

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

Katedra vodního hospodářství a environmentálního
modelování



Batymetrie malé vodní nádrže Libocký rybník
v povodí Šárecko-Litovického potoka

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. Petr Bašta

Diplomant: Bc. Štěpán Marval

© 2014 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Štěpán Marval

Voda v krajině

Název práce

Batymetrie malé vodní nádrže Libocký rybník v povodí Šárecko-Litovického potoka

Název anglicky

Bathymetry of the small water reservoir Libocký rybník in Šárecko-Litovický potok river basin

Cíle práce

- Hlavním cílem bude batymetrické zaměření Libockého rybníka v povodí Šárecko-Litovického potoka, vyhodnocení hloubek formou digitálního modelu terénu (DTM) dna MVN a stanovení akumulace této MVN.
- Dílčím cílem bude zpracování rešerše zadané problematiky (malé vodní nádrže, batymetrie a způsoby jejího měření, zpracování DTM v prostředí GIS), a dále sepsání stručného metodického postupu při měření batymetrie MVN využitím echosounderu.

Metodika

- Teoretická část bude zaměřena na shrnutí obecných poznatků k malým vodním nádržím (MVN) a jejich zanášení, batymetrická měření a jejich způsoby využívané v praxi, způsoby tvorby DTM v prostředí GIS a zevrubný popis vybraných interpolačních metod, které budou použity v této práci. Bude následovat popis zájmové MVN Libocký rybník.
- V rámci praktické části bude nádrž Břve zaměřena využitím echosounderu RiverSurveyor M9 a zaměřená data budou zpracována v programu ESRI ArcGIS Desktop (extenze 3D Analyst). DTM dna MVN bude zpracován interpolačními technikami Topo to Raster, TIN a natural neighbour, které budou srovnány a zhodnoceny, a bude vyhodnocena aktuální akumulace nádrže.

Doporučený rozsah práce

cca 50 stran

Klíčová slova

batymetrie, echosounder, ADCP, malá vodní nádrž, digitální model terénu

Doporučené zdroje informací

- Erdem, H., 2013. RiverSurveyor S5 / M9 System Manual.
- 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.
- Lin, Y.-T., Schuettpehl, C.C., Wu, C.H., Fratta, D., 2009. A combined acoustic and electromagnetic wave-based techniques for bathymetry and subbottom profiling in shallow waters. J. Appl. Geophys. 68, 203–218. doi:10.1016/j.jappgeo.2008.11.010
- Schmitt, T., Mitchell, N.C., Ramsay, a. T.S., 2008. Characterizing uncertainties for quantifying bathymetry change between time-separated multibeam echo-sounder surveys. Cont. Shelf Res. 28, 1166–1176. doi:10.1016/j.csr.2008.03.001

Předběžný termín obhajoby

2015/06 (červen)

Vedoucí práce

Ing. Petr Bašta

Elektronicky schváleno dne 25. 3. 2015

prof. Ing. Pavel Pech, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 26. 3. 2015

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Děkan

V Praze dne 17. 04. 2015

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **batymetrického zaměření malé vodní nádrže Libocký rybník v povodí Šárecko-Litovického potoka** zpracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v příloženém seznamu literatury.

V Praze dne:

Poděkování:

Děkuji především svému vedoucímu práce Ing. Petru Baštovi za jeho přístup při vedení této práce, jeho ochotu a rychlé zodpovězení veškerých dotazů.

V Praze dne:

Abstrakt:

Cílem této práce bylo batymetrické zaměření Libockého rybníka, malé vodní nádrže v povodí Šárecko-Litovického potoka, provedené za účelem zjistit její aktuální akumulací objem a vytvořit digitální model jejího dna. Měření bylo provedeno metodou echosoundingu, konkrétně pomocí systému RiverSurveyor M9, a jeho výsledky byly zpracovány v programu ESRI ArcGIS Desktop, který umožňuje vytvořit digitální model terénu několika interpolačními technikami, z nichž byly použity metody Topo to Raster, TIN a Natural Neighbor. Vzniklé digitální modely i akumulací objemy nádrže vypočítané pomocí jednotlivých technik jsou v této práci navzájem porovnány a zhodnoceny, stejně jako odlišnosti mezi hodnotami naměřenými pomocí vertikálního paprsku a metody bottom track, které systém RiverSurveyor k batymetrickému měření nabízí. Součástí práce je také přehled poznatků o malých vodních nádržích, povaze batymetrie, obecný popis práce v programu ArcGIS a popis některých jím nabízených metod.

Klíčová slova:

batymetrie, malá vodní nádrž, ADCP, echosounder, digitální model terénu

Abstract:

The aim of this work was to carry out a bathymetric measurement of Libocký pond, a small water body located in the basin of the Šárecko-Litovický brook, whose purpose was to determine the pond's current accumulation volume and to create a digital model of its bottom. In taking the measurement, the echosounding method was employed – namely the RiverSurveyor M9 system -, and the results were processed using the ESRI ArcGIS Desktop software, which allows the user to create a digital terrain model with the help of several interpolation tools. For the purposes of this work, Topo to Raster, TIN and Natural Neighbor tools were used. The resulting digital models, as well as the accumulation volumes of the pond, calculated with the help of the individual interpolation tools, are compared to one another and evaluated, as are the differences between values measured using vertical beam and the bottom track method, both of which are offered by RiverSurveyor for bathymetric measurements. The work also includes a summary of available general information on similar small water bodies, the character of bathymetry, a general description of how the ArcGIS software works and a description of some of the tools it offers.

Key words:

Bathymetry, small water reservoir, ADCP, echosounder, digital terrain model

Obsah

Obsah.....	8
Seznam použitých zkratk:.....	10
1. Úvod.....	11
2. Cíle práce.....	13
3. Literární rešerše.....	14
3.1. Malé vodní nádrže.....	14
3.1.1. Rozdělení malých vodních nádrží dle účelu.....	15
3.1.2. Funkční dělení malých vodních nádrží podle způsobu přívodu vody.....	16
3.1.3. Prostory malých vodních nádrží.....	17
3.1.4. Problémy malých vodních nádrží.....	18
3.1.5. Batymetrie a její způsoby měření.....	22
3.2. Echosounder.....	23
3.3. Globální družicové navigační systémy.....	25
3.3.1. Součásti globálního družicového systému.....	25
3.3.2. Princip družicového systému.....	26
3.3.3. Globální polohovací systém GPS.....	27
3.3.4. Metody stanovení polohy pomocí GPS.....	27
3.3.5. Možné chyby při měření s GNSS.....	29
3.3.6. Kartografické zobrazení určené polohy GNSS.....	30
3.4. Interpolační metody.....	31
3.4.1. TIN.....	32
3.4.2. Natural Neighbor.....	33
3.4.3. Topo to Raster.....	34
3.5. Digitální model terénu.....	36
3.6. ArcGIS Desktop.....	37
4. Metodika.....	38
4.1. Zájmová lokalita.....	38

4.1.1.	Historie a účel.....	38
4.1.2.	Charakter a základní údaje nádrže	40
4.1.3.	Hráze nádrže	40
4.1.4.	Objekty nádrže	41
4.2.	Popis měřicí aparatury, její sestavení, sběr dat a jejich export	42
4.2.1.	Použitá měřicí aparatura	42
4.2.2.	Použitý měřicí software	43
4.2.3.	Sestavení měřicí aparatury	43
4.2.4.	Nastavení a kalibrace aparatury	45
4.2.5.	Sběr dat.....	46
4.2.6.	Přesun dat z mobilního zařízení do PC.....	49
4.3.	Model dna nádrže a určení objemu v ArcGIS	49
5.	Výsledky	52
6.	Diskuze	54
7.	Závěr	58
8.	Přehled literatury a použitých zdrojů	59
9.	Seznam obrázků.....	67
10.	Seznam tabulek	68
11.	Seznam příloh:	69

Seznam použitých zkratek:

ADCP (acoustic Doppler current profiler) zvukový průtokový měřič využívající Dopplerův jev)

DEM (DTM) – (digital elevation model, digital terrain model) digitální model terénu

DOP – (dilution of precision) snížení přesnosti určení polohy

GNSS – (global navigation satellite system) globální družicový navigační systém

GPS (global positioning system) satelitní navigační systém

MPŘ – manipulační a provozní řád

MVN – malé vodní nádrže

PCM – (Power and Communication Module) napájecí a komunikační modul

RMSE – (root-mean-square error) střední kvadratická chyba

RTK – (real time kinematic) metoda měření polohy bodu v čase

TIN – (triangular irregular network) nepravidelná trojúhelníková síť

1. Úvod

Sedimentaci vodních nádrží je v mnoha ohledech možné považovat za globální problém. Zvlášť palčivý je tento problém v případě říčních přehrad, které zastavují přirozený pohyb sedimentů a připravují o ně tak dolní toky, aby přitom samy přicházely o volnou kapacitu (Kondolf et al. , 2014). To pak vede k rozsáhlým krajinným změnám, ke změnám v kvalitě půdy a vody a k závažným důsledkům pro vodní ekosystém (Walling, 2009). Tato práce se problému sedimentace věnuje z lokální perspektivy, když modeluje dno malé vodní nádrže, aby mohla vypočítat její akumulací objem a zjistit tak míru sedimentace v ní. Akumulace sedimentů je přitom jedním z nejzávažnějších faktorů ohrožujících vodní nádrže, protože vede ke změnám akumulací objemu nádrže a následné zmenšení objemu vody vede k jejich postupnému zániku.

Tak jako při řešení velkého množství jiných environmentálních problémů, dostávají také zde slovo nástroje 3D modelování terénu. Mezi možnosti jejich využití patří také analýza změn reliéfu dna a objemu vodních nádrží v určitém období. Tyto změny mají různé příčiny, ať už je jimi sedimentace nebo činnost člověka. Zjistit batymetrická data nádrže je nezbytné k tomu, abychom zjistili míru rychlosti sedimentace a pomohli tak k udržení akumulací schopnosti nádrže a její životnosti. Pravidelná aktualizace dat o objemu nádrže umožňuje lepší odhad trendu zanášení a díky tomu je také prvním krokem na cestě k účinným ochranným opatřením. (Kubinský et al. 2013).

Malou vodní nádrží, která je předmětem této práce, je Libocký rybník situovaný na Praze 6. Jako jiné malé vodní nádrže tvoří i tato neoddělitelnou součást svého okolí, a to jak po estetické stránce, tak z pohledu její role v okolní přírodě.

Obecně můžeme rybník definovat jako umělou vypustitelnou vodní nádrž, mezi jejíž funkce patří funkce rybochovná, vodohospodářská, klimatická, krajnotvorná a ekologická. Jinou variantu definice najdeme v ČSN 466800, která za rybník považuje

každou „*umělou vypustitelnou vodní nádrž s přirozeným dnem sloužícím především k chovu ryb*“, popř. v zákoně o rybářství č.99/2004 Sb., který rybník chápe jako “*vodní dílo, které je vodní nádrží určenou především k chovu ryb, ve kterém lze regulovat vodní hladinu, včetně možnosti jeho vypouštění a slovení; rybník je tvořen hrází, nádrží a dalšími technickými zařízeními.*” Obecný přínos podobných vodních nádrží leží především ve zlepšení kvality vody v povodí a v jejich roli důležitého zdroje vody. Jako součást malého vodního koloběhu pak mají podstatný pozitivní vliv na mikroklima ve své lokalitě (Holcman, 2015).

Ekosystém rybníků řadíme do kategorie stojatých vod, v nichž je většinou uzavřený oběh živin a poměrně nevýznamná látková výměna s okolím. Pohyb vody je zde typicky velmi pomalý a vede do různých směrů a v různých cirkulacích. Ekosystémy stojatých vod jsou většinou výrazně ohraničené. Drtivá většina českých rybníků má průměrnou hloubku méně než 1,5 m, což těmto rybníkům dává charakter podobný jezernímu litorálu.

2. Cíle práce

Hlavním cílem této práce je provést batymetrické zaměření (tj. měření hloubky, v tomto případě s využitím metody tzv. echosoundingu) Libockého rybníka spadajícího do povodí Šárecko-Litovického potoka a s pomocí takto získaných dat komplexně zmapovat dno této MNV pomocí nástrojů ESRI ArcGIS Desktop formou digitálního modelu terénu (DTM). To následně umožní přistoupit ke konečnému účelu práce, totiž ke stanovení akumulace této vodní nádrže. Mezi dílčí cíle sledované touto prací patří provedení rešerše na témata související s problematikou, již se práce zabývá. Jde o témata malých vodních nádrží obecně, metod batymetrie a podrobnějšího popisu způsobů batymetrických měření a nakonec zpracování přehledu o metodách užitých v prostředí GIS k vytvoření digitálních modelů terénu (DTM). Součástí práce je také rozvedení metodického postupu při batymetrickém měření malé vodní nádrže za využití metody echosoundingu, tedy za pomoci ozvěnových hloubkoměrů (echosounders).

