

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

Katedra vodního hospodářství a environmentálního
modelování



**Batymetrie soustavy nádrží na Říčanském
potoce**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. Václav Hradilek

Diplomant: Bc. Jan Burda

2018

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Jan Burda

Regionální environmentální správa

Název práce

Batymetrie soustavy nádrží na Říčanském potoce

Název anglicky

Bathymetry of water reservoirs system on the Říčanský brook

Cíle práce

Zaměření hloubek a vytvoření DMT dna na soustavě nádrží ležících na Říčanském potoce. Data budou sbírána pomocí unikátní technologie, kterou disponuje KVHEM. Výsledky budou statisticky zhodnoceny a následně budou dle nejlepších statistických výsledků vygenerovány k jednotlivým nádržím jejich skutečné objemy zadržené vody. V případě dostupných historických dat budou tato data porovnána s daty naměřenými. Výsledkem bude popsání skutečných objemů vody zadržovaných na MVN na Říčanském potoce.

Metodika

V teoretické části bude student navazovat na svou BP, která se tématem Batymetrie již zabývala. Bude zde kladen důraz na zahraniční literaturu a na nové vědecké poznatky z tohoto oboru.

V praktické části se student zaměří nejprve na sběr dat. Sběr dat bude provádět přístrojovým vybavením dostupným na KVHEM. Díky velkému objemu sbíraných dat a to především díky většímu počtu nádrží, bude tento úkol časově náročný. Dále bude potřeba zaměřit břehovou linii. Následně bude student pomocí programu ArcGIS data zpracovávat do podoby DMT.

Doporučený rozsah práce

40

Klíčová slova

Batymetrie, echosounder, malé vodní nádrže, DMT

Doporučené zdroje informací

- Baltsavias, E. P. (1999). Airborne laser scanning: Basic relations and formulas. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54(2-3), 199-214. Elsevier Science Publishers B.V.
- Colbo, K., Ross, T., Brown, C., & Weber, T. (2014). A review of oceanographic applications of water column data from multibeam echosounders. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 145, 41-56. Academic Press.
- Li, J., & Heap, A. D. (2014). Spatial interpolation methods applied in the environmental sciences: A review. *Environmental Modelling & Software*, 53, 173-189. Elsevier Ltd. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815213003113>
-

Předběžný termín obhajoby

2017/18 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Václav Hradílek

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 27. 11. 2017

doc. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 29. 11. 2017

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 18. 04. 2018

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci nazvanou "Batymetrie soustavy nádrží na Říčanském potoce" vypracoval samostatně pod vedením Ing. Václava Hradilka. Jako autor této práce dále prohlašuji, že jsem použil pouze materiály, které jsem uvedl v seznamu literatury a zdrojů.

V Praze dne 18. 4. 2018

.....

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval svému vedoucímu práce Ing. Václavu Hradilkovi za věnovaný čas, vstřícný přístup, cenné rady, trpělivost a pomoc při měření. Dále bych samozřejmě poděkoval celé mé rodině, přítelkyni i nejbližšímu okolí za jejich trpělivost a podporu během mého studia.

Abstrakt

Hlavním cílem této práce je batymetrické zaměření malých vodních nádrží ležících na Říčanském potoce pomocí měřicího přístroje RiverSurveyor M9, a následné vyhodnocení naměřených hloubek a stanovení jednotlivých akumulací malých vodních nádrží. Celkem bylo zaměřeno dvanáct nádrží. Lítožnické rybníky, které na toku leží také, nemohly být v této práci řešeny kvůli právě probíhající revitalizaci. Dílčím cílem je následné zpracování naměřených hodnot a tvorba digitálního modelu terénu v programu ArcGIS, za pomoci interpolační funkce Spline with Tension.

Teoretická část práce obecně shrnuje malé vodní nádrže, jejich zanášení a odbahňování. Následně pak batymetrii a možné metody jejího měření. Zároveň jsou popsány interpolační metody a pojem digitální model terénu. Uveden je také popis samotného měřicího přístroje RiverSurveyor M9. A v neposlední řadě je charakterizováno okolí Říčanského potoka a jednotlivé nádrže.

V praktické části je vylíčen postup sběru a zpracování naměřených dat a tvorba digitálního modelu terénu interpolační metodou Spline with Tension. Přesnost digitálních modelů terénu dna nádrží je dána průměrnou hodnotou RMSE 0,207 m. Z DMT dna byly vygenerovány objemy a porovnány s objemy uvedenými v manipulačních rádech. Dle výsledků lze uvést, že nádrže po revitalizaci byly méně zanesené sedimenty.

Z daného měření vyplývá, že celkový objem měřených nádrží na povodí Říčanského potoka je $596\,291\text{ m}^3$. Objem zároveň reprezentuje množství vody, které je dané povodí aktuálně schopné zadržet prostřednictvím MVN. Naopak celkový objem z manipulačních rádu je $745\,189\text{ m}^3$. Lze tedy předpokládat, že retenční objem vodních nádrží na povodí Říčanského potoka klesl o $148\,898\text{ m}^3$.

Klíčová slova

Batymetrie, echosounder, malé vodní nádrže, digitální model terénu

Abstract

The main aim of this diploma thesis is to bathymetrically measure small water reservoirs (SWR) located on a Říčany brook using RiverSurveyor M9, and to evaluate measured depths and to determinate individual accumulations of the small water reservoirs. In total, twelve reservoirs were measured. Lítóžnice ponds, which are also located on this brook, could not be discussed in this thesis because of an ongoing revitalization. The partial aim is to process the measured figures and to create a digital terrain model in ArcGIS using the Spline with Tension interpolation function.

The theoretical part summaries small water reservoirs, their sedimentation and sediment removal. It also summaries the bathymetry and possible methods of its measurement. Simultaneously, there are described interpolation methods and a digital terrain model term. Also, this part provides a description of the RiverSurveyor M9. Last but not least, there are characterised the individual reservoirs and the surroundings of Říčany brook.

The process of collecting and processing the measured data and a creation of digital terrain model using the Spline interpolation method with Tension is defined in the practical part of this diploma thesis.

The precision of the digital terrain model of the bottom of the reservoirs is given by an average RMSE of 0,207 m. Volumes, which were generated from the DMT, were compared with the volumes stated in a handling regulations. According to the results, the reservoirs were after revitalization less sediment.

This measurement shows that the total volume of the measured reservoirs on the Říčany brook is 596 291 m³. Also, the volume shows the amount of water what is currently capable to hold. On the contrary, the total capacity of SWEs listed in in a handling regulations is 745.189 m³. It can be assumed that the volume of SWRs on river basin of Říčany brook has fallen by 148 898 m³.

Keywords

Bathymetry, echosounder, small water reservoirs, digital terrain model

OBSAH

OBSAH.....	8
1 Úvod.....	10
2 Cíle práce	12
3 Literární rešerše	13
3.1 Malé vodní nádrže	13
3.1.1 Rozdělení podle způsobu přívodu vody	14
3.1.2 Historie	15
3.1.3 Malé vodní nádrže v krajině.....	16
3.2 Akumulace a retence vody	19
3.2.1 Zatopená plocha	20
3.3 Zanášení nádrží.....	20
3.3.1 Těžba sedimentu.....	22
3.4 Tachymetrie	24
3.5 Batymetrie	25
3.6 RiverSurveyor M9	27
3.7 Digitální model terénu	27
3.7.1 Zdroje dat pro DMT	28
3.7.2 Sběr dat pro DMT	29
3.8 Interpolace	30
3.8.1 Interpolační metody	31
4 Charakteristika zájmového lokality	35
5 Metodika	41
5.1 Batymetrické měření	41
5.2 Zpracování dat	43
6 Výsledky	45

7	Diskuze	56
8	Závěr	58
9	Seznam použité literatury a zdrojů	59
9.1	Literární zdroje:	59
9.2	Projektové dokumentace	64
9.3	Internetové zdroje	65
10	Seznamy.....	66
10.1	Seznam obrázků.....	66
10.2	Seznam tabulek	66

1 Úvod

Malé vodní nádrže jsou důležitou součástí naší kulturní krajiny, kde příznivě ovlivňují ekologickou stabilitu. V krajině malé vodní nádrže plní několik významných funkcí jako je například funkce estetická, ochranná, zásobní, rekreační, rybochovná atd. Zásadou malých vodních nádrží je zvyšována zásoba vody v krajině a případně i mohou v některých případech příznivě ovlivňovat akumulaci podzemních vod. Eventuálně mohou průtočné nádrže značně vylepšovat jakost tekoucích vod. V neposlední řadě lze také nádrže využívat jako biotopy vodní flory a fauny. Přesto jsou v mnoha případech nádrže víceúčelové, které jsou při správném provozování schopné přispívat k tvorbě a ochraně životního prostředí.

Největším a zároveň nejznámějším problémem malých vodních nádrží je bezesporu jejich zanášení, které je způsobeno například erozí koryta nad nádrží, abrazí břehů samotné nádrže, smyvem zemědělské půdy atd. Navzdory tomu všemu je zanášení považováno za přirozený jev. Stejně tak je přirozeným jevem následná těžba sedimentu a jeho navrácení na zemědělskou půdu. Jedním z nepříznivých vlivů způsobeným zanášením je hlavně zmenšování akumulačního prostoru nádrže. Dostatečný objem vodních nádrží je velice důležitý, protože zabezpečuje vyšší zásoby vody v krajině. Stejně tak se nádrž, která není zanesena, lépe vypořádává s velkými vodami. Dochází k tzv. zploštění povodňové vlny. Problém zanášení se týká v podstatě všech malých vodních nádrží v České republice. Naneštěstí o danou problematiku nebyl dlouhodobě projevován zájem, což mělo za následek nevyhovující stav malých vodních nádrží. Na našem území je většina nádrží zanesena sedimentem v takové míře, že nemůže plnit svou prvotní funkci. Naštěstí se již v současné zanášení malých vodních nádrží dostává do popředí zájmů institucí a veřejnosti.

Právě problém zanášení sedimentem byl podnětem pro vznik této diplomové práce. Jelikož bylo nutné zaměřit nádrže na Říčanském potoce. Batymetrické měření vodních nádrží je vhodným způsobem jak vyhodnotit jejich akumulační schopnosti. Z výsledného měření se tedy určí kapacita těchto nádrží. Jedná se nádrže V Rohožníku, Retenční nádrž Říčanka (současně s dosazovací nádrží), Cukrovarský rybník, Nadýmač I, Nadýmač II, Velká Vodice, Návesní rybník, Mlýnský rybník, Marvánek, Rozpakov a Panský rybník. Tři Lítožnické rybníky, které také leží na

Říčanském potoce, nebylo možné zaměřit. V současné době na jejich místě probíhá revitalizace, kdy proběhne přestavba třech nádrží na jednu.

Pro batymetrii vodních nádrží byl použit echosounder RiverSurveyor M9, který se v současnosti řadí mezi nejmodernějších přístroje daného typu. Měření tímto přístrojem stále není v České republice tolik běžné. Přesto už byl několikrát v našich podmínkách použit, kdy byla prokázána vysoká míra přesnosti. Přístroj byl vložen do speciálně upraveného kajaku. Který vzhledem k jeho malým rozměrům a tím i nízkému ponoru lze použít i pro měření velmi malých hloubek (Hradilek a kol. 2015). Pro zpracování dat byl použit program ArcGIS. Kde byl zpracován digitální model terénu interpolační metodou Spline with Tension.

2 Cíle práce

Primárním cílem této práce je batymetrické zaměření soustavy malých vodních nádrží na povodí Říčanského potoka. Dále vyhodnocení hloubek, tvorba digitálního modelu terénu a určení celkové akumulace u jednotlivých nádrží s porovnáním k stavu uvedenému v manipulačních řádech.

Neméně důležitým cílem je zpracování rešerše. Teoretická část se zaměřuje na obecné shrnutí o malých vodních nádržích, jejich funkci, zanášení atd. Dále se rešerše věnuje samotné batymetrii, která je v práci obecně popsána a také jsou uvedeny příklady jejího možného využití v praxi. Jelikož je pro výsledek důležitý správný výběr interpolační metody v programu ArcGIS, věnuje se práce také rozбором jednotlivých metod. Stejně tak je popsán i digitální model terénu, nebo například přístroj RiverSurveyor M9, kterým bylo měření realizováno. Není opomenut ani popis zájmové lokality a jednotlivých nádrží. A v neposlední řadě je sepsán stručný metodický postup při měření nádrží pomocí přístroje.

V praktické části bude již rozebrán zmiňovaný primární úkol této práce, kterým je batymetrické zaměření nádrží pomocí echosounderu. Naměřená data byla zpracována v programu ArcGIS Desktop. A digitální model terénu vytvořen interpolační metodou Spline with Tension, která je popsána v teoretické části. Postup při zpracování naměřených dat a tvorba digitálního modelu je stručně popsán v metodice. Následují výsledky, diskuze a závěr.

3 Literární rešerše

3.1 Malé vodní nádrže

Malé vodní nádrže (dále jen MVN) jsou vymezeny dle normy ČSN 75 2410 jako vodní útvar, který vzniká akumulací vody. Norma platí pro navrhování, výstavbu, rekonstrukci a provoz vodních nádrží (i suchých nádrží) se sypanou hrází, 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 přečerpávacích vodních elektráren, odkaliště a nádrže s přítokem a odtokem propustným horninovým prostředím (Slavík, 2000).

Rozdělení podle funkce:

- zásobní nádrže: vodárenské, kompenzační, průmyslové, aktivizační, závlahové, energetické, retardační
- ochranné (retenční) nádrže: retenční nádrže s malým zásobním prostorem, protierozní, dešťové, vsakovací, nárazové, suché poldry

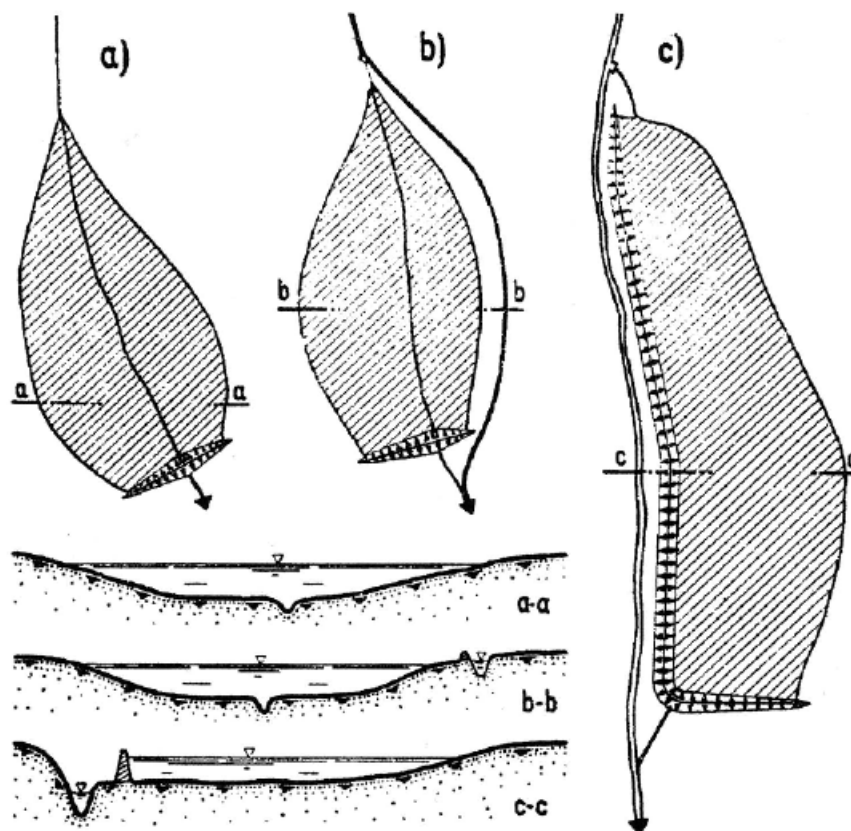
- nádrže upravující vlastnosti vody: usazovací, aerobní biologické, anaerobní biologické, chladící, přehřívací, dočišťovací;
- rybochovné nádrže: výtěrové a třecí rybníky, hlavní rybníky, sádky, plůdkové výtažníky, komorové rybníky, speciální komory, karanténní rybníky;
- hospodářské nádrže: protipožární, pro pěstování vodních rostlin, pro chov drůbeže, napájecí a plavící, výtopové drže;
- speciální nádrže: závlahové vodojemy, vyrovnávací, přečerpávací, recirkulační, rozdělovací;
- asanační nádrže: záchytné, skladovací, laguny, otevřeně vyhnívací, rekultivační;
- rekreační: přírodní koupaliště pro plavání a vodní sporty;
- krajinnotvorné nádrže a nádrže v obytné zástavbě: hydromeliorační, návesní rybníčky, umělé mokřady, okrasné;
- nádrže na ochranu fauny a flory (Vrána a Beran, 2008).

3.1.1 Rozdělení podle způsobu přívodu vody

Malé vodní nádrže lze dělit také podle způsobu přívodu vody. Zdrojů vody může být hned několik například pramen, potok, řeka nebo srážková voda. Nádrže zásobené dešťovou vodou se nejčastěji realizují s menší rozlohou a to v těžko přístupných lokalitách se strmými svahy. Aby u daných nádrží byla zajištěna dostatečná kapacita, budují se nádrže hlubší. Pramenné nádrže jsou zásobeny pomocí podzemních pramenů, které plní nádrže ze dna nádrže případně ze svahů nádrže. Voda, která je z podzemních pramenů, je velmi čistá a chladná a proto je příhodná k chovu studenovodních ryb (Tlapák a Herynek, 2002).

Nádrže říční případně potoční nedostatkem vody netrpí. Nádrže lze rozlišit na průtočné nebo boční nádrže. Průtočné nádrže jsou z pravidla realizována přímo na toku, nebo případně s obtokovým kanálem. Velkou výhodou průtočných nádrží jsou bezpochyby nízké náklady potřebné pro jejich realizaci. Na druhou stranu je nesporným negativem dané nádrže, že všechna voda z toku musí následně projít nádrží. Z toho důvodu jsou nádrže poměrně často a snadno zanášeny (Vrána a Beran 2005).

Opakem jsou nádrže boční, které jsou vedle toku s vlastním napájecím kanálem. Nádrže boční jsou odděleny od vodního toku bočními hrázemi. Hráze nádrže jsou běžně poměrně široké, s čímž i souvisí vysoká cena pro jejich realizaci. Nádrže jsou zpravidla neprůtočné (Vrána a Beran 2005). Z toho důvodu lze průtoky nádrží regulovat a tím i následně snižovat možné zanášení či kolísání hladiny. Průtočné nádrže možnost regulace nemají, a proto musí být vybaveny bezpečnostním přelivem (Tlapák a Herynek, 2002).



