kompas a náklonoměr, pomocí kterých jsou v průběhu měření korigovány náklony plavidla do všech tří směrů. Při konstrukci byl také kladen zřetel na eliminování tvorby bublin procesem kavitace, a proto je tělo sonaru osazeno před osobou obsluhující kajak. Při záběru pádlem do vody tedy nedochází k tvorbě vírů, které by ovlivnily přesnost měření. Jak je patrné na nákresu (**Obr. 9 – 11**) vlastní tělo sonaru M9 je upevněno prostřednictvím kónického tubusu, který je po celé své délce utěsněn okroužkem z pružné pěny tak, aby nedošlo k nechtěné případné změně výšky sonaru a aby nedocházelo k zatékání. Výše popsany tubus klade odpor při instalaci těla sonaru a je nutné otáčivým a kývavým pohybem dostat tělo sonaru do požadované výšky.



Obr. 4 – Nosné plavidlo z přestavěné závodní debl kánoe.



Obr. 5, 6 – Připevnění a stabilizace měřicí aparatury RiverSurveyor M9 na kajaku.



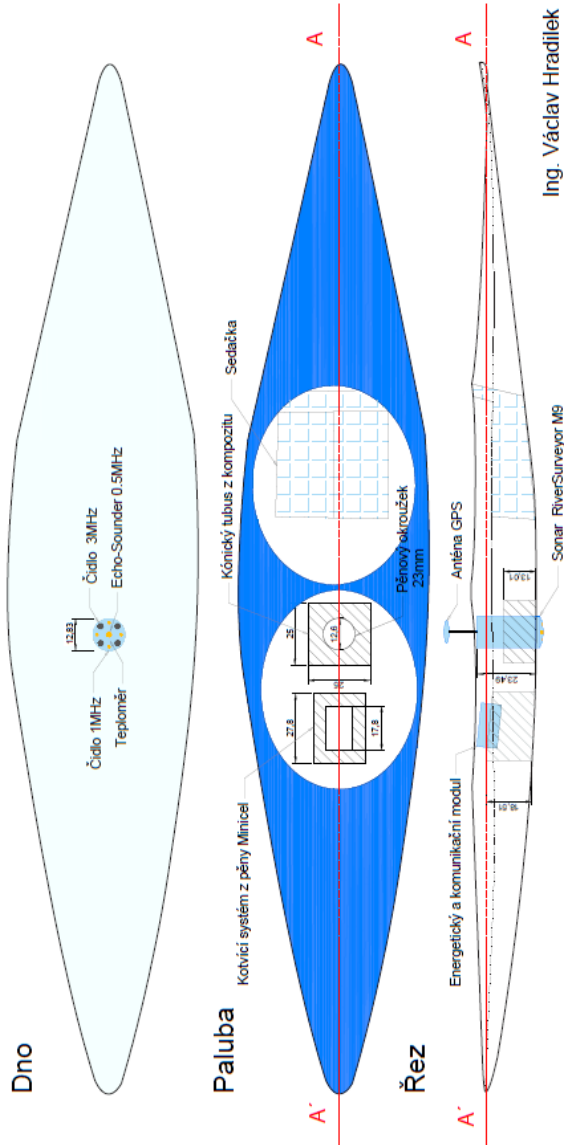


Obr. 7 – Připevnění a stabilizace měřicí aparatury RiverSurveyor M9 na kajaku



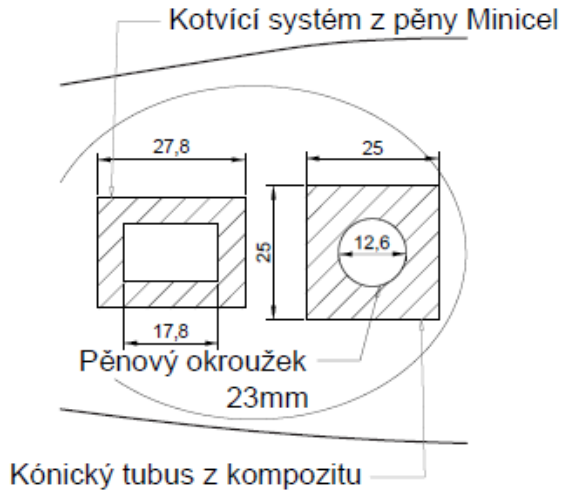
Obr. 8 – Připevnění a stabilizace měřicí aparatury RiverSurveyor M9 na kajaku

Kajak pro batymetrická měření

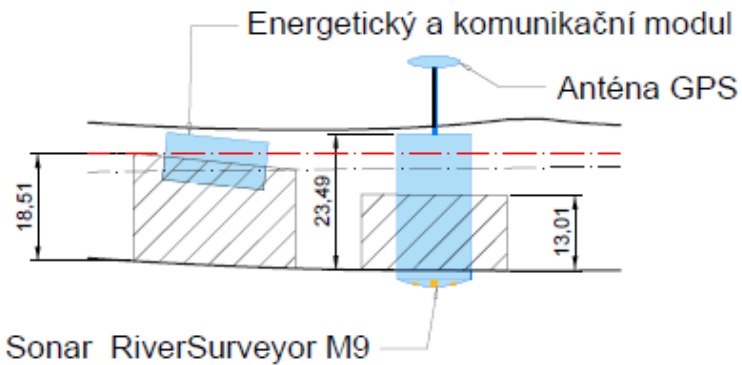


Ing. Václav Hradílek

Obr. 9 – Schéma nosného plavidla



Obr. 10 – Vlastní tělo sonaru M9 je upevněno prostřednictvím kónického tubusu.



Obr. 11 – Ukotvení dílčích částí aparatury na nosném plavidle.

