

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

Katedra vodního hospodářství a environmentálního
modelování



**Batymetrie malé vodní nádrže Kalý rybník v
povodí Litovicko-Šáreckého potoka**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Jan Burda

Vedoucí práce: Ing. Václav Hradilek

2016

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jan Burda

Územní technická a správní služba

Název práce

Batymetrie malé vodní nádrže Kalý rybník v povodí Litovicko-Šáreckého potoka

Název anglicky

Bathymetry of the small water reservoir Kalý rybník in Litovicko-Šárecký brook basin

Cíle práce

Hlavním cílem bude batymetrické zaměření malé vodní nádrže (MVN) Kalý rybník v povodí Litovicko-Šáreckého potoka, vyhodnocení hloubek formou digitálního modelu terénu (DTM) jejího dna a stanovení celkové akumulace této nádrže.

Dílčím cílem bude zpracování rešerše zadané problematiky (MVN, batymetrie, možné způsoby jejího měření a zpracování DTM v prostředí GIS), a dále sepsání stručného metodického postupu při měření batymetrie MVN pomocí echosounderu.

Metodika

Teoretická část bude zaměřena na shrnutí obecných poznatků k MVN a jejich zanášení sedimenty, batymetrická měření a jejich způsoby využívané v praxi, způsoby tvorby DTM v prostředí GIS a zevrubný popis vybrané interpolační metody, která bude použita v práci. Dále popis nádrže Kalý rybník (možno využít manipulačního řádu nádrže a komunikace s místní samosprávou).

V rámci praktické části bude nádrž Kalý zaměřena využitím echosounderu RiverSurveyor M9 a zaměřená data budou zpracována v prostředí ESRI ArcGIS Desktop (extenze 3D Analyst). DTM dna MVN bude zpracován vybranou interpolační technikou a bude vyhodnocena celková akumulace nádrže. Bude následovat porovnání výsledků z měření provedených v různých časových obdobích a diskuze.

Doporučený rozsah práce

30 – 40 stran

Klíčová slova

Batymetrie, digitální model terénu, echosounder, malá vodní nádrž

Doporučené zdroje informací

- Hradilek V., Bašta P., Vizina Š., Máca P., Pech P. (2015): Verification of remote sensing data for measuring bathymetry on small water reservoirs. 15th International SGEM GeoConference.
- Kubinský, D., Fuska, J., Weis, K., Lehotský, M., 2013. Change of accumulation volume of Great Richňava and Small Richňava water reservoirs. Acta hydrologica slovacca 14/2, 402–413.
- Lin, Y.-T., Schuettpehl, C.C., Wu, C.H., Fratta, D., 2009. A combined acoustic and electromagnetic wave-based techniques for bathymetry and subbottom profiling in shallow waters. J. Appl. Geophys. 68, 203–218.
- 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.
- VRÁNA, K. – BERAN, J. – ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE. STAVEBNÍ FAKULTA. Rybníky a účelové nádrže. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2013. ISBN 978-80-01-04002-7.

Předběžný termín obhajoby

2015/16 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Václav Hradilek

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 12. 2. 2016

prof. Ing. Pavel Pech, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 17. 2. 2016

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 01. 04. 2016

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci nazvanou „Batymetrie malé vodní nádrže Kalý rybník v povodí Litovicko-Šáreckého potoka“ vypracoval samostatně, pod vedením Ing. Václava Hradilka a že jsem použil pouze materiály, které jsem uvedl v seznamu literatury.

V Praze dne 11. 4. 2016

.....

Poděkování

V první řadě bych chtěl poděkovat svému vedoucímu práce, panu Ing. Václavu Hradilkovi. Děkuji nejen za trpělivost, vstřícný přístup a cenné rady, ale také za instruktáž a pomoc při samotném měření. Dále bych poděkoval celé mé rodině a přátelům za jejich trpělivost a podporu během mého studia.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá zaměřením batymetrie malé vodní nádrže Kalý rybník v povodí Litovicko-Šáreckého potoka pomocí měřicího přístroje RiverSurveyor M9, a také vyhodnocení naměřených hloubek ve formě digitálního modelu terénu dna nádrže a stanovení akumulace této malé vodní nádrže. Teoretická část práce je věnována obecně malým vodním nádržím, způsobům jejich zanášení a batymetrii. Je zde také popsána zájmová lokalita nádrže Kala. Dále jsou popsány interpolačních metody a digitální model terénu. Uvedeny jsou také základní informace o měřicím přístroji RiverSurveyor M9, kterým probíhalo měření. V praktické části je popsán postup měření dna nádrže. Dále je zpracován digitální model terénu včetně vyhodnocení akumulace nádrže. Pro tvorbu digitálního modelu terénu je použito několik interpolačních metod, které jsou následně mezi sebou porovnány. Mezi porovnávané metody patří IDW, Kriging, Topo to Raster, Spline, Natural neighbourhood a Trend. Nejlépe se osvědčila metoda IDW, která dosahuje nejlepších výsledků.

Klíčová slova

Batymetrie, digitální model terénu, echosounder, malá vodní nádrž

Abstract

This thesis deals with a measure bathymetry small water reservoirs Kala in the basin of Litovicko-Šárecký brook using a measuring instrument RiverSurveyor M9, and evaluation of measured depths in the form of a digital terrain model of the reservoir floor and the determine the accumulation of the small water reservoir. The theoretical part deals with small water reservoirs in general, ways of clogging and bathymetry. It also describes the location of interest small water reservoir Kala. There are also describes the interpolation methods and a digital terrain model. Included are basic information about the measuring instrument RiverSurveyor M9, which were measured. In the practical part describes the procedure for measuring of the reservoir floor. Furthermore, it is processed by a digital terrain model, including an evaluation of reservoir accumulation. For the creation of a digital terrain model is used several interpolation methods, which are then compared to each other. Among the comparison methods include IDW, Kriging, Topo to Raster, Spline, and Natural Neighbourhood Trend. Have proven IDW method that achieves the best results.

Keywords

Bathymetry, digital terrain model, echosounder, small water reservoirs

OBSAH

1	Úvod.....	10
2	Cíle práce	12
3	Literární rešerše	13
3.1	Malé vodní nádrže	13
3.1.1	Definice malých vodních nádrží	14
3.1.2	Rozdělení podle způsobu přivody vody	15
3.1.3	Zatopená plocha	17
3.1.4	Hráz	17
3.1.5	Funkční objekty.....	20
3.1.6	Bezpečnostní přeliv	20
3.1.7	Výpustná zařízení.....	21
3.1.8	Zanášení nádrží	22
3.1.9	Způsoby těžby sedimentu.....	23
3.1.10	Rekonstrukce nádrží.....	25
3.2	Průzkum nádrže	25
3.2.1	Tachymetrický průzkum	26
3.2.2	Batymetrický průzkum.....	26
3.3	RiverSurveyor M9	28
3.4	Digitální model.....	29
3.5	Interpolace	31
3.5.1	Metody interpolací	31
4	Charakteristika zájmového lokality	33
5	Metodika	35
5.1	Batymetrické měření	35
5.2	Zpracování dat.....	36

6	Výsledky	38
7	Diskuze	42
8	Závěr	44
9	Seznam použité literatury a zdrojů	45
10	Přílohy.....	49

1 Úvod

Podmětem pro vznik této bakalářské práce byla potřeba celkového zaměření soustavy malých vodních nádrží, které se nachází v okolí Hostivic na Litovicko-Šáreckém potoce. Kalý rybník, o němž tato práce pojednává, je součástí této soustavy. Ze změřené batymetrie lze posléze určit kapacitu těchto malých vodních nádrží.

Malé vodní nádrže jsou velice důležité pro naši kulturní krajinu, protože pozitivně ovlivňují její ekologickou stabilitu. Díky malým vodním nádržím dochází ke zvětšení zásob vody v krajině a v některých případech nádrží může příznivě ovlivňovat zásoby mělkých podzemních vod. Průtočné nádrže mohou dokonce zlepšovat jakost protékajících vod. Malé vodní nádrže se také mohou využívat jako biotopy vodních druhů rostlin a živočichů.

Jedním z nejzásadnějších problémů malých vodních nádrží je bezpochyby jejich zanášení. Současný stav praktický všech malých vodních nádrží v České republice je poměrně neuspokojivý, což bylo způsobeno dlouhodobým nezájmem o tuto problematiku. Lze konstatovat, že většina malých vodních nádrží na našem území je již natolik zanesena sedimentem, že nemůže plnit funkci, pro kterou byla prvotně vybudována. Naštěstí se problém zanášení dostává v současné době do popředí zájmu státních institucí a veřejnosti.

Jedním z hlavních negativních vlivů zanášení je zmenšování objemu vody malých vodních nádrží, což vede ke změně jejich hydraulických funkcí a také ke snižování provozuschopnosti funkčních objektů nádrží. Zanášení má také negativní vliv na kvalitu vody v nádržích a to i v toku pod ní.

Tato bakalářská práce se zaměřuje na batymetrické zaměření dna malé vodní nádrže Kalý rybník neboli Kala a následné vyhodnocení její současné akumulární schopnosti.

Existuje několik možných způsobů, jak se mohou nádrže měřit. Měření může probíhat za vypuštěné nebo naopak při napuštěné nádrži. V samotných začátcích se například používala olovnice na provazu. Další možnostmi jsou například měrné tyče, pomocí kterých se v různých bodech nádrže měřila hloubka. Jednalo se ale o pracné a hlavně časově náročné metody. Postupem let se ale metody začali zlepšovat a měření

probíhalo přesněji a rychleji. Příkladem je například echosounding, což představuje měření hloubek pomocí zvukových vln.

V případě této práce byl zvolen echosounder ADCP (acoustic doppler current profiler) RiverSurveyor M9 od americké firmy SonTek. Přístroj je uložen v kajaku, který je speciálně upraven pro měření tímto přístrojem. Metoda měření je velmi rychlá a přesto přesná. Navíc díky nízkému ponoru kajaku je možné měřit i velmi malé hloubky.

2 Cíle práce

Hlavním cílem této práce bude batymetrické zaměření malé vodní nádrže Kalý rybník, která se nachází v povodí Litovicko-Šáreckého potoka, vyhodnocení hloubek pomocí digitálního modelu terénu jejího dna a stanovení celkové akumulace této nádrže.

Dílčím cílem bude vypracování teoretické části. V této části práce jsou shrnuty obecné poznatky k malým vodním nádržím a jejich zanášení sedimenty. Následně jsou popsána batymetrická měření a jejich možné způsoby využití v praxi, popis interpolační metody použité v práci a způsoby tvorby digitálního modelu terénu v prostředí GIS. Dalším bodem bude popis nádrže Kalý rybník a sepsání stručného metodického postupu při měření nádrže pomocí echosounderu.

V rámci praktické části bude Kalý rybník zaměřen využitím echosounderu RiverSurveyor M9 a zaměřená data budou zpracována v prostředí ESRI ArcGIS Desktop. Digitální model terénu dna nádrže bude zpracován vybranou interpolační technikou a bude vyhodnocena celková akumulace nádrže. Bude následovat porovnání výsledků z měření provedených v různých časových obdobích a diskuze.

3 Literární rešerše

3.1 Malé vodní nádrže

Nádrže mají ve světě velmi dlouho historii. Prvními zachovanými záznamy jsou z období až 2000 let př. n. l., a to o retenčních protipovodňových nádržích v Egyptě a v Mezopotámii. Asi 600 let př. n. l. byl velký rozmach výstavby nádrží podél řek Tigris a Eufrat a na ostrově Cejlon 500 let př. n. l. Dodnes v Indii slouží asi 50 000 vodních nádrží z období starověku pro protipovodňové účely.

V českých zemích jsou první zmínky o prvních rybnících již před r. 1115. První rybníky vesměs patřily církvi k rybochovným účelům. Zakrátko začala budovat rybníky i šlechta a města a to i k jiným účelům, např. k provozu pil a mlýnů atd. Za vlády Karla IV. nadešel velký rozmach rybníků. Za jeho vlády bylo založeno Máchovo jezero, které bylo tehdy známo jako Velký rybník (Smolík, 2014).

Již v šedesátých letech minulého století, dochází k zvýšení potřeby vody, následkem toho se začalo budovat více vodních děl. Nejvíce se budovali velké vodní nádrže, které akumulovali základní množství vody. Jenomže velké vodní nádrže nemohli dostatečně zásobit malé odběratele, kteří byli plošně roztroušeni po okolí. I přesto že síť potoků a říček byla relativně hustá, nebyla dostačující pro zajištění potřebné vody. Je to také způsobeno tím, že toky České Republiky mají hodně rozkolísané průtoky. Proto se na drobných tocích začali budovat malé vodní nádrže a tím bylo zajištěno vyrovnaní rozkolísaných průtoků (Pavlica, 1964).