Obr. č. 1: Typy průtočných nádrží: a) průtočná, b) průtočná s obtokovým kanálem, c) boční (Tlapák a Herynek, 2002).

3.1.2 Historie

Vodní nádrže mají ve světě značně bohatou historii. Z nalezených dokumentů sahá historie MVN až do roku 2200 př. n. l. Nacházely se na území Číny, kde plnily převážně rybochovnou funkci (Vrána a Beran, 2008).

Další zmínkou byly záznamy z období 2000 let př. n. l., kde se hovoří o retenčních protipovodňových nádržích v Egyptě a v Mezopotámii. Zhruba 600 let př. n. l. byl zaznamenán velký rozmach výstavby nádrží podél řek Tigris a Eufrat a na ostrově

Cejlon 500 let př. n. l. Do dnešních dní v Indii slouží asi 50 000 vodních nádrží ze starověku pro protipovodňovou ochranu.

Na našem území jsou zmínky o prvních rybnících již před r. 1115. Rybníky v té době převážně patřily církvi k rybochovným účelům. Ale nedlouho poté začala budovat rybníky šlechta, nebo i města. Rybníky začaly být využívány i k jiným účelům např. k provozu pil a mlýnů atd. Skutečně velký rozmach rybníků na našem území začal až za vlády Karla IV. Za jehož vlády byl zbudován Velký rybník, který je dnes již znám jako Máchovo jezero (Smolík, 2014).

V šedesátých letech minulého století, stoupá potřeba vody, následkem čehož se začalo budovat více vodních děl. Nejvíce se začaly budovat velké vodní nádrže, které akumulovaly základní množství vody. Naneštěstí velké vodní nádrže nemohly uspokojivě zásobit vodou menší odběratele, kteří byli plošně rozmístěni po okolí. Navzdory tomu že síť potoků a říček byla poměrně hustá, nebyla dostačující pro obstarání potřebného vody. Nedostatek vody byl způsoben také tím, že na našem území mají toky značně rozkolísané průtoky. Z toho důvodu se na drobných tocích začali zřizovat malé vodní nádrže a tím bylo vyrovnání rozkolísaných průtoků zajištěno (Pavlica, 1964).

V dnešní době je v České republice více jak 25 000 funkčních MVN. Značná většina těchto nádrží jsou historické rybníky. V posledním desetiletí bylo na území Česka zbudováno jen několik set MVN. V současnosti stále probíhá jak zřizování nových, tak obnova i oprava stávajících (Smolík, 2014).

V naší historii měly vodní nádrže vždy důležitou úlohu a to nejen rybochovnou, ale i krajínotvornou a rekreační (Vojtěch, 1996). Účel nádrží se s postupem času měnil a rozšiřoval se obzvláště na vodárenské využití, odběr užitkových vod, chov ryb apod. (Smolík, 2014). Se zohledněním naší geografické polohy měly nádrže také retenční funkci, která zlepšovala odtokové poměry a kvalitu protékajících vod. Retenční nádrže také zachycovaly půdní částice, které byly následkem eroze smývané z polí, lesů a luk (Vojtěch, 1996).

3.1.3 Malé vodní nádrže v krajině

MVN utvářejí krajinu a to jak z estetického hlediska tak z klimatického. Příhodné je osázet vegetací blízké okolí nádrží a docílit tak harmonického celku.

V městské zástavbě vodní nádrže zastupují přírodní prvek, který zjemňuje tvrdost zastavěného prostředí. Další možností je budování okrasných nádrží s vodní faunou a flórou v parcích, nebo na jiných rozlehlějších zelených plochách (Šálek, 1996).

MVN jsou významným prvkem ekologické stability krajiny. Zásadní mírou přispívají k dosažení rovnovážného stavu mezi jakostí povrchové vody, kapacitou vodních zdrojů a nároků uživatelů, kteří se nachází v daném krajinném prostoru. (Slavík, 2000).

Nádrže reprezentují rysy hydrologické krajiny s charakteristikami definovanými technickými kritérii. Mnoho těchto kritérií má vliv na kvalitu vody. Provoz vodních nádrží byl historicky určován požadavkem na kontrolu množství vody, životní prostředí a kvalita vody byly druhotné úvahy.

Sledování vstupu živin, sedimentů a organického materiálu, které jsou příčinou eutrofizace, bylo obtížné při předešlých přístupech k řízení sledovat. Prováděla se nákladná technická řešení problémů místo toho, aby se řešili příčiny jejich vzniku. Upřednostňovaly se přístupy založené na celých povodích a aplikované na menších přírodních jezerech.

Aby byla úspěšná budoucí iniciativa řízení, je nutné integrovat přístup a přistupovat k nádržím jako k integrální součásti povodí. Porozumění mezi technickou stránkou a kvalitou vody podporuje rozvoj a efektivní řízení přístupu, které se zabývají otázkami jak životního prostředí a kvalitou vody tak množstvím vody (Kennedy, 2005)

Pro každý účel nelze vodní nádrže budovat samostatně, z toho důvodu jsou budovány víceúčelově. Jednou ze základních funkcí nádrží je pozměňovat průtoky v toku případně vodu hromadit tak, aby byla užitečnější pro člověka a chránila ho před možnými následky při povodních nebo naopak při období sucha. (Jůva a kol. 1980).

Vodní nádrže se vyskytují v různém prostředí. Jestliže je nahlíženo na zadržování vody v krajině dají se nádrže rozdělit na polní, luční a lesní. Nádrže polní jsou budovány převážně v blízkosti zemědělských ploch. Polní nádrže jsou ohrožovány splavováním půdy za dešťů a při tání sněhu. Může tedy snadno docházet k jejich zanášení a zarůstání vegetací. Na druhou stranu takovým lučním nádržím většinou zanášení nečistotami nehrozí. Jsou totiž umístěny ve středu luk a pastvin. Jsou tedy chráněny okolní vegetací. Lesní nádrže jsou zase chráněny stromy, před možným splachem nečistot. Nádrže jsou lesem zastiňovány a tím mají nižší teplotu. Dané nádrže mají poměrně vysokou kvalitu vody. (Tlapák a kol. 2002).

MVN jsou mnohdy spojeny s mokřady, které doplňují jejich některé funkce. Každá nově zbudovaná nádrž přispívá do koloběhu vody v krajině a může zvýšit ekologickou stabilitu v krajině (Šálek, 2000).

Vodní nádrže významně napomáhají k ochraně životního prostředí a jsou neoddělitelnou součástí naší krajiny. Dále například zásadně přispívají ke zlepšení kvality vody v povodí. Vodní nádrže mají také mimořádný význam jako základní zdroj vody v regionech se slabším výskytem jiného vodního zdroje. Budování MVN je jedním z prostředků vodního hospodářství jak řešit vlastní problémy, ale stejně tak i otázky spojené s ochranou životního prostředí. Výstavba nádrží je, díky své stavební jednoduchosti, možná téměř všude, kde je přítomen alespoň malý zdroj vody. Je nezbytné, aby voda byla zadržena v místech, kde spadne. Pokud to není realizovatelné, mělo by být možné vodu zadržet na začátku v malých povodích. Proto je výhodné, z vodohospodářského hlediska, budovat nádrže v malých povodích, které leží v pramenných oblastech řek ve vyšších nadmořských výškách, nebo v dílčích povodích středních a nízkých poloh (Jonáš a kol. 1990).

Retenční funkce nádrží je na první pohled zřejmá. Retenční kapacita se totiž odvíjí od rozdílu mezi aktuální hladinou vody a nejvyšší možnou hladinou, při které už dochází k přetečení nádrže. V našich podmínkách jsou nádrže napájeny obvykle přítoky, takže je hladina převážně závislá na množství přitékající vody.

Retenční význam vodních nádrží není zanedbatelný. Moc dobře se to dá vypočítat z povodní z roku 2002 na Třeboňsku, kde tamní rybníky zadržely přibližně 110 – 140 m³ vody, což mělo významný efekt povodňové vlny na Vltavě. Tím bylo zřejmě zabráněno ještě větším škodám, které mohly vzniknout na následky povodní (Lhotský, 2006).

Retenční kapacita nádrží je závislá na mnoha faktorech. Retenční kapacita klesá například zanesením sedimenty. Proto je vhodné provádět u nádrží odbahnění. Retence vody je ideální v případě, že je kapacita co největší, což znamená, že je stálá hladina co nejnižší pod hladinou maximálního napuštění (Lhotský, 2006).

Krajinný vodní režim je všudypřítomně negativně ovlivňován převážně antropogenní činností, která z pravidla mění charakter zemského povrchu. V ČR je vodní režim ovlivňován zvláště nevhodným hospodařením na zemědělské půdě. Za zmínku stojí např. nevhodné úpravy vodních toků, nádrží, niv, ale také hlavně vysoký nárůst

nepropustných ploch. Všechny zmíněné činnosti negativně ovlivňují krajinu a její schopnost zadržet vodu v době velkých srážek a naopak při sušších obdobích vodu uvolňovat (Fanta a Petřík, 2014).

Nedostatečná retenční kapacita vody v krajině, má ve svém důsledku vliv na klimatické změny. Jakými mohou být extrémy v podobě velkých srážek a naopak bezsrážková období, extrémy teplotní a další klimatické výkyvy (Fanta a Petřík, 2014). V poslední době je patrné, že regenerační potenciál naší krajiny klesá. Jelikož českou krajinu v posledních 60 letech negativně ovlivňovala technická a ekonomická praktika bez ohledu na ekologické zásady. Tím došlo ke vzniku zemědělské krajiny bez mezí, volné zeleně, polních teras a mokřadů, která nemá schopnost nadměrné srážky zadržet a omezit povrchový odtok (Šrám, 2014).

Středoevropská krajina nemá k dispozici potřebný retenční potenciál, který by si poradil s velkým množstvím srážek. A naše je na tom ještě o něco hůře a retenčním potenciálem disponuje velmi málo (Dvořáková 2014). Nejlepší možností, jak se vypořádat s extrémním počasím, je navyšování retenčního prostoru v nádržích, aby zvládly vyšší srážkovou událost.

3.2 Akumulace a retenční vody

Akumulace vody označuje její zadržení a následně také využívání. Akumulační prostor se nachází v nádrži a představuje její hlavní hospodářský prostor, který může být dle potřeby kdykoliv vypuštěn. Je plně ovládan výpustním zařízením. Nádrž tedy může být dle potřeby vypouštěna např. při odbahňování, revitalizaci, výlovu rybníka atd. Akumulační prostor lze také vypustit v případě hrozící povodně (Pokorný, 2009).

Retenční znamená schopnost zadržet vodu a je dána rozdílem mezi odtokem a přítokem vody. Retenční je neoddelitelnou součástí krajiny, která jí chrání před povodněmi (Štěpánek 1981). Retenční lze rozdělit na umělou a přírodní. Retenční se dá také pochopit jako množství srážek na celé povodí, které nemůže odtéct v podobě odtoku. Lze to tedy chápat jako rozdíl mezi srážkami a odtokem (Gergorich a kol. 2001).

Retenční prostor se v nádrži nachází nad prostorem akumulacím. Daný prostor lze rozdělit na ovladatelný a neovladatelný. Hlavním problémem české krajiny je v prostoru pro retenční vody. Je totiž výjimkou, že by byl celý prostor nádrže vyhrazen pouze pro retenční. Retenční prostor lze zvýšit např. revitalizací, odstraněním

sedimentů, nebo rekonstrukcí či stavbou nového vodního díla. Dostatečně velký retenční prostor má následně vyšší předpoklad pro pohlcení povodňové vlny (Pokorný, 2009).

3.2.1 Zatopená plocha

Zatopenou plochu malých vodních nádrží lze rozdělit vertikálně na tyto části.

Ochranný prostor nádrže neboli také retenční prostor, který se rozděluje na ovladatelný a neovladatelný prostor.

Neovladatelný ochranný prostor nádrže je ochranný prostor 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.

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

Prostor stálého nadržení nebo také akumulací prostor. 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).

3.3 Zanášení nádrží

Stejně tak jako říční jezera mají i MVN tendenci zanikat přechodem do mokřadu (Duras a kol. 2015). U všech stojatých vod dochází k postupnému vývoji, při kterém tyto vody přecházejí z oligotrofního typu (chudé na živiny) do eutrofního typu (bohaté na živiny). Tento proces je označován jako stárnutí nádrže. Při daném procesu dochází zároveň ke změně morfologie nádrže a v důsledku zanášení dochází postupnému omezování plochy vodní hladiny a úbytku akumulací objemu (Sládečková a Sládeček, 1997). Přesto je zanášení nádrží považováno za přirozený jev. Stejně tak by mělo být přirozené jejich následné odbahnění a zpětné navrácení vytěženého sedimentu na zemědělské pozemky (Vrána a Beran, 2008).

Síla zanášení je ovlivňována mnoha faktory. Nejčastějšími faktory jsou doba zdržení, podíl objemu nádrže k ploše povodí, povaha sedimentu, forma manipulace na nádrži,

vodní eroze a její intenzita a v neposlední řadě využití povodí (Batuca a Jordaan, 2000).

V MVN vzniká zanášením vrstva dnových sedimentů skládající se z organických a anorganických látek. Látky organické jsou složeny z pozůstatků živočichů a rostlin, které pochází přímo z nádrže, nebo z přítoku nádrží (Adámek a kol. 2008). Látky anorganické jsou tvořeny primárně produkty eroze z povodí, které jsou splavovány ze zemědělských ploch a následně přítokem dopraveny do nádrže (Šálek a kol. 1989).

Podle normy ČSN 75 2410 existuje několik možných způsobů zanášení nádrží.

A sice:

- 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 níže položená místa
- přítok nerozpuštěných látek z povodí nádrže

Břehovou abrazi se označuje jev, který je způsobený účinky vlnobití na břehovou linii. Zemina tvořící břeh rozrušována a postupně uvolňována. Části zeminy následně poklesnou do akumulačního prostoru nádrže. Vznik a míra abraze závisí na mnoha faktorech. Například na sklonu a délce břehu, na půdním pokryvu, pedologickém složení půdy, na kolísání hladiny, ale také na antropogenní činnosti. Nejvíce náchylné k abrazi jsou svahy s vyšším sklonem, bez vegetačního pokryvu, písčité a hlinité, nádrže s častým kolísáním hladiny apod. (Votruba a Broža, 1980).

Dalším případným zdrojem je vnitřní zanášení nádrže. Jedná se především o růst vyšších vodních rostlin, řas a sinic. Nadbytek živin, které obsahují dusík a fosfor ve velké míře, zaručuje příznivé podmínky pro tyto rostliny. Vysoký obsah živin je způsoben zemědělskou činností, kdy dochází ke smyvu zemědělských ploch přesycených živinami. Díky čemu se dostávají zbytky hnojiv do tekoucích vod až do nádrží. Naneštěstí mikroskopická flora, která má oproti vyšším rostlinám velice krátký generační interval, se po odumření usazuje ve formě jemného organominerálního kalu neboli sapropelu (Vrána a Beran, 2008).

Negativní dopady způsobené zanášením nádrže je možné řešit například vápněním. To podporuje koloběh látek a zlepšuje vlastnosti prostředí vypořádat se s parazity nebo případnými nákazami. Vápnění se aplikuje na hladinu napuštěné nádrže případně na

dno vypuštěné nádrže, eventuálně v zimě na zamrzlou hladinu (Dyk a kol. 1959). Pro vápnění se používá vápenec, který je mletý a obsahující 80-95% uhličitanu vápenatého bez žíravých účinků, vhodný je tedy i pro aplikaci ve vyšší koncentraci a to i v případě rybochovné nádrže. Další variantou je pálené vápno s obsahem 70-90% oxidu vápenatého, jehož žíravé účinky mohou trvat až tři dny (Nováček, 1997).

Zanášení sedimentu přítokem ohrožuje pouze nádrže průtočné. Zanášení přítokem může ohrožovat neprůtočné nádrže jen v případě nesprávné obsluhy nebo poruchy. Primárním zdrojem zanášení jsou produkty eroze lesních a zemědělských pozemků, nebo splachy pozemků urbanizovaných (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).

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 přeronových 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.

3.3.1 Těžba sedimentu

Na území České republiky je mnoho MVN. Z hlediska jejich funkčnosti je důležité znát jejich skutečnou akumulaci, která je velice často ovlivněna různými typy sedimentace.

Přebytečný sediment, který se v nádrži usazuje, zmenšuje retenční prostor a zároveň uvolňováním živin v něm vázaných zapříčiňuje eutrofizaci. Půdní částice jsou vlivem setrvávání ve vodě silně obohaceny o organické látky, a proto je preferováno jejich navrácení zpět na lesní a zemědělské pozemky. Následkem toho dochází ke zlepšení

poměru v půdním ale i vodním ekosystému. Zároveň se obnovuje makro i mikroedafon. Obnovením půdní struktury se fyzikální vlastnosti půdy zlepšují. V neposlední řadě zlepšením podmínek v rybníčném ekosystému je posilována schopnost vody se přirozenou cestou samovolně čistit (Vojtěch, 1996).

Podmínkou pro udržení optimální funkce nádrže je pravidelná těžba sedimentu. Zároveň lze rozšířit objem nádrže vytěžením sedimentu, který se v nádrži usadil. Těžba se provádí na základě realizovaného průzkumu dna nádrže. Následný způsob těžby je volen podle hloubky, složení sedimentu a charakteru nádrže (ČSN 75 2410, 2011).

Odbahňování je pokládáno za úkon, který je součástí údržby nádrží. Samotnému odbahnění však musí předcházet zpracování jednoduchého projektu odbahnění.

Je nutné zjistit:

- množství a kvalita sedimentu,
- na základě rozboru sedimentu rozhodnout o jeho následném využití
- způsob a trasa dopravy
- způsob těžby sedimentu
- vhodné pozemky ke konečnému využití sedimentu
- finanční prostředky (Vrána a Beran, 2008).

Průzkum nádrže je sám o sobě důležitý, ale stejně tak podstatný je i průzkum povodí dané nádrže. Díky tomu je objasněno, jestli má být provedena případná revitalizace. Sledované informace jsou povodí, napájení, doba zdržení, stav hráze a dalších zařízení, množství sedimentu nebo také majitel nádrže (Vojtěch, 1996).

Samotný průzkum je možné realizovat jak při napuštěné nádrži tak při nádrži vypuštěné. Místní podmínky určují způsob měření ale také záměr, zda bude nádrž odvodněná či při plné hladině (Gergel a kol. 1995).

Norma ČSN 75 2410 uvádí čtyři možné způsoby těžby sedimentu.