3. Literární rešerše

Literární rešerše obecně popisuje a definuje pojmy důležité pro tuto práci. Zabývá se problematikou malých vodních nádrží, na kterou navazuje obor měření hloubek vodních ploch (batymetrie) a využitelné možnosti echosoundingu. Dále je zde popsán princip globálního družicového navigačního systému a metody určování polohy bodu pomocí GPS, která jej využívá. Těmito metodami byly určovány souřadnice měřených bodů, které byly zásadní pro modelování dna nádrže. Také je zde definován software ArcGIS Desktop a jeho interpolační nástroje využité pro tuto práci.

3.1. Malé vodní nádrže

Malé vodní nádrže jsou neoddělitelnou součástí naší krajiny, velkou měrou napomáhají k tvorbě a ochraně životního prostředí. Výrazně přispívají ke zlepšení kvality vody v povodí a jejich význam jako zdroj vody v oblastech malých vodních toků je nezastupitelný (Šálek, 1996).

Platnou normou pro navrhování, výstavbu, rekonstrukce a provoz vodních nádrží se sypanými hrázemi je ČSN 75 2410 Malé vodní nádrže. Norma uvádí následující podmínky, které musí malá vodní nádrž současně splnit, aby se na ni norma vztahovala:

- *„objem nádrže po hladinu ovladatelného prostoru (normální hladinu) není větší než 2 mil. m³;*
- *největší hloubka nádrže nepřesahuje 9 m (...) (rozumí se největší hloubka dna od maximální hladiny, neuvažují se místní prolákliny dna, hloubka koryta napájecího toku apod.).“*

Jak se v normě uvádí dále, *„norma není platná pro nádrže přečerpávacích vodních elektráren, pro odkaliště a pro nádrže s přítokem a odtokem propustným horninovým prostředím dna a svahů nádrže (např. štěrkoviště).“*

3.1.1. Rozdělení malých vodních nádrží dle účelu

ČSN 75 2410 uvádí také přehled rozdělení malých vodních nádrží z hlediska funkčního.

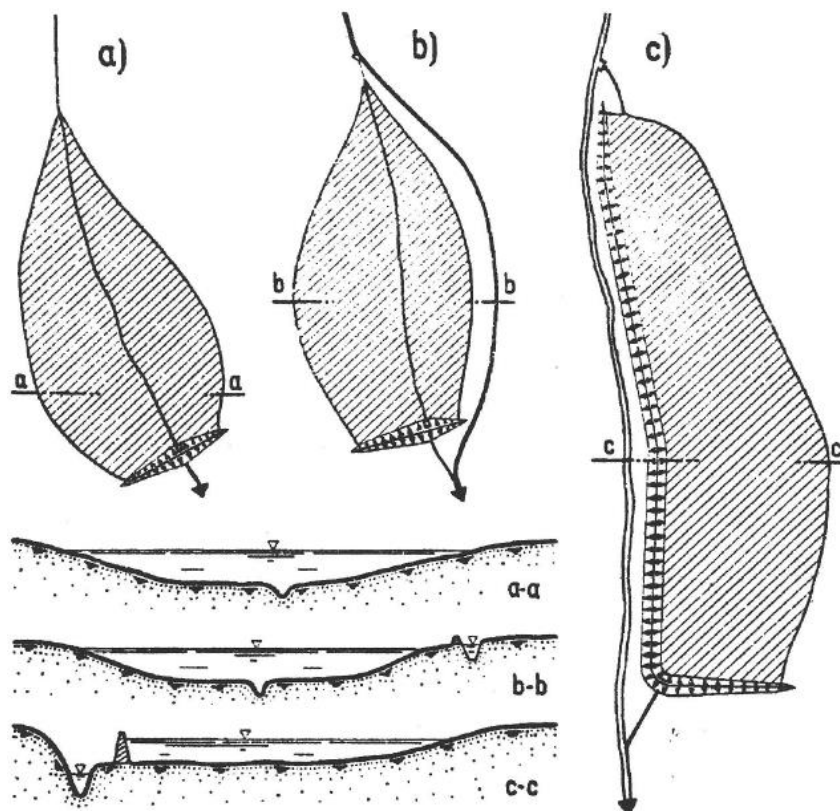
- **zásobní nádrže** – akumulují možný podíl vody v době jejího nadbytku s možností jejího využívání v období nedostatku;
- **ochranné (retenční) nádrže** – zachycují povodňové odtoky, transformují povodňové vlny a chrání částečně nebo úplně území resp. objekty před negativními účinky velkých vod;
- **nádrže upravující vlastnosti vody** – jsou určeny k řízené úpravě, popř. změně fyzikálních chemických a biologických vlastností vody;
- **rybochovné nádrže (speciální rybníky)** – vytvářejí vhodné vodní prostředí pro chov ryb;
- **hospodářské nádrže** – tvoří speciální nádrže určené k plnění konkrétních hospodářských funkcí např. protipožární, chov vodní drůbeže, pěstování vodních rostlin;
- **speciální účelové nádrže** – tvoří vodní nádrže různého typu a uspořádání, určeného pro konkrétní provozní potřeby a účely;
- **asanační nádrže** – používají se k asanaci zaplavením území narušeného lidskou činností, k zachycení a uskladnění látek poškozující životní prostředí;
- **rekreační nádrže** – jsou vodní nádrže určené k odpočinku, plavání a provozování vodních sportů, doplněné speciálním vybavením, upraveným přístupem do vody, a specifickou úpravou okolí nádrže;
- **krajinotvorné nádrže a nádrže v obytné zástavbě** – navrhuje se ke zlepšení ekologických funkcí a estetického účinku krajiny, sídliště, architektury, parků apod., jedná se o konstrukčně a tvarově rozmanitá uspořádání malých vodních nádrží s různým vybavením

3.1.2. Funkční dělení malých vodních nádrží podle způsobu přívodu vody

Podle způsobu přívodu vody lze MVN dělit na průtočné, vybudované přímo na vodním toku a vznikající přehrazením údolí vodního toku hrází, nebo neprůtočné, tj. *boční* a *obtokové* nádrže umístěné mimo vodní tok. Neprůtočné nádrže se vyskytují nejčastěji v oblastech dolních částí vodních toků (Šálek, 1996).

Největším problémem průtočných nádrží je nutnost průchodu veškerého průtoku vody prostorem nádrže, což se může negativně projevit při hydrologických extrémech. Při zvýšených, povodňových průtocích obsahuje voda zvýšenou koncentraci nerozpuštěných látek, které se zde vlivem snížení unášecí rychlosti v nádrži usazují (kap. 3.1.4). V dlouhodobém měřítku to znamená snižování zásobního prostoru nádrže, možnost negativního ovlivnění funkčních objektů a možnost vzniku eutrofizačních procesů s negativním dopadem na kvalitu vody (Vrána et al., 2013).

Obtoková nádrž též vzniká přehrazením údolí čelní hrází, avšak podél nádrže je vybudována obtoková stoka sloužící především k rybářským účelům (obr. 1b). *Boční nádrže* (obr. 1c) oddělují prostor nádrže od údolí napájecího toku a jsou zásadně neprůtočné. Boční hráze po všech čtyřech stranách se nazývají hráze *obvodové* (Vrána et al. , 2013).

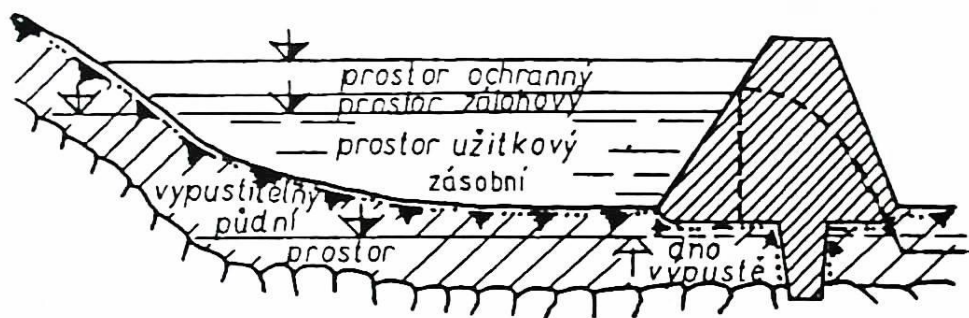


obr. 1 – dělení MVN podle přívodu vody (Vrána et al. , 2013)

a) průtočné, b) obtokové, c) boční

3.1.3. Prostory malých vodních nádrží

U malých vodních nádrží se jedná z největší části o prostor zásobní - akumulární a ochranný - retenční, viz obr. 2. U rybochovných nádrží se často vyskytuje půdní prostor. Větší nádrže mohou mít mrtvý prostor, prostor stálého nadržení nebo zálohový prostor (Šálek, 1996).



obr. 2 – Uspořádání prostor v malé vodní nádrži (Šálek, 1996)

3.1.4. Problémy malých vodních nádrží

Následující podkapitola má za cíl shrnout některé z největších problémů spojených s MNV, především s ohledem na jejich zanášení, které tvoří jedno z témat této práce. Současný stav malých vodních nádrží v České republice není příliš uspokojivý. Je výsledkem dlouhodobého nezájmu o údržbu, především nízké míry vkládaných finančních prostředků v minulosti jak do údržby, tak do investic nebo do prevence negativních vlivů. Podle Vrány a dalších (2013) aktuální problematiku MVN tvoří rozsáhlý komplex navzájem se ovlivňujících a provázaných hledisek. Při řešení problémů souvisejících s MVN není možno zabývat se pouze izolovanými nádržemi, ale je nutno uvažovat jejich vazbu na celý komplex vodohospodářských problémů povodí a jejich vzájemné interakce. Problémy vyskytující se v současné době v tomto oboru lze rozdělit do následujících skupin, které se však vzájemně prolínají:

- problémy vodohospodářské
- problémy technické
- problémy ekologické
- problémy ekonomické
- problémy majetkoprávní
- problémy legislativní

Problémy vodohospodářské

Hlavním vodohospodářským problémem MVN je jejich zanášení sedimenty (Vrána et al. , 2013). Zanášení prostorů nádrže sedimenty je způsobené třemi hlavními procesy, které významně ovlivňuje vodní eroze: jedná se o zanášení přítokem, břehovou abrazi a vnitřní zanášení. Zdrojem sedimentů při **zanášení přítokem** je produkt eroze ze zemědělských pozemků, eroze z lesních pozemků poškozených těžbou a splachy ze zastavěných ploch z celého povodí nádrže. Obecně lze říci, že se jedná o látky odnášené vodou z celého povodí, včetně produktů eroze z vlastního toku. Rapidní růst erozních procesů v povodí a následný transport rozpuštěných, nerozpuštěných a chemických látek povrchovými

toky je zejména výsledkem intenzifikace zemědělské výroby. Z povrchových toků pak vlivem snížení průtočné rychlosti v prostoru nádrže dochází k sedimentaci půdních částic (Čistý, 2005; Patera et al. , 2002).

Další proces, který přispívá k zanášení nádrže, se nazývá **břehová abraze**. Je to jev způsobovaný zejména účinky vlnobití na břehovou linii. Postupným uvolňováním zeminy dochází k jejímu posunu a poklesu do akumulčního prostoru. Vznik abraze a její rozsah závisí na sklonu namáhaného svahu, na pedologickém složení půdního profilu, na složení půdního pokryvu, na kolísání hladiny, na délce břehu a na antropogenní činnosti. Dále jsou účinky vlnobití závislé na síle větru, velikosti hladiny a její délce ve směru převládajících větrů. Tento druh vodní eroze nejvíce ohrožuje svahy s vyšším sklonem, svahy bez vegetačního pokryvu, svahy hlinité a písčité a nádrže s častým kolísáním hladiny vody (Čistý, 2005).

Posledním významným zdrojem sedimentů v nádrži je tzv. **vnitřní zanášení** neboli eutrofizace, viz níže.

Zanesené MVN nemohou sloužit dobře produkčním ani mimoprodukčním účelům. Sedimenty mají řadu negativních dopadů na samotnou nádrž a kvalitu vody v nádrži i pod ní (Krása et al. , 2013; Patera et al. , 2002):

- sedimenty obsahují velké množství živin, popř. mohou obsahovat toxické látky (těžké kovy), které se za jistých podmínek uvolňují zpět do vodního prostředí,
- sedimenty zmenšují objem využitelného vodního prostoru nádrže,
- při poklesu vodní hladiny v nádrži se obnažují plochy usazených sedimentů s vysokým obsahem živin. Tyto plochy pak velmi rychle zarůstají vegetací, která po zpětném zaplavení vodou rychle odumírá. Rozpad této vegetace pak způsobuje vážné kyslíkové problémy v nádrži a uvolňuje živiny v přístupné formě do vody,
- zmenšení objemu nádrže způsobuje změnu její hydraulické funkce,

- sedimenty obohacené živinami zvyšují nebezpečí zarůstání nádrží vlhkomilnou vegetací. To poté snižuje využitelné zásoby vody, zvyšuje ztráty vody výparem a způsobuje estetické problémy,
- provozuschopnost funkčních objektů nádrže se zanášením sedimenty snižuje (Vrána et al. , 2013).