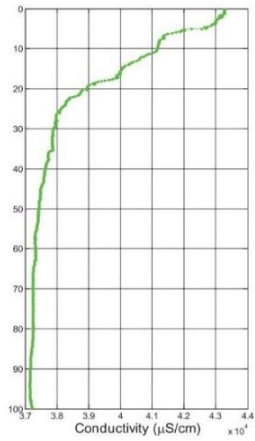
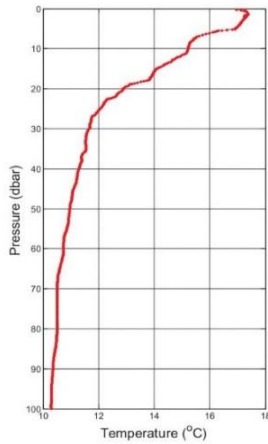


5.5 Teplotní stratifikace

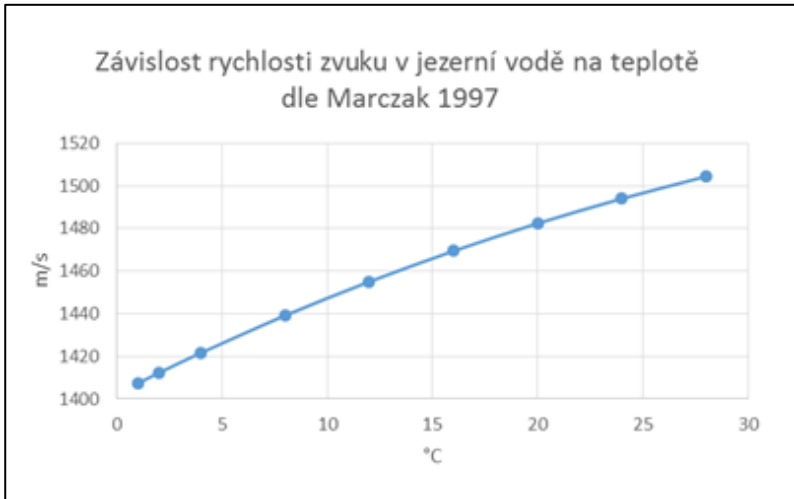
Při batymetrických měřeních je nezbytné proměřovat teplotní stratifikaci vodního sloupce tak, aby bylo možné zahrnout korekci rychlosti zvuku při následném zpracování dat. Pro měření stratifikace je využíváno zařízení CastAway, viz **Obr. 12**, které je od stejného výrobce jako jedno-paprskový sonar a je tak softwarově kompatibilní. Toto zařízení je obvykle spouštěno do vody na proměření teplotní stratifikace v místě největší odhadované hloubky a pak dále v místech, kde se mění charakter nádrže nebo dochází ke změnám teplot díky proudění (spodní výpusť). Zařízení před ponořením zjistí svou polohu skrze signál GPS, přičemž není potřeba, aby byla vypočítána vyšší polohová a výšková přesnost[28]. Výsledný teplotní profil spolu s profilem o vodivosti prostředí je pak znázorněn na **Obr. 13**.

Toto měření není nutné provádět, pokud je měřena nádrž na podzim či na jaře v období její homotermie a jde o nádrž, která nemá stálou termoklinu. V takovém případě pak dostačuje teploměr na samotném těle měřicího zařízení, které bývá ponořeno ve vodním sloupci v rozmezí 7-12 cm. V takovém případě dochází ke korekci rychlosti zvuku okamžitě. Teplota vody tedy významně ovlivňuje měření zvláště v případě, kdy je měřena teplota vody jen na sonaru, který je při měření v letním období v prohřáté tenké vrstvě a měření probíhá ve vysokých hloubkách. V takovém případě může dojít k chybě v řádu desítek centimetrů a dojde k naměření menší hloubky.

Při atmosférickém tlaku a teplotě 10 °C je v čisté sladké jezerní vodě, ve které nejsou obsaženy žádné jiné rozpuštěné látky ani bubliny rychlost zvuku přibližně 1 450 m/s. Tato rychlost se vzrůstajícím tlakem, teplotou a konduktivitou vzrůstá (**Obr. 14**)[29].



Obr. 12 – Zařízení CastAway. Obr. 13 – Teplotní profil spolu s profilem o vodivosti.

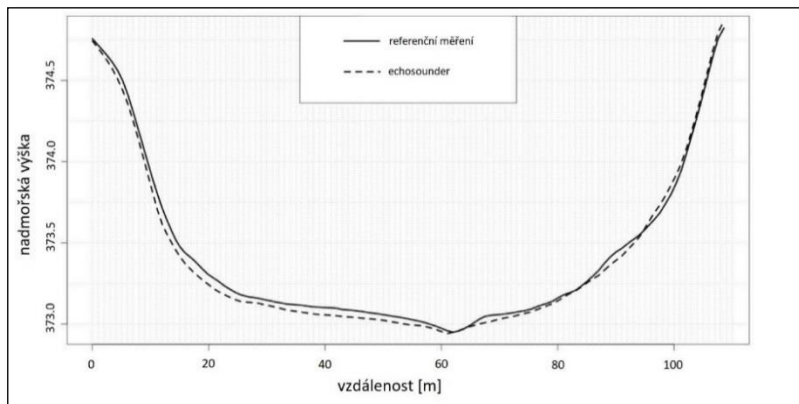


Obr. 14 – Závislost rychlosti zvuku v jezerní vodě na teplotě [28].

5.6 Průběh a ověření přesnosti měření

Přesnost přístroje byla testována v podmínkách České republiky, a to na vybraném příčném profilu MVN Strnad. Na příčném profilu probíhalo souběžné měření jedno-paprscitého sonaru se stanicí GPS1200 Leica, která byla vybavena DGPS (Diferenciální GPS). Přičemž GPS anténa byla namontována na nevodivém soutyčí, které mělo na svém konci patku o velikosti 0,3 m x 0,3 m x 0,004 m. Tato patka zabraňovala soutyčí zaboření se do sedimentu. Výsledky zaměření je možné vidět v grafické podobě na **Obr. 15**, kde křivka *Referenční měření* znázorňuje zdroj dat z přístroje Leica a křivka *echosounder* je znázornění dat z přístroje RiverSurveyor M9. Drobné odchylky jsou dané především malým rozstupem měřicích zařízení a také patkou soutyčí měřicího zařízení GPS1200 Leica. Výsledná data byla také statisticky porovnána, kdy korelační koeficient mezi dvěma sledovanými veličinami je 0,998 a NashSutcliffe koeficient 0,993 [30].