1. suchou cestou na vypuštěné nádrži s použitím strojů pro zemní práce
2. mokrou cestou pomocí sacích bagrů
3. kombinací obou výše uvedených způsobů

4. jiným způsobem (např. podvodním dozerem)

Metoda suchá je poměrně jednoduchá a proto nezřídka používaná. K těžbě dochází na vypuštěné nádrži. K samotné těžbě se používá těžká technika, jako jsou např. širokopásové bagry a dozery (Herbich, 2001). Metoda je osvědčená a dlouho používána. Odtěžený sediment neobsahuje zbytečné množství vody a může být následně poměrně jednoduše transportován. Zároveň je možné provést celkovou údržbu a opravu dalších zařízení v nádrži.

Hlavním negativem je ale drastický zásah do nádrže, který má spíše charakter stavařského než biotechnického. Čímž je rozuměno tak, že je nejen odstraněno všechno bahno, ale také je zároveň odstraněna vrstvička aktivního bahna. Může trvat i několik let než se nádrž navrátí do původní podoby po takovémto drastickém zásahu. Zároveň kladný výsledek této metody je závislý na klimatických podmínkách. Zároveň hrozí znehodnocení kvality vytěženého bahna promícháním různých druhů a vrstev bahna, čímž je ztíženo jeho následné využití v zemědělství. Nevýhodou je také to, že nádrž nelze využívat po celou dobu vypuštění. To může negativní ekonomický dopad na majitele nádrže. Je také důležité brát v potaz, že těžká těžební technika značně devastuje okraje nádrže a krajinu kolem něj (Vojtěch, 1996).

Opakem suché metody je metoda mokrá, která probíhá na napuštěné nádrži. Oproti suché metodě lze těžbu sedimentu realizovat za všech klimatických podmínek s výjimkou silných mrazů. Následná aplikace vytěženého sedimentu na zemědělské pozemky probíhá rozstříkem. Použití je snazší a méně energeticky náročné. Při mokré metodě také zůstává v nádrži vrstva aktivního bahna, která je při suché těžbě celá odtěžena.

Nevýhodou mokré cesty je nutnost zajištění bezprostředního použití na zemědělské pozemky či jiného využití bahna v opačném případě je nutností zajistit sedimentační lagunu (Vojtěch, 1996).

3.4 Tachymetrie

Tachymetrie představuje průzkum, který je prováděn při vypuštěné nádrži. Průzkum probíhá podobně jako pedologický průzkum, pomocí výkopových sond či vrtů. Tachygrafickému průzkumu je většinou realizován současně s odbahněním rybníka při suché cestě (Vojtěch, 1996).

Aby byl možný odtok veškerého zbytku vody v nerovnostech dna je nutné po vypuštění nádrží vystokovat. Na základě způsobu odvodnění dna a výskytu srážek odtéká voda po několik dní. Dno nádrže je plně přístupné k terénnímu průzkumu za 14-21 dní (Gergel a kol. 1995).

Za hlavní výhodu tachymetrie lze považovat možnost vidět stav dna a jeho případné znečištění většími předměty, které by mohli za mokré cesty znehodnocovat výsledky. Za daného průzkumu se také relativně spolehlivě pomocí sond zjišťuje vrstva sedimentu. Naopak za nevýhodu je brána ta skutečnost, že nádrž musí být ponechána vypuštěná po delší dobu. Určujícími faktorem je kvalita sedimentu, ale také jeho původ, zrnitost a obsah organických látek. Důležitý je i tvar nádrže, geologické podmínky, spád a stav její odvodňovacího systému (Vojtěch, 1996).

Pomocí tachymetrie je zároveň možné určovat polohu bodu v místním systému nebo určovat výšku. Výsledné hodnoty jsou převedeny na souřadnice X, Y, H v souřadnicovém systému. Prvotním principem je měření délek a to vodorovného a výškového úhlu. Pro měření slouží tachymetr, kterým je v dnešní době totální stanice. Jedná se o elektronický tachymetr, který měří vzdálenost laserovým dálkoměrem (Oršulák a Pacina, 2010).

3.5 Batymetrie

Batymetrie se zabývá měřením výškových rozdílů mezi hladinou a dnem vodních ploch. Dala by se také označit za určitou podobu výškopisu (Encyclopaedia Britannica 1987). Batymetrie byla prvně použita pro měření hloubek oceánů a moří. V pozdější době se termín začal používat i pro měření sladkovodních vod (Huggett, 2008).

Na našem území se batymetrie z počátku prováděla zejména na horských jezerech. Za zakladatele komplexní batymetrie lze považovat Dr. P. Wagnera. Ten roku 1896 vykreslil mapy v měřítku 1:5 000, které se zakládaly na jeho vlastních měření. Mapy obsahovaly všechna Šumavská jezera kromě Malého Javorského jezera. Se svou vlastní batymetrií také přichází roku 1903 profesor V. Švampera, který pro zaměření břehové linie použil teodolit či speciálního úhloměru. Samotné hloubky se měřily pomocí ocelového lanka se závažím. Měření probíhalo tak, že přes jezero byl natažen ocelový drát se značkami po deseti metrech. U každé značky bylo spuštěno měřící

závaží a odečtena hloubka. Měření probíhalo ručně a stejně tak byla prováděna i následná interpolace a zakreslování batymetrických map (Šobr, 2003).

Během let 1997 – 1999 provedl batymetrický průzkum jezera Laka Miroslav Šobr. Měření břehové linie provedl obdobně jako profesor Švambera, a sice pomocí teodolitu a pásma. Na břehu jezera byly označeny body o známých souřadnicích, ze kterých se následně vycházelo i při měření. Mezi nimi se přes jezero natáhla kevlarová šňůra, který byla odolná proti natahování. Na šňůře byly značky v intervalu pěti metrů. Podél napnuté šňůry se následně jezdilo na gumovém člunu, ze kterého se u každé značky měřila hloubka. Na rozdíl od profesora Švambery byl v tomto případě pro měření použit echolot, který byl umístěn na člunu (Šobr, 2003).

Mnohem přesnější metoda, která byla použita například roce 2007 je měření pomocí echolotu. Přístroj byl použit Biological Survey při mapování řeky John Redmond Reservoir. Echolot mapoval dno v pravidelných intervalech. Současně s měřením hloubek byla zaznamenávána poloha pomocí GPS. V programu ArcGIS se z leteckých fotografií digitalizovala jako polygon břehová linie. Na závěr byla v ArcGIS vytvořena batymetrická mapa a to pomocí interpolační funkce (Kansas Biological Survey, 2007).

Další možnou variantou je použití mnohopaprskového sonaru. Který je na rozdíl od echolotu (jednopaprskový sonar), vybaven více paprsky. Funguje na stejném principu, ale vysílá ke dnu více paprsků, díky čemuž pokryje větší plochu (Schmitt a kol. 2008).

Batymetrii lze měřit například i pomocí přístroje ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler). Jedná se o přístroj, který pracuje na základě Dopplerova principu. Dané přístroje jsou primárně využívány pro měření rychlosti proudící vody vodních toků. Stejně tak jej lze využít i pro měření hloubek (Visbeck, 2002). Přístroj ADCP byl využit například v roce 2015 pro měření vodní nádrže Strnad Ing. Hradilkem a jeho týmem. Pro změření nádrže Strnad byl použit přístroj RiverSurveyor M9. V dané době šlo vlastně o testování přístroje o jeho vhodnosti pro měření v podmínkách, které jsou charakteristické pro naši krajinu (Hradilek a kol. 2015).

Za zmínku v batymetrii stojí i možnost použití akustických a elektromagnetických vln na bázi georadaru. Oba geofyzikální nástroje se vzájemně doplňují a jsou vhodné pro měření sedimentů v mělkých vodách. Daná technika byla použita například ve

Wisconsinu na vnitrozemských jezerech a řekách a v blízkosti pobřežních oblastí (Lin a kol. 2009).

3.6 RiverSurveyor M9

RiverSurveyor M9 je název pro echosounder od americké firmy SonTek. Přístroj je určen pro měření průtoků ve vodních tocích, vodních proudů, hloubek a batymetrického měření vodních toků a nádrží. Pracuje na principu ADCP a v současné době je jedním z nejpokročilejších přístrojů daného typu. (Erdem, 2013).

Měřicí jednotka M9 (viz. Obr. č. 1) má vysílače a přijímače zvukových pulzů. Přístroj disponuje devíti paprsky, které jsou rozděleny do dvou sad. První sada obsahuje vertikální paprsek o frekvenci 0,5 Mhz. Paprsek měří hloubky od 0,2 až do 80 m. Druhou sadu reprezentuje osm šikmých paprsků umístěných pod úhlem 25°, které jsou dále rozděleny po čtyřech. První polovina disponuje frekvencí 3 Mhz a druhá 1 Mhz. Paprsky měří hloubky v rozsahu 0,2 až 40 m. Paprsky jsou posílány ke dnu, od kterého se odráží. Přístroj odhaduje hloubku na základě času, za kterou se odražený paprsek vrátí zpět do přístroje (Erdem, 2013).



Obr. č. 2 RiverSurveyor M9 a M5 (Erden, 2013)

Přístroj je také vybaven interním harddiskem s kapacitou 8 GB, který zajišťuje uložení dat v případě přerušení přenosu. Nehrozí tak ztráta naměřených dat (Erdem, 2013).

3.7 Digitální model terénu

Digitální model terénu zkráceně DMT (digital elevation model) představuje digitální model povrchu Země, který je ale zobrazen bez všech objektů (El-Sheimy a kol. 2005). Jelikož je v digitální podobě, může být velice dobře zpracován pomocí informačních a komunikačních technologií. DMT je reprezentován ve formě výšek za pomoci mnoha bodů se souřadnicemi X, Y, Z (Oršulák a Pacina, 2010).

Existuje několik možný způsobů, jak může být digitální model terénu reprezentován. Nejčastěji ale jako rastr nebo TIN (Triangulated Irregular Network). Méně používaný způsob reprezentace DMT je pomocí liniové sítě (Moore a kol. 1991).

TIN je představuje všestranný způsob reprezentace povrchu. Skládá se z úseček, které se vzájemně propojují v bodech neboli uzlech. Vzniká síť trojúhelníků, která pokrývá celou studovanou oblast. Uzly jsou situovány do charakteristických míst v terénu, jako jsou např. vrcholy, údolnice, sedla atd. Díky tomu vzniká přesnější kopírování linie, u kterých dochází k zřetelným terénním změnám (Peucker a kol. 1978). Oproti rastrové reprezentaci, má TIN přesnější reprezentaci reliéfu s menšími nároky na paměť. Zároveň je při tvorbě časově méně náročná. Rastr je ale na druhou stranu vhodnější možností pro tvorbu DMT v případě plochého reliéfu (Rapant 2006).

Rastr je složen z buněk neboli pixelů. Buňky jsou buď čtyřúhelníkové, trojúhelníkové, nebo hexagonální (Moore a kol. 1991). Díky své snadné prezentaci a zejména díky snadné implementaci výpočetních algoritmů je nejčastější struktura v podobě čtvercových mřížek (Collins a Moon 1981).

3.7.1 Zdroje dat pro DMT

K možné tvorbě DMT je v první řadě nutné získat potřebná data. Při volbě způsobu sběru dat je nutné zvážit několik faktorů, jako například velikost zájmového území, čas, možná cena a množství požadovaných bodů. Jednou z nejpresnějších metod je nivelace, která je naneštěstí časově a finančně velice náročná. Další možností jsou GPS, dálkový průzkum země, LiDAR, radarové snímky atd. (Li et al., 2005).

Existují různé způsoby pro získání dat, ze kterých je možné následně vygenerovat DMT. Jednotlivé metody lze rozdělit podle způsobu získání na přímé a nepřímé. Ty přímé lze dále dělit na kontaktní a bezkontaktní (Oršulák a Pacina, 2010).

U přímé probíhá měření přímo v terénu geodetickým měřením. U té kontaktní probíhá měření u každého bodu, díky čemuž dochází k značně přesnému určení výšky a polohy. Opakem je metoda bezkontaktní, která je prováděna pomocí dálkového průzkumu země. Lze ji realizovat například fotogrammetrií, laserovým skenováním, nebo radarovým snímáním. Jednotlivé postupy získávají data s přesností řádově v desítkách centimetrů.

Metody nepřímé reprezentují zpracovávání již existujících dat. Při tvorbě DMT se digitalizuje výškopis analogových map. Takto získaná data se následně použijí k vygenerování DMT (Oršulák a Pacina, 2010).

3.7.2 Sběr dat pro DMT

Za nejpřesnější metodu lze uvést sběr dat v přímo v samotném terénu pomocí pozemního měření. Negativem může být vysoká časová a pracovní náročnost. Data jsou získávána přímo v terénu totální stanicí případně pomocí GPS (Chamout a Skála 2008).

Data lze získat i takzvanou fotogrammetrií. Pro sběr dat využíván dálkový průzkum země. Pomocí družic případně letadel je, snímám povrch Země, které se následně dále zpracují. Pro možnost správně zpracované lokality trojrozměrně je potřeba nafotit určitá místa z různých úhlů. Důležité je taky zpřesnit polohu v trojrozměrných souřadnicích, což se provádí pomocí techniky stereoskopie (Oršulák a Pacina 2012). V devadesátých letech byla právě fotogrammetrie nejčastěji používána pro získávání dat pro DMT (Moore a kol. 1991). Použití dané metody je, z důvodu používání pasivního snímače, silně závislé na atmosférických podmínkách (Dolanský 2004).

Další variantou dálkového průzkumu je mapování satelity radarovým snímáním. Metoda, která je využívána již řadu let, je převážně využívána pro získání obrazových dat. Z obrazových dat lze ale odvodit i data výšková (Oršulák a Pacina 2012). K radarovému snímání se přistupuje pomocí dvou odlišných postupů. První variantou je takzvaná altimetrie. Kdy z polohy družice a vypočítané délky dráhy signálu se určí poloha a nadmořská výška bodu, kde se signál odrazil (Dobrovolný 1998). Druhou možností je interferometrie, která pracuje na základě fázového rozdílu dvou měřených hodnot (Oršulák a Pacina 2012).

Letecké laserové snímání, které je v současné době jednou z nejmodernějších technologií, je dalším možným způsobem sběru dat. Metoda je založena na technologii získávání dat pomocí laserového skenování. Data jsou získávána paprsky infračerveného spektra, které jsou jako pulzy vysílány z letadla. Vzdálenost je odhadována na základě času, který proběhne mezi vysláním a návratem odraženého laserového paprsku. Registrovány jsou všechny paprsky, které jsou odražené od povrchu i od objektů na něm. Metoda na rozdíl od fotogrammetrie není závislá na slunečním světle, protože disponuje vlastním zdrojem záření. Na závěr je zpřesněna

poloha pomocí GPS (Šíma 2009). Data, která jsou získávána daným způsobem, mají podobu nepravidelně rozmístěných bodů. Body jsou souvisle rozmístěny po sledovaném území (Straub a kol. 2009).

K dálkovému průzkumu lze také využít bezpilotních letounů neboli dronů. Letouny mohou být řízeny buďto člověkem na dálku, nebo létat samostatně dle naprogramované trasy (Templeton a kol. 2007). V současnosti jsou již bezpilotní letouny na dobré technologické úrovni a začínají být poměrně často využívány při sběru dat. Díky nízké hmotnosti, menším rozměrům, snadné ovladatelnosti při letu a přijatelným cenám je metoda konkurencí pro ostatní konvenční metody pro sběr dat. Velkým pozitivem jsou také získaná data, která jsou ve vysokém prostorovém rozlišení (Herwitz a kol. 2004). Bepilotní letouny jsou vhodné pro laserové snímkování, ale také pro fotogrammetrii. Vzhledem k jejich rozměrům je příhodné jejich použití při mapování lokalit, které jsou za normálních okolností nepřístupná (Marzoff a Poesen 2009).

3.8 Interpolace

Interpolace je název pro postup výpočtu neznámých hodnot určitého jevu, nebo intenzity. Prostorová interpolace se zabývá například teplotou, nadmořskou výškou, srážkovým úhrnem atd. Požadované neznáme hodnoty, jsou vypočteny ze známých hodnot, které byly naměřeny uvnitř studované lokality (Burrough a McDonnell, 1998; Peralvo, 2002).

Interpolaci lze použít pouze na kvantitativní data naproti tomu kvalitativní data nelze interpolovat. Interpolace také funguje pouze v případě, že je studovaný jev spojitý, hodnoty bodu jsou prostorově závislé a je mezi hodnotami autokorelace (Rolf a kol. 2001). Autokorelací je chápán jev, kdy si jsou body blíže k sobě více podobné než ty od sebe více vzdálené (Tobler 1970).

Interpolační metody je možné rozdělovat na deterministické a geostatistické. Deterministické pracují na základě matematických funkcí. K výpočtu neznámých hodnot využívají stupně podobnosti výpočetních hodnot případně stupně vyhlazení proti naměřeným hodnotám. Na druhé straně geostatistické využívají jak matematické tak i statistické funkce. Podávají odhady kvality realizované interpolace. Kvalita

interpolace je odvozena na základě prostorové autokorelace (Burrough a McDonnell, 1998).

Jednotlivé metody lze dále dělit na lokální a globální, kde záleží na šíři působení. Lokální je vázána pouze na data naměřená v lokálním místě, které svou rozlohou nedosahuje velikosti řešené oblasti. Pro danou metodu je výstup charakterizován souborem prostorově rozdělených hodnot. Globální využívá veškerá dostupná data zároveň. Výstupem je odhad sledovaného jevu pro celou řešenou oblast (Burrough a McDonnell, 1998; Peralvo, 2002).

V neposlední řadě lze interpolace rozdělit na exaktní a aproximující. Exaktní přesně respektují počáteční naměřené hodnoty. Opakem jsou pak metody aproximující, které se od naměřených hodnot v určitém bodě liší (Burrough a McDonnell, 1998; Peralvo, 2002).

Přesto, že se dají jednotlivé metody použít na stejný zdroj hodnot, mohou být výsledky velice rozdílné. Je proto velice důležité vyhodnotit každou techniku použití zvlášť (Arun, 2013).