Malé vodní nádrže (dále jen „MVN“) jsou důležitým prvkem ekologické stability krajiny. Zásadně přispívají k získání rovnovážného stavu mezi kapacitou vodních zdrojů, jakostí povrchové vody a nároky všech uživatelů v daném krajinném prostoru a času (Slavík, 2000).

V současné době je v České republice více než 25 000 funkčních MVN. Převážná většina těchto nádrží jsou historické rybníky. V posledních desetiletí bylo na našem území vybudováno jen několik set MVN. I v současné době probíhá jak výstavba nových MVN, tak oprava i obnova stávajících (Smolík, 2014).

MVN ztvárňují krajinu a to jak z estetického hlediska tak z klimatického. Vhodné je osázení vegetací blízké okolí MVN, která s nimi tvoří harmonický celek.

MVN v městské zástavbě reprezentují přírodní prvek, který zmírňuje tvrdost městského prostředí. Také jsou zřizovány okrasné nádrže s vodní flórou a faunou v parcích a větších zelených plochách (Šálek, 1996).

Vodní nádrže měly v naší historii vždy významnou úlohu, jak rybochovnou, tak krajino tvornou a rekreační (Vojtěch, 1996). Účel nádrží se postupně měnil a rozšiřoval se především na vodárenské využití, odběr užitkové vody, chov ryb apod. (Smolík, 2014). S přihlédnutím k naší geografické poloze měly nádrže též úkol retenční. Zlepšovaly odtokové poměry a jakost protékající vody. Rovněž zachycovaly erozi smývané půdní částice z polí, lesů a luk (Vojtěch, 1996).

3.1.1 Definice malých vodních nádrží

MVN jsou charakterizované dle normy ČSN 75 2410. Tato norma platí pro navrhování, výstavbu, rekonstrukce a provoz vodních nádrží (za vodní nádrž se pokládá i suchá nádrž) se sypanými hrázemi, u kterých jsou splněny současně tyto podmínky:

- a) Objem nádrže po hladinu ovladatelného prostoru (hladinu normální) není větší než 2 mil. m³
- b) Největší hloubka nádrže nepřesahuje 9 m (Tj. svislá vzdálenost nejnižší položeného místa dna nádrže od maximální hladiny, přičemž se neberou v úvahu větší lokální hloubky v místě původního koryta, hlavní rybníčky stoky apod.)

Norma neplatí pro nádrže přečerpávacích vodních elektráren, pro odkaliště a pro nádrže s přítokem a odtokem propustným horninovým prostředím dna a svahů nádrže (např. šterkoviště).

Norma se doporučuje i pro rekonstrukce historických rybníků, jejichž parametry překračují podmínky a) a b).

Pro nádrže s celkovým objemem menším než 5 tisíc m³ se doporučuje normu použít přiměřeně podle místních podmínek (ČSN 75 2410, 2011).

Za MVN nejsou považovány ty nádrže u kterých je vysoké riziko ohrožení lidských životů při havárii nádrže. MVN také nejsou nádrže přečerpávajících vodních elektráren, odkaliště a nádrže s přítokem a odtokem propustným horninovým prostředím (Slavík, 2000).

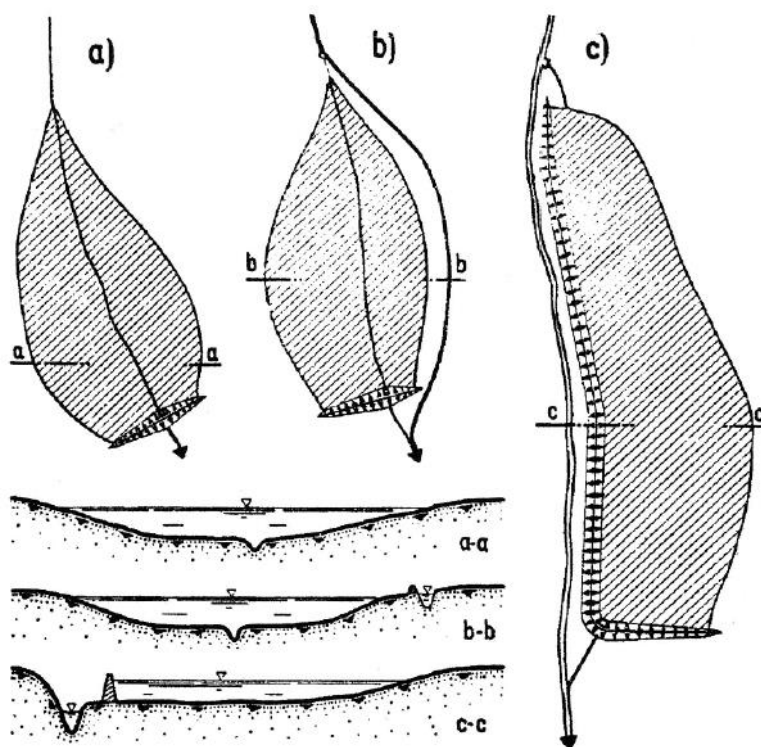
Rozdělení podle funkce:

- zásobní nádrže (průmyslové, závlahové, vodárenské, kompenzační, energetické, retardační, aktivizační)
- ochranné (retenční) nádrže (retenční nádrže s malým zásobním prostorem, suché poldry, protierozní, vsakovací, dešťové, nárazové)
- nádrže upravující vlastnosti vody (chladicí, předehřívací, usazovací, aerobní biologické, anaerobní biologické, dočišťovací)
- rybochovné nádrže (výtěrové a třecí rybníky, sádky, hlavní rybníky, plůdkové výtažníky, komorové rybníky, speciální komory, karanténní rybníky)
- hospodářské nádrže (protipožární, pro pěstování vodních rostlin, pro chov drůbeže, výtopové drže, napájecí a plavící)
- speciální nádrže (vyrovnávací, přečerpávací, recirkulační, rozdělovací, závlahové vodojemy)
- asanační nádrže (záchytné, skladovací, laguny, otevřeně vyhnívací, rekultivační)
- rekreační (přírodní koupaliště pro plavání a vodní sporty)
- krajínovorné nádrže a nádrže v obytné zástavbě (hydromeliorační, okrasné, návesní rybníčky, umělé mokřady)
- nádrže na ochranu fauny a flory (Vrána a Beran, 2008)

3.1.2 Rozdělení podle způsobu přívody vody

Nádrže můžeme rozdělovat i podle způsobu zásobení vodou. Zdrojem může být potok, pramen, řeka, nebo dešťová voda (nebeské nádrže). Dešťové nádrže se většinou budují s menší rozlohou v nepropustných místech se strmými svahy. Kvůli dosažení stálého dostatku vody se budují hlubší, v průměru více jak dva metry. Dešťové nádrže jsou bez stálého vodního průtoku.

Pramenné nádrže mají za zdroj vody podzemní prameny, které vytékají ze dna nebo svahů nádrže. Voda je vhodná pro chov studenovodních ryb, protože voda bývá velmi čistá a chladná.



Obr. 1 – Typy průtočných nádrží (Tlapák a Herynek, 2002).

a) průtočná b) průtočná s obtokovým kanálem c) boční

Říční nebo potoční nádrže s nedostatkem vody většinou žádné potíže nemají. Rozlišují se nádrže průtočné, které jsou zřizovány přímo na toku, nebo s obtokovým kanálem. A nádrže boční, které mají vlastní napájecí kanál. Průtok se u těchto nádrží dá regulovat a tím se snižuje jejich zanášení a kolísání hladiny vody. Na rozdíl od nich průtočné nádrže regulovatelné průtoky nemají, proto musí mít bezpečnostní přeliv (Tlapák a Herynek, 2002).

Konstrukce a utřídění přívodu a odvodu vody je závislý na poloze, kterou má malá vodní nádrž k vodnímu zdroji. Kanály se následně dělí na sběrné, obvodové, přívodní a odpadní.

Sběrné kanály mají schopnost zachycení povrchového odtoku, který následně převádějí do nádrže. Kanály jsou umístěné v horní části povodí, kde zachycují povrchové rozptýlené vody.

Obvodové kanály jsou určeny k regulaci přívodu vody do nádrže odváděním vody mimo nádrž (Slavík, 2000).

3.1.3 Zatopená plocha

Zatopenou plochu MVN lze rozdělit vertikálně na čtyři části.

Ovladatelný ochranný prostor nádrže. Ochranný prostor nádrže nebo jeho část, která se nachází pod úrovní koruny nehrazeného přelivu nebo pod úrovní nejvyšší hladiny ovládané uzávěry na přelivu.

Neovladatelný ochranný prostor nádrže. Ochranný prostor nádrže nebo jeho část, která se nachází nad úrovní koruny nehrazeného přelivu nebo nad úrovní nejvyšší hladiny ovládané uzávěry na přelivu; shora je omezen maximální hladinou.

Stálé nadržení. Část celkového prostoru nádrže, která se za normálního provozu nevyužívá k řízení odtoku.

Mrtvý prostor nádrže. Část prostoru stálého nadržení pod úrovní spodních výpustí, kterou nelze gravitačně vyprázdnit (ČSN 75 0120, 2009).

3.1.4 Hráz

Hráz je základním, nejdůležitějším a nejdražším stavebním prvkem MVN. Hráze dělíme dle umístění na čelní, boční a dělicí. Dále rozeznáváme, podle půdorysného uspořádání, hráze přímé, lomené a zaoblené (Šálek, 1996).

Hráze nádrží jsou v převážně sypané, a to jak u rybníků historických, tak i u nádrží novodobých (Smolík, 2014).

Zeminy, které se používají pro stavbu hrází, jsou tyto: písek o velikost zrn 0,063 – 4 mm, štěrk s průměrem zrn 4 – 63 mm a hrubý štěrk, kameny a balvany s průměrem nad 63 mm (Šálek, 1996).

Konstrukce hráze závisí na fyzikálně mechanických vlastnostech zemin v potenciálních zemních a podloží hráze, účelu hráze a objektech v hrázi.

Převýšení koruny hráze nad nejvyšší hladinu při návrhovém průtoku se určuje na základě zhodnocení všech podstatných okolností:

- a) vliv větrových vln
- b) typu a konstrukčního řešení hráze z hlediska odolnosti při přelití
- c) konstrukčního řešení a umístění těsnícího prvku hráze
- d) předpokládaného sedání tělesa hráze a podloží
- e) ochrany tělesa hráze (např. proti účinkům mrazu)

Šířka koruny hráze, po které je vedena komunikace (veřejná, účelová), je dána návrhovými prvky této komunikace. Není-li po koruně vedena trvalá komunikace, ale je nutno počítat s občasným pojezdem vozidel (požární vozidla, výlov nádrže, údržba nádrže apod.), musí být volná šířka koruny alespoň 3,5 m. Koruna hráze musí být zpevněna tak, aby při pojezdu vozidel nedocházelo k jejímu porušení (například kalenou vozovkou).

Lze-li provoz vozidel po koruně hráze vyloučit, rozhoduje o její šířce pouze konstrukce hráze a technologie jejího provádění. U hrází vyšších než 5 m nesmí být šířka v koruně menší než 3 m (ČSN 75 2410, 2011).

Zásady pro návrh hráze:

Typ hráze, její tvar, konstrukce a založení musím splňovat požadavky:

- a) filtrační stability hráze a podloží s bezpečným a kontrolovatelným odvedením průsakové vody
- b) statické deformační stability jednotlivých částí a celku včetně podloží
- c) potřebné vodotěsnosti nádrže
- d) bezpečnosti proti přelití a porušení hráze
- e) životnosti díla

Volba typu hráze vychází z podmínek lokality a stavebního materiálu, jehož výběr je dán možnostmi a náklady jeho získání, dopravy a zpracování tělesa hráze. Důležitými hledisky při výběru typu hráze a materiálů (zemníků) jsou požadavky hospodaření zemědělským půdním fondem, ochrany přírody a vzhledu krajiny. Typ hráze se volí buď homogenní, nebo nehomogenní (zonální).

Homogenní hráz (viz Obr. 1) je výhodná při výšce hráze do 6 m v případě, že v hospodárné vzdálenosti je dostatek vhodného materiálu. Nejmenší rozměry patního drénu a navázání hráze do nepropustného podloží jsou uvedeny na následujícím obrázku (ČSN 75 2410, 2011).