Problémy technické

Současný technický stav hrází a funkčních objektů odpovídá jejich stáří, péči a financím, které byly na jejich údržbu vynaloženy. Organizace Vodní díla – technickobezpečnostní dohled a.s. (Vodní díla – TBD a.s.) provedla průzkum na téměř 500 MVN a zabývala se právě současným stavem hrází a funkčních objektů. Výsledek průzkumu lze charakterizovat údaji v tab. 1 (Vrána et al. , 2013).

tab. 1 – nejčastější technické závady u MVN (Vrána et al. , 2013)

pořadí dle četnosti	charakteristika závady	výskyt u nádrží v (%)
1.	špatný stav výpustního zařízení	39
2.	neudržovaná vegetace	35
3.	zamokření podhrází	34
4.	nevyrovnaná koruna hráze	30
5.	špatný stav přelivu	26
6.	deformace povrchu hráze	25
7.	porušení opevnění hráze	24
8.	kaverny v tělese hráze, vývěry vody, omezená průjezdnost	12

Problémy ekologické

K nejdůležitějším faktorům z hlediska ekologických problémů se řadí kvalita vody, jakost sedimentů vzhledem k jejich dalšímu využití, ochrana fauny, flory a ekosystémů. Problémy ekologické se v řadě případů prolínají s problémy vodohospodářskými, technickými a ekonomickými. Povodí často negativně ovlivňují kvalitu vody působením plošných nebo bodových zdrojů znečištění. K nejvýznamnějším zdrojům plošného znečištění patří zemědělská výroba a atmosférická depozice, tedy přenos látek z atmosféry. Stanovení míry vlivu plošných zdrojů znečištění na kvalitu vody a

následná eliminace tohoto vlivu je nesnadnou záležitostí znamenající změny organizace aktivit v celém povodí. To je záležitost dlouhodobá a finančně náročná. Mezi bodové zdroje znečištění se řadí skládky, objekty živočišné výroby, silážní jámy nebo sídla (vypouštění nedočištěných splašků). Bodové zdroje znečištění jsou snáze identifikovatelné a jejich odstranění je ve většině případů otázkou technického řešení a financí (Vrána et al. , 2013; Šafarčíková et al. , 2006).

Plošný zdroj znečištění nemá za následky problémy jen ekologické, ale úzce souvisí i s problémy vodohospodářskými. Při erozních smyvech ze zemědělských ploch dochází také k transportu hnojiv (přírodní látky, chemické látky), které se používají pro zvýšení výnosů zemědělské výroby. Na kvalitu vody mají největší vliv fosfor a dusík. V určitém poměru, za vhodných teplotních podmínek, způsobují **eutrofizaci** nádrží. Slovo eutrofizace má původ v řečtině, vzniklo složením slova eu (hojný) a slova trophi (potrava nebo živná látka). Eutrofizace je tedy chápána jako proces, při němž dochází k přesycování prostředí minerálními živinami, především dusíkem a fosforem, což má za následek masový nárůst mikroskopické flóry (Šafarčíková et al. , 2006). Mikroflóra neboli fytoplankton (řasy a sinice) velice rychle pokrývá hladinu nádrže a po poměrně krátké době (zhruba 1 týden) dochází k jejímu odumření a poklesu na dno. Po odumření se usazuje na dně nádrže ve formě jemného organominerálního kalu, nazývaného *sapropel*. Tento sediment může ročně přirůstat rychlostí 1 – 2 cm za rok, což je hodnota velice významná. Po usazení sedimentu na dně dále dochází k anaerobnímu rozkladu s negativními důsledky na kyslíkovou bilanci nádrže a tedy i na kvalitu vody a organismů (Čistý, 2005; Šafarčíková et al. , 2006).

Míra eutrofizace (úživnosti) nádrže lze rozdělit na čtyři kategorie, oligotrofii, mezotrofii, eutrofii a hypertrofii. Následující tabulka (tab. 2) uvádí hodnoty fosforu, chlorofylu a průhlednosti, podle kterých je možné do výše uvedených kategorií vody zařadit (Maršálek, 2009).

tab. 2- Kategorie stupňů trofie (Maršálek, 2009)

úživnost	celkový P [mg·l ⁻¹]	chlorofyl a [μg·l ⁻¹]		Průhlednost [m]	
	prům.	prům.	max.	prům.	max
oligotrofie	< 0,010	< 2,5	< 8	> 6	> 3
mezotrofie	0,010 - 0,035	2,5 - 8	8 - 25	3 - 6	1,5 - 3
eutrofie	0,035 - 0,100	8 - 25	25 - 75	1,5 - 3	0,7 - 1,5
hypertrofie	> 0,100	> 25	> 75	< 1,5	< 0,7

Problémy ekonomické

Současný, v mnoha případech nevyhovující, stav hrází, funkčních objektů, a zanesených nádržních prostorů je výsledkem nevhodné státní politiky minulých desetiletí. Hlavním cílem byla intenzifikace chovu ryb na úkor nedostatečných kapacit a finančních prostředků na pravidelnou údržbu a případné opravy. Vlastníci nejsou v současné době schopni bez finanční podpory státu napravovat tento nevyhovující stav nádrží. Proto řada problémů na MVN přetrvávají nebo se dále prohlubují. Za tohoto stavu nelze předpokládat, že dojde v dohledné době k výraznému zlepšení. Příjmy z dobře prosperující MVN pokrývají maximálně náklady na běžnou údržbu a opravy, nestačí však na rekonstrukce, generální opravy či odbahnění nádrží (Vrána et al. , 2013).

3.1.5. Batymetrie a její způsoby měření

Proto, aby bylo možné výše popsaným problémům předcházet, je potřeba nádrže pečlivěji studovat a získávat o nich co nejvíce informací, především pak o jejich zanášení. V dnešní době jsou dostupné technologie usnadňující monitorování dna pod vodní hladinou a vědní disciplína, která se tím zabývá, se nazývá *batymetrie*.

Batymetrie označuje měření hloubky moře nebo jiných vodních ploch, resp. obor, který se jím zabývá (Encyclopaedia Britannica). Místo původních technik, mezi které patřilo použití zatíženého provazu olovnicí, jež bylo nadměrně náročné a velmi nepřesné, dnes užíváme poněkud uspokojivější „moderní“ způsoby měření. Tyto způsoby se mohou dle fyzikální podstaty dělit na 2 druhy.

První způsob měření hloubky funguje na základě barevného spektra, druhý na základě šíření a odrazu zvuku.

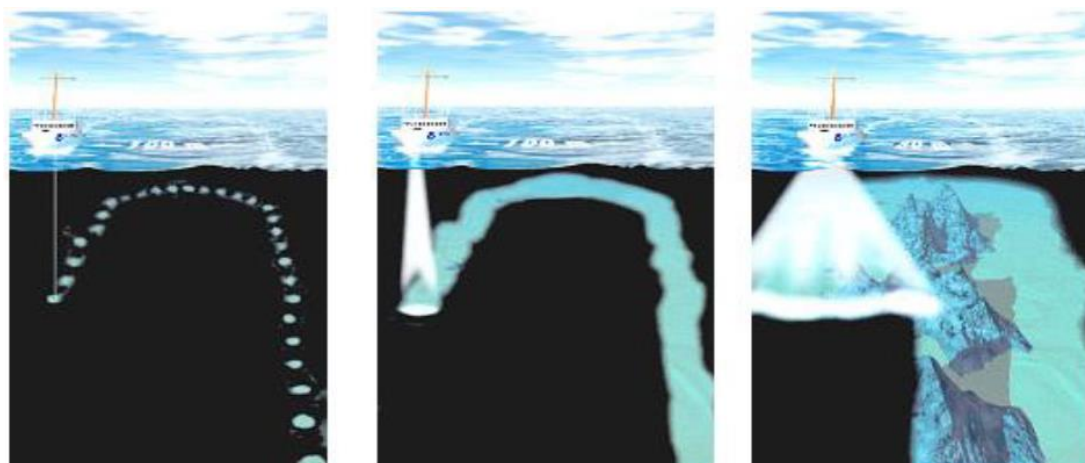
Do prvního způsobu měření hloubky, který je založen na zpracování světelného odrazu, je zařazeno snímání povrchu dna pomocí LiDARu v modrém a zeleném spektru (McKean et al. , 2009; Moretto et al. , 2014). Moretto a další, 2014, při batymetrickém měření v korytě toku využívají přiřazení hloubek, které byly pořízeny v jednom příčném profilu LiDARem k určení hloubek v celé délce toku při porovnání odstínu RGB.

Druhý způsob získávání batymetrických dat je založeno na zpracování zvukového odrazu, viz kap.3.2. Sběr dat při využití sonarů je časově náročnější metodou než za použití LiDARu. Naopak výhodou využití echosounderů je, že dokáží měřit v prostředí, kam se světlo nedostane (výrazné hloubky nebo znečištěné vodní plochy). O echosounderech a jejich využití v náročných podmořských podmínkách pojednává velké množství autorů (Costa et al. , 2009; Schmitt et al. , 2008), zatímco jejich aplikací při měření vodních nádrží se zabývá výrazná menšina (Kubinský et al. , 2013; Normandeau et al. , 2013).

3.2. Echosounder

Termín echosounder popisuje zařízení s možností využití zvuku k měření vzdáleností pod vodou. Echosounder je druh sonarového zařízení, které lze využít při plavbách na lodích nebo jako součást měřicího nástroje umístěného pod vodou. Toto zařízení vysílá jedno či více paprskových zvukových impulsů kolmo z lodi. Impuls prochází skrz vodu, ode dna se odráží a putuje zpět k hladině, až jej sonar opět zachytí. Tento časový úsek se zaznamenává a podle následujícího vzorce se vypočítá odpovídající vzdálenost (The National Oceanography Centre).

$$\text{vzdálenost} = \frac{\text{časový úsek}}{2 * \text{rychlost zvuku ve vodě}}$$



použití provazu s
olovnicí

jednopaprskový zvukový
impuls

vícepaprskový zvukový
impuls

*obr. 3 – využití echosounderu pro měření hloubky dna z lodi
(Government of Canada, 2014)*

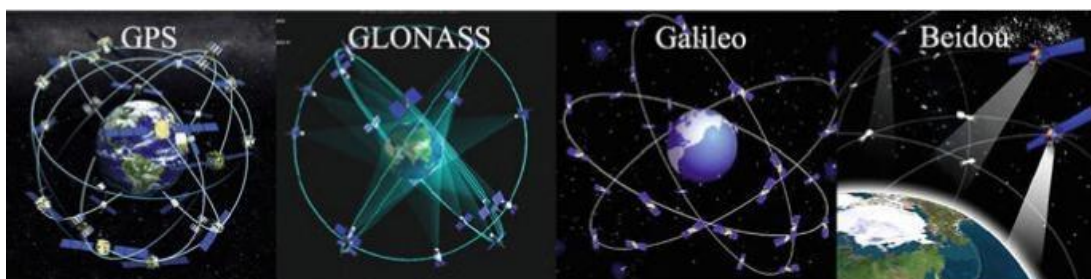
Speciální kategorií jsou echosoundery kombinované s ADCP (acoustic Doppler current profiler) tedy Dopplerovým zvukovým průtokovým měřičem pro získávání průtoků říčním korytem (Y.Motonaga et al. , 2014) nebo měření mořských proudů (Haren, 2001). Dopplerův jev popisuje transformaci frekvence a vlnové délky přijímaného signálu proti vysílanému, kterou způsobuje nenulová vzájemná rychlost vysílače a přijímače. Fytoplankton a další malé částičky se pohybují s proudem se stejnou rychlostí přes paprsek echosounderu. Výzkumná loď při měření zaznamenává vertikální profil oceánského proudu včetně jeho rychlost a směr, od hladiny po dno, tedy sleduje tzv. *vektorový profil proudu* (Gregesen, 2001; Wille, 2005).

Pro batymetrický průzkum zájmové nádrže byl primárně využit vertikální zvukový nízkofrekvenční paprsek (vertical beam) s rychlým sběrem vzorků. Poskytuje přesný profil dna při měření průtoků a batymetrickém výzkumu. Zároveň dává jistotu přesného měření i v případě povodní a silného znečištění. Další batymetrická data byla získána metodou tzv. bottom track, která je však primárně určena k měření rychlostí toku a jejíž nevýhodou je její omezená použitelnost ve větších hloubkách. Hodnotu hloubky metoda určuje pomocí výpočtu průměru hodnot získaných pomocí

sady čtyř paprsků. Obě tyto metody umožňuje měřicí aparatura *RiverSurveyor M9* (kap. 4.2.1) (Erdem, 2013).