U přístroje byla zjištěna chybovost u měření nadmořské výšky. Na přesnost výškové polohy uváděné přístrojem se nelze spolehnout a není možné tyto údaje využívat. Tato hodnota je proto pouze orientační, a pokud to situace vyžaduje, je nezbytné nadmořskou výšku zaměřit pomocí jiného zařízení. Vhodné je pak zaměření například hrany výpustného objektu.



Obr. 15 – Ověření přesnosti batymetrického měření RiverSurveyor M9 [29].

V takovém případě je následně možné kdykoliv odečítat jakýkoliv vodní stav. Některé MVN jsou vybaveny vodočetnou latí a je k nim dostupná



dokumentace. V takovém případě tento problém odpadá. Vertikální chybu není ani možné vyčíst z dat, které je možné při následném zpracování kontrolovat.

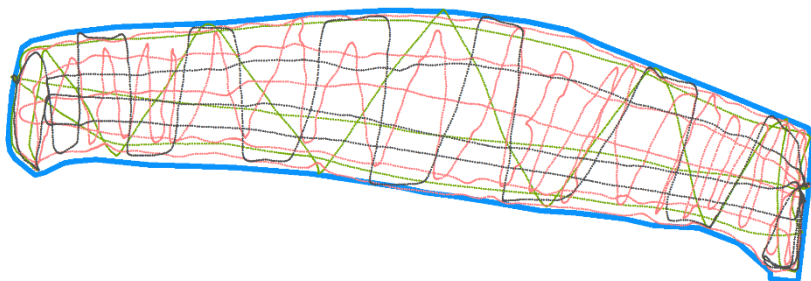
Je však možné provést kontrolu zaměřených dat z hlediska polohové (horizontální) přesnosti a to dle parametru HDOP. Rozsah hodnot přesnosti je ovlivněn rozmístěním družic na hemisféře a nabývá u tohoto přístroje hodnot 0 - 50. Přesnost přístroje je dána vynásobením 6 m, což je hodnota přesnosti přístroje. Tzn. v případě hodnoty 50 HDOP je míra polohové nepřesnosti 300 m. Výrobce udává doporučení smazání dat při hodnotě nad 9 HDOP včetně. V případě měření, které prováděla KVHEM jsou při zpracování dat ponechány pouze hodnoty nepřesahující 2,5 HDOP, přičemž většina hodnot se pohybuje okolo hodnoty 1 HDOP.

Dalším faktorem, který ovlivňuje současné měření je absence softwarového klíče, který přepíná přístroj do módu batymetrického měření. V současné době je tedy využíváno softwaru, který je primárně určen pro měření průtoků a následné stažení dat je tak možné, nicméně náročné. Se softwarovým klíčem na přístroj je tedy možné přepínat režimy z RiverSurveyor (měření průtoků) na HydroSurveyor (batymetrické měření). S touto možnou změnou pak souvisí zdokonalení procesu získávání dat, kdy je možné dopředu naplánovat nejvhodnější trasu sběru dat, kterou je pak při samotném měření dále možné kontrolovat. Výhody HydroSurveyor jsou však ve všech stupních procesu získávání dat. V preprocessingu, při měření a v postprocessingu.

6. Popis způsobu testování

V současné době bylo zaměřeno touto technologií 39 nádrží. Z tohoto počtu jsou to 3 vodní nádrže většího rozsahu (Hracholusky, Němčice, Fojtka) a 36 zaměřených MVN, které jsou tvořeny středními a malými rybníky.

Většina ze zaměřených nádrží spadá do tří vybraných rybníčních soustav, které leží na povodí Litovicko – Šáreckého potoka, Říčanského potoka a Jevanského potoka. MVN, zaměřené touto technologií ve výše zmíněných soustavách MVN, zatím tvoří jednu pětinu z celkové zaměřené plochy nádrží čítající dohromady 5 187 799 m². Od podzimu roku 2013 bylo na této celkové ploše zaměřeno 473 463 hloubkových bodů. Jednou z nádrží, na které byly testovány různé vzory a hustoty sběru dat, je MVN Strnad na **Obr. 16.**



Obr. 16 – Testování vhodnosti geometrie nájezdu na výsledný DMT dna MVN Strnad.