3.1.5 Funkční objekty

ČSN 75 2410 dělí funkční objekty na:

- a) přelivy používané k neškodnému převádění velkých vod
- b) výpustná zařízení
- c) odběrná zařízení umožňující regulovatelný a neregulovatelný odběr vody z nádrže
- d) sdružené funkční objekty plnící funkci výpustných, odběrných a bezpečnostních zařízení
- e) speciální objekty

Při návrhu funkčních zařízení a objektů, tj. přelivů, výpustí a odběrů, se použijí řešení a konstrukce, které v daných podmínkách (morfologických, geologických, klimatických apod.) a při daném způsobu a možnostech výstavby zaručí bezpečnost vodního díla, spolehlivý provoz, snadnou obsluhu a údržbu (ČSN 75 2410, 2011).

3.1.6 Bezpečnostní přeliv

Hlavním úkolem bezpečnostního přelivu je odvádět povodňové průtoky z MVN, na které by standartní vypouštěcí zařízení nebylo dostačující. Přeliv zabraňuje přelití vody přes korunu hráze. Přeliv chrání korunu hráze i před poškozením a před případnými škodami způsobenými záplavou údolí pod nádrží (Dyk a kol., 1959).

Průtočné i neprůtočné nádrže musí být vybaveny přelivy k bezpečnému odvádění vody z nádrže za povodní. Přeliv má být nehrazený, bez pohyblivých částí (nástavků apod.), aby pro spolehlivou funkci nepotřeboval obsluhu. Hrazeného přelivu smí být použito ve zdůvodněných případech u nádrží se stálou obsluhou. Typ a provedení uzávěrů musí umožnit pohotovou manipulaci i za zhoršených podmínek.

Nedoporučuje se používat přelivů a odpadů od přelivů, u nichž může dojít při překročení průtoku, na který jsou dimenzovány, k zahlcení a u nichž hrozí ucpání plovoucími předměty a ledem. Jde zejména o šachtové přelivy a přelivy, od kterých je voda odváděna uzavřeným profilem (štolou, chodbou apod.). Tlakový odpad od přelivu, odkud prochází hrází je nepřípustný.

Dimenzování přelivů se provádí na základě přešetření bezpečnosti vodního díla při povodních podle zvláštního předpisu. Při průchodu kontrolní povodňové vlny, jejíž

parametry vyplývají z významu díla a jeho zařazení do kategorie, nesmí dojít k ohrožení bezpečnosti vodního díla (ČSN 75 2410, 2011).

Bezpečnostní přelivy se dělí na přímé přelivy, boční přelivy, kašnové přelivy, šachtové přelivy, kombinované přelivy a speciální přelivy (Vrána a Beran, 2005).

Pro zlepšení podmínek odvádění velkých průtoků se navrhuje doplňkové nouzové přelivy. Uplatní se:

- a) při mimořádných situacích
- b) jako doplnění kapacity hlavního přelivu, pro zvýšení bezpečnosti díla.

Vzhledem k malé četnosti provozu může být doplňkový provoz řešen úsporněji (opevnění drnem, dlažbou na sucho, zabezpečení prahy apod.)

Na bezpečnostním přelivu ani v jeho bezprostřední blízkosti nesmějí být umístěna žádná zařízení ohrožující jeho funkci a snižující jeho kapacitu (ČSN 75 2410, 2011).

3.1.7 Výpustná zařízení

Každá nádrž musí být vybavena vypouštěcím zařízením. Kapacita výpustí musí umožnit vypouštění průtoků do toku v souladu s požadavky kladenými na funkci nádrže, a to při všech v úvahu přicházejících úrovních hladin. Při ohrožení vodního díla musí výpustí umožnit vyprázdnění nádrže nebo snížení hladiny na stanovenou úroveň v požadovaném čase (ČSN 75 2410, 2011).

Výpustná zařízení jsou vždy situována do nejnižších míst nádrže a dělí se na otevřené (žlabové) a uzavřené (trubní). Trubní výpustí se dále dělí podle druhu uzávěru na lopátkové a čepové, šoupátkové a stavidlové, segmentované a speciální a na požerákové (Šálek, 1996).

Dvěma výpustmi mají být vybaveny nádrže s objemem ovladatelného prostoru větším než 1 mil. m³. Jako druhá výpust může sloužit i odběrné zařízení (pro závlahy, energetické účely apod.), kterým lze vypouštět vodu do toku pod nádrží a které odpovídá požadavkům kladeným na výpust (kapacita, uzávěry).

Nejmenší průměr výpustí je 300 mm. Potrubí musí být trvale pod vodou.

Každý výpust musí být opatřena nejméně jedním uzávěrem, použitelným za všech stavů v nádrži a umožňujícím regulaci průtoků, a dalším uzávěrem (revizním, popř.

provozním), kterým lze vtok do výpusti spolehlivě a bezpečně zahradit při poruchách provozního uzávěru, opravách a revizích.

Výpust suché nádrže, nemusí být opatřena provozním uzávěrem, není-li kapacita výpustných zařízení při maximální hladině větší než přípustný průtok v toku pod nádrží (ČSN 75 2410, 2011).

3.1.8 Zanášení nádrží

Zanášení nádrží sedimenty je považováno za přirozený jev. Současně s odbahňováním nádrže a zpětným navrácením vytěžených sedimentů na zemědělské pozemky.

V posledních padesáti letech se tato situace změnila. O vytěžené bahno přestal být zájem, což mělo za následek hromadění velkého množství sedimentů. Sediment se hromadil téměř ze všech MVN České republiky (Vrána a Beran, 2008).

V následující tabulce je uvedeno porovnání objemu sedimentů v České republice v roce 1962 a 1992.

1962	1992	Rozdíl
182 943	196 188	13 245

Tab. 1 Objem sedimentů v ČR (tis. m³) (Benešová, 1996)

Hlavní způsoby zanášení dle normy ČSN 75 2410:

- přítok nerozpuštěných látek z povodí nádrže
- eroze koryta nad nádrží a abraze břehů vlastní nádrže
- přítok rozpuštěných látek, především živin z povodí nádrže, které jsou příčinou rozvoje biomasy, která postupně zanáší položená místa

(ČSN 75 2410, 2011)

Břehová abraze je jev, způsobený účinky vlnobití na břehovou linii. Části zeminy jsou postupně uvolňovány a tím dochází k jejich poklesu do akumulačního prostoru nádrže. Vznik a rozsah abraze závisí na sklonu namáhaného svahu, pedologickém složení půdy, na půdním pokryvu, na kolísání hladiny, na délce břehu a v neposlední řadě na antropogenní činnosti. Abrází jsou nejvíce ohrožovány svahy s vyšším sklonem, svahy bez vegetačního pokryvu, svahy písčité a hlinité, nádrže s častým kolísáním hladiny apod. (Votruba a Broža, 1980).

Dalším zdrojem je vnitřní zanášení. Jedná se především o růst vyšších vodních rostlin, řas a sinic. Příznivé podmínky pro tyto rostliny zaručuje nadbytek živin. Jedná se hlavně o živiny obsahující dusík a fosfor. Nadbytek těchto živin je způsoben důsledkem zemědělské činnosti, kdy zbytky hnojiv se dostávají do tekoucích vod a následně do nádrže. Mikroskopická flora má značně krátký generační interval oproti vyšším rostlinám. Po odumření dochází k jeho usazování ve formě jemného organominerálního kalu, který se nazývá sapropel (Vrána a Beran, 2008).

Problémy způsobené zanášením nádrže lze řešit vápněním, které podporuje koloběh látek ve vodě a zlepšuje vlastnosti prostředí pro odstraňování parazitů případně nákaz. Vápní se hladina napuštěné nádrže nebo dno nádrže vypuštěné, eventuálně v zimě na zamrzlou hladinu (Dyk a kol., 1959). K samotnému vápnění se používá mletý vápenec s obsahem 80-95% uhličitanu vápenatého bez žíravých účinků, lze ho tedy použít i ve vyšší dávce a to i na rybník s obsádkou ryb. Další možností je použití páleného vápna s obsahem 70-90% oxidu vápenatého, jehož žíravé účinky mohou trvat až 3 dny. (Nováček, 1997).

Zanášení přítokem ohrožuje všechny nádrže průtočné. Daný zdroj zanášení ohrožuje neprůtočné jen v případě poruchy nebo nesprávné obsluhy. Hlavním zdrojem zanášení je produkty eroze zemědělských nebo lesních pozemků, nebo splachy zastavěných ploch. Látky jsou odnášeny vodou z celého povodí. (Vrána a Beran, 2008). U průtočných nádrží se vytváří v místě vtoku sedimentační kužel tvořený písčítými a hrubšími částicemi. Na něj navazuje pásmo usazování jemnějších částic podle doby zdržení a dále jen zpravidla usazen nejjemnější organominerální kal (ČSN 75 2410, 2011).

3.1.9 Způsoby těžby sedimentu

- a) suchou cestou na vypuštěné nádrži s použitím strojů pro zemní práce
- b) mokrou cestou pomocí sacích bagrů
- c) kombinací obou výše uvedených způsobů
- d) jiným způsobem (např. podvodním dozerem)

Těžba sedimentu nesmí být hlubší, než byla niveleta původního dna. Doporučuje se provést těžbu tak, aby zůstala zachována vrstva sedimentu 10 cm až 15 cm silná (ČSN 75 2410, 2011).

Suchá metoda je jednoduchá a poměrně hojně používaná. K samotné těžbě sedimentu dochází až po vypuštění nádrže a vyschnutí dna. K vytěžení se používají mechanické stroje, jako jsou např. širokopásové bagry a dozery (Herbich, 2001).

Jedná se o osvědčenou metodu, která je dlouho používána. Sediment, který je následně transportován neobsahuje zbytečné množství vody. Navíc provádí-li odbahnění odborníci, je možné zároveň provést údržbu a opravu dalších rybníčních zařízení.

Hlavní nevýhodou dané metody je zásah do rybníka, který je spíše charakteru stavařského než biotechnického. To zpravidla znamená, že je odstraněno veškeré bahno, včetně vrstvičky aktivního bahna. Trvá i několik let než se po takovém drastickém zásahu navrátí produkce nádrže do původní podoby. Navíc úspěch této metody závisí na klimatických podmínkách. Kvalita vytěženého bahna je značně znehodnocena promícháním různých druhů a vrstev bahna. Tím je jeho použitelnost v zemědělství ztížena. Další nevýhodou je, že nádrž se po dobu vypuštění nedá používat k prvotní funkci. A to má negativní, ekonomický efekt, pro majitele nádrže. V neposlední řadě, si člověk musí uvědomit, že těžká těžební technika devastuje okraje rybníka a krajinu kolem něj (Vojtěch, 1996).

Další možností je mokrá metoda. Hlavní výhodou této metody je, že těžba probíhá na plné nádrži. Na rozdíl od suché metody lze těžbu uskutečnit za všech klimatických podmínek (s výjimkou velkých mrazů). Aplikace na pole, která probíhá rozstříkem je snazší a méně energeticky náročná. Na rozdíl od suché metody umožňuje metoda mokrá ponechání aktivního bahna.

Naopak nevýhodou je, že by měla být zajištěna přímá aplikace na pole či jiné využití bahna, protože v opačném případě je nutnost zajistit sedimentační lagunu. Také je nutné pro rekultivaci literárních pásem užít buď kombinaci mokré a suché metody, nebo vyvinout nové mechanizační prostředky (Vojtěch, 1996).

Nadměrnému zanášení nádrže z povodí lze dle ČSN 75 2410 částečně zabránit souborem následujících opatření:

- a) Realizací protierozních opatření v povodí nádrže souběžně s odbahněním.
- b) Založením přerovných pásů tvořených vyšší vodní vegetací u vtoku do nádrže.

- c) Vybudováním sedimentační nádrže s řádově několikaminutovou dobou zdržení k odsazení nejhrubších částic. Nádrž se pravidelně čistí, aby nedošlo ke zkrácení zdržení a tím snížení její účinnosti.
- d) Snížením břehové abraze.
- e) Odstranění příčin eutrofizace a zarůstání nádrže biomasou.

3.1.10 Rekonstrukce nádrží

V České republice existuje mnoho malých vodních nádrží. Je proto důležité znát jejich, skutečnou akumulaci, které jsou často ovlivněna různými typy sedimentace. Přebytečné bahno v nádrži má za následek zmenšení retenčního prostoru a uvolňováním živin v něm vázaných způsobuje eutrofizaci. Nezbytný je rovněž návrat transportovaných půdních částic, které jsou vlivem pobytu ve vodě obohacené o organické látky a další živiny, zpět na zemědělské a lesní pozemky. Zlepšuje se tak poměr ve vodním i půdním ekosystému a zvýší se tak přirozená produkce. Následkem toho dochází k obnově makro i mikroedafonu. S obnovou půdní struktury se zlepšují i fyzikální vlastnosti půdy. Zlepšením podmínek v rybničném ekosystému přinese i posílení přirozené samočistící schopnosti vody (Vojtěch, 1996).