3.8.1 Interpolační metody

IDW (Inverse Distance Weighted) neboli metoda inverzních vzdáleností. IDW je interpolační metodou, která je považována za nejjednodušší a zároveň nejčastěji používanou. Pracuje s předpokladem, že body blíže u sebe si jsou podobnější než ty vzdálenější. Výpočet hodnot je tedy realizován výlučně s hodnotami v blízkosti měřeného místa (Watson a Philip, 1985; Childs, 2004). IDW je metodou exaktní, lokální a deterministickou (Burrough a McDonnell 1998). Lze také změnit z exaktní na aproximující zavedením vyhlazovacího parametru (Johnston a kol. 2001). Je možné určit počet bodů k interpolaci dle uvážení. Případně místo určení počtu bodů je možné specifikovat přesné okolí počítaného bodu. Body, které se nachází v takto vytyčené oblasti, budou do interpolace zahrnuty (Oršulák a Pacina 2012). Specifikovaná oblast okolo měřeného bodu může mít různou velikost i tvar. Přesto se nejčastěji volí jednoduchá oblast s tvarem kruhu (Johnston a kol. 2001). Hodnota neznámého bodu je počítána na základě váženého průměru známých hodnot v okolí počítaného bodu (Ježek 2016). Mocnina vymezuje vliv vstupních bodů na výsledný povrch, který závisí na jejich vzdálenosti od počítaného bodu. Čím dosahuje mocnina vyšších hodnot, tím jsou důležitější ty body, jenž jsou bližší k interpolovanému bodu. Díky tomu je výsledný

povrch méně vyhlazený a bude zahrnovat více detailů. V opačném případě, kdy mocnina dosahuje nižších hodnot, stoupá vliv vzdálenějších bodů (Oršulák a Pacina 2012). Z pravidla se využívá druhé mocniny (Burrough a McDonnell 1998). Využití je nejvhodnější při meteorologických jevech, jako je například teplota nebo srážky (Burian 2008).

Spline je známa také jako metoda minimální křivosti. Pracuje na základě matematicky definovaných křivek, které po částech interpolují dílčí body povrchu. Výsledný povrch je hladký a s nejmenší možnou křivostí (Ježek, 2008). Po nejmenší křivosti je další charakteristikou Spline přesné přimykání vstupních bodů k povrchu (Štych a kol. 2008). Jedná se o exaktní metodu, která zachovává prvotně naměřené hodnoty (Burian 2008). Oproti IDW dokáže Spline vypočítat i vyšší případně nižší hodnoty, které jsou větší než naměřené hodnoty. Proto je metoda vhodná například pro interpolaci vrcholů hor. Na druhou stranu není vhodná pro situace, kdy mají body ležící velmi blízko sebe značně rozdílné hodnoty (Štych a kol. 2008). Nejlepší je použití pro interpolace měnící se spojitě například klimatické jevy (Burian 2008). V programu ArcGIS lze pro danou metodu vybrat mezi dvěma typy. Prvním typem je Regularized Spline, který vytváří hladký a postupně měnící se povrch. Povrch obsahuje hodnoty, které se mohou nacházet i mimo rozsah vstupních dat. Druhým typem je Tension Spline, které modeluje požadovaný povrch dle charakteru vstupního jevu. Tímto typem vznikají poněkud hrubší povrchy, ale povrchy, které přesněji odpovídají kontrolním bodům (ESRI, ©2017).

Kriging je nejsložitější metodou, která je pokročilou geostatistickou metodou (Oliver 1990). Autorem je francouzský matematik Georges Matheron, který ji vytvořil v roce 1963 na základě diplomové práce Daniela Gerharduse Kriega. Kriging vypočítává neznámou hodnotu na základě váženého průměru okolních bodů interpolovaného bodu. Na rozdíl od IDW a Spline se Kriging zakládá na statistických modelech zahrnující autokorelaci. Z důvodu statistického vztahu mezi jednotlivými body je metoda schopna interpolovat povrch s určitým stupněm přesnosti (Burian, 2008). U Krigingu nezáleží pouze na vzdálenosti bodů, ale rovněž na jejich prostorovém uspořádání. Pracuje na základě předpokladu jisté prostorové závislosti sledovaných jevů (Johnston a kol. 2001). Nejčastěji se uplatňuje při geologických a pedologických aplikacích (Childs 2004). Dalším možným použitím je například interpolace výšek nebo meteorologických dat (Burian 2008).

Topo to Raster je interpolační metoda vyvinutá pro geografické informační systémy. V programu ArcGIS, kam jí firma ESRI implementovala, lze interpolaci poměrně jednoduše využívat. Je určena pro vygenerování hydrologicky správného DMT, který by neměl obsahovat umělé terénní prohlubně. Metoda je založena na programu ANUDEM, který je výtvořem Michaela Hutchinsona (Hutchinson, 1988). Zároveň se jedná o jedinou metodu schopnou vytvořit DMT z vrstevnic (Oršulák a Pacina 2012). Je schopna kombinovat výšková data, vodních ploch, vodních toků, zlomů terénu atd. Dojde-li k nesouladu mezi výškovými daty s daty vodních toků a ploch, mají při výsledné interpolaci přednost právě data o vodstvu. Výsledný DMT lze výrazně zlepšit použitím již zmiňovaných informací o vodních tocích a plochách (Hutchinson 1989).

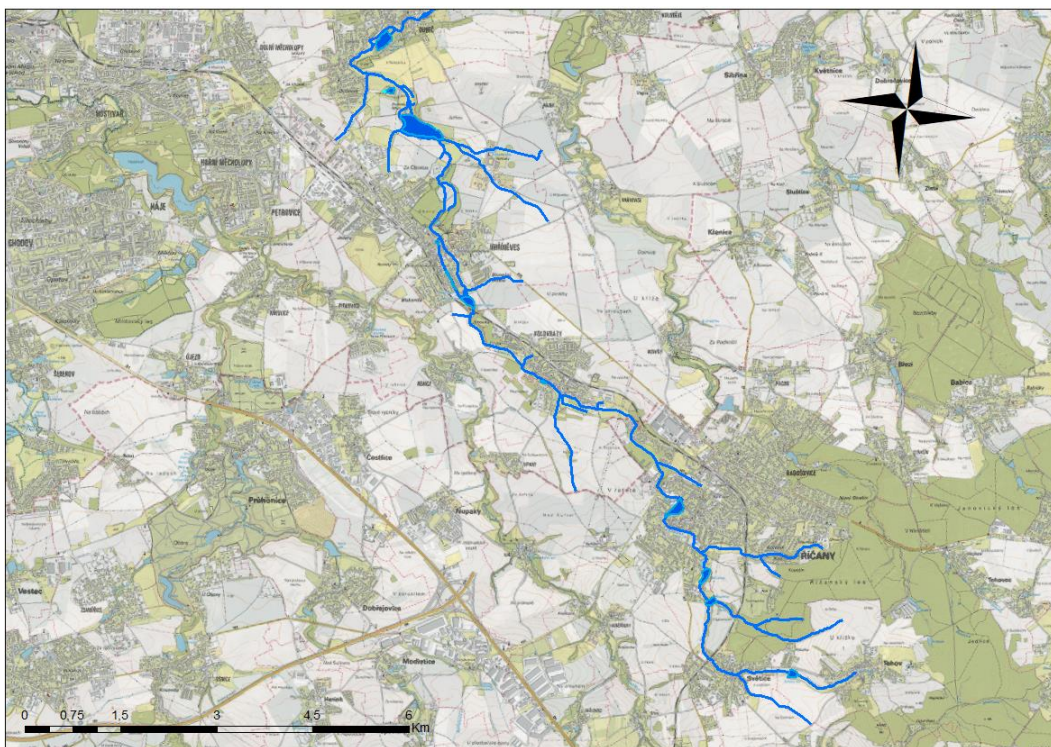
Metoda přirozených sousedů neboli Natural neighbourhood je interpolace založena na základě Thiessenových polygonů (Křikavová, 2009). Vytvořena byla roku 1981 britským matematickem Robinem Sibsonem. A vyznačuje se tím, že spojuje to nejlepší z interpolačních technik TIN a Nearest Neighbor (Webster a Oliver 2001). Metoda se řadí mezi lokální a exaktní, která k výpočtu využívají pouze body v okolí určovaného bodu (Sibson 1981). Při výpočtu neznáme hodnoty je oblast rozdělena na pravidelné či nepravidelné trojúhelníky. Z trojúhelníku jsou dále definovány Thiessenovy polygony (Webster a Oliver 2001). Každý polygon obsahuje právě jeden měřený bod. Veškeré místo uvnitř polygonu má blíže k naměřenému bodu, který leží uvnitř polygonu než ke kterémukoliv jinému naměřenému bodu (Liang a Hale 2010). Po vložení bodu do polygonové sítě se přebudují body kolem nového bodu. Přebudováním vzniká nová polygonová síť. Nově vzniklý polygon s nově vloženým bodem překrývá některé části předešlého polygonu s původními body. Tyto body, které se nazývají jako přirození sousedé, budou obsaženy do nově interpolovaného bodu (Křikavová, 2009). Výsledný povrch je vyhlazený a spojitý bez extrapolovaných hodnot. Interpolace není doporučována pro spojitě se měnící jevy. Nejlepšího výsledku lze dosáhnout s naměřenými hodnotami pravidelně rozmístěnými. Natural neighbourhood se nejčastěji využívá u plošného odhadu srážek (Burian 2008).

Další interpolační metodou, která stojí za zmínku je Trend. Interpolace je schopna získat informace, jestli měřená data definují prostorový trend či nikoliv (Burian, 2008). Nelze přímo říct, která interpolační metoda je lepší. Záleží na sledovaném jevu, kterým je například nadmořská výška, srážkový úhrn atd. Dalším důležitým faktorem při

výběru interpolace je rozložení vstupních bodů, kde je důležité sledovat jejich pravidelnost a hustotu. Pro správnou volbu interpolační techniky je možné jednotlivé metody navzájem porovnat. Ta, která bude mít pro daný jev nejmenší odchylky je pro danou situaci nejvhodnější. Pro porovnání je samozřejmostí totožné vstupní údaje pro jednotlivé interpolace (Burian, 2008).

4 Charakteristika zájmového lokality

Říčanský potok, který je znám také jako Říčanka má několik pramenů. Plocha povodí je 38 km². Samotný tok je dlouhý 21 km, z něhož se zhruba tři čtvrtiny nachází na území Prahy. Pramení v obci Tehov na jihovýchodě Říčan. Dále pak pokračuje do obce Světica a protéká Panským rybníkem, který je jednou z měřených nádrží. Po obci Světica pokračuje tok k městu Říčany. V Říčanech protéká dalšími třemi měřenými nádržemi Rozpakov, Marvánek a Mlýnský rybník. Za městem se Říčanka vlévá do Kolovrat, které se již nachází na území hlavního města Prahy. V Kolovratech tok pokračuje vedle obtočného Návesního rybníka. Tok pokračuje směrem k městské části Uhřetěves až k rybníku Velká Vodice. Říčanský potok dále napájí vodní nádrže Nadýmač II a Nadýmač I. Dále pak jsou po proudu nádrže Cukrovarský rybník a Podleský. Předtím, než tok dorazí do centra Dubče, prochází potok retenční nádrží Říčanka, která se nachází jihovýchodně od Dubče. Dále již ve zmiňované Dubči potok napájí rybník V Rohožníku. Za ním je ještě uskupení tří rybníků známé jako Lítožnické rybníky, které ale nebylo možné zaměřit, protože na nich právě probíhala revitalizace, kdy se ze tří rybníků stane jeden.



Obr. č. 3: Povodí Říčanského potoka (ČUZK, 2018)

V Běchovicích se Říčanka vlévá do Rokytky společně s Běchovickým potokem. Říčanský potok je zde přinejmenším tak vodnatý jako Rokytky. Samotný soutok Rokytky a Říčanky se dříve nacházel dál po proudu, ale při rozšiřování běchovického nádraží byl soutok změněn. Přesunutím soutoku se ušetřilo, stavbou jednoho mostu namísto dvou (Hradil, 2007).

Z historického hlediska bylo na Říčance vždy živo. Archeologické nálezy dokazují, že osídlení dané lokality bylo již v mladší době kamenné. Stejně tak ostatní etapy osídlení poznamenali život na březích Říčanky. V pozdějších dobách vznikaly na Říčance systémy osad. V 16. století vznikala na Říčance doslova rybníční soustava, která zahrnovala na padesát rybníků. Rybníky byly propojovány sítí kanálů a stok. V dnešní době již skoro nelze rozpoznat, kde se přesně rybníky nacházely. Většina zpuskla již za třicetileté války a nebyly nikdy obnoveny (Moravec, 1983).

Rybník Rohožník případně V Rohožníku byl první měřenou nádrží. Jedná se o umělou nádrž, která má homogenní zemní sypanou hráz vysokou cca 3,6 m. Kromě hráze je i rybník vybaven betonovým obezděným požerákem s kamenným obkladem. Těsně vedle požeráku je bezpečnostní přeliv, který má přelivnou hranu stabilizovanou masivním těsněným kamenným prahem. Samotná nádrž má přibližně obdélníkový tvar s rozměry cca 180 x 290 m. V manipulačním řádu je uveden objem 61 500 m³. Účel nádrže je krajnotvorný, akumulací a zvyšuje druhovou rozmanitost (Lesy hl. m. Prahy, 2015a).

Rybník lze v dnešní době považovat za obnovený. Protože před třicetiletou válkou se v širokém okolí Říčanky, přesněji mezi Dubčí, Uhříněvsí a Měcholupy, nacházelo až kolem padesáti rybníků, které byly vzájemně propojeny. Dvě vodní nádrže byly v samém centru této soustavy. Prvním byl rybník Veský, po kterém naneštěstí zbyla již jen mohutná hráz. A druhým rybníkem byl právě V Rohožníku. V druhé polovině 19. století bylo rybníkářství na ústupu. Rybníky byly hromadně rušeny kvůli zemědělské výrobě. V okolí Dubče byly všechny rybníky zrušeny až s výjimkou Podleského, který přetrval. Rybník v Rohožníku zanikl kolem roku 1860. Práce pro obnovu rybníka začali až v roce 1955. O dva roky později byl rybník opět napuštěn. V roce 2011 byl rybník koupen městskou částí Dubeč a o dva roky později převeden na hlavní město Prahu a tím i zařazen do projektu o obnově pražských nádrží. (Hlavní město Praha, ©2013a).

Na jaře roku 2014 byla následně revitalizace rybníka, kdy byly nově opraveny boční a hlavní hráze a vystavěn zcela nový požerák. Zároveň došlo k realizaci nového napouštěcího zařízení, které je možné regulovat. V neposlední řadě byl rybník vybaven i bezpečnostním přelivem. Při revitalizaci se nezapomnělo ani na blízké okolí nádrže. Kde byly provedeny terénní a vegetační úpravy (Lesy hl. m. Prahy, 2015a). Na jaře téhož roku bylo také provedeno odbahnění rybníka, jelikož zabahnění rybníka dosahovalo skoro až 15 000 m³ sedimentu (Hlavní město Praha, ©2013a).

Retenční nádrž Říčanka, která se nachází jihovýchodně od Dubče, je umělou průtočnou nádrží se zemní hrází. Součástí nádrže je dosazovací nádrž, která byla také podrobena měření. Je napájena srážkovými vodami a přítokem Říčanského potoka. Objem nádrže dle manipulačního řádu je 14 472 m³ a objem dosazovací nádrže je 458 m³. Říčanky výpustný objekt lze zahradit a v případě potřeby i regulovat tří-dlužovým požerákem. Dále má zemní sypanou hráz vysokou cca 4,2 m, která je opevněna polovegetačními tvárniciemi. Nádrž slouží primárně k protipovodňové funkci, ale také dále například akumulací, krajino tvorný, retenční, rybochovný, nebo jako záložní zdroj požární vody (Lesy hl. m. Prahy, 2015b).

Naneštěstí nejsou o historii této nádrže k dispozici podrobnější informace. S výstavbou nádrže se začalo v polovině osmdesátých let. Měla zachycovat zvýšené průtoky a případné znečištění z plánované průmyslové zóny. Zároveň byla na nátok nádrže realizována sedimentační jímka, která měla zadržovat splaveniny. Na její plánovanou funkci, ale nikdy nedošlo. Ve výsledku bylo totiž dané řešení neefektivní, protože k zanášení nádrže přesto docházelo a zároveň čištění jímky bylo velmi nákladné. Do provozu byla nádrž uvedena v roce 1984. Při spuštění nádrže se naneštěstí objevily problémy s průsaky vody pod hrází. Pro nápravu problému byl zbudován patní zahloubený patní drén. Patní drén byl vybudován s třístupňovým filtračním obsypem. Společně s daným drénem byl realizován ještě drén, který byl vyvedený do koryta Říčanského potoka. Po nápravě již k průsakům nedocházelo (Lesy hl. m. Prahy, 2015b).

V letech 2011 a 2012 byla realizována kompletní revitalizace nádrže. V prvním roce 2011 se započalo s rozsáhlou výsadbou v okolí nádrže. Navíc byl jižní břeh upraven pro alespoň částečně pozvolný přístup k vodě. V létě téhož roku byla nádrž odbahněna. Při odbahnění bylo vytěženo 1000 m³ sedimentu. V následujícím roce byl upraven bezpečností přeliv, což znamenalo odstranění nepotřebných konstrukčních částí a

zasanování a obložení kamenem. Úpravou prošla i lávka pro přístup k vypouštěcímu zařízení (Hlavní město Praha, ©2013b).

Podleský rybník je se svou plochou 14,14 ha v pořadí druhým největším rybníkem v Praze. Hlavní účel rybníka je rybochovný, ale také ho lze využít jako případný zdroj požární vody. Hráz, která je vysoká 5 m, je zemní homogenní a je vybudována z místního materiálu. Délka hráze je 190 m a šířka 2,6 m. Nádrže je také vybavena funkčními objekty. Prvním objektem je čtvercový železobetonový požerák a druhým bezpečnostní přeliv se stavidly. Objem nádrže je dle manipulačního řádu 385 000 m³. V širokém okolí bývala v 16. století, dříve již zmíněná, rybníční soustava, která se skládala až z 50 rybníků. Není ale vůbec vyloučeno, že je rybník ještě starší, než samotná soustava. Dle nepodložených informací je možné, že rybník vybudovali turečtí zajatci. Další zajímavostí je, že se v Podleském rybníce často koupal T. G. Masaryk. Přilehlý Podleský mlýn byl využíván až do 50. let minulého století, ale naneštěstí dnes je z něj pouze chátrající ruina (Sedláček, 2004; IPR Praha, ©2014).

Cukrovarský rybník se nachází v obci Uhříněves. O rybníku se bohužel nepodařilo sehnat dostatečné informace. Lze pouze uvést, že rybník je napájen zatrubněným korytem od rybníků Nadýmač I a Nadýmač II, které leží jižně od Cukrovarského rybníka. Rybník byl dříve s největší pravděpodobněji využíván jako zdroj vody, který sloužil nedalekému cukrovaru pro mytí řepy.

Nadýmač I se nachází v městské části Uhříněves. Je součástí rybníčné soustavy, která je napájena mlýnským náhonem. Nádrž, která je obdélníkového tvaru, je primárně využívána k akumulaci vody ale také jako rybochovná, retenční, krajnotvorná a ekologická. Má homogenní zatravněnou zemní hráz, která je vysoká max. 2,83 m a široká 7 m. Objem nádrže dle manipulačního řádu je 8 500 m³. Nádrže je zároveň vybavena betonovým požerákem a hrazeným přelivem (Uhříněves, 2010).