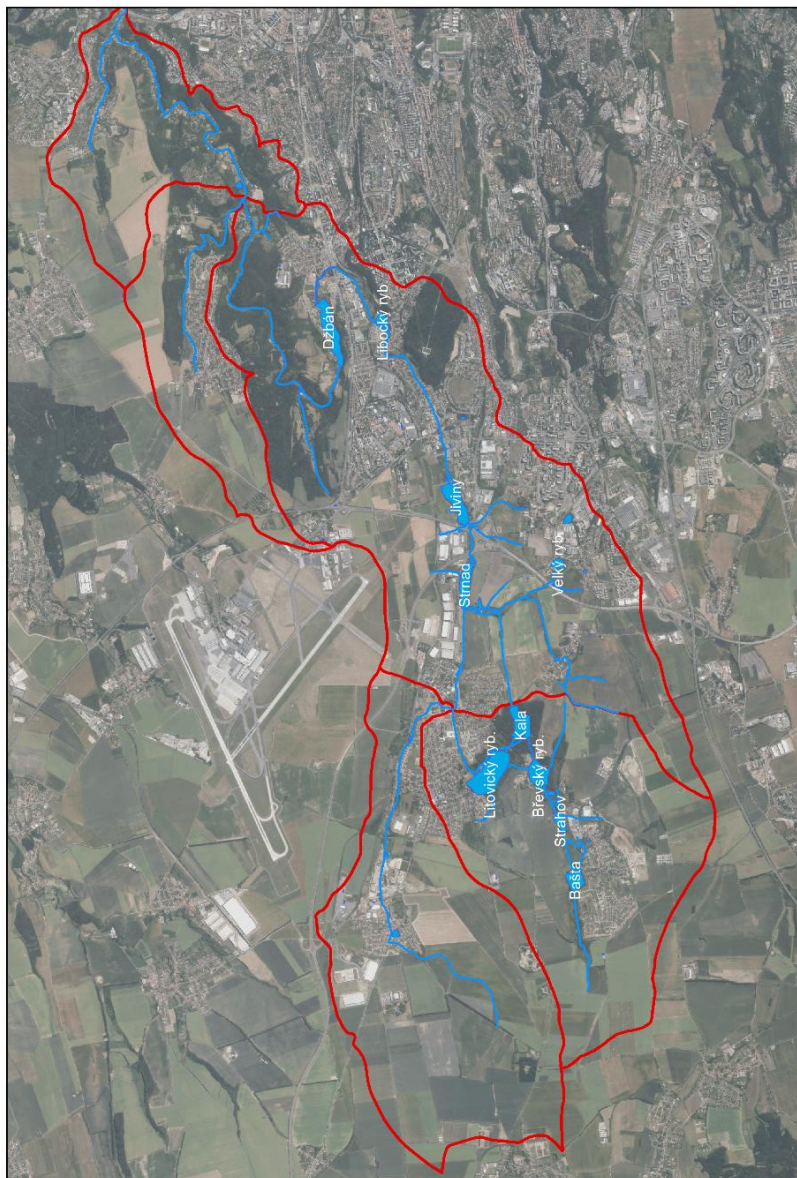


Soustava MVN Litovicko-Šáreckého potoka

Soustava Litovicko-Šáreckého potoka, byla první proměřovanou soustavou touto technologií. Soustava se nachází částečně ve Středočeském kraji a částečně v Praze, viz **Obr. 17**. Soustava čítá 10 nádrží a její proměřování začalo v roce 2014. Do roku 2017 bylo zaměřeno všech deset nádrží, přičemž čtyři nádrže byly již zaměřeny dvakrát. Aktuální zadržovaný objem vody, který je odvozen z vypočtených digitálních modelů čítá 1 222 034,5 m³ vody (**Tabulka 1**).



Soustava MVN na Litovicko-Šáreckém potoce



1:60 000

Obr. 17 – Soustava MVN v povodí Šárecko – Litovického potoka.

Tabulka 1 – Soustava MVN Litovicko-Šáreckého potoka										
Název MVN	Délka řečiště [m]	Plocha dle DIBAVOD [ha]	Zaměřený objem v tis. [m ³]	Objem v tis. [m ³]	Kóta hladiny měření [m n.m.]	Rok/počet zaměřených bodů				Body celkem
						2014	2015	2016	2017	
Bašta	280,32	5,18	94,71	55,00	365,18	—	6 169	—	—	—
Břevský r.	359,47	8,08	115,87	95,00	351,00	1 998	—	—	14 289	16 287
Džbán	961,82	12,58	305,01	—	299,68	—	9 583	—	—	—
Jiviny	596,42	10,33	125,69	—	325,93	2 501	—	—	36 312	38 813
Kalý r.	484,32	9,07	109,22	—	350,40	—	3 665	4 459	—	8 124
Libocký r.	287,78	2,80	45,52	—	311,26	—	1 489	—	—	—
Litovický r.	734,40	19,77	257,38	270,00	346,20	3 520	—	—	—	3 520
Strahovský r.	246,90	2,91	31,04	—	356,68	1 339	—	—	—	1 339
Strnad	651,94	8,17	170,05	—	329,55	2 380	7 733	—	—	10 113
Velký r.	129,71	1,92	27,76	—	351,15	—	1 835	—	—	—
Σ =		80,82	1 282,25			11 738	30 474	4 459	50 601	97 272

Tabulka 1 – Sumarizace dat získaných o soustavě MVN v povodí Šárecko – Litovického potoka.



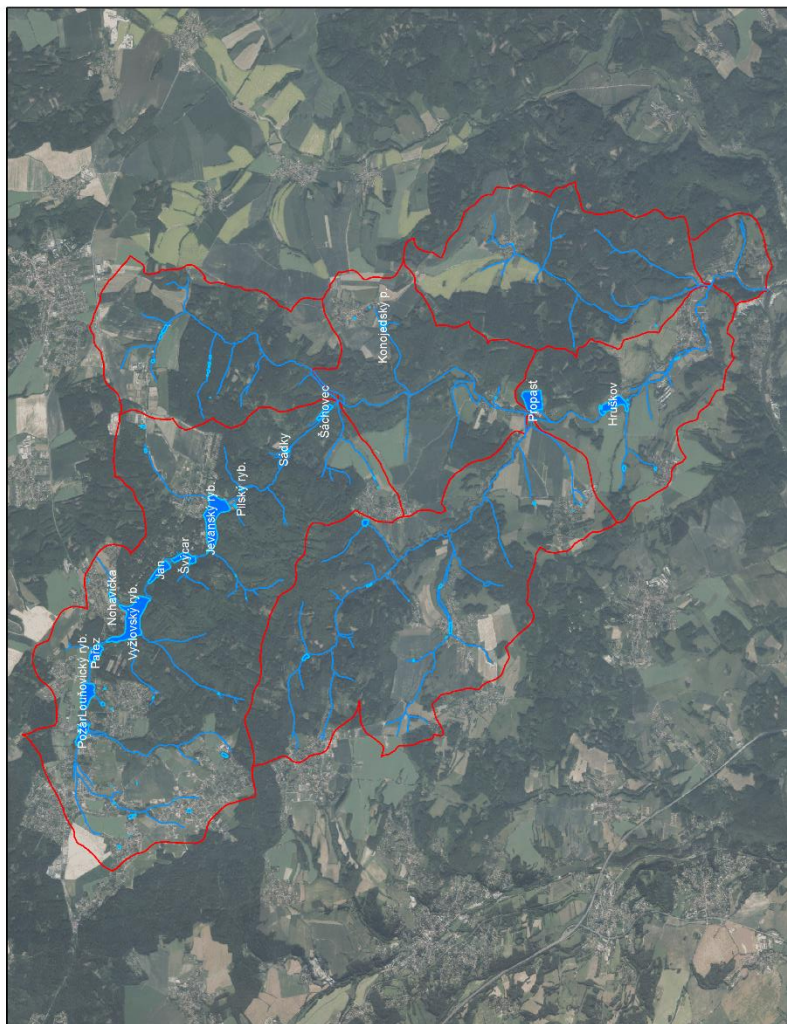
Soustava Jevanského potoka

Soustava Jevanského potoka, je druhou proměřovanou soustavou MVN, která čítá celkově 18 nádrží, z nichž je 6 nádrží již zaměřeno. Soustava leží ve Středočeském kraji, viz **Obr. 18**. Jevanský potok se vlévá do řeky Sázavy, kde soustava končí. Plánem je zaměření zbývajících nádrží do konce roku 2017 tak, aby mohl být vypočten celkový objem zadržené vody na soustavě MVN a **Tabulka 2**.