Zvětšení objemu nádrže lze docílit vytěžením sedimentů, kterým byla zanesena původní nádrž, úpravami dna, zejména prohloubením mělkých okrajů. Pravidelné odstraňování sedimentu je podmínkou udržení dobré funkce nádrže. Provádí se na základě hydroopedologického průzkumu dna nádrže. Podle složení sedimentu, hloubky usazenin a charakteru nádrže se navrhuje způsob těžby (ČSN 75 2410, 2011).

3.2 Průzkum nádrže

Důležitý je nejen průzkum samotné nádrže ale i jejího povodí. Tím bude osvětleno, jestli má dojít k případné rekultivaci. Základní informace jsou: napájení, povodí, stav hráze a dalších zařízení, doba zdržení, množství sedimentu nebo také kdo nádrž obhospodařuje (Vojtěch, 1996).

Průzkum se může provádět jak při plném stavu vodní hladiny tak i při vypuštěné nádrži. Volba metody měření se odvíjí od místních podmínek a také od záměru, zda bude nádrž při plné hladině, nebo odvodněná (Gergel a kol., 1995).

3.2.1 Tachymetrický průzkum

Tachygrafický průzkum je prováděn na suchu. Realizuje se podobně jako průzkum pedologický. Provádí se buď pomocí vykopaných sond, nebo pomocí vrtů, pro celkové upřesnění potom pomocí pedologických sondýrek. Tachygrafický průzkum je volen při suché cestě odbahnění rybníka (Vojtěch, 1996).

Hlavní výhodou tohoto průzkumu je, že lze vidět, stav dna a znečištění dna pevnými předměty, které by mohli stěžovat práci. Sondami se také poměrně přesně stanovuje vrstva sedimentu (Vojtěch, 1996).

Nevýhodou je ovšem to, že se rybník musí ponechat na suchu po delší dobu. Je to ovlivněno kvalitou sedimentu, jeho původem a zrnitostí, obsahem organických látek, tvarem rybníka, geologickými podmínkami, spádem a stavem jeho odvodňovacího systému (Vojtěch, 1996).

Po vypuštění nádrže je nutné vystokování dna, aby bylo umožněno odtoku veškerých zbytků vody, které byly zadržovány v nerovnostech dna. Podle způsobu, kterým bylo dno odvodněno a výskytu srážek, odtékají zbytky vody několik dní po vypuštění nádrže. Dno je přípustné pro terénní průzkum za 14-21 dní (Gergel a kol., 1995).

Tachymetrií je možné i určovat výšku i polohu bodu v místním systému, které jsou převedeny na souřadnice X, Y, H v určeném souřadnicovém systému. Měření je prováděno pomocí tachymetru, v současné době nejčastěji totální stanicí. Hlavním zásadou je měření délky, výškového a vodorovného úhlu. Měřené body měřič signalizuje přímo v terénu. Totální stanice je elektronický tachymetr měřící vzdálenost laserovým dálkoměrem a úhly odečítá elektronickým systémem na kódových kruzích (Oršulák a Pacina, 2010).

3.2.2 Batymetrický průzkum

Výraz batymetrie se jako první využíval pro měření hloubek oceánů a moří (Huggett, 2008). Později se pojmem batymetrie nazývá i mapování a měření sladkovodních vod.

Komplexní batymetrii na území České republiky zakládá Dr. P. Wagner. Ten v roce 1896 vykreslil na základě vlastních měření mapy v měřítku 1 : 5 000 všech Šumavských jezer, kromě Malého Javorského jezera. V roce 1903 začíná se svým vlastním batymetrickým měřením také prof. V. Švambara, který břehovou linii zaměřoval pomocí teodolitu, nebo speciálního úhloměru (Šobr, 2003).

Batygrafický průzkum je prováděn v plné nádrži. Realizace průzkumu je prováděna několika metodami, přičemž se nejvíce používá nivelační metoda. Při této metodě je zaměřeno nové dno zaplněné sedimenty a následně porovnáváno s původním dnem zachyceným v projektech nádrže. Přesto není metoda úplně přesná a navíc u mnohých rybníků chybí potřebná dokumentace (Vojtěch, 1996).

Mnohem přesnější, avšak také mnohem pracnější metodou je fyzické zjišťování hloubky dna pomocí měrné tyče (špičatá železná tyč), která je zapichována v určitých intervalech na stanovených profilech. Tím je docíleno zmapování původního dna. Následně je změřena vrstva sedimentu. Podle charakteru sedimentu se měří buď deskou z plechu, nebo umělé hmoty, navlečenou na měrnou tyč, která se lehce dotkne dna. V případě jemnějších sedimentů, s větším obsahem organického detritu nebo sapropelu, se použije přístroj, který na bázi fotobuňky reaguje i na jemný zákal koloidní vrstvy detritu. Odečtením dvou změřených údajů je získán výsledek (Vojtěch, 1996).

V letech 1997-1999 provedl mapování jezera Laka Miroslav Šobr. Půdorysné měření bylo provedeno pomocí pásma a teodolitu. Při vyměřování byly označeny na břehové linii body, ze kterých se vycházelo při měření hloubek. Mezi body se přes jezero napnula kevlarová šňůra (materiál je odolný proti natahování), na které byli značky v pětiminutovém intervalu. Podél napnutého profilu se pohyboval stabilní gumový člun s echolotem, jehož pomocí se měřila u jednotlivých značek hloubka (Šobr, 2003).

Mnohem modernější metodou je například metoda, kterou při mapování John Redmond Reservoir v roce 2007 použila společnost Kansas Biological Survey. K měření hloubek byl použit echolot, jenž mapoval dno v pravidelných intervalech. Zároveň docházelo k zaznamenávání polohy pomocí GPS. Tímto způsobem se měření konalo po celé ploše. Břehová linie se nezaměřila geodeticky, ale pomocí programu ArcGIS. Byla použita letecká fotografie přehrady, jejíž břehová linie byla v programu ArcGis digitalizována jako polygon. V programu byla následně z naměřených dat, pomocí interpolační funkce, vytvořena batymetrická mapa (Kansas Biological Survey, 2007). Další možností vedle echolotu (jednopaprscitý sonar) je mnohopaprscitý sonar. Tento sonar je vybaven oproti echolotu větším počtem paprsků, a proto pokryje větší plochu například mořského dna (Schmitt, 2008).

Další možností, jak batymetrii měřit na vodních nádržích, je za použití přístroje ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler). Přístroj k měření využívá Dopplerova principu. Přístroje ADCP bývají převážně využívány při měření rychlosti proudící vody ve vodních tocích, ale používají se i při měření hloubek (Visbeck, 2002). Podobným způsobem proběhlo měření i v roce 2015, kdy Ing. Hradilek a jeho tým měřili malou vodní nádrž Strnad, která je součástí systému vodních nádrží na okraji Prahy. Pro dané měření se použil přístroj RiverSurveyor M9. Při daném měření šlo převážně o vyzkoušení, jestli je tento přístroj vhodný pro měření v podmínkách, které je charakteristické pro Českou republiku (Hradilek a kol. 2015).

Za zmínku stojí i použití akustických a elektromagnetických vln na bázi georadaru. Jedná se o dva vzájemně se doplňující geofyzikální nástroje, které byly použity k mapování batymetrie a sedimentů v mělkých vodách. Měření probíhalo v blízkosti pobřežních oblastí a na vnitrozemských jezerech a řekách ve Wisconsinu (Lin a kol. 2009).

3.3 RiverSurveyor M9

Přístroj RiverSurveyor M9 je echosounder od firmy SonTek. Přístroj funguje na principu ADCP. Je speciálně navržen k měření průtoků, vodních proudů, hloubek a batymetrie. Přístroj měří s velkou přesností a jeho použití je velice jednoduché (Erdem, 2013).

Na měřicí jednotce M9 jsou umístěné vysílače a přijímače zvukových pulzů. M9 má devět paprsků rozdělených do dvou sad. Vertikální paprsek o frekvenci 0,5 Mhz (tzv. vertical beam) reprezentuje první sadu. Paprsek je schopen měřit hloubky v rozsahu 0,2 až 80 m. Druhá sada disponuje osmi šikmými paprsky, které jsou rozděleny po čtyřech. První čtveřice má frekvenci 0,3 Mhz a druhá čtveřice 1 Mhz (tzv. botton track). Vertical beam posílá kolmo ke dnu jeden paprsek a z toho následně odhaduje hloubku. Botton track dokáže měřit hloubky v rozmezí 0,2 až 40 m. K určení hloubky Botton track využívá čtyři šikmé paprsky, z kterých odhaduje výslednou hloubku na základě hloubky z jednotlivých paprsků. Hloubka je tedy tímto přístrojem odhadována na základě času, za který se vyslaný paprsek vrátí zpět po odražení ode dna. (Erdem, 2013).

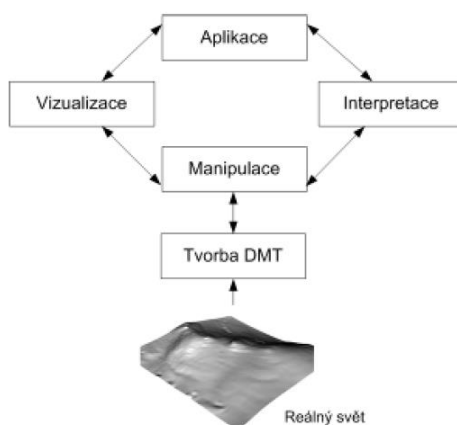
Přístroj se také neobejde bez interního harddisku s kapacitou 8 GB, který v případě přerušení přenosu dat uloží data na harddisk. Díky tomu nedochází ke ztrátě naměřených hodnot (Erden, 2013).



Obr. 4 – RiverSurveyor M9 a M5 (Erden, 2013)

3.4 Digitální model

Digitální model terénu (DMT) je model povrchu Země, který je bez všech objektů. DMT je v digitální podobě a proto může být zpracován pomocí informačních a komunikačních technologií. V anglickém jazyce je termín používán jako Digital Terrain Model (DTM) (Oršulák a Pacina, 2010).



Obr. 5 – Hlavní činnosti s DMT (Oršulák a Pacina, 2010)

DMT je statistické zastoupení povrchu Země za pomoci mnoha bodů se souřadnicemi X, Y, Z ve vymezeném souřadnicovém prostoru (Oršulák a Pacina, 2010).

DMT má několik možných způsobů jak může být reprezentován. Nejčastější možností reprezentace je pomocí rastru a pomocí TIN (Triangulated Irregular Network). TIN je poměrně všestranným způsobem reprezentace povrchu. Představuje pomyslné úsečky,

kteře jsou vzájemně propojeny a tvoří body. Výsledkem je model terénu, který je reprezentován trojúhelníkovými ploškami. Jedná se o spojitý model terénu (Moore a kol. 1991).

Data, pomocí kterých se vygeneruje DMT se získávají použitím různých metod. Dle způsobu získání dat lze metody rozdělit na přímé a nepřímé. Přímé metody ještě dělíme na kontaktní a bezkontaktní (Oršulák a Pacina, 2010).

Přímé metody měří data přímo v terénu a to za pomoci geodetických měření. Měření probíhá na každém bodě, a proto dochází k velmi přesnému určení polohy a výšky.

Bezkontaktní metody jsou prováděny pomocí dálkového průzkumu země (DPZ). Například pomocí fotogrammetrie, laserového skenování a radarového snímání. Dané metody mají přesnost řádově v desítkách centimetrů.

Nepřímé metody jsou prováděny na principu zpracování již existujících dat. Při tvorbě DMT probíhá digitalizace výškopisu analogových map. Výsledná data slouží ke generování DMT (Oršulák a Pacina, 2010).

Nástroje pro tvorbu digitálního modelu a jeho analýzu je jednou ze základních součástí programu ArcGIS, což má za následek jeho časté používání (Klimánek, 2006).

Po vygenerování DMT je nutné udělat kontrolu kvality výsledného povrchu. Existuje několik způsobů pro kontrolu kvality. Lze použít jednu z následujících metod:

Velice běžnou metodou používanou pro kontrolu kvality povrchu je vynechání určitého procenta vstupních bodů. Výška daných bodů je odečtena od výsledného povrchu po vygenerování DMT, aby byla patrná přesná reprezentace skutečného terénu.

Další metodou je vizuální kontrola prostřednictvím vrstevnic. Z výsledného digitálního modelu se vygenerují vrstevnice o polovičním intervalu, než jsou vrstevnice vstupní a následně se vizuálně porovná průběh povrchu mezi vrstevnicemi. Původní a výsledné vrstevnice se položí přes sebe čímž lze odhalit chyby v interpolaci, které jsou způsobené např. nevhodně vybranými parametry interpolace (Oršulák a Pacina, 2010).