3.3. Globální družicové navigační systémy

Globální družicové navigační systémy (GNSS - Global Navigation Satellite System) jsou družicové radiové systémy, které slouží ke stanovení geografické pozice a navigování uživatelova přijímače kdekoliv na světě. Tím umožňuje přiřadit hloubkám nádrže měřeným echosounderem vybaveným GPS přijímačem velmi přesnou polohu a měření tedy nemusí být pouze v lokálním polohovém systému, jako tomu bylo u starších batymetrických metod. Zahrnují v současné době následující globální polohovací systémy: americký GPS (Global Positioning System), ruský GLONASS (Globalnaja Navigacionnaja Sputnikovaja Sistěma), evropský systém GALILEO a čínský BEIDOU neboli kompas, stejně jako několik regionálních systémů (Schejbal et al. , 2004; Shuanggen et al. , 2014).



obr. 4 – globální navigační satelitní systémy (Shuanggen et al. , 2014)

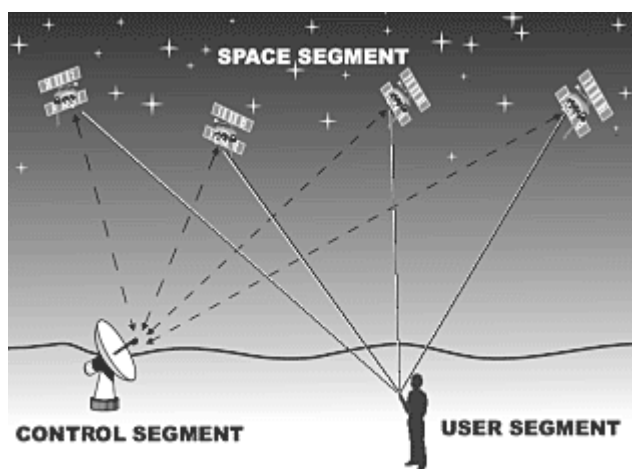
3.3.1. Součásti globálního družicového systému

Navigační družicový systém se skládá z 3 základních segmentů (obr. 5), kterými jsou:

Kosmický segment – soustava umělých družic Země, které kolem ní obíhají tak, aby se vždy alespoň čtyři z nich nacházely minimálně 15° nad obzorem. Družice na své oběžné dráze vysílají radiové vlny odvozené ze základní frekvence generované velmi přesnými atomovými hodinami, které nesou informace potřebné pro stanovení polohy (Schejbal et al. , 2004).

Řídící segment – sestává z hlavního řídicího centra spolu s několika monitorovacími stanicemi rozmístěnými po celém světě. Měří polohu každé družice a řídí její orientaci a dráhu, monitoruje signály vysílané družicemi, posílá informace družicím pro správné nastavení atomových hodin a posílá informaci družicím pro navigační správu (Shuanggen et al. , 2014).

Uživatelský segment – přijímače GNSS, které zpracovávají signály přijaté z družic a odhadují pozici uživatele, funkce mohou být shrnuty jako identifikace družic na obzoru, odhad vzdálenosti uživatele a družice a triangulace (Shuanggen et al. , 2014).



obr. 5 - Prvky satelitního navigačního systému (D.Pavlík)

3.3.2. Princip družicového systému

Principem systému GNSS je stanovení vzdálenosti mezi vysílačem, nacházejícím se na satelitu, a přijímačem podle délky časového intervalu mezi vysláním a přijetím signálu. Družicemi vysílaný signál obsahuje informace o tom, z jakého satelitu a v jaký čas byl signál vyslán. Tyto informace zpracuje mikropočítač přijímače, do jehož paměti se následně ukládají neustále aktualizovaná data o dráze a pohybu družic daného systému („almanac“). Tato data se za pomoci korekcí (efemerid) zpřesňují nejméně každých 12 hodin podle výsledků měření na pozemních monitorovacích stanicích (Schejbal et al. , 2004).

3.3.3. Globální polohovací systém GPS

GPS (Global Positioning System) je družicový navigační systém provozovaný vládou USA a užívaný v současnosti jak pro vojenské, tak pro civilní, resp. komerční účely. GPS v současnosti využívá až 32 družic na šesti oběžných drahách (obr. 4). Ty přitom tvoří jen její kosmický segment, celý systém pak doplňuje ještě segment řídicí, jehož těžiště tvoří pět pozemních monitorovacích stanic a uživatelský segment, který sestává z velkého množství přijímačů různého typu (Čábelka, 2008).

Na základě údajů získaných ze tří družic dokáže GPS přijímač vypočítat svou aktuální polohu (2D), signál ze čtyř a více družic mu umožňuje určit navíc také nadmořskou výšku (3D), popř. jeho rychlost či směr, je-li v pohybu. V ČR je průměrně naráz viditelných asi 8 družic (Sedlák et al , 2009).

3.3.4. Metody stanovení polohy pomocí GPS

Pro určení polohy za pomoci systému GPS se používají dvě základní metody. První z nich je tzv. *absolutní určování polohy* (point positioning). Při této metodě jsou souřadnice určovány v reálném čase a lze využít jen jednu měřicí aparaturu. Vzdálenost mezi družicí a přijímačem je určována pomocí viditelných družic tzv. pseudovzdáleností. Tato metoda dosahuje „jen“ metrové přesnosti a proto se uplatňuje zejména při navigaci (Švábenský et al. , 1995).

Při geodetickém měření se využívá fázových pozorování a *relativní metody určování polohy*, kdy měří současně nejméně dva přijímače a výsledkem je relativní poloha bodu (relative positioning). Tato poloha se určuje vzhledem k referenčnímu bodu, jehož geocentrické souřadnice jsou známé. Některé metody využívají základovou referenční stanicí s GPS přijímačem, postavenou na referenčním bodu. Ta přijímá korekční data tzv. korekce, viz níže, které dále poskytuje přijímači v pohybu, což umožňuje určit polohu s milimetrovou přesností (Čábelka, 2008).

Pro dosažení přesnosti, kterou vyžaduje geodetické měření, se při určování polohy s GNSS využívají sítě permanentních referenčních stanic (Riedford et al. , 2006). Tyto stanice počítají odchylky od vlastní dlouhodobě vypočítávané polohy a mohou tak v každém okamžiku určit chybu měření. S přibližně stejnou chybou pak měří polohu přijímače uživatelů nacházející se v okolí permanentní referenční stanice. Odchylky neboli *korekční data* jsou pak nejčastěji poskytovány prostřednictvím mobilního internetu nebo bluetooth do přijímače (Zeměměřičský úřad).

V České republice síť permanentních GPS stanic (CZEPOS) poskytující korekční data provozuje Zeměměřičský úřad jako součást geodetických základů České republiky (Zeměměřičský úřad).

Relativní i absolutní určování polohy lze využít jak pro *statické*, tak i pro *kinematické* určování polohy. U statického určení polohy je přijímač po dobu měření vzhledem k zemskému povrchu v klidu. Kinematickou metodu je možné využít při určování dráhy pohybujícího se tělesa s přijímačem, tzv. kontinuální metoda (Čábelka, 2008).

Relativní určování polohy se dle přesnosti může dále dělit do následujících 5 kategorií (Čábelka, 2008):

- **statická** (přesnost 3 – 5 mm) – jedná se o časově nejnáročnější metodu, která ovšem poskytující nejpřesnější výsledky, používá se pro speciální práce s maximální požadovanou přesností;
- **rychlá statická** (přesnost 5 – 10 mm + 1 ppm) - doba měření je výrazně kratší než u metody statické, využívá se pro zhušťování základních i podrobných bodových polí a budování prostorových sítí nižší přesnosti;
- **stop and go** (přesnost 10 – 20 mm + 1 ppm) – řadí se mezi nejrychlejší způsoby měření s takto vysokou přesností, nachází využití při určování souřadnic podrobných bodů, využívá referenční stanici;
- **kinematická** (přesnost = 20 – 30 mm + 3 ppm) využívá referenční stanici;

- **RTK – real time kinematic** (přesnost 30 – 50 mm) je nejnovější metodou měření, využívá referenční stanici, uplatňována při určování souřadnic bodů podrobných bodových polí a podrobných bodů, především však při vytyčování.

Metoda RTK GPS, díky níž byla získána data pro tuto práci, nachází široké využití, např. v zemědělství, kde díky své přesnosti v řádu jednoho centimetru pomáhá zpřesnit sázení, odplevelování nebo aplikace herbicidů či hnojiv (Keller et al., 1998). Guo a další (2005) provádějí výzkum metody RTK pro účely bezpečnostního monitoringu mostních konstrukcí a sledování vlivů, které na její stabilitu má např. seismická aktivita, doprava a přírodní vlivy (teplota). Jinou podstatnou oblastí výzkumu využívající RTK představuje geografický výzkum, např. výzkum pohybu horského permafrostu (Lambiel et al., 2004). Velký význam má obecně metoda RTK GPS v geodetických studiích s vysokými požadavky na citlivost (Zengin et al. , 2006). V poslední době nachází její schopnost vynikajícího rozlišení uplatnění také pro ovládání miniaturních létacích zařízení (MAV), kde na přesné lokalizaci záleží především při pohybu v neznámém prostředí (Grieneisen, 2012).

3.3.5. Možné chyby při měření s GNSS

Příčiny chyb v měření můžeme rozdělit do několika kategorií (Czerniak et al. , 1998):

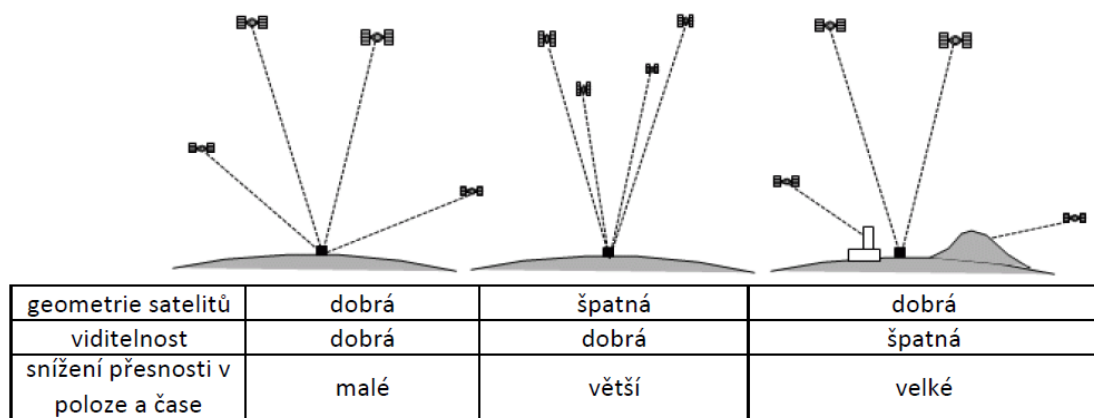
- *chyba korekcí* – chyba způsobená předáním chybné informace o pozici satelitu
- *chyba satelitových hodin* - chyby v přenášených údajích, jejichž nejčastější příčinou bylo až do roku 2000 úmyslné zkreslování signálu (SA)
- *ionosférické a troposférické chyby* - chyby v korekcích zdánlivé vzdálenosti zapříčiněné vlivy ionosféry a troposféry a následnými změnami v rychlosti šíření signálu

- *chyba z vícenásobného příjmu signálu* – chyby, které vznikají přes odrazné rovné plochy v blízkosti přijímače (označuje se také jako *multipath error*)
- *chyby přijímače* - chyby způsobené např. termálním šumem nebo nepřesností softwaru

Snížení přesnosti určení polohy (DOP – Dilution of Precision) ovlivňuje geometrické rozložení satelitů nad obzorem v okamžiku měření (obr. 6). Rozlišuje se několik typů snížení přesnosti a to:

- HDOP - v horizontálním směru;
- VDOP - ve vertikálním směru;
- PDOP - v prostorové poloze;
- GDOP - v poloze a čase (nejčastější)

Mimo výše uvedené chyby se mohou vyskytnout také hrubé chyby v důsledku omylů uživatele, chyb softwaru a hardwaru atd., které mohou vést k chybám řádu stovek km (Schejbal et al. , 2004).



obr. 6 - Vliv rozložení a viditelnosti satelitů (Schejbal et al. , 2004)

3.3.6. Kartografické zobrazení určené polohy GNSS

GNSS využívají geografickou soustavu souřadnic neboli referenční rámec, který je vytvořen specificky za účelem stanovení polohy na zhruba kulovitém povrchu Země. Místo dvou lineárních měřicích os, x a y, užívá geografická soustava souřadnic dvě zakřivené měřicí osy, zeměpisnou délku a šířku (DiBiase, 2014). Referenční

rámec pro GPS se nazývá WGS-84, pro GLONASS je to PE-90 a stejně tak Galileo bude mít svůj vlastní referenční rámec GTRF. Hlavní vlastnost je pro všechny stejná, i to, že vycházejí z kartézské soustavy souřadnic. Proto jsou při použití GNSS souřadnice pozemních lokací obdrženy v příslušném referenčním rámci (Hofmann-Wellenhof et al. , 2008).