Název MVN	Délka řečiště [m]	Plocha dle DIBAVOD [ha]	Rok/počet zaměřených bodů				Body celkem
			2014	2015	2016	2017	
Louňovický r.	420,39	6,47	—	—	—	10 110	—
Pařez	305,01	3,85	—	—	—	6 433	—
Švýcar	409,28	3,58	—	—	—	4 920	—
Sádky	43,78	0,19	844	—	—	—	—
Šáchovec	332,79	2,05	1 428	1 818	769	—	—
Propast	404,66	9,19	—	—	—	9 206	—
$\Sigma =$		25,33	2 272	1 818	769	30 669	35 528

Tabulka 2 – Sumarizace dat získaných o soustavě MVN v povodí Jevanského potoka.

Soustava MVN na Jevanském potoce



1:70 000

Obr. 18 – Soustava MVN v povodí Jevanského potoka.



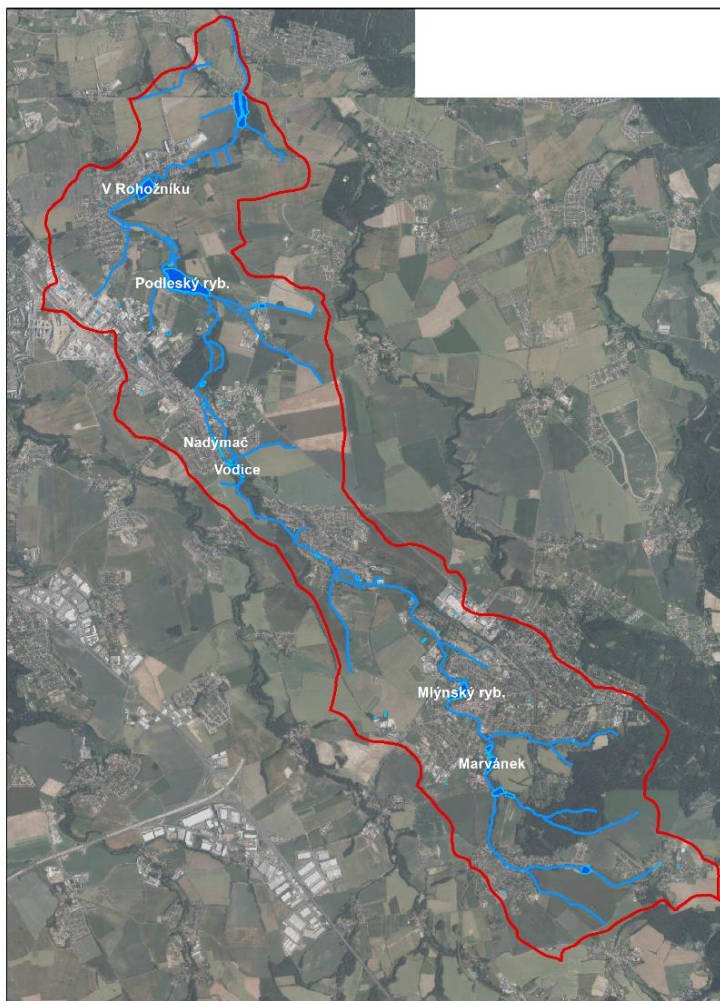
Soustava Říčanského potoka

Soustava Říčanského potoka je zatím poslední proměřovanou soustavou a stejně jako soustava Jevanského potoka bude proměřena do konce roku 2017. Soustava leží ve Středočeském kraji na povodí Říčanského potoka, viz **Obr. 19**. V Běchovicích se tento tok vlévá do Rokytky. Zaměřeno v současné době bylo 7 z 21 nádrží **Tabulka 3**.

Název MVN	Délka řečiště [m]	Plocha dle DIBAVOD [ha]	Rok/počet zaměřených bodů
			2017
Rozpakov	184,00	1,40	2 808
Mlýnský r.	362,91	3,44	3 129
Velká vodice	226,26	2,03	2 529
Nadýmač II.	78,07	0,13	638
Nadýmač I.	225,93	0,52	1 484
v Rohožníku	274,28	4,24	3 136
$\Sigma =$		11,76	13 724

Tabulka 3 – Sumarizace dat získaných o soustavě MVN v povodí Říčanského potoka.

Soustava MVN na Říčanském potoce



1:60 000

Obr. 19 – Soustava MVN v povodí Říčanského potoka.



Hracholusky, Nĕmĕice, Fojtka

Touto technologii byly zamĕřeny i vĕtší vodnĕ nĕdrže. Prvnĕ batymetricky zamĕřenou nĕdržĕ byla VN Nĕmĕice. Tato nĕdrž byla nĕslednĕ nĕkolikrĕt promĕřována a vĕsledky mĕření byly publikovĕny ve studentskĕch zĕvĕreĕnĕch pracĕch a odbornĕm ĕlĕnku. Stejnĕ je tomu i u VN Fojtka, kde došlo v rĕmci studentskĕ zĕvĕreĕnĕ práce k porovnĕnĕ souĕasnĕho stavu se stavem pŕi vĕstavbĕ nĕdrže. Nejvĕtší z batymetricky zamĕřenĕch nĕdržĕ je VN Hracholusky, kterĕ byla promĕřována za podpory projektu s nĕzvem „Novĕ technologie batymetrie vodnĕch tokŕ a nĕdržĕ pro stanovenĕ jejich zĕsobnĕch kapacit a sledovĕnĕ množství a dynamiky sedimentŕ“ – TA04020042 od Technologickĕ agentury ĕeskĕ republiky. Vĕce detailŕ v **Tabulce 4**.