3.5 Interpolace

Interpolace je označení pro proces výpočtu neznámých hodnot konkrétního jevu (např. teplota nebo nadmořská výška) v požadovaném místě. Neznámé hodnoty jsou vypočteny na základě hodnot známých, které se nachází v okolí daného místa (Peralvo, 2002).

Interpolační metody lze rozdělit na deterministické a geostatistické. Deterministické metody využívají matematické funkce. Pro výpočet neznámých hodnot se používá stupně podobnosti vypočtených hodnot (např. pomocí Inverse Distance Weighting neboli IDW) nebo stupeň vyhlazení (např. Radial Basis Function) vůči změřeným hodnotám sousedních vzorových bodů. Naopak geostatistické metody používají matematické i statistické metody. Poskytují pravděpodobnostní odhady kvality provedené interpolace, které se realizují na základě prostorové autokorelace mezi naměřenými hodnotami například pomocí Kriging (Burrough a McDonnell, 1998). Autokorelace je založena na předpokladu, že body nacházející se blíže k sobě jsou si podobnější než body, které jsou od sebe více vzdálené (Arun, 2013).

Interpolační metody dále rozdělujeme na lokální a globální, podle šíře působení. Lokální interpolace používá pouze data naměřená v lokálním místě, které je menší než rozloha celé řešené oblasti. Výstupem tedy je soubor prostorově distribuovaných hodnot odhadované veličiny. Globální interpolace oproti lokálním využívá všechna dostupná data najednou. Výstupem jsou v tomto případě odhady jedné hodnoty parametru pro kompletně celou řešenou oblast (Burrough a McDonnell, 1998; Peralvo, 2002).

Další možností jak interpolační metody dělit je rozdělení na exaktní a aproximující metody. Exaktní jsou takové metody, které přesně respektují prvotní naměřené hodnoty. Naopak aproximující metody se liší od naměřených hodnot v určitém bodě. (Burrough a McDonnell, 1998; Peralvo, 2002).

Jednotlivé metody použité na stejné zdroje hodnot mohou mít různé výsledky je proto nutné vyhodnotit vlastnosti jednotlivých technik zvlášť (Arun, 2013).

3.5.1 Metody interpolací

Interpolační metoda IDW se řadí mezi ty nejjednodušší a nejčastěji používané metody. Metoda pracuje na principu, že jevy v prostoru si jsou podobnější, pokud se nacházejí

od sebe blíže než body vzdálenější. Výpočty jsou prováděny pouze s hodnotami, které se nacházejí v blízkosti místa měření (Watson a Philip, 1985; Childs, 2004).

Kriging se řadí mezi složitější metody a jedná se o pokročilou geostatickou metodu. Tato metoda na rozdíl od IDW a SPLINE je založena na statistických modelech obsahující autokorelaci. Mezi samotnými body tedy jsou statistické vztahy. Díky tomu je tato metoda schopná interpolovat povrch a zároveň zajistit určitý stupeň přesnosti interpolace (Burian, 2008).

Spline, jinak také metoda minimální křivosti, pracuje s matematicky určenými křivkami, které interpolují po částech hodnotu výchozího jevu. Díky dané funkci je výsledný povrch hladký a má nejmenší křivost (Ježek, 2008).

Topo to Raster je vyvinutá metoda pro geografické informační systémy. Jedná se o interpolační metodu, která je určena pro vytváření hydrologicky korektních digitálních modelů terénu. Díky programu ArcGIS je možné využívání této metody. Firma ESRI provedla implementaci této interpolační metody do svého programu ArcGIS. Zásada dané metody je založena na programu ANUDEM, který vyvinul Michael Hutchinson (Hutchinson, 1988).

Natural neighbourhood neboli metoda přirozených sousedů je metoda, která je založena na principu Thiessenových polygonů. Při vložení interpolovaného bodu do sítě polygonů dojde k přebudování kolem daného bodu, čímž vzniká nová síť. Polygon s novým bodem překrývá některé části polygonů známých bodů, které byli původní. Tyto body jsou označovány jako přirození sousedé a budou zahrnuty do interpolace bodu nového (Křikavová, 2009).

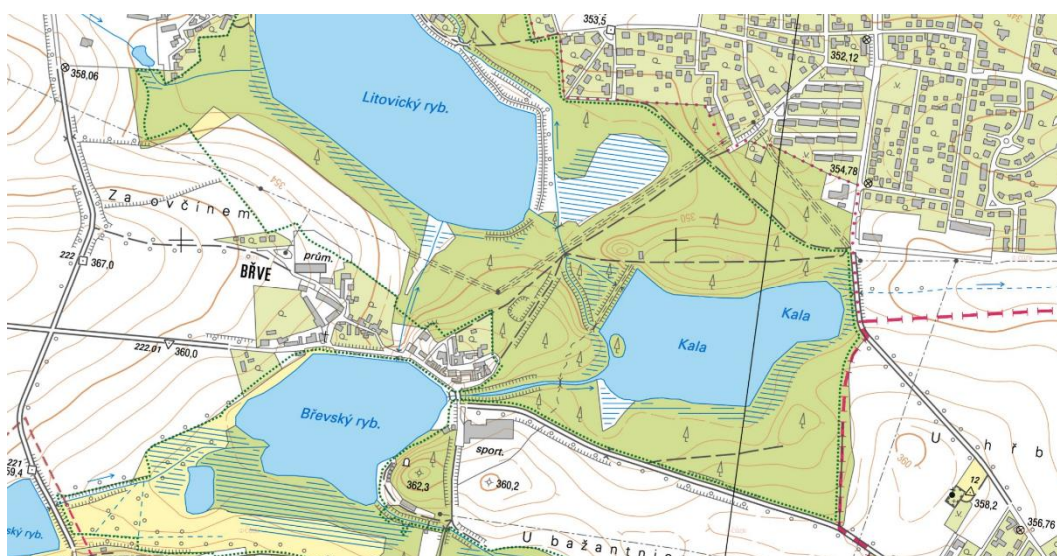
Trend má schopnost získat informace o tom, jestli data vymezují prostorový trend případně nikoliv (Burian, 2008).

Interpolační metoda je zvolena na základě chování sledovaného jevu, jako je například nadmořská výška, srážky atd. Dále je přihlíženo k rozložení vstupních bodů tzn. jejich pravidelnost a hustota. Správnou interpolační metodu lze nejefektivněji vybrat pomocí porovnávání několika jednotlivých metod. Ta metoda, která má nejmenší odchylku v údajích, je tou nejvhodnější pro další použití. Porovnávání musí probíhat za totožných vstupních údajích (Burian, 2008).

4 Charakteristika zájmového lokality

Hostivické rybníky jsou skupina tří větších rybníků (Litovického o ploše 18 ha, Kalého o ploše 13 ha a Břevského o ploše 10 ha) s přílehlými mokřady Nekejcov, Chobot a Břevskou rákosinou. Jedná se o krajinu přeměněnou. Z původních bažin byla přeměněna dlouholetým působením člověka. (Datel, 1998)

Soustava rybníků je napájena Litovickým potokem, který vzniká nad obcí Chýně v meliorovaných polnostech. Potok přitéká do Hostivických rybníků od západu, přičemž nejdříve napájí Břevský rybník (Kubelík a kol. 2008).



Obr. 6 – Detail lokality (URL 1)

Voda z Břevského rybníka odtéká bezpečnostním přelivem ve východní části do rybníka Kaly. Rybník Kala je kromě vody z Břevského rybníka také napájen pramennými potůčky, které odvodňují lesní pozemky na jeho jižním okraji. K výraznému proudění zde však nedochází. Voda proudící z výpustného objektu a bezpečnostního přelivu se sloučí s odtokovou strouhou z Břevského rybníka a směřuje k rozpadlému objektu, který rozděluje vodu do Litovického rybníka a obtokové strouhy. Přesto v současné době není objekt funkční. Původně mohla voda téct podél Litovického rybníka v odvodňovací strouze, ale ta už není funkční. Malá potrubní výpusť na pravé straně hráze rybníka umožňuje zásobovat vodou mokřad Chobot v období sucha. Za průměrného průtoku vykazuje rybník průtokový deficit (Kubelík a kol. 2008).

Malá výpust na pravé straně hráze Kalého rybníka umožňuje v suchých obdobích zásobovat vodou mokřad Chobot. Z mokřadu Chobot může voda povrchově přetékat do odtokové strouhy kolem Litovického rybníka. Kalý rybník vykazuje za průměrného průtoku průtokový deficit 0,7 l/s. Je to způsobeno tím, že odpar z hladiny je vyšší než podíl přítoků. Je proto dlouhodobě závislý na přítoku z Břevského rybníka (Kubelík a kol. 2008).

Současné údaje o kvalitě vody k dispozici nejsou, navíc se podmínky v území významně změnilo (stavba ČOV v Chýni, změna rybářského hospodářství, obnova Strahovského rybníka), proto nelze současný stav z dřívějších údajů odvodit (Kubelík a kol. 2008).

Voda v rybnících je silně eutrofizovaná, dochází tím k intenzivnímu nárůstu počtu zelených řas, což se projevuje na průhlednosti vody. Eutrofizaci způsobuje vysoký obsah dusíku a fosforu z vypouštěných odpadních vod, ze smyvů přilehlých zemědělských pozemků, ale i z rybářského využití rybníků (Kučera a kol. 2006). Z toho důvodu byla nádrž minulý rok vyvápněna. Vápnění se provedlo z důvodu podpory koloběhu látek ve vodě a zároveň k odstranění parazitů případně nákaz.

Roční úhrn srážek v oblasti činí 450 až 550 mm (Kubelík a kol. 2008).



Obr. 7 – Poloha nádrže Kalý v rámci ČR (URL 2)

5 Metodika

5.1 Batymetrické měření

Pro batymetrické měření Kalého rybníka byl použit echosounder RiverSurveyor M9 od firmy SonTek. Při měření rybníka byla měřicí hlavice přístroje vložena do deblířského kajaku, který byl speciálně upravený Katedrou vodního hospodářství a environmentálního modelování pro účely měření MVN právě tímto přístrojem. Kromě měřicí hlavice se do kajaku vloží také komunikační jednotka, která zpracovává data a zároveň přijímá signál od Real Time Kinematic (RTK).

Dalším krokem bylo sestavení RTK stanice a umístění na břehu. RTK se stará o údaje zeměpisné šířky a délky a výškové údaje přístroje, které následně předává řídicí části těla M9 (Erdem, 2013). Stanice vysílá takzvané RTK korekce, které umožňují přesnější určení měřicího přístroje a to s přesností do 3 cm.



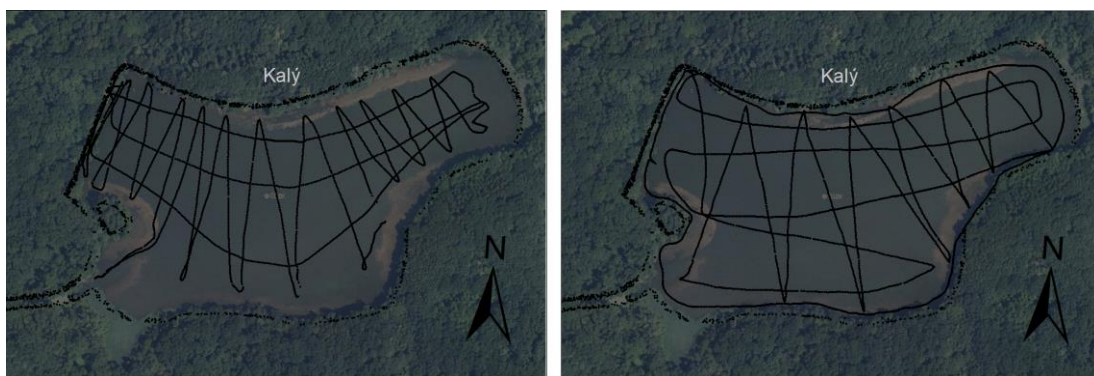
Obr. 8 – RTK stanice na stojanu (Autor, 2016)

Přístroj byl ovládán mobilním telefonem, který obsahoval software RiverSurveyor Live. Komunikace telefonu a ovládací jednotky přístroje probíhá bezdrátově za pomoci Bluetooth. Po celou dobu měření má jezdec kajaku telefon, který je umístěn ve vodotěsném obalu, u sebe. Pomocí funkce Bluetooth telefon zaznamenává všechny

změřené hodnoty. Před každým měřením je důležité nastavení telefonu pro správné ukládání dat například název místa měření, čas, váha jezdce atd. Také je velice důležité nastavit hloubku, ve které je měřicí hlavice ponořena při měření. Přístroj potom bude tuto hloubku automaticky odečítat.