Pro zobrazení referenčního rámce WGS-84 se používá UTM (Universal Transverse Mercator) univerzální transverzální Mercatorovo zobrazení. Jedná se o příčné konformní válcové zobrazení poledníkových pásů, přičemž každý pás má vlastní souřadnicovou soustavu a je zobrazen na samostatnou válcovou plochu. K zobrazení povrchu Země se používá 60 poledníkových pásů, Česká republika se nachází ve 33. (velká část) a 34. zóně (Konečný et al. , 2005; Čada, 2007).

3.4. Interpolační metody

Výsledkem batymetrického měření, které bylo v rámci této práce provedeno na Libockém rybníku, bylo bodové pole naměřených hodnot (hloubek či poloh x , y , z). Proces interpolace z takového bodového pole prostřednictvím odhadování hodnot jednotlivých zájmových proměnných nezaměřených míst na základě hodnot změřených bodů v zájmovém území (Burrough et al. , 1998) vytvoří spojitý rastr. Pomocí interpolačních metod je možné stanovit hodnotu vybraného jevu (např. nadmořská výška, množství srážek nebo úroveň hluku) na základě měření na strategicky rozmístěných vzorkových bodech, pokud je měření na všech požadovaných lokacích buď příliš náročné, nebo nadměrně nákladné. Všem vynechaným lokacím se pak přiřazují predikované hodnoty, aby mohla být vytvořena spojitá mapa sledovaného jevu. Existují různé způsoby, jak takovou predikaci odvodit – ty souhrnně označujeme jako modely. Výběr konkrétního modelu se může řídit specifiky měřených dat. Interpolační metody dělíme na metody *deterministické* (IDW, Natural Neighbor, Trend, Spline) a *metody geostatické* (Kriging); geostatické metody na rozdíl od metod deterministických dokáží do modelu zahrnout i míru vlastní

přesnosti a jistoty predikcí díky využití statistických vztahů mezi měřeními body (autokorelace) (ESRI, 2012).

Většina interpolačních metod může být rozdělena do dvou hlavních typů, globálního a lokálního. Globální interpolace využívá všechna dostupná data, aby mohla poskytnout odhady pro body s neznámými hodnotami; lokální interpolace používá pouze informace v sousedství hledaného bodu (Burrough et al. , 1998).

Následující interpolační metody byly v rámci této práce aplikovány v ArcGIS.

3.4.1. TIN

Nepravidelné trojúhelníkové sítě TIN (triangular irregular networks) jsou při práci s GIS využívány již mnoho let. Jde o způsob, jak digitálně reprezentovat morfologii povrchu. TIN je druhem vektorových digitálních geografických dat a sestavuje se triangulací určité množiny vrcholů, resp. bodů. Body jsou propojeny řadou hran, takže se vytvoří nepřekrývající se síť trojúhelníků různých velikostí. Struktura TIN je částečně lineární interpolace z množiny bodů, které mají souřadnice x , y , z . Přestože existuje několik metod, Delaunayho triangulace je výhodnou technikou, protože poskytuje unikátní a optimální triangulaci (Tsai, 1993). Hrany TIN tvoří na sebe přiléhající, nepřekrývající se plochy. Díky tomu je možné zachytit polohu lineárních prvků, jež hrají v různých površích důležitou roli, např. hřebenové linie nebo vodní toky. Protože rozmístění uzlů napříč povrchem může být nepravidelné, může mít TIN větší rozlišení v oblastech s vysoce variabilním povrchem nebo tam, kde je požadován větší detail, a menší rozlišení v oblastech s menší variabilitou. Typicky se TIN používá k modelování menších oblastí, pro něž je vyžadována vysoká přesnost (ESRI, 2012).

Interpolační metody vytvářející DEM, které jsou založeny na triangulacích, jsou atraktivní díky možnosti přizpůsobit je různým strukturám terénu i různé hustotě dat (Hutchinson et al. , 2005).

3.4.2. Natural Neighbor

Algoritmus užívaný interpolační metodou Natural Neighbor najde podmnožinu vstupních hodnot sousedních k hledanému bodu, přiřadí jim váhu úměrnou k okolním plochám (Sibson, 1981), aby ji využil při výpočtu hledané hodnoty neznámého bodu. „Přirozenými sousedy“ každého bodu jsou středové body sousedících Thiessenových polygonů. Thiessenovy polygony se sestrojí nejprve ze všech daných bodů tak, že každý bod jednoho polygonu je k danému naměřenému bodu blíže než ke všem ostatním naměřeným bodům. Postup při sestrojení Thiessenova polygonu je následující: je provedena triangulace všech bodů do nepravidelné trojúhelníkové sítě (TIN, triangulated irregular network) založená na Delauneyho triangulaci. Následně jsou sestrojeny osy hran všech takto vytvořených trojúhelníků, které budou následně tvořit hrany Thiessenových polygonů. Tam, kde se osy protínají, vznikají vrcholy těchto polygonů (ESRI, 2013).

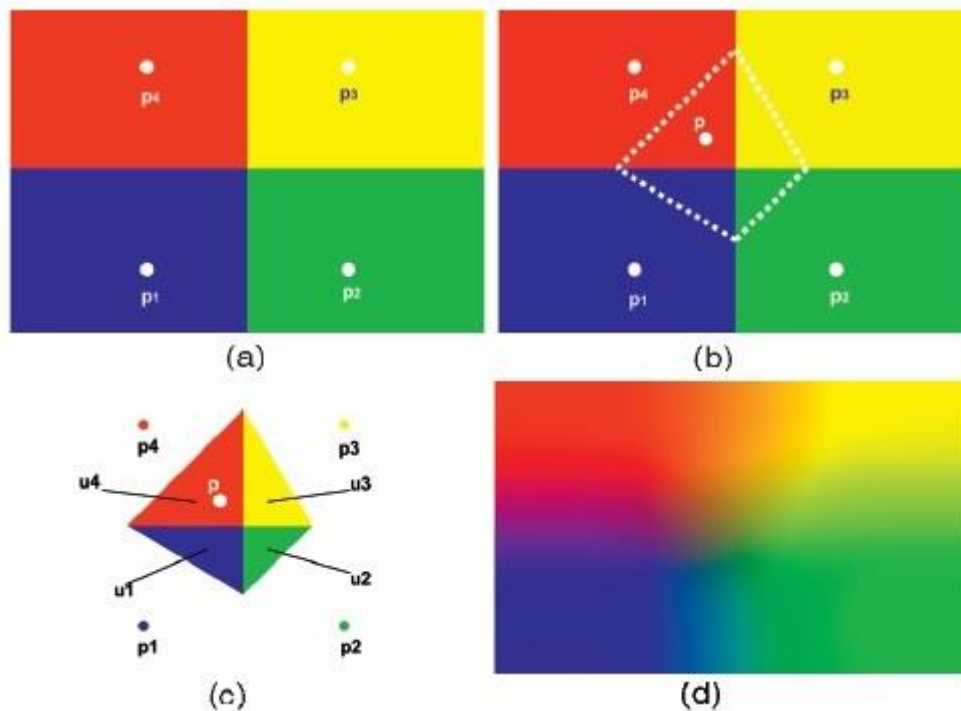
Další Thiessenův polygon je vytvořen kolem interpolovaného bodu. Míra překrytí mezi tímto polygonem a původními polygony se pak využívá pro stanovení váhy (Park et al. , 2006):

$$u'_i = \frac{u_i}{\sum_{i=1}^k u_i}$$

kde u'_i je váha části polygonu kolem interpolovaného bodu, vytvořené překryvem Thiessenova polygonu příslušejícímu hledanému bodu a polygonu jednoho ze sousedních bodů, a u_i je její obsah, viz obr. 7.

Hodnota hledaného bodu $f(p)$ je pak definována takto:

$$f(p) = \sum_{i=1}^k u'_i f(p_i)$$



obr. 7 – interpolační metoda Natural Neighbor (Park et al. , 2006)

Interpolační metoda Natural Neighbor začíná Thiessenovými polygony okolo vstupních dat a) poté vytváří polygon okolo interpolovaného bodu b) vypočítává poměr ploch u_i c) které jsou použity jako váha při interpolaci

Mezi základní vlastnosti této metody patří její lokálnost, protože využívá pouze podmnožinu bodů obklopujících hledaný bod a interpolované výšky pokaždé zůstávají v rozmezí použitých hodnot. Nedokáže však odvodit trendy a nevykreslí vrcholky, průrvy, hřebeny či údolí, které by nebyly reprezentované už vkládanými hodnotami. Povrch protíná vložené body a kromě míst, kde vložené body jsou, je všude hladký.

3.4.3. Topo to Raster

Topo to Raster je interpolační metoda vytvořená speciálně pro účely tvorby hydrologicky korektních digitálních modelů terénu (DEM), tzn. takových modelů, které dostatečně věrně zobrazují povrch odtokové sítě a dobře zachovávají tvary vodních toků i hřebenových linií z vkládaných dat. Jde o jedinou z interpolačních metod v ArcGIS, která dokáže pracovat s vrstevnicovými daty.

Proces interpolace byl vytvořen tak, aby maximálně využil běžně dostupné typy vkládaných dat a známé vlastnosti terénu. Metoda Topo to Raster využívá iterativní postup výpočtu. Je optimalizovaná tak, aby neztratila výpočtovou efektivitu, která je vlastní lokálním interpolačním metodám, jako je IDW, a zároveň zachovala povrchovou kontinuitu typickou pro globální interpolační metody typu Kriging a Spline (ESRI, 2012).

Proces Topo to Raster pracuje na základě programu ANUDEM, který vyvinul Michael Hutchinson. Více podrobností o tomto programu popisuje (Hutchinson et al. , 1991). Program ANUDEM dokáže zpracovat libovolné množství různých souborů vstupních dat, každý s libovolnou velikostí. Jediné omezení se vztahuje na velikost výsledného DEM. Vstupní data mohou být jedním z 8 typů počátečních dat (Hutchinson et al. , 2009):

- bodová data vrcholů hor
- bodová data sníženin (propastí)
- liniová data v podobě vodních toků
- hraniční polygonová data
- data vrstevnicových linií
- liniová data hladin vodních ploch
- data útesových linií

Na počátku interpolačního procesu používá Topo to Raster informace obsažené ve vrstevnicích, aby vybudoval zobecněný odtokový model. Děje se tak pomocí identifikace bodů lokálních maxim zakřivení. Následně proběhne derivace sítě křivočarých toků a hřebenů, která tyto body protíná, za použití výchozího modelu. Umístění těchto linií se iterativně aktualizuje spolu s iterativní aktualizací nadmořských výšek v DEM. Tyto informace se pak používají k tomu, aby se zajistily vhodné hydrogeomorfometrické vlastnosti DEM na výstupu a někdy jsou také využívány k ověření přesnosti výstupního DEM (Hutchinson, 1988).

3.5. Digitální model terénu

Topografie je vědní disciplína, která se zabývá povrchovými útvary na Zemi, popř. na jiných pevných tělesech sluneční soustavy. Tato věda může být znázorněna několika způsoby výpočetních struktur, včetně vrstevnic, rastru nebo nepravidelnou trojúhelníkovou sítí. Tyto struktury nazýváme digitální model terénu DEM (digital elevation model) (Vivoni et al. , 2004).

Digitální model terénu je zobrazením terénu využívajícím výškové informace bodu. Existují dva druhy vizualizace DEM, GRID (pravidelný rastr) a TIN (triangular irregular networks – nepravidelná trojúhelníková síť) (GEOSCIENCE AUSTRALIA, Department of Resources, 2008). Přesnost vytvořeného modelu terénu závisí na vhodném použití interpolační metody (Olivera et al. , 2002).

Rastrový, pravidelný DEM je reprezentován buňkami (pixely) s odpovídající nadmořskou výškou, které mohou mít různý tvar (čtvercový, šestiúhelníkový, aj.) a jsou rozmístěny v pravidelných intervalech vytvářejících rastr. Kvalita rastru záleží na zadaném rozlišení, tj. na velikosti buňky. DEM lze získat z přímo pozorovatelných dat pomocí polního výzkumu fotogrammetrických technik, laserovou altimetrií nebo radarovou interferometrií (Peralvo et al. , 2003), nebo je vypočítán z topografických informací, včetně bodových výškových dat, vrstevnic, říčních toků a útesových linií. Zahrnutím toků a útesových linií dokáže rastrový DEM zobrazit všechny diskontinuity zobrazitelné pomocí TIN a jeho významnou výhodou je, že je kompatibilní s daty z dálkového průzkumu ve formě rastru (GEOSCIENCE AUSTRALIA, Department of Resources, 2008).