Nadýmač II je stejně jako předešlá nádrž napájena mlýnským náhonem. Je protáhlého tvaru a je využívána hlavně jako rybochovná. Má zatravněnou zemní homogenní hráz, která je opevněna kamenným pohozem na návodní straně. Samotná hráz je vysoká max. 3,12 m a široká 4 m. Manipulační řád uvádí objem 3 000 m³. Hlavním funkčním objektem je sdružený objekt skládající se z betonového požeráku a nehrazeného třídílného přelivu (Uhříněves, 2010).

Vodice, nebo také Velká Vodice, je průtočná nádrž. Stejně jako předešlé dvě nádrže se nachází v městské části Uhříněves. Je využívána především jako akumulární a rybochovná. Objem je v manipulačním řádu uveden jako 31 760 m³. Má zemní homogenní hráz opevněnou na návodní straně kamenným pohozením, která má zpevněnou korunu a celkovou výšku max. 3,3 m. Jedním z funkčních objektů na nádrži je uzavřený dvoudlužový železobetonový požerák. Dále pak hlavní bezpečnostní přeliv, který je jezového typu a vybaven kamennou přelivnou hranou. Nádrže disponuje ještě doplňkovým bezpečnostním přelivem a stavidlovým uzávěrem pro napájení Nadýmač I a Nadýmač II (Uhříněves, 2010).

Návesní rybník se nachází v Kolovratech a byl vybudován v letech 1895 – 1896. Byl vybudován primárně jako zdroj užitkové vody, případně také jako zdroj požární vody. Rybník byl také určen pro kachny a husy případně v něm sedláci brodili koně. V minulosti byl také rybník využíván jako zdroj ledu. V současné době je napájen z Říčanského potoka pomocí potrubí. Od uvedení rybníka do provozu došlo mnohokrát k opravám břehů a svahů. Stejně tak byl při těchto příležitostech rybník několikrát odbahněn (Jílek J., 2009).

K první velké rekonstrukci došlo v roce 1955, kdy byl rybník značně prohlouben a olemován betonovou zdí. Zároveň bylo upraveno a zatravněno okolí nádrže. Na konci 20. století byl přepad z rybníka zatrubněn. Přepad začal využívat dochovanou mlýnskou strouhu, což mělo za následek zánik poslední připomínky kolovratského mlýna (Jílek J., 2009).

Mlýnský rybník se nachází v západní části města Říčany. Předně plní akumulární funkci, ale také například retenční. Má homogenní sypanou hráz, která je vysoká max. 5,4 m a široká v rozmezí 3,5 – 6 m a opevněna na návodním svahu kamenným pohozením. Pro případné vypouštění rybníka je určeno hrazený požerák s dvojitou dlužovou stěnou. Požerák je uzavřen ocelovým poklopem. Na samotný požerák pak navazuje betonové potrubí, které vede do Říčanského potoka. Dalším důležitým funkčním prvkem je nehrazený, kašnový bezpečnostní přeliv s přelivnou hranou. Za bezpečnostním přelivem je betonové spadiště pro vodu z přelivné hrany. Na spadiště dále navazuje skluz, který je opevněn kamennou dlažbou (Říčany, 2016a).

Rybník Marvánek leží v Říčanech u Prahy. Nádrž je využívána hlavně jako koupaliště. Kromě rekreační funkce plní ale i například rybochovnou, nebo

krajinotvornou. Má zemní sypanou homogenní hráz s výškou v koruně cca 4,5 m a šířkou cca 3 m. Objem, který byl uveden v manipulačním řádu, je 35 910 m³. Nádrž je samozřejmě také vybavena bezpečnostním přelivem, který je betonový, lomený s obdélníkovým příčným průřezem. Po přelivnou hranou je betonový skluz, kterým voda pokračuje do Říčanského potoka. Jako další funkční objekt je výpustné zařízení, které je tvořeno dvěma trubkami umístěnými pod hrází a požeráku. Ten je uzavřený a dvoudlužový. Požerák je využíván k manipulaci s hladinou například pro čištění koupaliště, kdy je částečně vypuštěno (Říčany, 2016b).

Rybník Rozpakov leží na jižním okraji města Říčany. Zbudován byl v letech 1989 – 1990. Má sypanou zemní homogenní hrát, jejíž celková délka je 134 m. Pro případné vypouštění vody je nádrž vybavena otevřeným železobetonovým požerákem, který je vybaven dvojitou dlužovou stěnou. Požerák se vyskytuje v návodním svahu a je přístupný bez nutnosti lávky. Dalším funkčním prvkem je bezpečnostní přeliv, který je nehrazený a přelivnou hranu tvoří zaoblený práh (Říčany, 2015).

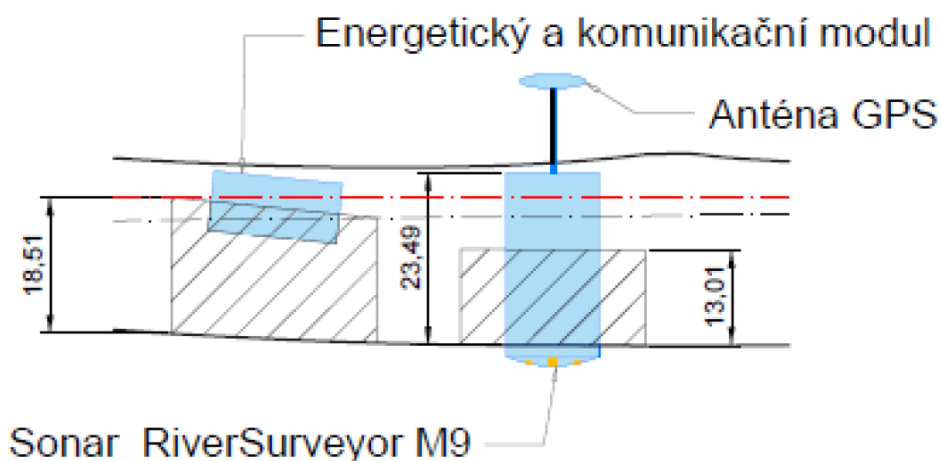
Panský rybník, který se nachází v katastrálním území Tehov, byl poslední měřenou nádrží. V letech 1971 – 1975 byl rybník obnoven a do provozu uveden následující rok rozhodnutím vodohospodářského orgánu. Hráz rybníka je homogenní sypaná z místního materiálu a široká 5 m. Návodní strana je opevněna vegetačními tvárnici. Jako výpustné zařízení je v nádrži betonový funkční objekt s dvojitým požerákem, který je využíván zároveň jako bezpečnostní přeliv. Rybník má na několika místech vlivem vodních a povětrnostních vlivů podemlety části břehů, přesto nebyl na nádrži zaznamenán průsak hráze. Dle odkladů pro projekt odbahnění Panského rybníka je objem nádrže 15 380 m³ (Prášek A., 2017).

5 Metodika

5.1 Batymetrické měření

Pro měření soustavy nádrží na Říčanském potoce byl použit echosounder RiverSurveyor M9 od firmy SonTek. Měřicí hlavice přístroje byla vložena do kajaku, který byl právě pro tento účel speciálně upraven Katedrou vodního hospodářství a environmentálního modelování.

Do kajaku značky Vajda je vloženo měřicí zařízení. V kajaku je zároveň místo pro jednu osobu, která pomocí pádla loď ovládá. Loď lze ovládat celoročně, jelikož může být v případě potřeby celá zakryta. Loď je z nevodivého materiálu, protože přístroj obsahuje kompas a náklonoměr, kterými jsou korigovány eventuální náklony kánoe a to do všech tří stran. Při konstrukci byla také brána v potaz kavitace, při které vznikají bubliny. Ty by mohli ovlivnit přesnost měření, a proto je tělo sonaru umístěno před osobou obsluhující loď. Díky tomu nedochází k tvorbě vírů pod sonarem. Na následujícím nákresu (Obr. č. 4) lze vidět upevnění těla sonaru v kónickém tubusu. Ten je utěsněn pružnou pěnou nejen proti nechtěné změně výšky sonaru, ale také proti zatékání do kánoe (Hradilek a kol. 2017).



Obr. č. 4: Ukotvení aparatury na nosném plavidle (Hradilek a kol. 2017)

K měřicí hlavici je zároveň připojena komunikační jednotka, která je také vložena do kajaku. Komunikační jednotka zpracovává data a přijímá signál od Real Time Kinematic (dále RTK).

RTK stanice, které bylo nutné sestavit, je umístěno na břehu nádrže. Stanice zajišťuje údaje o zeměpisné šířce a délce a výškové údaje a ty následně předává řídicí jednotce (Erden, 2013). RTK stanice vysílá RTK korekce umožňující určení přístroje s přesností do 3 cm.



Obr. č. 5: RTK stanice na břehu nádrže (Autor, 2018)

Celý přístroj je ovládán mobilním telefonem Nokia vybaveného softwarem RiverSurveyor Live. Telefon komunikuje s přístrojem pomocí Bluetooth. Přístroj lze nejen přes mobil ovládat, ale zároveň sledovat průběh měření, jako například rychlost jízdy či aktuální hloubku. Mobilní telefon má u sebe člověk, který zrovna měří, aby mohl vše sledovat a ovládat. Telefon je pro bezpečnost uložen ve voděodolném obalu. Před započítím měření je vhodné o daném měření v mobilu vyplnit data, která později usnadní oddělit jednotlivá data. Uvádí se například název místa, čas měření, ale například i váha jezdce atd. Jedním z důležitých údajů je ponor měřicí hlavice, která je prostrčena skrz dno kajaku. S vyplněným údajem bude přístroj danou hodnotu automaticky odečítat.

Stejně tak důležitá, jako je vyplnění dat, je kalibrace. Ta je prováděna pro snížení nepřesnosti měření, protože na vodě je kajak různě nakláněn na neklidné hladině. Kalibraci je tedy nutné provádět s celým kajakem a ne pouze jen s přístrojem. Provádí se nejlépe ve dvou lidech, kdy je kajak zvednut a následně střídavě nakláněn na přídi a zádi. Zároveň se naklání na levobok a pravobok a současně se s kajakem otáčí

dokola. Celá kalibrace musí trvat minimálně 90 sekund, aby byla zaznamenána správně. Důležité je se při kalibrování vyvarovat přiblížení ke kovovým předmětům, které by mohli samotný postup negativně ovlivnit.



Obr. č. 6: Připevnění měřicí aparatury RiverSurveyor M9 na kajaku (Autor, 2018)

Následné měření probíhá najížděním lodí po nádrži. Hustota a geometrie se stanoví před započítáním měření a měla by odrážet potřeby měření a geomorfologii nádrže (Hradilek a kol. 2017). Z pravidla se ale začíná změřením břehové linie, kdy se objede cca 1 metr od břehu celá linie nádrže. Dosud probíhalo měření způsobem, kdy se nádrž přejela středem, čímž se nádrž pomyslně rozdělila na půl. Obě pomyslné poloviny byly následně také přeměřeny ve středu. Nádrž byla potom doměřena pomocí přímek, které svírali úhel cca 45°. Pro tuto studii byl vyzkoušen lehce odlišný způsob dat. Po klasickém zaměření břehové linie se nádrž najíždí dál po obvodu nádrže v postupně se zmenšujících kruzích.

5.2 Zpracování dat

Naměřená data bylo dále nutné získat ze samotného přístroje. Proto bylo důležité mít v počítači nainstalovaný software RiverSurveyor Live, který byl stejně tak v mobilním telefonu při měření. V daném programu jsme si mohli prohlédnout

jednotlivá data, nebo například i trasu najíždění při měření. Data byla dále upravená v programu Microsoft Excel. Takto upravená data byla na závěr vložena do programu ArcGIS jako XY data.

Dalším krokem byla tvorba DMT pomocí interpolační metody. V tomto případě byla použita metoda Spline, která byla popsána v rešeršní části. V programu ArcGIS se pustila tvorba interpolace přes Geostatistical Analyst, kde lze také prozkoumat naměřená data. Samotná interpolace se, ale volí až v Geostatistical Wizard. Zde je několik interpolačních metod, které lze použít. Jak již bylo zmíněno dříve, v tomto případě bylo zvoleno Spline, přesněji Spline with Tension. Následně se pomocí nastavování jednotlivých atributů snažilo docílit nejlepšího výsledku.

Každá interpolační metoda má jistou odchylku, jelikož neznámé hodnoty vlastně odhaduje na základě svého nastavení. Tato odchylka se dá kvantifikovat pomocí střední kvadratické chyby neboli anglicky root mean square error (RMSE). Kvadratická chyba měří odchylky mezi jednotlivými modelovanými a naměřenými daty. Vyšší výsledná RMSE představuje větší rozptyl mezi dvěma datovými sadami (Wood, 1996).

Kvadratickou chybu lze matematicky vyjádřit jako:
$$\mathbf{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z_i - Z_j)^2}{n}}$$

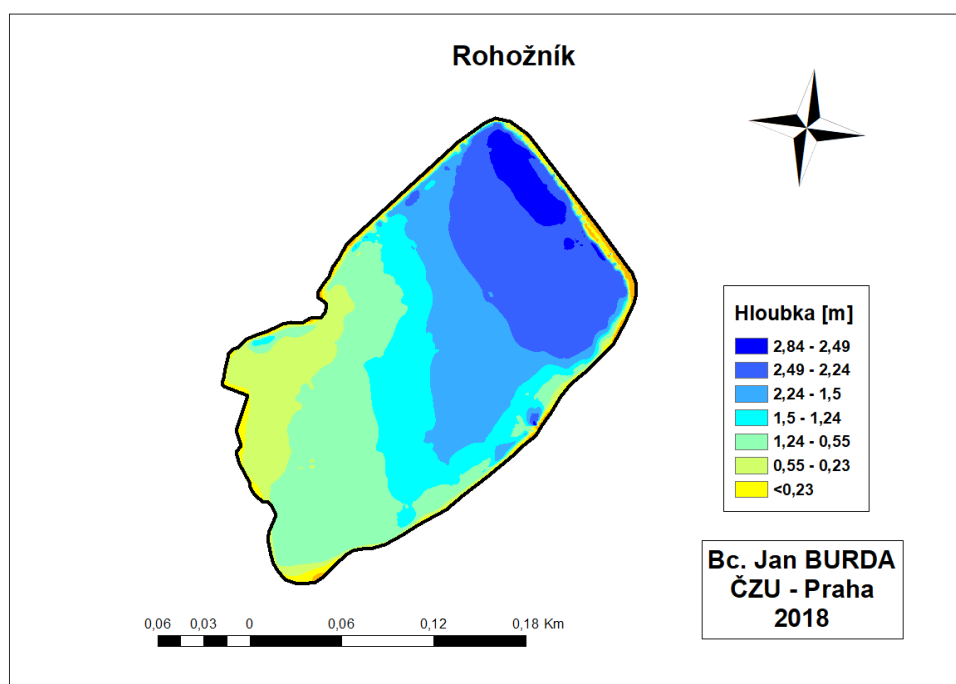
Z_i je hodnota interpolovaného DMT, Z_j je naměřená hodnota, n je počet kontrolovaných bodů.

Na závěr se funkcí Surface Volume vygenerovaly objemy pro jednotlivé nádrže. Daná funkce určuje celkový objem mezi horní a dolní částí povrchu. Při výpočtu objemu se výpočty generují samostatně pro každou jednotlivou buňku. Funkce je zároveň schopna odhadnout objemy v místech, kde je povrch v dolní nebo horní části buňky nakloněn.

6 Výsledky

V programu ArcGIS byly interpolační metodou Spline vytvořeny pro všechny nádrže DMT. Výsledky jsou zobrazeny pomocí mapových výstupů a i tabulek. Dále je vyhodnocena RMSE a také celkové objemy nádrží. Objemy byly vypočítány funkcí Surface volume. Ty byly následně porovnány s objemy uvedených v manipulačních rádech jednotlivých nádrží. Na závěr byly vzniklé rastry klasifikovány do barevné škály, která reprezentuje rozsahy hloubek v nádržích. Pro přehlednost jsou výsledky seřazeny v tabulkách.

Rybník Rohožník, který zobrazuje první mapový výstup (Obr. č. 7), se nachází v městské části Dubeč na území hlavního města Prahy. Plní krajinnotvornou a akumulaci. Rybník byl v roce 2014 revitalizován, kdy bylo zároveň odtěženo 15 000 m³ sedimentu. Podle manipulačního rádu, který je z roku 2015, je objem nádrže 61 500 m³. Vypočtený objem z toho měření byl naopak 57 628 m³. Rozdíl je tedy o 3 872 m³. Nádrži tedy klesl akumulaci prostor o necelé 4 000 v rozmezí tří let.



Obr. č. 7: DMT malé vodní nádrže Rohožník (Autor, 2018)

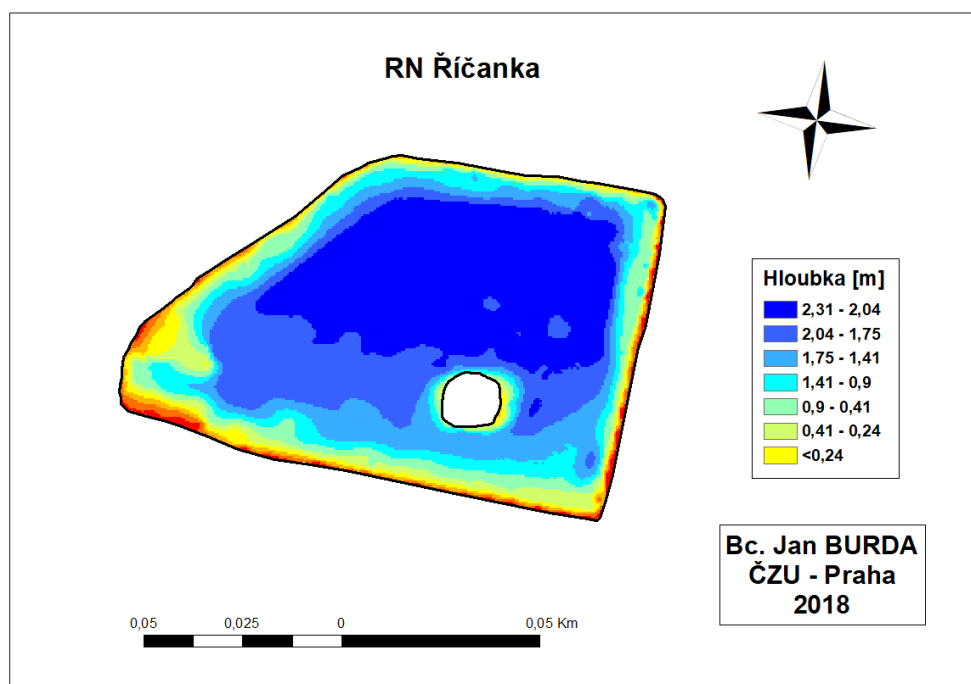
Vytvořený DMT je barevně barevné zbarven pro lepší přehlednost. Barevná škála reprezentuje rozsah hloubek v nádrži, které byly naměřeny přístrojem. Nejtmavší barvy představují nejvyšší hloubky v nádrži. Dle umístění nejtmavší barvy lze uvést,

že nádrž má nevyšší hloubku v severovýchodní části. Interpolovaný DMT byl vygenerován s RMSE o hodnotě 0,277 m.