Dalším neméně důležitým bodem je kalibrace. Kalibrace se provádí z celým kajakem z důvodu snížení nepřesností měření například vlivem náklonu kajaku na neklidné hladině. Kalibrace probíhá tak, že vždy nejlépe dva lidé zvednou kajak do vzduchu a točí s ním po vodorovné ose a zároveň ho naklání po vertikále nahoru a dolů v rozsahu přibližně 45°. Čas samotné kalibrace musí být minimálně 90 sekund. Je velmi důležité kalibraci neprovádět v blízkosti kovových předmětů, které by kalibraci mohly ovlivnit.

Měření probíhá najížděním jednotlivých tras na vodní ploše. Je snahou zaměřit všechna charakteristická místa v nádrži. Z pravidla se začíná břehovou linií, kdy jezdec z kajakem jezdí cca 1 metr od břehu nádrže. Následně si jezdec pomyslně rozdělí nádrž na dvě poloviny, kdy najede nejen střed celé nádrže, ale i střed dvou pomyslných polovin. Poslední taktikou měření je najíždění pomocí přímek, které svírají úhel cca 45°.



Obr. 9 – Trajektorie při měření MVN Kalý v roce 2015 a 2016 (Autor, 2016)

5.2 Zpracování dat

Naměřené body za rok 2015 a 2016 bylo nutné přenést do programu ArcGIS v podobě XY dat. Následně byla vytvořena bodová vrstva, která reprezentovala dno nádrže. Následně bylo nutné vstupní data převést ze souřadnicového systému WGS84 (World Geodetic System) do souřadnicového systému jednotné trigonometrické sítě katastrální neboli S-JTSK. Dále byla z Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G.

Masaryka (VÚV TGM) z portálu Digitální báze vodohospodářských dat (DIBAVOD) zvektorizována břehová linie jako polygon.

Dalším krokem bylo vytvoření DMT interpolačními metodami. Metody interpolací jsou v programu GIS k nalezení v Toolboxu pod nadpisem Raster Interpolation. Pro každou interpolaci byl pro výstupní rastrový model nastavena velikost pixelu 1 m. Výsledné interpolace byly následně mezi sebou porovnávány. V první řadě se jednotlivé metody daly porovnat jednoduše vizuálně, mnohem přesnější ale bylo jednotlivé metody otestovat. Zkouška závisela na schopnosti jednotlivých interpolačních metod vygenerovat neznámé hodnoty. Nejdříve bylo vybráno namátkou 31 bodů, které byli naměřeny a tím známy jejich přesné hodnoty. Body byly odebrány z bodové vrstvy a jednotlivé interpolace byly vytvořené bez těchto bodů. Každá interpolace následně místo jednotlivých bodů dosadila hodnotu, kterou sama vypočítala. Pomocí funkce Get Value, kam po zapsání přesných souřadnic známých bodů, byla zjištěna přesná hodnota, kterou interpolace dosadila místo odebraného bodu. Tímto způsobem byla provedena zkouška pro 31 bodů každé interpolační metody. Následné hodnoty se porovnali s body, které byli v počátku odebrány. Odchyly byly patrné, a proto bylo nutné zjistit, jak moc se metody odchýlily. Pro kvantifikaci chyb byla použita střední kvadratická chyba, root mean square error (RMSE), která určuje odchyly mezi původními naměřenými daty a daty DMR. Vyšší výsledná kvadratická chyba reprezentuje větší rozptyl mezi dvěma datovými sadami (Wood, 1996). Hodnota RMSE je vyjádřena matematicky jako:

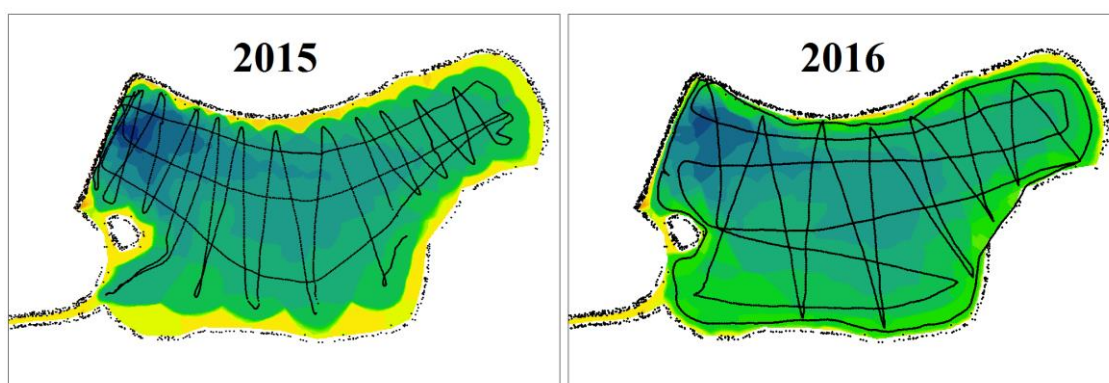
$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z_i - Z_j)^2}{n}}$$

kde: Z_i je hodnota interpolovaného DMR, Z_j je naměřená hodnota, n je počet kontrolovaných bodů.

Následně se ještě pro jednotlivé interpolační metody vygenerovaly objemy. Výpočet objemu programem Surface Volume určuje celkový objem mezi horní a dolní částí povrchu. Při počítání objemu se výpočty pro každou buňku generují samostatně. V místech kde je povrch v horní nebo dolní části buňky nakloněn program objem odhadne.

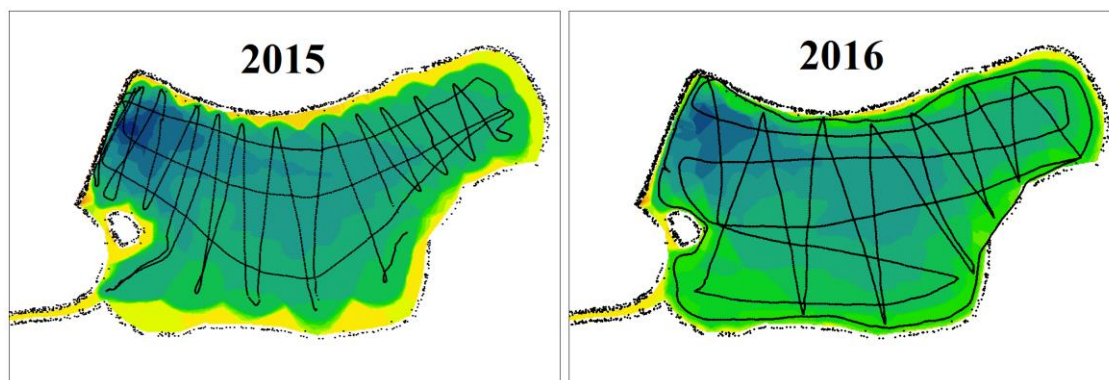
6 Výsledky

Metoda IDW (Obr. 10) je považována za nejjednodušší z metod. Nevýhodou této metody jsou koncentrické izolinie, které se tvoří v okolí známých bodů (Šercl, 2008). Mezi digitálním modelem za rok 2015 a 2016 jsou viditelné rozdíly, což je stejné i u ostatních metod. Každé měření totiž probíhalo za jiných podmínek a při různě naplněné nádrži.



Obr. 10 – Metoda IDW s daty za rok 2015 a 2016 (Autor, 2016)

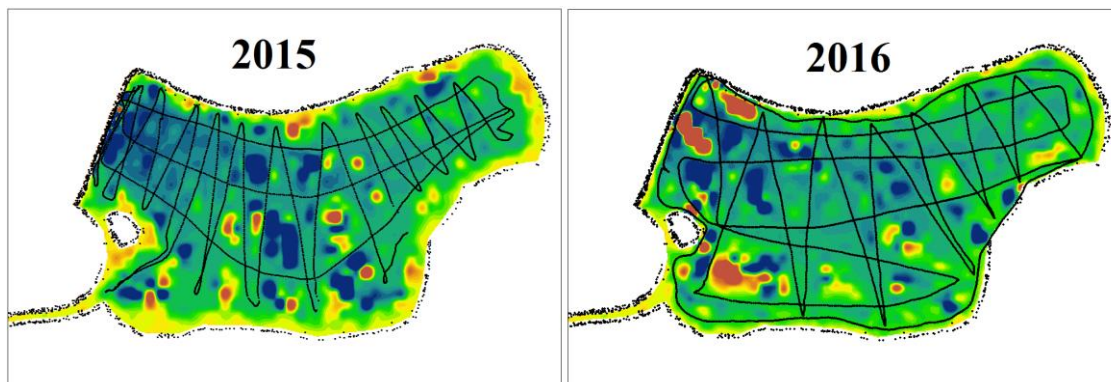
Metoda Kriging, která, jak již bylo avizováno v teoretické části práce, je geostatickou metodou si je možné prohlédnout na následujícím obrázku 11. Metoda je založena na rozdíl od IDW na statistických modelech obsahující autokorelaci (Burian, 2008). Po porovnání obou metod je patrné, že mezi metodou IDW a metodou Kriging jsou pouze nepatrné rozdíly. Daná metoda je často volena pro batymetrii malých vodních nádrží.



Obr. 11 – Metoda Kriging s daty za rok 2015 a 2016 (Autor, 2016)

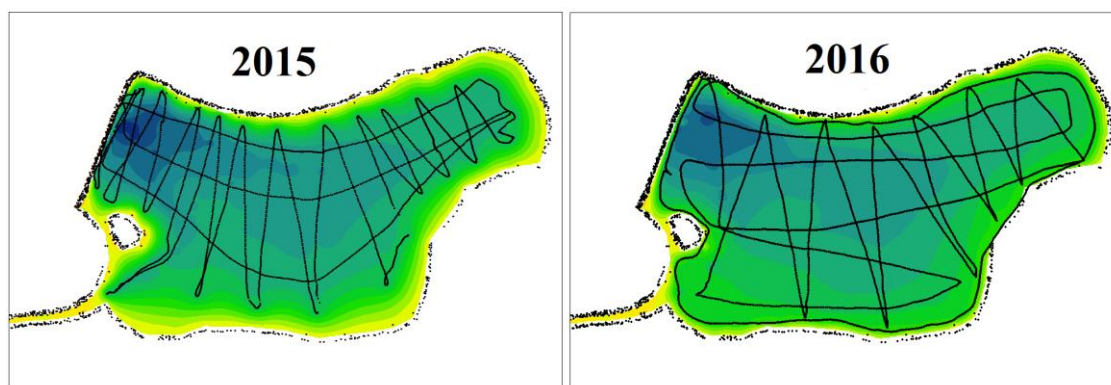
S oběma metodami byla následně porovnána třetí metoda a to metoda Spline (obr. 12). Tato metoda je označována jako metoda minimální křivosti (Ježek, 2008). Již vizuálně

se metoda Spline liší od předešlých metod, tvoří se zde takzvaná interpolační oka. Povrch je totiž tvořen řadou polynomických funkcí.



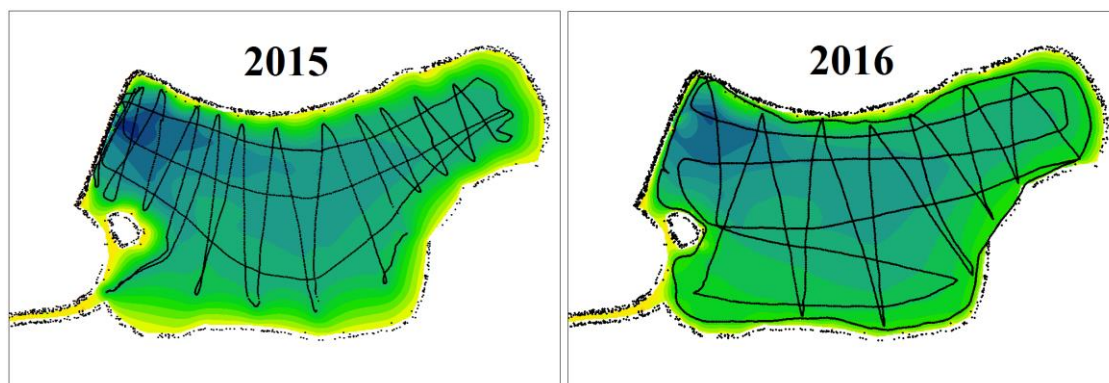
Obr. 12 – Metoda Spline s daty za rok 2015 a 2016 (Autor, 2016)

Metoda Topo to Raster, kterou si je možné prohlédnout na obrázku 13, je určena pro vytváření hydrologicky korektních digitálních modelů terénu. Jedná se o jedinou metodu schopnou pracovat s liniovými vektorovými daty a zároveň je přizpůsobena pro práci s vrstevnicovými daty (Hutchinson, 1988). Jsou zde již na první pohled znatelné rozdíly od předešlých metod. Zároveň je ale vidět značná podobnost s následující metodou přirozených sousedů.