Nepravidelný DEM je často interpretován jako nepravidelná trojúhelníková síť TIN (triangular irregular network). Terén je simulován jako řada rovinných trojúhelníkových plošek, vzniklých spojením všech sousedících bodů. Předpoklad, že jsou tyto povrchy rovinné, platí, pokud byly body vybrány v místech změny sklonu terénu. Hlavní výhodou modelů TIN je nenáročnost zobrazení ve vizualizačních aplikacích. Na rozdíl od pravidelně mřížkovaných

modelů (rastrů) jsou méně vhodné k systematickému prostorovému pokrytí (Hutchinson, 2008).

3.6. ArcGIS Desktop

Definice GIS (GIS - geographic information system) není lehkým úkolem, jak je zjevné z velkého množství rozdílných názorů v literatuře. Chrisman (1984) jej chápe jako komplikovaný druh softwaru, který pokrývá celý životní cyklus geografických dat od jejich sběru po jejich interpretaci. Lepší a šířeji přijímanou definici GIS podávají (Burrough et al. , 1998), kteří GIS považují za komplex počítačového hardwaru a softwaru ukotvený v patřičném organizačním kontextu.

Geografický informační software ArcGIS Desktop od společnosti ESRI je velmi účinný nástroj pro práci s digitalizovanými mapami a geografickými informacemi. Software je díky své komplexnosti velmi oblíben po celém světě, a má více než 40% podíl na trhu (Directions Magazine, 2011). Používá se především pro (Wikipedia: the free encyclopedia):

- vytváření a editaci map
- sestavování geografických údajů
- analyzování mapovaných informací
- sdílení a zjišťování zeměpisných informací;
- využití map a geografických informací v řadě aplikací
- pro správu geografických informací v databázi.

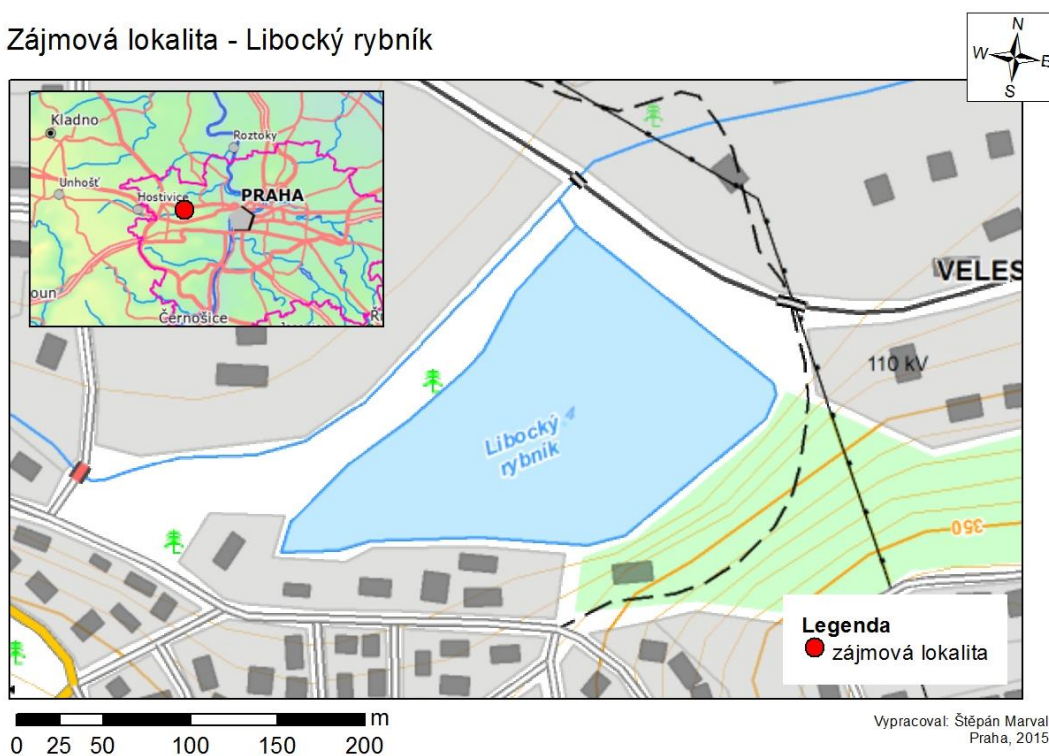
4. Metodika

Metodika představuje zájmové území, tedy lokalitu Libockého rybníka. Popisuje využití měřicí přístroje a jejich použití v praxi při sběru dat. Dále popisuje vytvoření DEM pomocí interpolačních nástrojů v ArcGIS, díky němuž lze stanovit současné možnosti akumulace nádrže.

4.1. Zájmová lokalita

Zájmovou lokalitou této práce je Libocký rybník a blízké přiléhající okolí. Při jeho popisu bylo vycházeno z manipulačního a provozního řádu. Nachází se na území hlavního města Prahy, na okraji Liboce, v městské části Praha 6 a je součástí soustavy malých vodních nádrží na Litovickém potoce, viz obr.8.

Zájmová lokalita - Libocký rybník



obr. 8 – Zájmová lokalita - Libocký rybník (autor)

4.1.1. Historie a účel

Na základě historických map a zákresů se odhaduje založení rybníka nakonec 18. století. Rybník byl původně postaven jako průtočný na Litovickém potoce a nesl název Markitskej panskej

rybník. Až později se začal používat název Libocký rybník podle nedaleké stejnojmenné obce Liboc. Historicky byl využíván jako zdroj vody pro vodovod Pražského hradu určený zejména k závlahám. V roce 1987 byla provedena jeho kompletní rekonstrukce, tedy odbahnění, a hlavní hráz byla opevněna polovegetačními tvárnicemi. Z důvodu výrazného zanášení byl přestavěn z průtočného na boční a je napájen zatrubněným náhonem. Úpravám neunikl ani Litovický potok, obr.9 , jenž byl napřímen, jeho koryto bylo zahlobeno a opevněno.



obr. 9 – koryto Litovického potoka (autor)

V současnosti je Libocký rybník využíván především jako rybochovný. Svojí polohou na okraji Liboce rybník také zlepšuje estetický vzhled svého okolí. Dle sdělení zaměstnance správce díla (Lesy hl.m. Prahy) v současné době nemá odběr platné povolení k nakládání s vodami podle zák. 254/2001 Sb.

Účely Libockého rybníka v pořadí dle důležitosti:

rybochovný, odběry vody, krajinotvorný.

4.1.2. Charakter a základní údaje nádrže

Libocký rybník je boční MVN napájenou vodou z Litovického potoka. Plocha povodí Litovického potoka k profilu hráze je 43,285 km² a číslo hydrologického pořadí je 1 – 12 – 02 – 0040. V říčním kilometru 12,6 je v pravém břehu Litovického potoka situován *napouštěcí objekt* a v říčním kilometru 12,3 je do Litovického potoka vyústěna *spodní výpust* nádrže. Objem nádrže při normální hladině $H_{norm} = 311,37\text{m n.m.}$ je dle MPŘ stanoven na 44 933m³, plocha hladiny při H_{norm} MPŘ 27 035 m² (2,7 ha).

Významnou dřevinou je zde památný dub letní, viz obr. č. 10 který je přírodní památkou, a za zmínku stojí také vzrostlá smuteční vrba na nátoku. Jinak je zde vegetační doprovod rybníka poměrně strohý a druhově chudý. V roce 2008 byla provedena výsadba vrb a olší, aby bylo zakryto alespoň z části nevzhledné opevnění z polovegetačních tvárnic IZT.



obr. 10 – vegetační doprovod podél boční hráze, pohled na sever (autor)

4.1.3. Hráze nádrže

Řešená nádrž má dvě hráze, *hlavní* a *boční*, neboli dělicí. V půdorysu jsou hráze situovány do tvaru písmene L.

V půdorysu je hlavní hráz přímá, umístěná kolmo ke směru toku Litovického potoka. Hráz je zemní sypaná homogenní, v průřezu má tvar lichoběžníku, v koruně je dlouhá 149m a široká cca 11m. Ve vzdušní části je hráz zvýšena zděným tělesem železniční trati (výška 8m) z Prahy do Kladna. V pravé části zděného tělesa je klenutý podjezd, který tvoří přístup k zahrádkové kolonii. V levé části železničního tělesa jsou klenuté propustky dva. Pravým z nich

dále pokračuje Litovický potok a levý, který se nachází na úrovni terénu, je rezervou pro průchod extrémních průtoků. Po koruně hráze vede panelová cesta. Návodní svah má sklon 1 : 3 a do úrovně normální hladiny je opevněn prefabrikáty IZT, nad úrovní normální hladiny je svah zatravněn. V oblasti návodní hrany hráze je vedena v hloubce 6 – 7 m kanalizační stoka.

Boční (dělicí) hráz je taktéž zemní sypaná homogenní o délce v koruně 216m. Šířka hráze je nepravidelná 8 až 15m. V příčném řezu je také tvaru lichoběžníku. Při rekonstrukci v roce 1987 byla boční hráz asi z 2/3 délky upravena. Do hráze byla instalována štětová stěna a návodní svah (1:3) byl opevněn prefabrikáty IZT do šterkopískového lože. Po koruně hráze vede asfaltová cesta, po stranách je zatravnění se zástupci keřového i stromového pásma. Vzdušní svah (1:2), opevněný prefabrikáty IZT do betonového lože, vytváří koryto Litovického potoka.

4.1.4. Objekty nádrže

Spodní výpust je zařízení pro manipulaci s hladinou v nádrži. Tvoří jej betonový trojdrážkový požerák otevřeného typu. K hrazení vody je využito dřevěných dluží, které jsou zasunuty ve vodících drážkách z U profilů. Odpadní potrubí spodní výpusti je ocelové DN 600 o délce cca 22m.

Napouštěcí objekt je tvořen z vtokové šachty, potrubí DN 500 a DN 1400 se dvěma revizními šachtami a vyústěním v betonovém portálu. Před napouštěcím objektem je na Litovickém potoce vybudována usazovací jímka a za objektem vzdouvací jízek. Vtok do šachty je chráněn šikmými hrubými ocelovými česlemi přibližně v rovině břehu koryta. Betonová vtoková šachta v pravém břehu Litovického potoka je hraditelná na vtoku do potrubí dlužemi. Celková délka vtokového potrubí je 60,2m.

Odběrný objekt vybudován pro hradní vodovod je situován v pravé části hlavní hráze. V současnosti slouží k případnému odběru vody pro zalévání zahrad Pražského hradu.

4.2. Popis měřicí aparatury, její sestavení, sběr dat a jejich export

V této kapitole je popsána využitá měřicí aparatura dále její sestavení, nastavení a kalibrování důležité pro začátek vlastního měření. Bylo vycházeno z informací od Erdema (2013) a vlastních poznatků.

4.2.1. Použitá měřicí aparatura

Pro získání dat byl použit systém *RiverSurveyor M9* od firmy Son Tek. Tento systém je robustním a vysoce přesným systémem pro ADCP vytvořeným přímo pro měření říčního průtoku, trojrozměrného proudu vody a hloubky z pohyblivého nebo stálého plavidla. Kombinuje nejmodernější a ověřenou instrumentaci ADCP se softwarem pro PC a mobilní zařízení. *RiverSurveyor* se skládá z následujících součástí.

Základní součásti měřicí aparatury použité na studované nádrži jsou:

Osmi-paprskový **ADCP M9**, z čehož jedna polovina snímačů měří s frekvencí 3 MHz a druhá s frekvencí 1 MHz. Dalšími komponenty jsou kompas, dvouosý snímač náklonu, 8 GB vnitřní paměť a vertikální zvukový paprsek (*echosounder*) přímo určený pro měření batymetrie. *Echosounder* poskytuje hloubková data s frekvencí 0,5 MHz.

Další součástí *RiverSurveyor M9* je napájecí a komunikačním module **RTK PCM** (Power and Communication Module), zahrnující následující komponenty: GPS přijímač signálu, se kterým je propojen koaxiálním kabelem, balíček nabíjecích baterií jako poskytující zdroj energie a radiovou anténu pro komunikaci s referenční stanicí.

RTK base station, součást aparatury nejčastěji připevněná na trojnožce, je komunikační box, mezi jehož komponenty patří: přijímač GPS s vysokým ziskem signálu, radiový modem a externí radiová anténa pro komunikaci s PCM, který přijímá korekční data

na frekvenci 10 Hz a dále je poskytuje PCM s frekvencí 1 Hz. Pro poskytnutí správné komunikace s PCM je důležitá přímá viditelnost a maximální rozsah komunikace jsou 2 km.

Mezi součásti systému RiverSurveyor je třeba zařadit také **plavidlo**, k němuž je systém při měření připevněn. V případě této práce byl jako plavidlo využit double kajak.

PC nebo **mobilní zařízení**, s nainstalovaným softwarem *RiverSurveyor Live* (4.2.2), bylo taktéž nedílnou součástí aparatury.