Malé barevné pixely neboli interpolační oči, které jsou nepravidelně rozmístěny, mohou vnikat v místech, kde nebyla nádrž dostatečně proměřena. Z toho důvodu byla také zvolena právě interpolační metoda Spline with Tension, která si umí s případným nedostatkem bodů poradit lépe než například Spline Regularized. Interpolační oči stejně tak ale mohou vzniknout při samotném měření, kdy je na dně nádrže cizí předmět, který výsledek negativně ovlivní. Stejně tak to bude platit i u všech následujících mapových výstupech.

Retenční nádrž Říčanka (Obr, č. 8), která leží jihovýchodně od Dubče. Tato nádrž byla měřena zároveň s její dosazovací nádrží, která leží hned vedle. Revitalizace byla realizována v letech 2011 – 2012. Současně bylo z rybníku odtěženo 1 000 m³ sedimentu. V roce 2015 byl stav objemu nádrže 14 472 m³. Nyní dle měření klesl na 13 827 m³. V rozmezí tří let tedy daný akumulací prostor klesl o 645 m³.

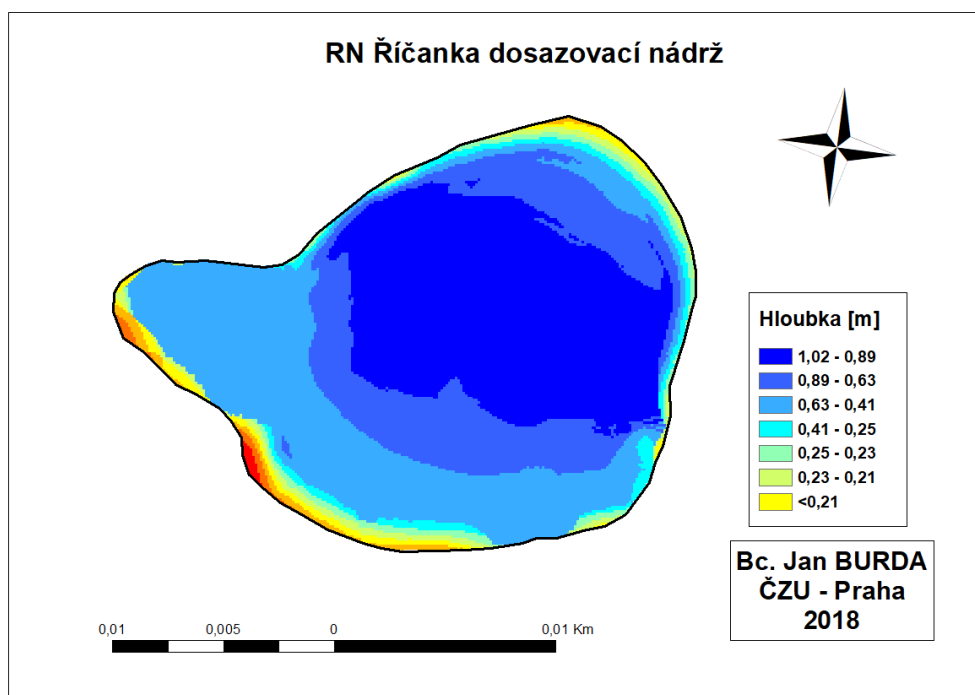
Na vtoku do nádrže je patrný sedimentační kužel, který je zpravidla tvořen písčitémi a hrubšími částicemi. Bílé místo uprostřed je ostrůvek, který do interpolační techniky nebyl zahrnut. Podle digitálního modelu lze určit, že nejvyšší hloubka je v severní části nádrže. I lze je vhodné uvést, že interpolace pracovala s RMSE v hodnotě 0,152 m.



Obr. č. 8: DMT malé vodní nádrže RN Říčanka (Autor, 2018)

Dosazovací nádrž Říčanka, která je před RN Říčanka na nátoku, lze vidět na následujícím mapovém výstupu (Obr. č. 9). Nádrž byla realizována společně s retenční nádrží, tedy v letech 2011 – 2012. Objem v roce byl 458 m³. Dle měření je nyní 184 m³. Rozdíl je tedy po třech letech o 274 m³.

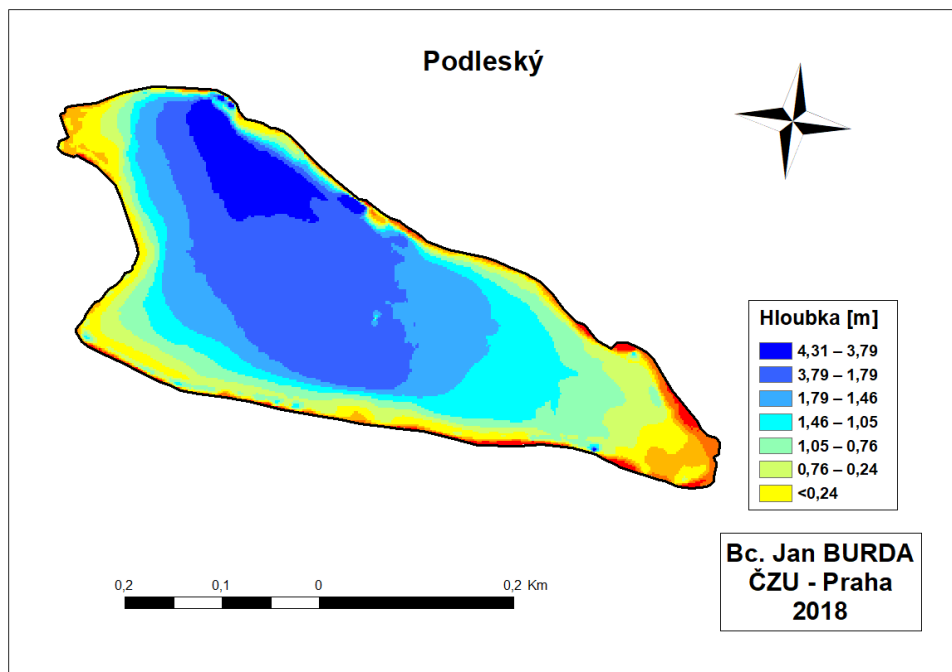
Dle DMT lze opět určit nejhlubší místo nádrže, které je v tomto případě cca ve středu nádrže. U tvorby tohoto modelu interpolace pracovala s RMSE v hodnotě 0,253 m.



Obr. č. 9: DMT malé vodní nádrže RN Říčanka dosazovací nádrž (Autor, 2018)

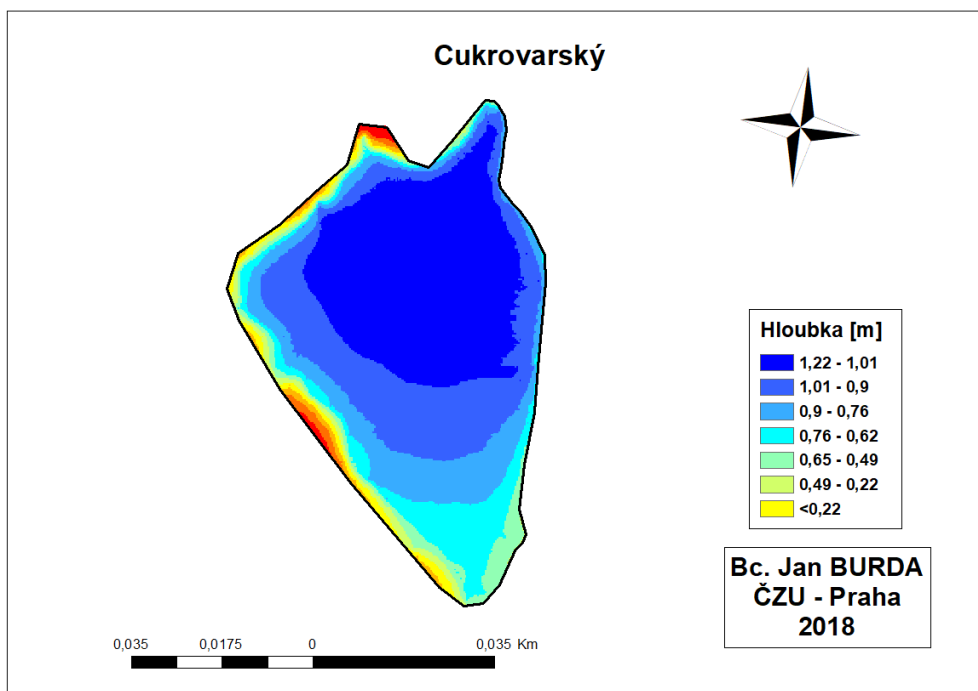
Podleský rybník (Obr. č. 10), jenž je označován za druhý největší rybník v Praze, leží v městské části Uhřetěves. Je využíván jako rybochovná nádrž, ale v případě potřeby slouží i jako zdroj požární vody. V manipulačním řádu, který je z roku 2004, je uváděn objem 385 000 m³. Z měření se vypočítal objem 334 142 m³. Objem tedy za čtrnáct let klesl o 50 858 m³. Dalo by se tedy říct, že každý rok klesne akumulací prostor nádrže o téměř čtyři tisíce.

Z DMT je patrné, že nejhlubší část nádrže je v severní části. Vyšší hloubky se pak táhnou do středu nádrže. Nejvyšší hloubka v nádrži může dosahovat až 4,31 m. Nejnižší hloubky jsou pak na jihovýchodní straně nádrže. U této nádrže byla hodnota RMSE 0,130 m.



Obr. č. 10: DMT malé vodní nádrže Podleský rybník (Autor, 2018)

Cukrovarský rybník (Obr. č. 11) se také nachází v Uhřetěvsi. Naneštěstí se o něm nepodařilo sehnat dostatečné množství informací. Dříve byl nejspíše využíván jako zdroj vody pro dnes již zaniklý cukrovar. S jistotou lze pouze říci, že nádrž je napájena zatrubněným korytem od rybníků Nadýmač I a Nadýmač II. Naneštěstí se nepodařila sehnat ani předešlá hodnota objemu. Ale dle měření je v současné době 2 776 m³.

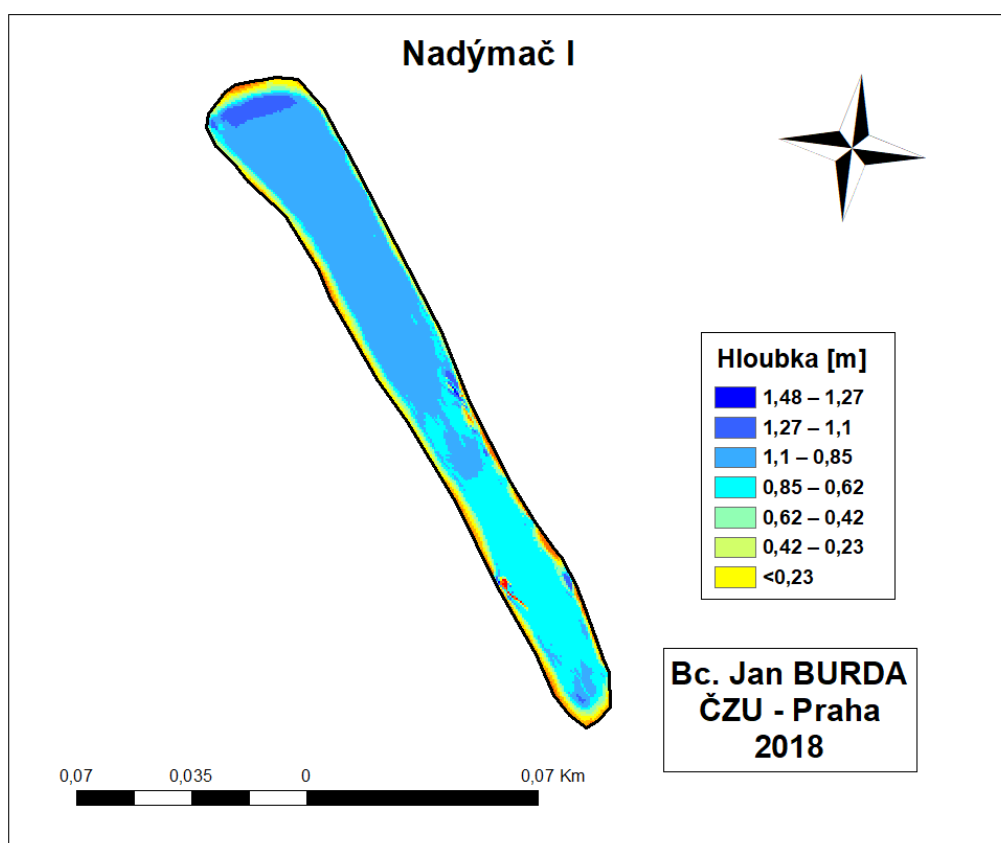


Obr. č. 11: DMT malé vodní nádrže Cukrovarský rybník (Autor, 2018)

Cukrovarský rybník má dle DMT nejvyšší hloubky v jeho středu, kde je viditelně soustředěná tmavě modrá barva. Interpolace pracovala s RMSE o hodnotě 0,358 m. Při měření byl zjištěn neuspokojivý stav opevnění břehů a silné zanesení sedimentem, Z toho důvodu nebylo možné jednu třetinu nádrže vůbec zaměřit. To znamená, že hloubka byla menší než 0,2 m.

Nadýmač I, který lze spatřit na následujícím výstupu (Obr. č. 12) leží společně s Nadýmačem II v Uhříněvsi. Jak již bylo řečeno, napájí Cukrovarský rybník. Zároveň je součástí soustavy, která je napájena mlýnským náhonem. Nádrž je primárně využívána jako rybochovná. V manipulačním řádu je uveden objem 8 500 m³ a naměřený je 5 195 m³. Rozdíl je tedy v tomto případě 3 305 m³.

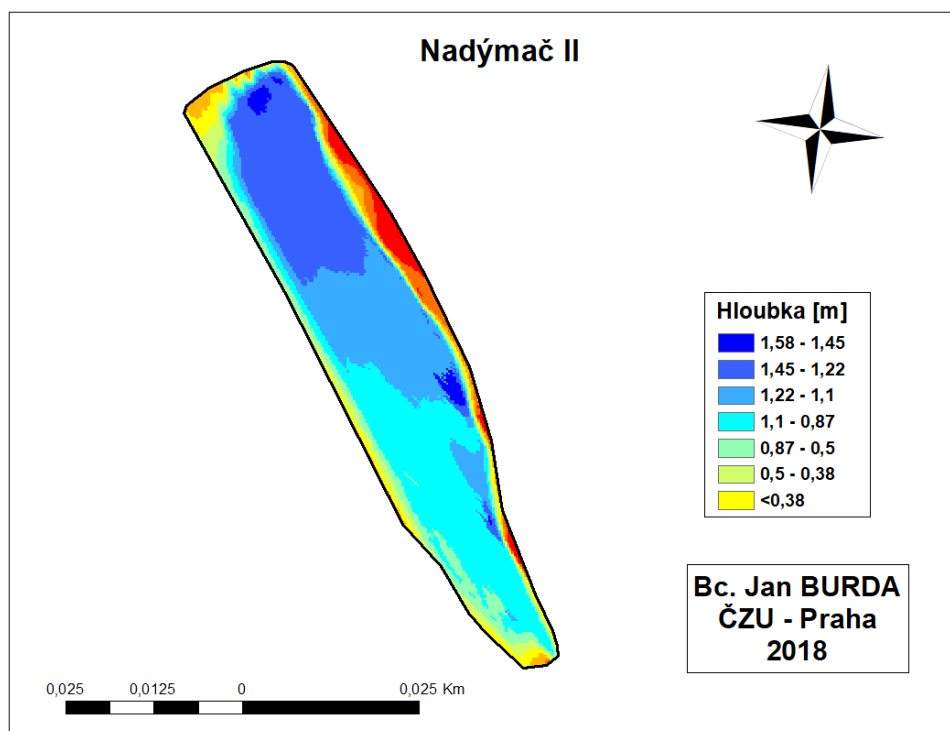
Z mapového výstupu lze usoudit, že nádrž jde od nejhlubší části na severozápadní straně po nejmělkčí na straně jihovýchodní. U této nádrže lze v DMT vidět pár nerovností, které mohli být způsobeny nedostatečným pokrytím zaměřených bodů, ale také cizími tělesy na dně nádrže. RMSE je v tomto případě 0,209 m.



Obr. č. 12: DMT malé vodní nádrže Nadýmač I (Autor, 2018)

Nadýmač II (Obr. č. 13) je také napájen mlýnským náhonem. Hlavní funkce je stejně jako u Nadýmače I rybochovná. Oproti Nadýmači I je, ale nádrž mnohem menší. Objem dle manipulačního řádu je 3 000 m³. Vypočtený objem je pak 1 310 m³. Rozdíl je tedy 1 690 m³.

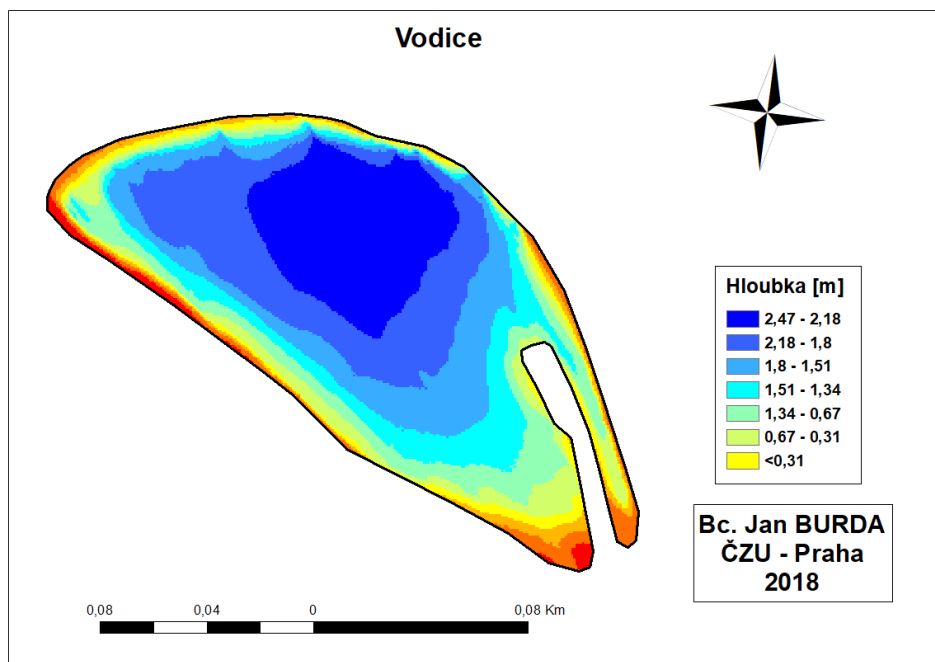
Stejně jako u Nadýmače I je nádrž hlubší na severozápadní straně. Oproti Nadýmači I, je DMT o něco lépe zpracovaný. Při interpolaci byla hodnota RMSE 0,156 m.