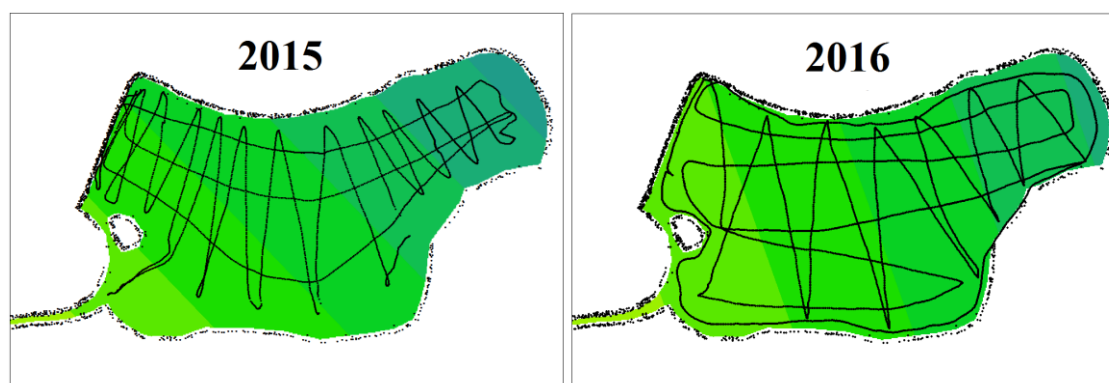
Obr. 12 – Metoda Topo to Raster s daty za rok 2015 a 2016 (Autor, 2016)

Natural neighbourhood neboli metoda přirozených sousedů se od prvních tří metod vizuálně liší. Metoda je založena na principu Thiessenových polygonů. Kdy si metoda tvoří novou síť polygonů kolem známých bodů a vznikají tak body nové tvn. přirození sousedé (Křikavová, 2009).



Obr. 12 – Metoda Natural neighbourhood s daty za rok 2015 a 2016 (Autor, 2016)

Poslední metodou, kterou byl vytvořen DMT je metoda Trend (obr. 13). Již od pohledu na danou metodu je patrné, že pro práci s DMT této nádrže vhodná není. Z metody alespoň můžeme poznat lineární trend.



Obr. 12 – Metoda Trend s daty za rok 2015 a 2016 (Autor, 2016)

Po vizuálním porovnání interpolačních technik je zde tabulka z přílohy 1, která znázorňuje výsledky testování přesnosti jednotlivých interpolací pro rok 2015. Metoda Trend dopadla nejhůře a její hodnoty, které spočítala, se odchylovaly od skutečných hodnot, které byly naměřeny prvotně. Nejlépe dopadli metody Topo to Raster a IDW, které měly nejvíce hodnot totožných s originálem případně jen s malými odchylkami. Další tři metody jako Natural neighbourhood, Kriging a Spline spočítali buďto správně anebo jen s drobnými odchylkami zhruba polovinu hodnot. Stejný test (příloha 2) byl proveden i v roce 2016, kdy již měli interpolace menší odchylky. To je patrné na následující tabulce (tab. 3), která nám ukazuje výsledné kvadratické chyby za jednotlivé roky. V roce 2016 je nižší odchylka než v předešlém roce, což znamená, že rozptyly mezi datovými sadami a původními naměřenými daty byly sníženy. To mohlo být způsobeno mnoha faktory například i tím, že v roce 2016 bylo naměřeno více bodů než v předešlém roce a díky tomu mohly interpolace pracovat s více známými daty.

Také musí být bráno v potaz to, že nádrž byla mezi jednotlivými měřeními vypuštěna. Je tedy vysoce pravděpodobné, že se posléze nenapustila na totožné množství jako při prvním měření.

Rok	IDW	Kriging	Spline	Topo to Raster	Natural	Trend
2015	0,152	0,208	0,247	0,2	0,191	3,223
2016	0,093	0,151	0,188	0,164	0,134	1,21

Tab. 2 – RMSE za jednotlivé roky (Autor, 2016)

Objemy jednotlivých interpolačních metod (tab. 3) se lišili v řádech tisíců. Nejvíce se svým výsledkem v roce 2015 vybočovala metoda Spline. V roce 2016 měla zase velký rozdíl metoda Trend. Bohužel nebylo možné hodnoty porovnat s manipulačním řádem, který nebyl k dispozici. Jedinou kontrolou tedy bylo porovnání mezi rokem 2015 a 2016. Objemy jsou poměrně nižší v roce 2016, což může být způsobeno stejně jako v případě RMSE větším počtem naměřených bodů, nebo zanesením nádrže sedimentem. Oboje možnosti se nevylučují, mezi oběma měřeními totiž byla nádrž vypuštěna, ale pouze kvůli zimnímu období nikoliv kvůli rekultivaci. Je tedy vysoce pravděpodobné, že nádrž je oproti předešlému měření zanesena sedimentem více.

Rok	IDW	Kriging	Spline	Topo to Raster	Natural	Trend
2015	39 827	39 590	52 568	35 525	35 533	35 525
2016	31 251	31 101	39 713	31 163	30 077	2 767

Tab. 3 – Objemy v m³ za jednotlivé roky (Autor, 2016)

V současné době by měla akumulace nádrže být v rozmezí 30 000 až 31 000 m³. To je od roku 2015 pokles téměř o 5 000 m³ podle některých interpolačních metod i o více. I když se výsledky různí je jim společný poklesnutí objemu v roce 2016. Mezi jednotlivými měřeními byla nádrž ale vypuštěna, což mohlo mít vliv na různé výsledky. Stejně tak se ani nemůžou plně vyloučit chyby vzniklé při měření. Jelikož ale IDW měla RMSE nejnižší je považován její objem za ten aktuální tedy 31 251 m³. Pokud jde o posouzení jednotlivých interpolačních metod lze podle jednotlivých testů určit IDW, Topo to Raster jako nejvhodnější. Natural neighbourhood a Kriging dopadli také velice dobře. Naproti tomu za nejméně vhodnou lze považovat metodu Trend, která měla neuspokojivé výsledky po celou dobu testování. Nejčastěji používanou metodou v batymetrii je přesto patrně Kriging. Jedná se již ale o pokročilejší varianty, kde je vedena snaha o zanesení do metody vlastnosti okolí a odstranit je před vlastní interpolací.

7 Diskuze

Porovnání interpolačních metod v této práci bylo provedeno individuálně pro tuto práci. Přestože některé metody měly lepší výsledky, než ostatní nelze jednoznačně označit, která z metod je tou nejlepší. Žádná z metod totiž není univerzální a proto je nelze aplikovat na všechny potřebné jevy (Křikavová, 2009). Jednotlivé interpolační metody použité na stejné hodnoty mohou mít různé výsledky, jak již bylo dokázáno v této práci, je proto nutné vlastností jednotlivých metod vyhodnocovat zvlášť (Arun, 2013). Výběr metody je volen na základě chování sledovaného jevu, jako je například nadmořská výška, srážky atd. (Peralvo, 2002). Také je důležité přihlížet na rozložení vstupních bodů neboli jejich pravidelnost a hustotu. Neexistuje tedy žádné pravidlo, které by nám říkalo, kterou z metod je zrovna nejvhodnější použít. Proto pro výběr správné interpolace je nejefektivnější vždy provést porovnání jednotlivých metod.

Při porovnání metod v této práci nejlépe dopadly metody IDW a Topo to Raster, V závěru byli metody Natural neighbourhood a Kriging. Topo to Raster je metoda, jak už bylo řečeno v teoretické části, je metodou vyvinutou přímo pro geografické systémy. Možná právě proto je daná metoda velice často používána při batymetrickém průzkumu MVN a následné tvorbě DMT. Tuto metodu upřednostňoval například Ing. Hradilek (2015) a jeho tým, při měření malé vodní nádrže Strnad. Stejná metoda byla zvolena při tvorbě DMT dna slovenských vodních nádrží Malá a Velká Richňavská (Kubinský a kol., 2013). Stejně tak i při tvorbě mapy John Redmond Reservoir v Spojených státech amerických byla použita metoda Topo to Raster (Kansas Biological Survey 2007). Není tomu tak, ale vždy a jsou voleny i jiné metody. Za zmínku stojí například tvorba DMT dna jezera Fletcher za použití interpolační metody Spline (Huggett, 2008), což jen podtrhává počátek diskuze o tom, že žádná z metod není univerzální. Přesto, ale za nejčastěji používanou metodu lze označit metodu Kriging.

Po porovnávání jednotlivých interpolačních metod se tato práce věnuje batymetrickému zaměření malé vodní nádrže Kala, které bylo provedeno pomocí echosounderu RiverSurveyor M9. Měřicí přístroj byl umístěn do dna kajaku speciálně upraveného pro měření hloubek. Měření pomocí kajaku je díky jeho velikosti a nízkému ponoru vhodné i pro měření velmi malých hloubek, což je značná výhoda

oproti klasickému měření většími loděmi. Stejným způsobem byla zaměřena i nádrž Strnad a Břve (Hradilek, 2015) v loňském roce. Přístroj již byl tedy testován na podmínky charakteristické pro Českou republiku.

Při měření rybníku Kalý byl dodržován totožný postup jako při měření v minulém roce stejně tak jako v případě měření jiných nádrží pomocí této techniky. Přesto je možné, že data nejsou úplně přesná. Mohlo dojít ke zkreslení výsledků způsobeným špatně provedeným měřením nebo následným zpracováním dat. Měřená data také nemohla být porovnána s hodnotami uvedenými v manipulačním řádu, který bohužel nebyl k dispozici. Z výsledků v dané práci lze přesto vyvodit, že k poklesu akumulčního prostoru nádrže skutečně došlo.

8 Závěr

Hlavním předmětem této bakalářské práce bylo provést batymetrické zaměření malé vodní nádrže Kala za pomoci echosoudneru RiverSurveyor M9 a následné vytvoření digitálního modelu terénu hloubek dna v programu ArcGIS. Měření bylo provedeno v rozmezí jednoho roku. Dle výsledků je patrné, že akumulací prostor poklesl. Naneštěstí nebylo možné vypočtené objemy porovnat s manipulačním řádném nádrže, který nebyl k dispozici. Výsledný objem pro rybník Kalý by záležel na zvolené interpolační metodě. Jelikož se, při testování jednotlivých metod, nejlépe osvědčila metoda IDW je tedy považován její výsledný objem 31 251m³ za ten správný a aktuální. Objem je nižší než za rok 2015. To může vypovídat o zanášení nádrže.

Nad samotný rámec zadání této práce bylo provedeno srovnání účinnosti jednotlivých interpolačních metod. Metody se testovali při tvorbě DMT jak z roku 2015 tak z roku 2016. Po vymazání známých hodnot bodů jednotlivé metody vypočetli hodnoty vlastní. Tyto hodnoty se následně porovnali s originálními hodnotami. Z výsledných hodnot se následně pomocí výsledné kvadratické chyby neboli RMSE vypočetlo, jak moc se interpolacemi vypočtené hodnoty odchylovali od původně naměřenými daty. Z výsledků bylo patrné, že proti předešlému měření došlo ke snížení této chyby. To mohlo být způsobeno větším počtem bodů naměřených v roce 2016, nebo různým stavem napuštěné nádrže při měření. Nádrž byla totiž mezi jednotlivými měřeními vypuštěna.

V rámci této práce byla také vypracována rešerše, která shrnuje obecné poznatky k malým vodním nádržím a jejich zanášení, batymetrii a způsobům jejího měření, popis interpolačních metod a digitálního modelu terénu. Dále byl sepsán stručný metodický postup při měření batymetrie malé vodní nádrže echosounderem.

V praktické části bylo provedeno zaměření nádrže Kalý rybník echosounderem RiverSurveyor M9 a zaměřená data byla zpracována v programu ArcGIS Desktop. Digitální model terénu dna nádrže byl zpracován několika interpolačními metodami, které se mezi sebou následně porovnavaly. Měření bylo porovnáno s rokem 2015 a 2016.