4.2.2. Použitý měřicí software

RiverSurveyor Live for PC je software, který umožňuje jak ovládat měření v reálném čase, což je možné i s verzí *for mobile*, tak provádět následné zpracování dat. Pro post-processing, tedy zpracování dat po měření, je nabízeno několik možností. Program dokáže data zobrazit jak ve formě tabulky, tak je vizualizovat ve formě grafů (mezi nabízené vizualizace patří např. graf profilu dna, zobrazení trajektorie uražené během měření, zobrazení dat pro *start edge* a *end edge* nebo graf hloubek naměřených jak metodou *bottom track*, tak pomocí vertikálního paprsku). K samotným možnostem úpravy dat pak patří úprava systémových parametrů nebo úprava výchozích nastavení extrapolace hladiny a dna, které se po aktualizaci promítají do výsledků. Program také umožňuje zkontrolovat délku trvání měření a kvalitu GPS. Tabulková data mohou být snadno exportována do textového souboru (.txt) nebo do pracovního sešitu *microsoft excel worksheet*, popř. do formátu vhodného pro práci v prostředí MatLab.

4.2.3. Sestavení měřicí aparatury

Při příjezdu na lokalitu za účelem sběru batymetrických dat nebylo počasí příliš příznivé, nárazový vítr a déšť měření komplikovaly, proto byl jako úkryt využit klenutý podjezd v pravé části hráze pod železniční tratí.

Jako první byla sestavena referenční stanice. Ta obsahovala výše uvedené součásti a při jejím sestavování bylo postupováno následovně: nejprve byla sestavena trojnožka, která byla vyrovnána do vodorovné polohy. Volba polohy referenční stanice byla určena snahou předejít překážkám ovlivňujícím příjem korekčních dat. V tomto případě byla stanice umístěna na hlavní hrázi, kde byla přímá viditelnost na celou plochu rybníka navzdory blízkosti železniční tratě. Spodním šroubem byl k trojnožce pevně přichycen plastový nástavec. Do horní části komunikačního boxu byla přišroubována anténa pomocí držáku a celý box s vloženými nabíjecími bateriemi byl připevněn k plastovému nástavci. Dále byla přímo připojena anténa pro komunikaci rádiem a kabelem GPS přijímač přeposílající korekce PCM na loď. Tlačítkem pro spuštění byla stanice zapnuta, načež nás zelená led kontrolka informovala o funkčnosti referenční stanice.

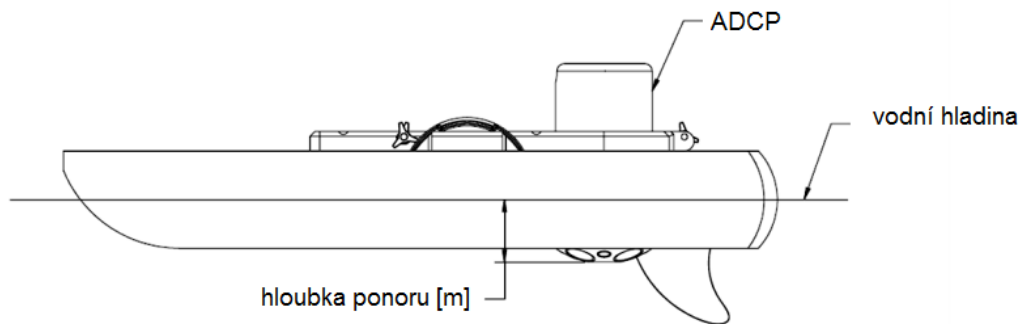
Po postavení referenční stanice bylo na řadě sestavení měřicí soustavy na předem upravený double kajak, kde byly na předním místě připevněny rámečky z tvrzeného polystyrenu, jimiž se zajistila stabilita při měření. ADPC byl vložen do rámečku, pod kterým byl otvor umožňující batymetrii. Poté byl vložen do rámečku RTK PCM, ke kterému byl nejprve hliníkovým držákem připevněn vysoko ziskový GPS přijímač a následně s ním byl propojen kabelem. Dále byl PCM napájený balíčkem nabíjecích baterií propojen devítikonektorovým kabelem s ADCP a celá soustava byla zapnuta. Ochrana před vnějšími vlivy a pohodlí při sběru dat zajišťoval vodotěsný neoprenový kryt.



obr. 11 – referenční stanice a použité plavílo, double kajak (autor)

4.2.4. Nastavení a kalibrace aparatury

Pro měření bylo použito mobilní zařízení, které je v terénu ceněné pro svou přenosnost a uživatelskou vstřícnost. Mobilním zařízením mělo nainstalován potřebný software, tedy *RiverSurveyor for mobile* a správně nastavený bluetooth. Po spuštění program automaticky vyhledal měřicí soustavu připevněnou na lodi přes bluetooth a vzhledem k tomu, že byla jediným nalezeným zařízením, se automaticky připojil. Tím se na displeji otevřelo hlavní menu, ve kterém byly zadány informace o lokalitě pro její identifikaci a vstupní parametry systémového nastavení. Vstupními parametry zadávanými při měření byla hloubka ponoru snímače, viz obr. 12, 0,08 m, která odpovídá ponoru kajaku při váze obsluhující osoby 85 kg. Zbývající hodnoty nastavení byly ponechány jako výchozí, pro batymetrii nádrže důležité: primární metoda sběru batymetrických dat (vertical beam) a možnost nastavení formátu koordinačního systému. Další nastavitelné parametry se týkají měření říčních profilů, proto byla ponechána výchozí nastavení.



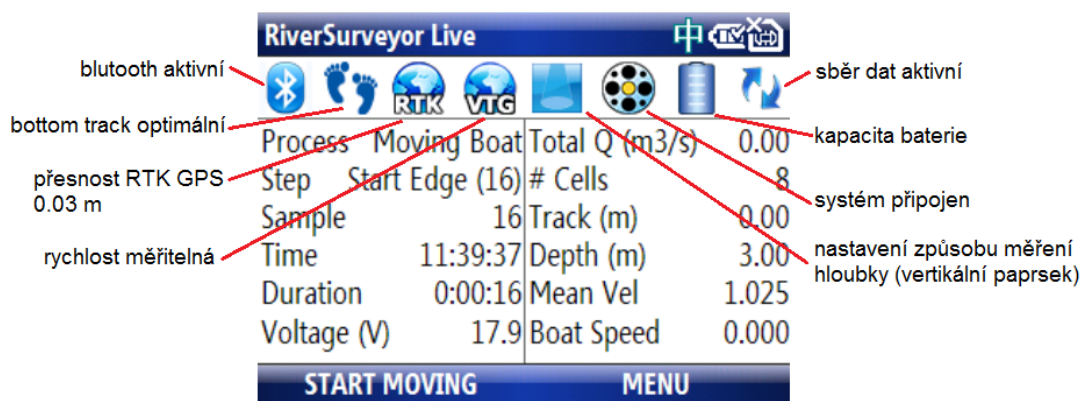
obr. 12 – hloubka převodníku, ponoru (Erdem, 2013) upraveno autorem

V dalším nastavení je důležitým krokem kalibrace kompasu. Ta se užívá kvůli kompenzaci magnetických interferencí v blízkosti ADCP. Je důležité, aby při kalibraci kompasu nebyl v jeho blízkosti žádný magnetický materiál, včetně elektronických či mobilních zařízení. Kalibrace byla provedena prostřednictvím dvou rotací měřicí soustavy (včetně plavidla) kolem její osy při současném naklánění do co možná největšího úhlu tak, aby jedna rotace netrvala déle než jednu minutu. Úspěšnost kalibrace potvrdí systémová hláška „pass“ nebo „fail“.

4.2.5. Sběr dat

Po správném provedení kalibrace bylo možno začít měřit stisknutím *start measurment*. Po vstupu do základního menu bylo možné kontrolovat kvalitu signálu a funkčnost dané části aparatury. Zobrazené ikony mohou nabývat čtyř barevných variant. Optimální stav značí modrá barva, která byla dosažena ve všech případech. Dále je možné vidět aktuální hodnoty stavu měřicí soustavy, jak je uvedeno na obr. 13. Před nastoupením do kajaku bylo stisknuto tlačítko *start egde*, spuštění měření datových profilů, kde při vstupu bylo nutno zadat vzdálenost od břehů, přestože pro tento druh měření nebyla prakticky potřebná (zadaná hodnota 0,5 m), stejně jako možnosti volby levého či pravého břehu a tvar břehu využívající se při měření průtoků s ADCP. Pro zaznamenávání a následné uložení dat přes bluetooth do mobilního

zařízení, umístěného ve vodotěsném vaku na krku obsluhující osoby, bylo stisknuto *start moving*.



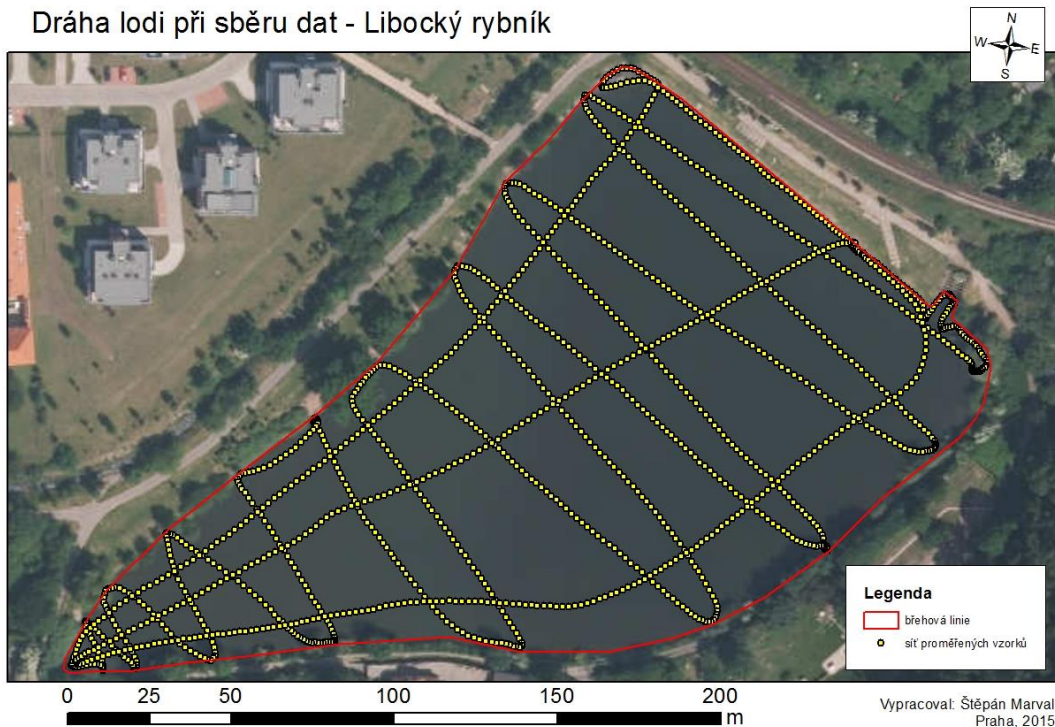
obr. 13 – kontrola stavu při sběru dat (Erdem, 2013) upraveno autorem

Sběr dat byl proveden dne 31. března 2015. Z bezpečnostních důvodů byl vlastní sběr dat za poněkud nepříznivých podmínek (silných poryvů větru) proveden osobou Václava Hradilka, obr. 14. Data byla sbírána křižováním nádrže, jak je znázorněno na obr. 15. Pro určení maximální hloubky bylo „najeto“ okolí výpusti a byla naměřena hodnota 2,22 m. Měření v kajaku bylo provedeno při zvýšeném stavu o 35 cm (určeno dle vodočetné latě) nad normální hladinu, trvalo necelých 30 minut a celkem bylo získáno 1451 bodových vzorků. Pro určení polohy při měření na Libockém rybníce byl použit referenční rámec WGS 1984 pro jehož vizualizaci se používá kartografické zobrazení UTM, kap 3.3.6. Když byl dokončen sběr dat, bylo zastaveno měření tlačítkem *end edge*. Poté bylo opět nutné potvrdit vzdálenost od břehu a měření ukončit a celá data uložit tlačítkem *end transect*.



obr. 14 – sběr batymetrických dat Libockého rybníka (autor)

Dráha lodi při sběru dat - Libocký rybník



obr. 15 – dráha při sběru dat (autor)

4.2.6. Přesun dat z mobilního zařízení do PC

Přesun datových souborů z mobilního zařízení bylo provedeno jednoduše po propojení USB kabelem s PC, kde byl nainstalován *ActiveSync* umožňující komunikaci. Soubor s daty ve formátu *.riv* bylo možné stáhnout do složky v PC, která následně umožnila přístup k datům prostřednictvím softwaru *RiverSurveyor live for PC*.

4.3. Model dna nádrže a určení objemu v ArcGIS

Tato kapitola se zabývá postupem při získání DEM a následném určení objemu nádrže.