Tabulka 4 - zamĕřené vodnĕ nĕdrže						
Nĕzev VN	Dĕlka ře ĕiřĕtĕ [m]	Plocha dle DIBAVOD [ha]	Rok/poĕet zamĕřenĕch bodŕ		Nĕzev toku	Āĕĕslo hydrologickĕho poŕĕdĕ
			2013	2015		
Hracholusky	18 456	362,04		273 567	Mže	1-10-01-174/0
Nĕmĕice	1 820	21,14	8 936	34 931	Sedlickĕ potok	1-09-02-108/0
Fojtka	565	4,59		6 611	Fojtka	2-04-07-027/0
$\Sigma =$			8 936	41 542		

Tabulka 4 – Sumarizace dat zĕskanĕch o VN Hracholusky, Nĕmĕice, Fojtka.



7. Zdroje doplňkových dat

DMR

Při tvorbě plošných spojitých výstupů (izobáty, digitální model terénu) z batymetrických dat, tedy převádění bodových dat do plochy je vhodné využít již jinak získaná zaměřená data jako je DMR 5G, která lze získat z ČÚZK. Tato doplňková data jsou důležitým zdrojem informací pro tvorbu přesných DMR dna nádrže. Při vyhodnocování jednotlivých měření se ukázalo, že hladina jednotlivých měřených nádrží není vždy stejná a chybějící data o břehové linii mají často za následek zvýšení chyby, která vzniká při matematickém modelování povrchu dna pomocí vybraných interpolačních technik. Vhodnost výběru matematického modelu je součástí současného výzkumu KVHEM.

DIBAVOD

DIBAVOD je zdroj vektorových dat, která mimo jiné obsahují informace o tocích či nádržích a jsou veřejně dostupné. Z těchto dat je možné vyčíst nejen hrubé břehové linie, ale také informace vhodné pro identifikaci měřených objektů, jakož i rozlohy zatopených ploch. Tyto údaje lze vyčíst přímo v atributových tabulkách, které jsou v datových vrstvách obsaženy. Další výhodou práce s takovými vrstvami je jednoduché filtrování pomocí SQL dotazů, které je vhodné použít v případě plánování zaměření větší rybníční soustavy a vytvoření plánu jejího zaměření.

Manipulační a provozní řád

Pokud jsou k dispozici data z manipulačního a provozního řádu nádrže, je vhodné k těmto datům přihlédnout. Jestliže je součástí dokumentace výkres se známými nadmořskými výškami, je možné kóty důležitých objektů využít při zaměření nadmořské výšky hladiny v případě aktuálního měření. V případě známé celkové situace nádrže před výstavbou je možné popsat změny charakteru údolí způsobené přítomností nádrže, kde převládá odlišný typ eroze oproti období předchozímu nebo popsat rychlosti zanášení. Pokud dokumentace obsahuje vrstevnicovou mapu s návrhem vodní nádrže lze mapu vektorizovat a následně využít k popsání geneze a dynamiky sedimentů.



8. Výhody a omezení

Sběr dat pomocí upraveného kompozitního kajaku nabízí řadu výhod, která předurčují jeho širší využití. Ve vazbě na charakter monitorovaných vodních nádrží a vodních toků je nutné rovněž reflektovat omezení, která je nutné zohlednit při prováděných měřeních.

Výhody:

- **možné měření na místech, kde není povoleno motorové plavidlo** - na některých nádržích se není možné pohybovat s motorovým plavidlem z důvodu ochrany jakosti vody (vodárenské zdroje).
- Nosné plavidlo (kajak) **je navrženo jako nevodivé** (nedochází k ovlivnění pořizovaných dat – data jsou pořizována pomocí zvuku).
- Měřicí aparatura je umístěna v bezprostřední blízkosti před obsluhující osobou, která má tak **kontinuální přehled o funkčnosti všech komponentů** zařízení (napojení na RTK, stav baterie).
- **Cenová dostupnost** oproti autonomnímu plavidlu (autonomní plavidla jsou nákladným elektronickým zařízením).
- **Rychlé sestavení měřicí aparatury** oproti autonomním/poloautonomním plavidlům.
- **Váha** měřicího kajaku je přibližně 15 kg, proto ho může přenášet jedna osoba, která dokáže na místě měření s přístrojem v lodi provést cca dvouminutovou kalibraci kompasu.
- **Široký rádius** měření umožňuje přepravovat RTK-GPS přímo na lodi. Je možné zaměřit delší část toku a při tom se pohybovat jen po toku a převážet si RTK stanici na vhodná místa. Tato vlastnost se osvědčila i v případě větších nádrží, které obklopuje členitější terén.
- **Samostatný způsob měření batymetrických dat**, kdy součásti zařízení dokáže v průběhu měření obsluhovat jedna osoba.
- **Nízký ponor**, kdy lze dosáhnout plného využití rozsahu přístroje. (maximální ponor 10 cm pro osoby s hmotností 85 kg).



-
- **Vysoká operabilita a schopnost měřit i v mělkých vodách** - je možné jít až na hranici, kdy je samotná měřicí aparatura data schopná zaznamenávat (0,2 m). Na malé vodní nádrže není ve většině případů možné použít měřicích zařízení, která používají podniky jednotlivých povodí, jelikož jejich využití vyžaduje parametry (zpevněný vjezd do vody a minimální hloubku 1 m), které nejsou na všech MVN k dispozici.
 - **Konstrukce systému uchycení** - díky konstrukci šachty, do které se vkládá tělo M9 není potřeba toto tělo jiným způsobem jistit než tělo nastavit na požadovanou hloubku ponoru. Pro ostatní komponenty zařízení jsou připraveny kapsy z pěnového materiálu, ve kterých je zařízení pevně ukotveno.

Nevýhody:

- **časová náročnost pořizování datových sad** – omezení na malé vodní nádrže, resp. zvýšená časová náročnost při mapování rozlehlějších vodních nádrží.