9 Seznam použité literatury a zdrojů

1. **ARUN P. V., 2013:** A comparative analysis of different DEM interpolation methods, NIT, M. P., India, 171-177 s.
2. **BENEŠOVÁ J. 1996:** Generel rybníků a nádrží České republiky. Vodní hospodářství č. 2/3.
3. **BURIAN J., 2008:** Vyznáte se v interpolacích? GeoBusiness, 40-41 s.
4. **BURROUGH P. A., MCDONNELL R. A., 1998:** Principles of geographical information systems. Oxford University Press, Oxford, 333 s.
5. **ČSN 75 2410, 2011:** Malé vodní nádrže. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 48 s.
6. **ČSN 75 0120, 2009:** Vodní hospodářství - Terminologie hydrotechniky. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 165 s.
7. **DATEL J., 1998:** Sborník o přírodě, památkách a historii města. Český svaz ochránců přírody Hostivice, 27 s.
8. **DYK V., ŠTĚDRONSKÝ E., PODUBSKÝ V., 1959:** ABC rybáře. Práce, Praha, 247 s.
9. **ERDEM H., 2013:** RiverSurveyor S5/M9 System Manual. SonTek, San Diego, 154 s.
10. **GERGEL J., ČÍZEK V., JANEČEK M., KOLÁŘ L., KRONIKA V., NIETSCHEROVÁ J., TIPPL M., VAŠKA J., VOJTĚCH V., 1995:** Těžba a využití sedimentů z malých vodních nádrží. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Praha, 23 s. ISBN: 24-60200-03784-4
11. **HERBICH, J., 2001:** Handbook of Dredging Engineering. McGraw-Hill inc. USA. 992 s. ISBN: 978-0071343060
12. **HRADILEK V., BAŠTA P., VIZINA Š., MÁCA P., PECH P., 2015:** Verification of remote sensing data for measuring bathymetry on small water reservoirs. 15th International SGEM GeoConference. Czech University of Life Sciences Prague.
13. **HUGGETT B., 2008:** Fletcher Lake Bathymetry. 2008, 47 s.
14. **HUTCHINSON M. F., 1988:** Calculation of hydrologically sound digital elevation models. Paper presented at Third International Symposium on Spatial Data Handling at Sydney, Australia.
15. **CHILDS C., 2004:** Interpolating in ArcGIS Spatial Analyst. ESRI Education Service 3: 32-35 s.

16. **JEŽEK J., 2008:** Geostatistika - Úvod do geostatistiky, Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze.
17. **KANSAS BIOLOGICAL SURVEY, 2007:** Bathymetric Survey of John Redmond Reservoir, Coffey County, Kansas USA, 22 s.
18. **KLIMANEK M., 2006:** Digitální modely terénu. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno. ISBN 80-7157-982-3.
19. **KUBELÍK M., VLÁČILOVÁ M., ŠPRYŇAR P., ŠTEFÁNEK M., ŘÍHOVÁ D., 2008:** Plán péče o Přírodní památku Hostivické rybníky na období 2009 – 2016. ZO CSOP 11/11 Zvonecek, Vrané nad Vltavou, 44 s.
20. **KUBINSKÝ, D., FUSKA, J., WEIS, K., LEHOTSKÝ, M., 2013:** Change of accumulation volume of Great Richňava and Small Richňava water reservoirs. Acta hydrologica slovacica 14/2, 402–413 s.
21. **KUČERA J., VOJTOVÁ J., VOJTA J., 2006:** Přírodní památka Hostivické rybníky. Český svaz ochránců přírody, Hostivice, 72 s. ISBN 80-239-7554-4.
22. **KŘIKAVOVÁ L., 2009:** Interpolace bodových dat v GIS. České vysoké učení technické v Praze, 55 s.
23. **LIN Y. T., SCHUETTEL C. C., WU C. H., FRATTA D., 2009:** A combined acoustic and electromagnetic wave-based techniques for bathymetry and subbottom profiling in shallow waters. Journal of Applied Geophysics, 203–218 s.
24. **MOORE I. D., GRAYSON R. B., LADSON A. R., 1991:** Digital terrain modeling: A review of hydrological, geomorphological, and ecological applications. Hydrological Processes, 3–30 s.
25. **Nováček J., 1997:** Péče o rybníky a jejich zařízení. Institut výchovy a vzdělání Ministerstva zemědělství ČR, Praha, 44 s.
26. **ORŠULÁK T., PACINA J., 2010:** Centrum pro virtuální realitu a modelování krajiny. Centrum digitálních služeb MINO, Ústí nad Labem.
27. **PAVLICA J., 1964:** Malé vodní nádrže a rybníky. STNL, Praha, 200 s.
28. **PERALVO M., 2002:** Influence of DEM interpolation methods in Drainage Analysis. GIS in Water Resources.
29. **SLAVÍK L., 2000:** Biotechnické úpravy v krajině. Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, Fakulta životního prostředí, Ústí nad Labem, 225 s. ISBN 80-7044-310-3.
30. **SMOLÍK J., 2014:** Technickobezpečnostní dohled nad vodními díly: vybrané informace pro vodoprávní úřady a vlastníky vodních děl. Ministerstvo zemědělství, Úsek vodního hospodářství, Praha, 71 s. ISBN 978-80-7434-160-1.

31. **ŠÁLEK J., 1996:** Malé vodní nádrže v životním prostředí. VŠB-Technická univerzita, Ostrava, 141 s. ISBN 80-7078-370-2.
32. **ŠERCL P., 2008:** Hodnocení metod odhadu plošných srážek. Meteorologické zprávy 2, Praha, 33-34 s.
33. **SCHMITT T., MITCHELL N. C., RAMSAY A. T. S., 2008:** Characterizing uncertainties for quantifying bathymetry change between time-separated multibeam echo-sounder surveys. Continental Shelf Research, 1166-1176 s.
34. **ŠOBR M., 2003:** Nová batymetrická měření šumavských jezer. Geomorfologický sborník 2, 115-120 s.
35. **TLAPÁK V. A HERYNEK J., 2002:** Malé vodní nádrže. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno, 198 s. ISBN 80-7157-635-2
36. **VRÁNA K. A BERAN J., 2008:** Rybníky a účelové nádrže. Česká technika - nakladatelství ČVUT, Praha, 150 s. ISBN 978-80-01-04002-7.
37. **VOJTĚCH V., 1996:** Metodická příručka pro obnovu a odbahňování rybníků a předzdrží. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha, 31 s. ISBN 80-859-0016-5.
38. **VOTRUBA L. A BROŽA V., 1980:** Hospodaření s vodou v nádržích. SNTL, Praha, 443 s.
39. **VISBECK M., 2002:** Deep Velocity Profiling Using Lowered Acoustic Doppler Current Profilers: Bottom Track and Inverse Solutions. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology 19, 794–807 s.
40. **WATSON D. F., PHILIP G. M., 1985:** A Refinement of Inverse Distance Weighted Interpolation. Geoprocessing 2: 315–327 s.
41. **WOOD J. D., 1996:** The geomorphological characterisation of Digital Elevation Models. University of Leicester, UK, 456 s.

Internetové zdroje

URL 1: GEOPORTAL GOV, 2014: Copyright CENIA [cit. 1. 2. 2016], dostupné z: <http://geoportal.gov.cz/web/guest/map>

URL 2: GEOPORTAL GOV, 2014: Copyright CENIA [cit. 1. 2. 2016], dostupné z: <http://geoportal.gov.cz/web/guest/map>

Přílohy

Tabulka s výsledky přesnosti jednotlivých interpolací za rok 2015	49
Tabulka s výsledky přesnosti jednotlivých interpolací za rok 2016	50
Tabulka s výsledky přesnosti jednotlivých interpolací za rok 2015	51

10 Přílohy

Příloha č. 1 – Tabulka s výsledky přesnosti jednotlivých interpolací za rok 2015

(Autor, 2016)

Naměřené body		IDW	Kriging	Spline	Topo to Raster	Natural	Trend
1.	349,21	349,24	349,25	349,2	349,18	349,19	349,72
2.	349,27	349,25	349,18	349,25	349,19	349,19	349,66
3.	348,41	348,36	348,37	348,37	348,39	348,4	349,74
4.	348,53	348,62	348,64	348,62	348,68	348,65	349,88
5.	348,59	348,58	348,62	348,56	348,63	348,64	349,92
6.	349,18	349,17	349,18	349,19	349,23	349,24	350
7.	349,06	349,09	349,09	349,08	349,09	349,08	349,92
8.	348,78	348,99	349,09	348,89	348,96	348,94	350,01
9.	349,16	349,16	349,14	349,17	349,13	349,17	350,13
10.	349,27	349,27	349,23	349,26	349,29	349,27	349,6
11.	348,55	348,55	348,55	348,6	348,56	348,57	349,76
12.	348,95	348,96	348,95	349,03	348,97	348,97	349,73
13.	349,28	349,28	349,28	349,28	349,3	349,28	350
14.	349,28	349,27	349,28	349,28	349,29	349,28	349,9
15.	348,72	348,72	348,72	348,78	348,72	348,72	349,6
16.	349,27	349,27	349,24	349,27	349,32	349,31	349,51
17.	348,86	348,87	348,85	349,27	348,87	348,87	349,53
18.	349,04	349,25	349,25	349,26	349,22	349,23	349,39
19.	348,8	348,75	348,77	348,75	348,74	348,74	349,46
20.	348,9	348,95	348,94	348,95	348,97	348,97	349,65
21.	349,27	349,27	349,25	349,26	349,28	349,29	349,25
22.	349,27	349,27	349,26	349,26	349,27	349,26	349,16
23.	348,94	348,96	348,98	348,94	348,95	348,95	349,28
24.	349,27	349,27	349,27	349,27	349,27	349,27	349,33
25.	349,28	349,28	349,28	349,27	349,29	349,3	349,45
26.	349,27	349,27	349,27	349,26	349,28	349,28	349,59
27.	349,27	349,27	349,27	349,25	349,27	349,29	349,05
28.	349,19	349,2	349,22	349,16	349,19	349,19	348,99
29.	349,21	349,21	349,2	349,22	349,21	349,21	349,06
30.	349,27	349,27	349,27	349,27	349,28	349,29	349,16
31.	349,28	349,28	349,28	349,28	349,28	349,29	349,03

Příloha č. 2 – Tabulka s výsledky přesnosti jednotlivých interpolací za rok 2016
(Autor, 2016)

Naměřené body		IDW	Kriging	Spline	Topo to Raster	Natural	Trend
1.	348,98	348,98	348,98	348,98	349,02	348,99	348,98
2.	348,7	348,65	348,66	348,57	348,63	348,65	349,01
3.	349,03	349,10	349,12	349,09	349,11	349,09	349,12
4.	349,51	349,55	349,47	349,54	349,51	349,56	349,28
5.	349,31	349,41	349,59	349,54	349,57	349,67	349,28
6.	348,55	348,54	348,52	348,52	348,52	348,54	349,11
7.	349,1	349,10	349,11	349,10	349,11	349,10	349,27
8.	348,92	348,95	348,96	348,92	348,93	348,92	349,08
9.	348,91	348,92	348,93	348,91	348,92	348,92	349,22
10.	349,24	349,24	349,23	349,24	349,24	349,24	349,37
11.	349,1	349,12	349,16	349,04	349,16	349,11	349,19
12.	348,86	348,86	348,85	348,86	348,86	348,86	349,29
13.	349,07	349,07	349,07	349,06	349,07	349,06	349,38
14.	349,38	349,38	349,39	349,41	349,40	349,38	349,46
15.	348,86	348,86	348,86	348,73	348,87	348,87	349,29
16.	348,89	348,88	348,87	348,88	348,88	348,88	349,39
17.	349,1	349,09	349,10	349,08	349,10	349,09	349,48
18.	349,1	349,11	349,11	349,09	349,12	349,10	349,28
19.	348,98	348,98	349,00	348,97	349,00	348,98	349,39
20.	349,44	349,45	349,45	349,45	349,47	349,45	349,53
21.	349,4	349,40	349,41	349,43	349,42	349,40	349,57
22.	349,39	349,40	349,41	349,42	349,42	349,41	349,32
23.	349,39	349,40	349,39	349,40	349,41	349,40	349,29
24.	349,08	349,08	349,09	349,09	349,09	349,09	349,38
25.	349,54	349,53	349,52	349,52	349,51	349,53	349,46
26.	349,94	349,96	349,93	349,93	349,93	349,95	349,60
27.	349,3	349,31	349,32	349,29	349,32	349,31	349,36
28.	349,34	349,34	349,35	349,38	349,35	349,35	349,42
29.	349,19	349,22	349,22	349,20	349,24	349,22	349,43
30.	349,71	349,70	349,70	349,66	349,72	349,70	349,49
31.	349,59	349,59	349,59	349,62	349,58	349,58	349,43



Příloha č. 3 – Průběh měření s přístrojem RiverSurveyor M9 uloženém v kajaku
(Autor, 2016)