Obr. č. 13: DMT malé vodní nádrže Nadýmač II (Autor, 2018)

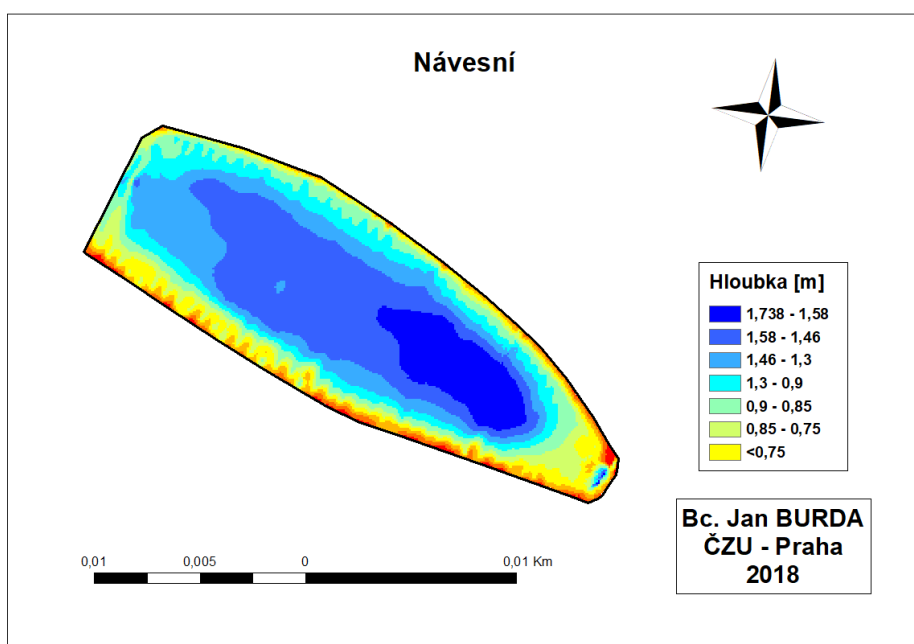
Vodní nádrž **Vodice** (Obr. č. 14) nebo také jinak Velká Vodice je poslední nádrž, která leží v Uhříněvsi. Je využívána především jako akumuláční a rybochovná. Nádrž je také schopna v případě potřeby pomocí stavidlového uzávěru napájet předešlé dvě nádrže. Manipulační řád uvádí objem 31 760 m³. Naopak objem vypočtený je 24 968 m³. Rozdíl oproti manipulačnímu řádu je 6 792 m³.

Na DMT nádrže je nejhlubší část situována do středu nádrže. Nejnižší hloubky jsou pak v jihovýchodní nádrži. U této nádrže bylo při interpolaci RMSE 0,342 m.



Obr. č. 14: DMT malé vodní nádrže Velká Vodice (Autor, 2018)

Návesní rybník (Obr. č. 15) ležící v Kolovratech byl prvotně vybudován jako zdroj užitkové vody případně jako zdroj vody požární. Z podkladů na revitalizaci Návesního rybníka z roku 2009 byl použit objem 2 850 m³. Naměřený byl pak 2 526 m³. Rozdíl je tedy 324 m³. Nádrž má naneštěstí po celém obvodu kolmé stěny, které zkreslují výsledek. Tomu by šlo případně předejít zahrnutím do interpolace jako lomová hrana.

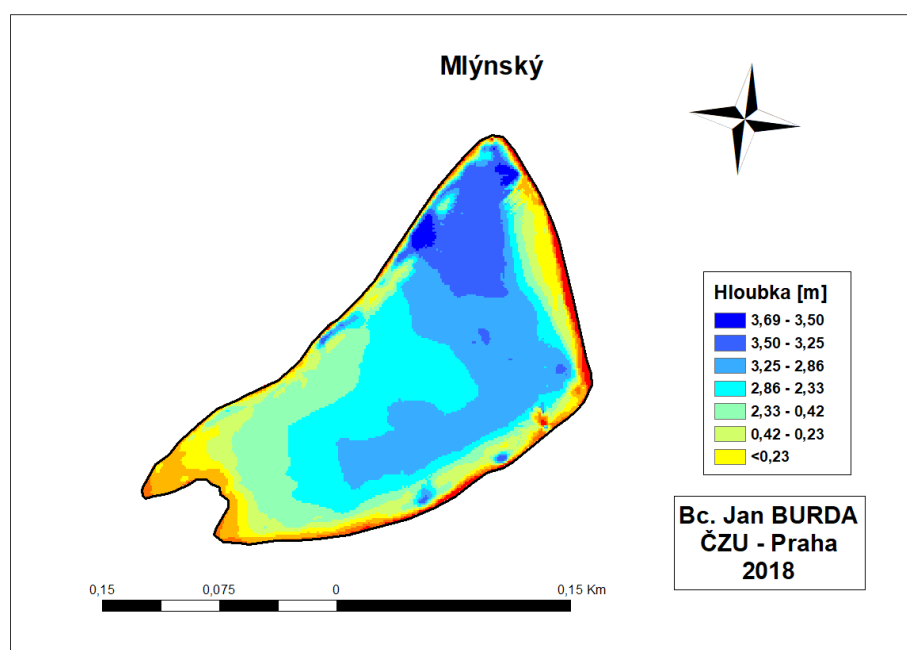


Obr. č. 15: DMT malé vodní nádrže Návesní rybník (Autor, 2018)

DMT znázorňuje nejvyšší hloubky na jihovýchodní straně. Ty se následně táhnou do středu nádrže. Naopak nízké hloubky se drží po krajích nádrže. DMT byl vygenerován s RMSE 0,260 m.

Mlýnský rybník (Obr. č. 16) se nachází v západní části města Říčany. Nádrž plní hlavně akumulaci a retenční funkci. U této nádrže manipulační řád z roku 2016 uvádí objem 144 830 m³ a naopak naměřený byl 90 209 m³. Rozdíl je tedy 54 621 m³. V pouhých dvou letech tedy klesl objem nádrže skoro o 55 000 m³. Což je například oproti Podleskému rybníku, kde objem klesl o skoro 51 000 m³, velké množství.

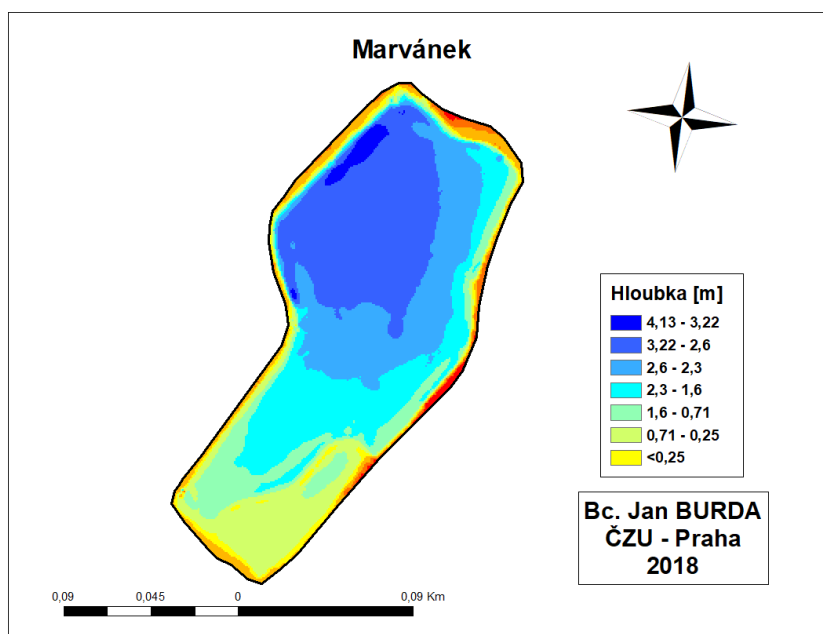
Z DMT lze opět odvodit, že nevyšší hloubky jsou v severní části nádrže. Vysoké hloubky se následně táhnou i do středu nádrže. Naopak místo s nejnižšími hloubkami lze považovat za to v jihozápadní straně. Interpolace pracovala s RMSE o hodnotě 0,197 m.



Obr. č. 16: DMT malé vodní nádrže Mlýnský rybník (Autor, 2018)

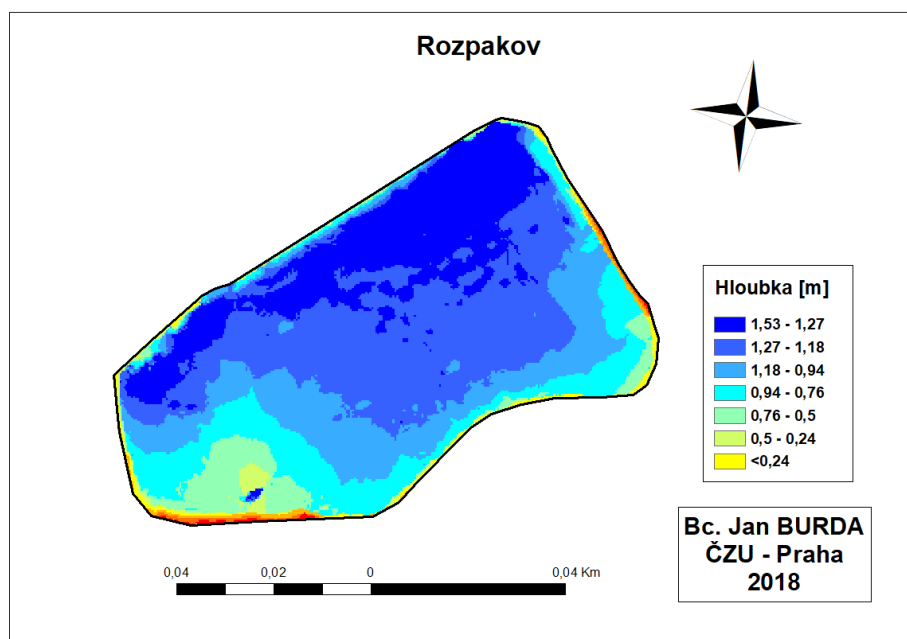
Marvánek (Obr. č. 17) leží stejně jako Mlýnský rybník v Říčanech. Nádrž plní funkci rekreační, rybochovnou nebo krajínovnou. Jako u předešlých nádrží i zde pro porovnání objemů posloužil manipulační řád, který byl vyhotoven v roce 2016. Ten uvádí objem 51 830 m³. Vypočtený objem z naměřených hodnot je 36 737 m³. Rozdíl je tedy o 15 093 m³.

DMT jasně ukazuje, že nevyšší hloubky jsou v nejširší části nádrže tedy na severozápadě. Naopak nejnižší hloubky jsou na opačné straně nádrže. DMT byl vygenerován s RMSE o hodnotě 0,169 m.



Obr. č. 17: DMT malé vodní nádrže Marvánek (Autor, 2018)

Rozpakov (Obr. č. 18), který leží již na okraji Říččan. V manipulačním řádu z roku 2015 je uveden objem 25 609 m³. Nově vypočtený je 12 547 m³, což znamená, že celkový objem klesl o 13 062 m³.

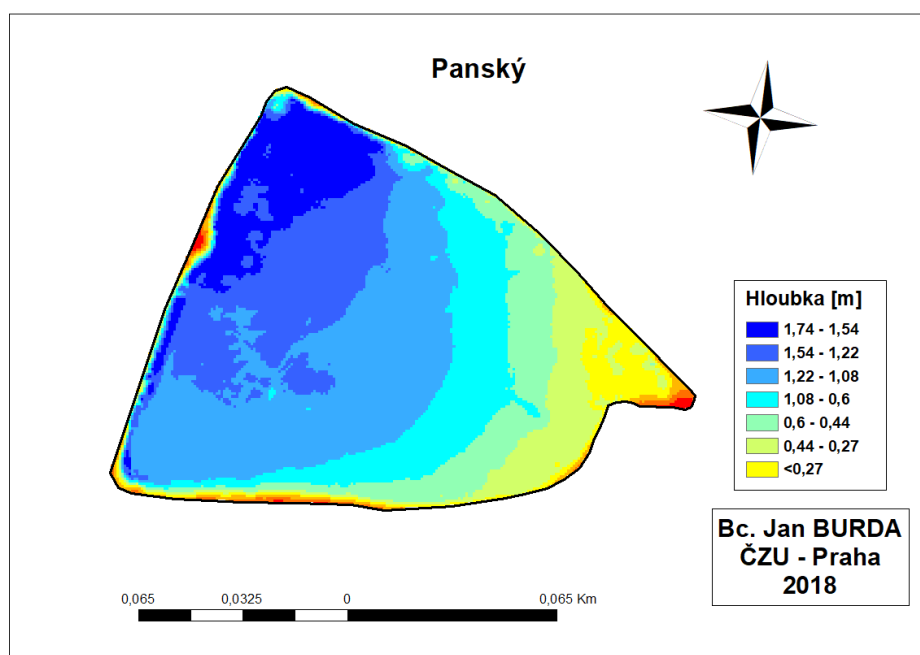


Obr. č. 18: DMT malé vodní nádrže Rozpakov (Autor, 2018)

DMT jako u všech předešlých nádrží zobrazuje rozsah hloubek v nádrži. Nejvyšší jsou na severozápadní straně a pokračují do středu nádrže. Nutno dodat, že je nádrž značně zabahněna. A variabilita dna nádrže je dána dvojím téměř protilehlým přítokem. Na jihozápadním přítoku se následně tvoří sedimentační kužel. Naopak na přítoku z jihovýchodní strany kužel není, protože nádrž ležící před Rozpakovem vlastně plní funkci sedimentační usazovací nádrže. RMSE bylo v tomto případě 0,089 m.

Panský rybník (Obr. č. 19) leží v obci Tehov. Manipulační řád nebyl k dispozici, přesto byly alespoň použity podklady k vyhodnocení projektu odbahnění a jeho případné realizaci. Podklady jsou z loňského roku a uvidí objem 15 380 m³. Vygenerovaný objem je 14 243 m³. Rozdíl je tedy 1 137 m³.

Z mapového výstupu je patrné, že nejhlubší je nádrž na západní straně. RMSE bylo u této nádrže 0,103 m.



Obr. č. 19: DMT malé vodní nádrže Panský rybník (Autor, 2018)

Pro přehlednost jsou jednotlivé výsledné objemy uvedeny v následující tabulce (Tab. č. 1). V tabulce jsou uvedeny celkové objemy z manipulačních řádů a objemy naměřené. Uveden je i rozdíl mezi jednotlivými hodnotami. Po sečtení jednotlivých vypočtených objemů vyšel výsledek 596 291 m³. Dané číslo tedy představuje množství, které je povodí Říčanského potoka schopné zadržet.

V další tabulce (Tab. č. 2) jsou uvedeny jednotlivé hodnoty RMSE pro všechny nádrže. Průměrná hodnota RMSE se kterou se pracovalo je 0, 0,207 m.

Tab. č. 1: Porovnání stávajících a vypočtených objemů (Autor, 2018)

Název nádrže	Objem manipulačního řádu	Objem vypočítaný	Rozdíl
V Rohožníku	61 500 m ³	57 628 m ³	3 872 m ³
RN Říčanka	14 472 m ³	13 827 m ³	645 m ³
Říčanka dosazovací nádrž	458 m ³	184 m ³	274 m ³
Podleský rybník	385 000 m ³	334 142 m ³	50 858 m ³
Cukrovarský rybník	Nebyl k dispozici	2 776 m ³	2 776 m ³
Nadýmač I	8 500 m ³	5 195 m ³	3 305 m ³
Nadýmač II	3 000 m ³	1 310 m ³	1 690 m ³
Velká Vodice	31 760 m ³	24 968 m ³	6 792 m ³
Návesní rybník	2 850 m ³	2 526 m ³	324 m ³
Mlýnský rybník	144 830 m ³	90 209 m ³	54 621 m ³
Marvánek	51 830 m ³	36 737 m ³	15 093 m ³
Rozpakov	25 609 m ³	12 547 m ³	13 062 m ³
Panský rybník	15 380 m ³	14 243 m ³	1 137 m ³

Tab. č. 2: Hodnoty RMSE pro jednotlivé nádrže (Autor, 2018)

Název nádrže	RMSE
V Rohožníku	0,277 m
RN Říčanka	0,152 m
Říčanka dosazovací nádrž	0,253 m
Podleský rybník	0,130 m
Cukrovarský rybník	0,358 m
Nadýmač I	0,209 m
Nadýmač II	0,156 m
Velká Vodice	0,342 m
Návesní rybník	0,260 m
Mlýnský rybník	0,197 m
Marvánek	0,169 m
Rozpakov	0,089 m
Panský rybník	0,103 m

7 Diskuze

Tato práce se věnuje batymetrickému měření soustavy malých vodních nádrží na povodí Říčanského potoka. Měření bylo realizováno echosounderem RiverSurveyor M9 od americké firmy SonTek. Přístroj měří průtoky ve vodních tocích, ale stejně tak je i schopen měřit hloubky vodních toků a nádrží. V současné době se jedná o jeden z nejpokročilejších přístrojů pracujících na principu ADCP (Erdem, 2013). Měření byly získány souřadnice bodů, které později posloužily při tvorbě digitálního modelu terénu.

Měření se týkalo rybníků, které se nachází na toku Říčanského potoka. Nádrže se měřily z Prahy od soutoku s Rokytkou, až po Tehov, kde samotný potok pramení. Přesněji se jednalo se o rybníky V Rohožníku, retenční nádrž Říčanka, Cukrovarský rybník, Nadýmač I, Nadýmač II, Velká Vodice, Návesní rybník, Mlýnský rybník, Marvánek, Rozpakov a nakonec Panský rybník.