9. Ekonomické a inovativní přínosy

V současné době klimatických změn jsou často zmiňovány MVN a jejich funkce. V případě sucha mají zavlažovací a vyrovnávací funkci, i když nikdy nemohou suplovat infiltrační schopnosti dobře obhospodařované půdy, což je důležité vždy zdůraznit. V opačném případě, tedy za povodní, mají transformační a ochrannou funkci. Bylo by vhodné s ohledem na to, že ekonomicky nejvýhodnější a nejudržitelnější je zadržet vodu tam, kde spadne, se začít soustředit na velmi malé MVN a na popsání jejich skutečných retenčních či vyrovnávacích funkcí. K poznání zákonitostí v různých geomorfologických, klimatických a různě obhospodařovaných systémech ČR je potřeba znát základní vstupní údaje, jako je skutečný a potenciální maximální objem vody zadržovaný v MVN, popřípadě zhodnocení míry zanesení nádrží. V současné době dochází k tomuto zhodnocení často až po vypuštění nádrže nebo jen z malého množství bodů, což s sebou nese velkou míru chybovosti. Tato míra chybovosti pak může být započítána při cenové kalkulaci nákladů na odbahnění a může tak být výrazně nadhodnocena výsledná cena odbahnění.

U většiny současných technologií dostupných pro měření batymetrie není možné proměřovat litorální pásma, břehovou čáru či přednádrže určené pro zadržení sedimentu v toku nad nádrží. Přednádrže mohou v případě částečného zanesení budit dojem homogenního zaplnění sedimentem. V takovém případě bývá přikročeno k těžbě sedimentu a přitom těžba může být předčasná. Touto technologií je možné se skrze mělčinu dostat do míst, která ještě zanesena nejsou a upřesnit tak zbývající kapacitu přednádrže.



10. Souhrn a závěr

Technologie sběru batymetrických dat pomocí sonaru jistě není nová technologie. Tato technologie byla vyvinuta v minulém století, nicméně je v současné době dosaženo takového stavu, kdy je její použití tzv. nákladově efektivní, a proto by bylo vhodné její rutinní zahrnutí do systému péče o naši krajinu. Vždyť problém eroze, jedné z nejcennějších komodit na Zemi - půdy, nezmizel s přechodem k novému politickému systému. V současné době je bohužel u nás stále nakládáno se zemědělskou půdou tak jako nakládají lidé s věcmi, které chtějí kvůli financím jen vytěžit. Toto paradigma částečně mohou změnit i vlastníci vodních nádrží, kteří budou znát vztahy a toky energie v rámci povodí. Rovněž budou poukazovat na destrukci svých nádrží, která pramení z nevhodného hospodaření na polích, která jsou na povodí nad nádrží. Výše představená technologie má všechny předpoklady pro vytvoření v tomto prostředí dobrého stavu.



Literatura

- [1] VRÁNA, K., BERAN, J. (2013): Rybníky a účelové nádrže. Praha: ČVUT, ISBN 9788001040027.
- [2] PIMENTEL, D., BURGESS, M. (2013): Soil Erosion Threatens Food Production. *Agriculture* 2013, 3, str. 443-463, doi:10.3390/agriculture3030443. [Citace: 21. 6. 2017], dostupné z: <<https://www.bmbf.de/files/agriculture-03-00443.pdf>>.
- [3] 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. [Citace: 21. 6. 2017], dostupné z: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0018/001850/185078E.pdf>>.
- [4] 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 [Citace: 21. 6. 2017], dostupné z: <<http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/24749508.2017.1301053?needAccess=true>>.
- [5] BELL, F. G. (1998): Environmental geology: principles and practice. Malden, MA: Blackwell Science, ISBN 0865428751.
- [6] KUBINSKÝ, D., FUSKA, J., WEIS, K., LEHOTSKÝ, M., (2013): Zmeny akumuláčního objemu vodných nádrží Velká Richňavská a Malá Richňavská. *ACTA HYDROLOGICA SLOVACA*. 2013, Sv. 14, č. 2, stránky 402-413.
- [7] PECHAR L. (2015): Století eutrofizace rybníků - synergický efekt zvyšování zátěže živinami (fosforem a dusíkem) a nárůst rybích obsádek. Jihočeská univerzita, České Budějovice, 1-6s.
- [8] BRÁZDIL, K. (2009): Projekt tvorby nového výškopisu území České republiky. *Geodetický a kartografický obzor*, 2009, ročník 55 (97), č. 7, s. 145-151.
- [9] 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.



-
- [10] UHLÍŘOVÁ, K., ZBOŘIL, A.: Možnosti využití Laserového snímání povrchu pro vodohospodářské účely. *Vodní hospodářství*, 2009, ročník 59, č.12, s. 11 - 15.
- [11] COLBO, K., ROSS, T., BROWN, C., WEBER, T., (2014): A review of oceanographic applications of water column data from multibeam echosounders. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 145, 41– 56. doi:10.1016/j.ecss.2014.04.002.
- [12] COSTA, B.M., BATTISTA, T. A., PITTMAN, S.J., (2009): Comparative evaluation of airborne LiDAR and ship-based multibeam SoNAR bathymetry and intensity for mapping coral reef ecosystems. *Remote Sens. Environ.* 113, 1082–1100. doi:10.1016/j.rse.2009.01.015.
- [13] LOCKHART, D., SAADE, E., WILSON, J., (2001): New Developments in Multi-beam Backscatter Data Collection and Processing. *Mar. Technol. Soc. J.* 35, 46–50.
- [14] POKORNÁ, M., (2004): EM 2000 Microbathymetric and HYDROSWEEP DS-2 Bathymetric Surveying – a Comparison of Seafloor Topography at Porcupine Bank, west of Ireland. Czech Technical University Faculty of Civil Engineering.
- [15] SCHMITT, T., MITCHELL, N.C., RAMSAY, A. T.S., (2008): Characterizing uncertainties for quantifying bathymetry change between time-separated multibeam echo-sounder surveys. *Cont. Shelf Res.* 28, 1166–1176. doi:10.1016/j.csr.2008.03.001.
- [16] FURNANS, J., AUSTIN, B., (2008): Hydrographic survey methods for determining reservoir volume. *Environ. Model. Softw.* 23, 139–146. doi:10.1016/j.envsoft.2007.05.011.
- [17] KUBINSKÝ, D., FUSKA, J., WEIS, K., LEHOTSKÝ, M., (2013): *Acta hydrologica slovacica. Acta Hydrol. slovacica* 14, 402–413.
- [18] NORMANDEAU, A., LAJEUNESSE, P., PHILIBERT, G., (2013): Late-Quaternary morphostratigraphy of Lake St-Joseph (southeastern Canadian Shield): Evolution from a semi-enclosed glacial marine basin to a postglacial lake. *Sediment. Geol.* 295, 38–52. doi:10.1016/j.sedgeo.2013.07.005.
- [19] WEIS, K., KUBINSKÝ, D., (2014). Analýza zmien objemu halčianskej vodnej nádrže vplyvom erózie ako podklad pre manažment v povodí. *Geogr. ČGS* 119, 126–144.
-