Měření probíhalo tak, že měřící hlavice přístroje RiverSurveyor byla vložena do kajaku, který byl speciálně upraven Katedrou vodního hospodářství a environmetálního modelování pro měření hloubek. Kajak je vzhledem své velikosti a relativně nízkému ponoru vhodný pro měření i velmi malých hloubek, čímž může konkurovat větším lodím. Stejný způsob byl použit například v roce 2015 u nádrží Břve a Strnad (Hradilek a kol. 2015) a i později. Tento přístroj již byl tedy několikrát testován pro použití při podmínkách, které jsou charakteristické pro Českou republiku. Celkové měření bylo velmi fyzicky a časově náročné. Proto by bylo vhodné příště přemýšlet o přístroji, který by se do jisté míry dal řídit autonomně.

Pro naměřené hodnoty bylo nutné zvolit vhodnou interpolační metodu ke tvorbě digitálního modelu terénu. V této práci byla zvolena metoda Spline, která byla použita například při měření dna jezera Fletcher (Huggett, 2008). Metoda Spline má dvě varianty použití. První je Spline with Tension a druhou pak Regularized Spline. Jelikož Regularized Spline vykazovalo příliš velké rozdíly mezi maximální a minimální hloubkou dna nádrže, ke kterým docházelo hlavně v místech s nedostatečným počtem naměřených bodů. Varianta Spline with Tension, která byla použita v této práci, podobné problémy neměla. Naopak se ukázala poměrně univerzální a dovedla si nedostatkem hodnot poradit. Následně byly vygenerovány objemy nádrží.

Přesto že byla pro danou práci zvolena metoda Spline, je také vhodné uvést, že nelze přesně určit, která metoda je tou nejvhodnější. Záleží totiž z pravidla vždy na měřených hodnotách a požadovaných výsledcích, jak už bylo popsáno v rešeršní části. Například metoda Topo to Raster byla použita na Slovensku při tvorbě DMT dna nádrží Malá a Velká Richňavská (Kubinský a kol. 2013), nebo například v USA při tvorbě mapy John Redmond Reservoir (Kansas Biological Survey 2007). Velice často bývá také používaná metoda Kriging. Přesně tuto interpolační metodu použil například kolega Jakub Hrudka při zpracování své diplomové práce, která byla zpracovávána souběžně s touto. Diplomová práce s názvem Aktuální retenční kapacita soustavy MVN na Říčanském potoce se zabývala stejným územím, ale byla použita interpolační metoda Kriging. Při vzájemném srovnání výsledků se potvrdilo, že některé interpolační metody jsou vhodnější pro určité hustoty dat, geometrie dat a typu nádrže.

Ať už je vybrána jakákoliv metoda musí se počítat s určitou chybou. Každá metoda totiž odhaduje neznámé hodnoty a to se neobejde bez jistých odchylek. Přesto se dá každá odchylka kvantifikovat a to pomocí tzn. střední kvadratické chyby neboli RMSE. Ta vyhodnocuje odchylky mezi jednotlivými daty (Wood, 1996).

Při batymetrickém měření nádrží na povodí Říčanského potoka byl použit stejný postup jako v minulých letech u jiných nádrží. Přesto byl v letošním roce u některých nádrží použit i nový postup najíždění, aby mohlo dojít k případnému porovnání.

8 Závěr

Cíle práce, kterým bylo batymetrické zaměření a následné zpracování dat, byly splněny. Stejně tak bylo splněno zpracování rešeršní a praktické části.

Z diplomové práce lze vyvodit celkový objem povodí Říčanského potoka, který je $596\,291\text{ m}^3$. Daný objem by tedy měl reprezentovat množství vody, které soustava malých vodních nádrží dokáže zadržet. Výsledek lze zároveň porovnat s celkovým objemem $745\,189\text{ m}^3$, který byl vypočten z manipulačních řádů. Přihlédneme-li k tomu, že nejstarší manipulační řád je z roku 2004. Lze předpokládat, že za čtrnáct let objem MVN na povodí Říčanského potoka klesl o $148\,898\text{ m}^3$.

Stále je mnoho malých vodních nádrží, které pouze leží ladem a není znám jejich objem. Proto je nutné danou problematiku dostat do popředí a více o ní informovat. Zanášení nádrží sedimenty je a patrně stále bude velkým problémem. Proto by se batymetrický průzkum měl provádět častěji a u více nádrží. Aby bylo možné určit nádrže, které je nutné odbahnit. Průzkum je zvláště pak nutný u těch nádrží, o které se nikdo přímo nezajímá a nestará. Bohužel je to často způsobeno tím, že ne vždy je znám vlastník případně správce nádrže.

9 Seznam použité literatury a zdrojů

9.1 Literární zdroje:

ARUN P. V., 2013: A comparative analysis of different DEM interpolation methods, NIT, M. P., India, 171-177 s.

ADÁMEK Z. a HELEŠIC J., MARŠÁLEK B., RULÍK M., 2008: Aplikovaná hydrobiologie. VÚRH JU, Vodňany, 256 s.

BATUCA D. G., JORDAAN J. M., 2000: Silting and desilting of reservoirs. A. A. Balkema, Rotterdam, 330 s.

BURROUGH P. A., MCDONNELL R. A., 1998: Principles of geographical information systems. Oxford University Press, Oxford, 333 s.

BURIAN J., 2008: Vyznáte se v interpolacích?. Geobusiness 7/11, s. 40-41.

COLLINS S. H., MOON G. C., 1981: Algorithms for dense digital terrain models. Photogram. Eng. and Remote Sensing. 47, s. 71-76.

ČSN 75 2410, 2011: Malé vodní nádrže. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 48 s.

DOLANSKÝ T., 2004: Lidary a letecké laserové skenování. Acta Universitatis Purkynianae, 99, Studia geoinformatica, Univerzita J. E. Purkyně, Ústí n. Labem, 100 s.

DURAS J. POTUŽÁK J., MARCEL M., 2015: Rybníky a jakost vody. In: Rybníky - naše dědictví i bohatství pro budoucnost, ČSKI, Praha.

DVOŘÁKOVÁ, P., 2014: Možnosti Společné zemědělské politiky, Praha, 2014. 117-125 s.

DYK V., ŠTĚDRONSKÝ E., PODUBSKÝ V., 1959: ABC rybáře. Práce, Praha, 247 s.

EL-SHEIMY, 2005: Naser et al. Digital terrain modeling: acquisition, manipulation, and applications. Boston: Artech House, 257 p. ISBN 9781580539210.

ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA, 1987: The New Encyclopædia Britannica. Micropaedia and Macropaedia, Chicago.

ERDEM H., 2013: RiverSurveyor S5/M9 System Manual. SonTek, San Diego, 154 s.

FANTA J. a PETŘÍK P., 2014: Povodně a sucho: krajina jako základ řešení: sborník příspěvků ze seminářů komise pro životní prostředí. Akademie věd ČR, Průhonice: Botanický ústav, ISBN isbn978-80-86188-44-7.

GERGEL J., ČÍŽEK V., JANEČEK M., KOLÁŘ L., KRONIKA V., NIETSCHEOVÁ 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

GREGORICH E G. a Turchenek L. W., 2001: Soil and environmental science dictionary. Vydalo CRC Press. 1 edition. 577 s. ISBN 0-8493-3115-3

HERBICH, J., 2001: Handbook of Dredging Engineering. McGraw-Hill inc. USA. 992 s. ISBN: 978-0071343060

HERWITZ S. R., JOHNSON L. F., DUNAGAN S. E., HIGGINS R. G., SULLIVAN D. V., ZHENG J., LOBITZ B. M., LEUNG J. G., GALLMEYER B. A., AOYAGI M., SLYE R. E., BRASS J. A., 2004: Imaging from an unmanned aerial vehicle: agricultural surveillance and decision support. Computers and Electronics in Agriculture, Volume 44, Issue 1, s. 49-61.

HRADIL R., 2007: Rokytky: putování k pramenům. Hranice: Fabula, ISBN 9788086600451

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.

Hradilek V., Roub R., Novák P., Vybíral T., Marval Š., Hejduk T., Hlaváček J., Bureš L., 2017: Technologie připevnění a stabilizace měřicí aparatury RiverSurveyor M9 na kajaku za účelem měření batymetrie malých vodních nádrží. Technická agentura České republiky. VÚMOP, Praha, ISBN 978-80-87361-72-6.

HUGGETT B., 2008: Fletcher Lake Bathymetry. 2008, 47 s.

- HUTCHINSON M. F., 1988: Calculation of hydrologically sound digital elevation models. Paper presented at Third International Symposium on Spatial Data Handling at Sydney, Australia.
- CHAMOUT L., SKÁLA P., 2008: Geodezie. ČZU v Praze, Praha, 131 s.
- CHILDS C., 2004: Interpolating in ArcGIS Spatial Analyst. ESRI Education Service 3: 32-35 s.
- JEŽEK J., 2008: Geostatistika - Úvod do geostatistiky, Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze.
- JOHNSTON K., VER-HOEF J. M., KRIVORUCHKO K., LUCAS N., 2001: Using ArcGIS Geostatistical Analyst. ESRI. Redlands, 300pp.
- JONÁŠ F. a kol. 1990. Pozemkové úpravy. Praha: Státní zemědělské nakladatelství. 1. vyd. 512 s. ISBN 80-209-0106-X
- JŮVA K., HRABAL A., PUSTĚJOVSKÝ R. 1980. Malé vodní nádrže. Praha: Státní zemědělské nakladatelství. 271 s
- KANSAS BIOLOGICAL SURVEY, 2007: Bathymetric Survey of John Redmond Reservoir, Coffey County, Kansas USA, 22 s.
- KŘIKAVOVÁ L., 2009: Interpolace bodových dat v GIS. České vysoké učení technické v Praze, 55 s.
- KUBINSKÝ, D., FUSKA, J., WEIS, K., LEHOTSKÝ, M., 2013: Change of accumulation volume of Great Richňava and Small Richňava water reservoirs. Acta hydrologica slovac 14/2, 402–413 s.
- LHOTSKÝ R. (2006): Retenční funkce Třeboňské rybníční soustavy. Vodní hospodářství 56 (12): 410-414.
- LI Zhilin, 2005: Digital terrain modeling: principles and methodology. New York: CRC Press, ISBN 0-415-32462-9
- LIANG L., HALE D., 2010: A stable and fast implementation of natural neighbor interpolation.
- MARZOLFF I., POESEN J., 2009: The potential of 3D gully monitoring with GIS using high-resolution aerial photography and a digital photogrammetry system. Geomorphology, Volume 111, Issues 1-2, s. 48-60.

- 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.
- MORAVEC, Josef. Pražské potoky: Říčanka. Nika. Praha, 1983, 21-22.
- NOVÁČEK J., 1997: Péče o rybníky a jejich zařízení. Institut výchovy a vzdělání Ministerstva zemědělství ČR, Praha, 44 s.
- OLIVER M. A., 1990: Kriging: A Method of Interpolation for Geographical Information Systems. *International Journal of Geographic Information Systems* 4, s. 313-332.
- ORŠULÁK T., PACINA J., 2010: Centrum pro virtuální realitu a modelování krajiny. Centrum digitálních služeb MINO, Ústí nad Labem.
- PAVLICA J., 1964: Malé vodní nádrže a rybníky. STNL, Praha, 200 s.
- PEUCKER T.K, FLOWER R.J, LITTLE J.J., 1978: The Trainagulated Irregular Network. Department of Geography, Simon Fraser University, Burnaby, B.C., Canada.
- PERALVO M., 2002: Influence of DEM interpolation methods in Drainage Analysis. *GIS in Water Resources*.
- POKORNÝ J., 2009: Vodní hospodářství (Stavby v rybářství). Vydalo nakladatelství Informatorium v Praze. Vyd. první. 318 s. ISBN 978-80-7333-071-2
- RAPANT P., 2006: Geoinformatika a geoinformační technologie. VŠB-TU Ostrava, 513 s.
- RIBERT H. KENNEDY, 2005: Toward Integration in Reservoir Management, *Lake and Reservoir Management*, 21:2, 128-138, DOI: 10.1080/07438140509354422
- ROLF A., KNIPPERS R. A., SUN Y., ELLIS M. C., KRAK M. J., WEIR M. J. C., GEORGIADOU Y., RADWAN M. M., WESTE C. J., KANZ W., SIDES E. J., 2001: Principles of geographic information systems. The International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC), Hengelosestraat 99.

- SIBSON R., 1981: A brief description of natural neighbor interpolation. Interpolating multivariate data, John Wiley and Sons, New York, s. 21-36.
- SLÁDEČKOVÁ A., SLÁDEČEK V., 1997: Hydrobiologie. ČVUT, Praha, 141 s.
- 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.
- SLAVÍK L., 2000: Biotechnické úpravy v krajině. Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, Fakulta životního prostředí, Ústí nad Labem, 225 s. ISBN 80-7044-310-3.
- 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.
- STRAUB C., WANG Y., IERCAN O., 2009: Airborne Laser Scanning: Methods for Processing and Automatic Feature Extraction for Natural and Artificial Objects. In HERITAGE G. L., LARGE A. R. (Ed.): Laser Scanning for the Environmental Sciences. Blackwell, s. 115-132.
- ŠÁLEK J., 1996: Malé vodní nádrže v životním prostředí. VŠB-Technická univerzita, Ostrava, 141 s. ISBN 80-7078-370-2.
- ŠÁLEK J., 2000: Malé vodní nádrže v zemědělské krajině. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací. 70 s. ISBN 80-7271-051-6
- ŠÁLEK J., MIKA Z., TRESOVÁ A., 1989: Rybníky a účelové nádrže. SNTL, Praha, 272 s.
- ŠÍMA J., 2009: Abeceda leteckého laserového skenování. GeoBusiness, č. 3, s. 22-25. ŠRÁM R., 2014: Stanovisko komise pro životní prostředí AV ČR. Praha, s. 134-137.
- TEMPLETON T., SHIM D. H., GEYER CH., SASTRY S. S., 2007: Autonomous Vision-based Landing and Terrain Mapping Usingan MPC-controlled Unmanned Rotorcraft. Robotics and Automation.
- TLAPÁK V. a Herynek J., 2002: Malé vodní nádrže. Brno: Mendelova zemědělská lesnická univerzita. 1. Vyd. 198 s. ISBN 80 – 7157 – 635 – 2

TOBLER W., 1970: A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. *Economic Geography*, 46(2), s. 234-240.

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.

VRÁNA K. A BERAN J., 2008: Rybníky a účelové nádrže. Česká technika - nakladatelství ČVUT, Praha, 150 s. ISBN 978-80-01-04002-7.

VOTRUBA L. A BROŽA V., 1980: Hospodaření s vodou v nádržích. SNTL, Praha, 443 s.

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.

WATSON D. F., PHILIP G. M., 1985: A Refinement of Inverse Distance Weighted Interpolation. *Geoprocessing* 2: 315–327 s.

WEBSTER R., OLIVER M., 2001: *Geostatistics for Environmental Scientists*. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, 271 s.

WOOD J. D., 1996: The geomorphological characterisation of Digital Elevation Models. University of Leicester, UK, 456 s.

9.2 Projektové dokumentace

JÍLEK J., 2009: Revitalizace Návesního rybníka

LESY HL. M. PRAHY, 2015a: Provozní a manipulační řád pro vodní dílo rybník Rohožník

LESY HL. M. PRAHY, 2015b: Provozní a manipulační řád pro vodní dílo RN Říčanka

ŘÍČANY, 2015: Manipulační a provozní řád rybníka Rozpakov

ŘÍČANY, 2016a: Manipulační a provozní řád Mlýnského rybníka

ŘÍČANY, 2016b: Manipulační řád pro rybník Marvánek 44s

PRÁŠEK A., 2017: Podklady pro projekt odbahnění rybníku Panský 22s

SEDLÁČEK F., 2004: Manipulační řád pro rybník Podleský

UHŘÍNĚVES, 2010: Provozní a manipulační řád rybníční soustavy Vodice I, II, Vodice III, Nadýmač II a Nadýmač I

9.3 Internetové zdroje

Hlavní město Praha, ©2013a: V Rohožníku. Pražská příroda: Pražské rybníky a nádrže, Praha. Dostupné z: <http://www.praha-priroda.cz/vodni-plochy-a-potoky/vodni-plochy-dle-katastru/dubec/v-rohozniku/>

ESRI, ©2017: Spline, ArcGIS Desktop, USA. Dostupné z: <http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/3d-analyst/spline.htm>

Hlavní město Praha, ©2013b: RN Říčanka. Pražská příroda: Pražské rybníky a nádrže, Praha. Dostupné z: <http://www.praha-priroda.cz/vodni-plochy-a-potoky/vodni-plochy-dle-katastru/dubec/rn-ricanka/>

IPR Praha, ©2014: Okolí Podleského rybníku, Praha zelená, Praha. Dostupné z: <http://www.prahazelena.cz/okoli-podleskeho-rybniku.html>

10 Seznamy

10.1 Seznam obrázků

Obr. č. 1: Typy průtočných nádrží: a) průtočná, b) průtočná s obtokovým kanálem, c) boční (Tlapák a Herynek, 2002).....	15
Obr. č. 2 RiverSurveyor M9 a M5 (Erden, 2013)	27
Obr. č. 3: Povodí Říčanského potoka (ČUZK, 2018)	35
Obr. č. 4: Ukotvení aparatury na nosném plavidle (Hradilek a kol. 2017)	41
Obr. č. 5: RTK stanice na břehu nádrže (Autor, 2018)	42
Obr. č. 6: Připevnění měřící aparatury RiverSurveyor M9 na kajaku (Autor, 2018)	43
Obr. č. 7: DMT malé vodní nádrže Rohožník (Autor, 2018).....	45
Obr. č. 8: DMT malé vodní nádrže RN Říčanka (Autor, 2018).....	46
Obr. č. 9: DMT malé vodní nádrže RN Říčanka dosazovací nádrž (Autor, 2018)....	47
Obr. č. 10: DMT malé vodní nádrže Podleský rybník (Autor, 2018)	48
Obr. č. 11: DMT malé vodní nádrže Cukrovarský rybník (Autor, 2018)	48
Obr. č. 12: DMT malé vodní nádrže Nadýmač I (Autor, 2018).....	49
Obr. č. 13: DMT malé vodní nádrže Nadýmač II (Autor, 2018)	50
Obr. č. 14: DMT malé vodní nádrže Velká Vodice (Autor, 2018)	51
Obr. č. 15: DMT malé vodní nádrže Návesní rybník (Autor, 2018).....	51
Obr. č. 16: DMT malé vodní nádrže Mlýnský rybník (Autor, 2018).....	52
Obr. č. 17: DMT malé vodní nádrže Marvánek (Autor, 2018).....	53
Obr. č. 18: DMT malé vodní nádrže Rozpakov (Autor, 2018).....	53
Obr. č. 19: DMT malé vodní nádrže Panský rybník (Autor, 2018)	54

10.2 Seznam tabulek

Tab. č. 1: Porovnání stávajících a vypočtených objemů (Autor, 2018).....	55
Tab. č. 2: Hodnoty RMSE pro jednotlivé nádrže.....	55