-
- [20] WILSON, R., BATES, C.R., (2012): Lake sonar surveys and the search for sub-fossil wood. *Dendrochronologia* 30, 61–65. doi:10.1016/j.dendro.2011.05.001.
- [21] MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ ČR, (2006): Voda v ČR do kapsy, Ministerstvo zemědělství české republiky. Praha.
- [22] BUBÍK, M., BÍL, M., (2001): Předběžné výsledky sedimentologického studia přehradních sedimentů nádrží Horní Bečva (Beskydy) a Pastviny (Orlické Hory) 94–98.
- [23] 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*, 2017, roč. 63/105, číslo 10, ISSN: 1211-0760.
- [24] SEABEAM (2000): Multibeam sonar - Theory of operation. L-3 Communications SeaBeam Instrument, 141 Washington Street, East Walpole, MA 02032-1155.
- [25] Povodí Vltavy (2014): Vyměřovací loď Valentýna II. [Citace: 21. 10. 2017], dostupné z: <<http://www.pvl.cz/vodohospodarske-informace/vymerovaci-lode/valentyna>>.
- [26] OceanInstruments (2014): Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP). [Citace: 21. 10. 2017], dostupné z: <<http://whoi.edu/instruments/viewInstrument.do?id=819>>.
- [27] SonTek a Xylem brand, 2013. RiverSurveyor S5 / M9 System Manual.
- [28] Castaway-ctd, T., Principles, P.T.C., Manual, C.U., 2010. CastAway-CTD Principles of Operation.
- [29] MARCZAK, W. (1997): Water as a standard in the measurements of speed of sound in liquids. *The Journal of the Acoustical Society of America* 102, 2776 (1997); doi: <<http://dx.doi.org/10.1121/1.420332>>.
- [30] HRADILEK, V., BAŠTA, P., VIZINA, Š., MÁČA, 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.
-



Seznam obrázků a tabulek

- Obr. 1 – Acoustic doppler current profiler (HydroSurveyor).
Obr. 2 – Součásti a využití měřicí aparatury.
Obr. 3 – Hydroboard I / II od firmy SonTek.
Obr. 4 – Nosné plavidlo z přestavěné závodní debl kánoe.
Obr. 5, 6 – Připevnění a stabilizace měřicí aparatury RiverSurveyor M9 na kajaku.
RiverSurveyor M9 na kajaku.
Obr. 8 – Připevnění a stabilizace měřicí aparatury RiverSurveyor M9 na kajaku
Obr. 9 – Schéma nosného plavidla.
Obr. 10 – Vlastní tělo sonaru M9 je upevněno prostřednictvím kónického tubusu.
Obr. 11 – Ukotvení dílčích částí aparatury na nosném plavidle.
Obr. 12 – Zařízení CastAway.
Obr. 13 – Teplotní profil spolu s profilem o vodivosti.
Obr. 14 – Závislost rychlosti zvuku v jezerní vodě na teplotě.
Obr. 15 – Ověření přesnosti batymetrického měření RiverSurveyor M9.
Obr. 16 – Testování vhodnosti geometrie nájezdu na výsledný DMT dna MVN Strnad.
Obr. 17 – Soustava MVN v povodí Šárecko – Litovického potoka
Obr. 18 – Soustava MVN v povodí Jevanského potoka.
Obr. 19 – Soustava MVN v povodí Říčanského potoka.

Tabulka 1 – Sumarizace dat získaných o soustavě MVN v povodí Šárecko – Litovického potoka.

Tabulka 2 – Sumarizace dat získaných o soustavě MVN v povodí Jevanského potoka.

Tabulka 3 – Sumarizace dat získaných o soustavě MVN v povodí Říčanského potoka.

Tabulka 4 – Sumarizace dat získaných o VN Hracholusky, Němčice, Fojtka.



Dedikace

Ověřená technologie 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
Nábřeží 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, 110 00 Praha 1
Tel.: +420 605 513 963
E-mail: kurkova.marie@mze.cz
www.eagri.cz



Kontakty na osoby předkladatele ověřené technologie

Ing. Václav Hradílek
Česká zemědělská univerzita v Praze
Fakulta životního prostředí
Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 – Suchdol
Tel.: +420 224 382 154
Mobil: +420 731 510 663
hradilek@fzp.czu.cz
www.fzp.czu.cz

Ing. Radek Roub, Ph.D.
Česká zemědělská univerzita v Praze
Fakulta životního prostředí
Kamýcká 129, Praha 6 – Suchdol, 165 21
Tel: +420 224 382 153
Mobil: +420 737 483 840
roub@fzp.czu.cz
<http://www.fzp.czu.cz>

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
Tel: +420 257 027 210
Mobil: +420 728 184 577
novak.pavel@vumop.cz
www.vumop.cz



Seznam publikací, které předcházely zpracování ověřené technologie a

Postery

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

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

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.

Odborné články

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.

BUREŠ, L., MÁCA, P., ROUB, R., HEJDUK, T., NOVÁK, P.: (2017): Estimation of River Bathymetry Using the Global Optimization Algorithms, Mathematics and Computation.

NOVÁK, P., ROUB, R., HRADÍLEK, V., MARVAL, Š., HEJDUK, T., VYBÍRAL, T., BUREŠ, L. (2017): Batymetrický přístup pro stanovení



zásobných 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.

Specializována mapa s odborným obsahem

HRADÍLEK, 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.

HRADÍLEK, 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., MÁCA, P., PECH, P.: (2016): BathoSol for ArcGIS – Nástroj BathoSol pro práci v prostředí ArcGIS, software.



Prohlášení předkladatele ověřené technologie

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

Předkladatel prohlašuje, že smlouva o uplatnění ověřené technologie byla uzavřena s Lesy hl. m. Prahy.