Pro import získaných vzorků do softwaru ArcGIS Desktop (kap. 3.6) byl nejvhodnější možností export z *RiverSurveyor live* do pracovního sešitu *excel worksheet*. Ten obsahoval sloupce hodnot, z nichž ty důležité pro tuto práci byly hodnoty odpovídající souřadnicím *UTM_X* a *UTM_Y*, *VB_Depth* - hloubka změřená vertikálním paprskem - a *BT_Depth*, značící hodnoty získané metodou *bottom track*. Tyto nezbytné hodnoty byly doplněny o sloupec *nh*, který obsahoval hloubku při normální hladině ($nh = VB_depth[m] - 0,35$).

Dále bylo nutné v tomto sešitu provést několik editačních úprav, jednalo se o přejmenování hlavičky sloupců, u nichž byl název dvouslovný tak, aby odpovídal formátu, se kterým umí pracovat ArcGIS, tedy smazání mezer nebo jejich nahrazení jiným znakem. Dále muselo být odstraněno ohraničení a ostatní listy v pracovním sešitu. Pak už jen stačilo uložit tento pracovní sešit jako CSV (textový soubor s oddělovači) a soubor dat byl kompatibilní s uživatelským prostředím ArcGIS.

Poté byly tyto nástroje geoinformačního systému spuštěny a mohlo se přistoupit k modelování a určení objemu nádrže.

Prvním krokem bylo vykreslení bodového pole ve správném souřadnicovém systému, aby nedošlo ke zkreslení. V nástroji *ADD XY data* byl vybrán předem připravený soubor CVS s daty. Do

příslušných formulářů (*Field X, field Y*) byly zadány sloupce *UTM_X* a *UTM_Y* obsahující hodnoty souřadnic a jako projekční navigační systém byl zvolen *WGS_1984_UTM_Zone_33N*, což odpovídá kartografickému zobrazení UTM pro Českou republiku. Po uložení vygenerovaných bodů byla získána bodová vrstva ve formátu *.shp (feature type - point)*, kde poloha každého bodu byla určena příslušnými souřadnicemi a každý bod měl přiřazenou hodnotu změřených hloubek (*VB, BT,nh*).

Poté byla tato vrstva uložena a pro zajištění kompatibility se satelitní mapou ČR převedena do křovákova zobrazení (*S-JTSK_Krovak_East_North*), které pak bylo využito pro celou práci. Ze satelitní mapy byla získána pomocí *editoru* břehová linie nádrže nepostradatelná pro vytvoření modelů nádrže, a tedy pro určení akumulčního prostoru. Pro zpřesnění modelů byly k bodům získaných měření v editoru přidány další body, umístěné přímo na břehové linii v intervalu cca 15m, s hodnotou hloubek 0. Další úpravou v editoru bylo vyjmutí 37 náhodně vybraných bodů, které byly použity pro *cross validation*, neboli přímé porovnání interpolovaných batymetrických hodnot s hodnotami naměřenými, přičemž tyto body nevstupovaly do procesu interpolace spojitého povrchu dna nádrže. Ta byla vyhodnocena speciálním kritériem, neboli kvadratickou chybou RMSE (*root mean square error*), viz kap. č. 5.

Pro získání digitálních terénních modelů nádrže byla jako první použita interpolační funkce *create TIN*, kde vstupní data tvořila upravená bodová vrstva, resp. sloupec *VB_field*, které byl přiřazen typ vrstvy (*SF_type*) *mass_points*, což znamenalo, že body ve vrstvě byly využity jako uzly *delaunayho triangulace*. Do funkce byla načtena také břehová linie s typem *soft_clip*, která určovala okraj vytvořeného TIN. Po proběhnutí funkce byla zvolena pravidelná klasifikace hloubky (interval 0,2 m), která byla použita stejně pro všechny DEM. Výsledný TIN, viz příloha č. 1, bylo nutné pro získání výsledku v podobě akumulčního objemu nádrže potřeba funkcí *TIN to raster* převést na rastr s určenou délkou hrany čtvercové buňky, v tomto případě (*cellsize*) 1m.

Z bodové vrstvy vstupující do interpolační funkce *Natural Neighbor*, byl zadán do příslušného formuláře (*Z value field*) sloupec *VB_depth*, reprezentující naměřené batymetrické hodnoty a nastavena velikosti buňky 1 m (*cellsize*). *Natural Neighbor* nepočítá s okrajovými daty, počítá pouze oblast konvexní obálky. Proto byl ještě rastr po vymodelování oříznut, převedením břehové linie na rastr (*polygon to raster*), a následném přičtení v *raster calculator*. Výsledný model, viz příloha č.2, byl pro porovnání klasifikován stejně jako model TIN.

Podobně jako u TIN bylo postupováno i v případě interpolační metody *Topo to Raster*: zde byl nastaven typ vložených bodových dat na výškový bod (*type - pointElevation*) a hranici pro model tvořila břehová linie (*type - boundary*). Dalším nastavením byla opět velikost buňky (*cellsize - 1 m*). Výsledný rastr, viz příloha č. 3, byl klasifikován stejně jako v předešlých případech.

Pro porovnání vlivu rozlišení na výsledný objem byl vytvořen funkcí *Topo to Raster* ještě jeden model s hodnotou rozlišení 10x10cm, viz příloha č. 4.

Následně byla použita zonální statistika (*zonal statistics as table*), která při vložení výše popsaných rastrů, nastavení typu statistiky (*type statistics*) *SUM* a vložených okrajových dat (*Zone data - břehový linie*) vygenerovala tabulku s celkovým objemem a plochou nádrže. To bylo umožněno zvoleným rozlišení právě 1m. Kdyby byla délka nerovná 1, musel by se sloupec *SUM* s hodnotou celkové výšky v rastru vynásobit příslušnou délkou hrany umocněnou na druhou, resp. plochou buňky. Takto byla provedena zonální statistika u všech popsaných metod a výsledné tabulky byly sloučeny do jedné funkcí *merge*, viz kap. 5.

Pro modelování od získání kompletně upravené bodové vrstvy, viz výše, byl vytvořen model funkcí v aplikaci *ModelBuilder*, která umožňuje zapojení úloh do logického celku. Tento model, viz příloha č. 5, umožnil během několika desítek vteřin kompletní opakování výpočtových operací až po určení objemu pro různá nastavení typu b hodnot (*VB_depth*, *BT_depth*, *nh*).

5. Výsledky

Kapitola shrnuje všechny dosažené, číslem vyjádřené výsledky ve formě tabulek. Dále k výsledkům této práce lze zařadit modely dna dosažené jednotlivými předem určenými metodami, viz, příloha č. 1, příloha č. 2, příloha č.3. V případě tabulek se jedná o cílové hodnoty akumulčních objemů, tab. 3, získané pomocí určených interpolačních metod. Dále jsou zde uvedeny výsledky, které budou hlavním předmětem diskuze, tab. 4, tedy hodnoty objemů nádrže odpovídající výšce normální hladiny, opět pro všechny tři metody. Také obsahuje výsledky dvou porovnávání. Prvním je tzv. cross-validace, tab. 6, mezi interpolovanými hodnotami a fakticky naměřenými echosoundrem. Druhým jsou pak srovnány výsledky dvou metod sběru batymetrických dat (bottom track a vertical beam), tab. 6tab. 6. Celkové zhodnocení a další logicky vyplývající výsledky jsou rozebrány v následující kap. č. 6 – diskuze.

Nejvyšší hodnota objemu při aktuální hladině byla stanovena metodou Topo to Raster s rozlišením 1 m², a to na 44 236,19 m³. Oproti tomu ta samá interpolační metoda s rozlišením 10 cm² vypočítala objem o 1 400 m³ menší, a to není zanedbatelná hodnota. Velice podobně si při určení objemu vedly zbývající dvě metody, jejichž rozdíl činí pouhých 17 m³ s průměrem 43 915m³.

tab. 3 – výsledný objem k aktuální hladině

výsledný objem k aktuální hladině VB	vstupní rozloha pro výpočet objem [m ²]	akumulační objem [m ³]
topo to raster	26965	44 236,19
natural neighbor	27060	43 909,21
TIN	27167	43 928,26
topo to raster (10x10cm)	27138	42 832,03

Pro diskuzi zajímavější jsou hodnoty v tab. 4, které určují objem k normální hladině. Rozsah vypočítaných hodnot zde vzrostl na 323 m³ a průměrný akumulční objem při normální hladině je stanoven na 34 590 m³, což je hodnota, která byla porovnána s provozním řádem.

tab. 4 – objem přepočítaný k normální hladině

výsledné objemy - přepočet k norm. hl.	výchozí rozloha pro určení objemu [m ²]	akumulační objem [m ³]	Výsledný objem [m ³]
topo to raster	26965	34761,60	34591,92
natural neighbor	27060	34438,21	
TIN	27167	34575,96	

Další faktor je možné určit porovnáním mezi fakticky změřenými hodnotami a hodnotami vyinterpolovanými, čili cross-validací, tab. 5. Ta byla provedena pro každou interpolační metodu a formou speciálního kritéria RMSE vyhodnocena. Výsledky jsou podobné, avšak lze z nich určit, že nejpřesněji kopíruje hloubky TIN.

tab. 5 – výsledky cross-validace

RMSE	Natural Neighbor	TIN	Topo to Raster
	0,7304	0,6743	0,7122

Zajímavým porovnáním je vliv metody sběru dat, tab.6, na výsledný objem. Zatímco u metod Natural Neighbor a TIN nedosahuje rozdíl v užití metod ani 50 m³, u Topo to Raster je tato hodnota 710 m³.

tab. 6 – vliv metody sběru dat na výsledný objem k aktuální metodě

VB vs. BT	topo to raster [m ³]	natural neighbor [m ³]	TIN [m ³]
VB	44236,19	43909,21	43928,26
BT	43525,69	43864,02	43879,29
rozdíl	710,50	45,19	48,97

6. Diskuze

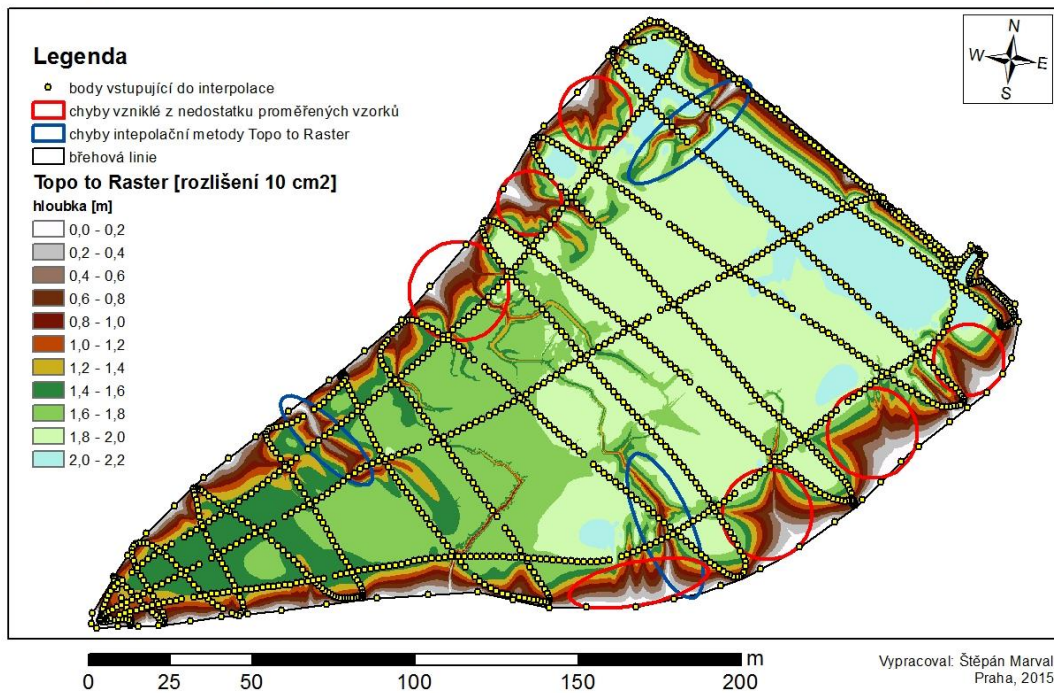
V rámci celkového hodnocení výsledků lze konstatovat, že studované interpolační metody se stejnými vstupními daty dosahují velmi podobných výsledků v rozsahu 120 m³. Avšak pro takto provedenou metodu sběru batymetrických dat a následné modelování zde došlo k několika faktorům, které ovlivnily výsledky všech tří metod.

V provozním řádu z roku 2001 je stanoven objem při normální hladině na 44 236 m³, tedy o téměř 9 650 m³ více než objem získaný průměrem z tří interpolačních metod. Libocký rybník je od kompletní rekonstrukce v roce 1987 přestavěn na boční nádrž, proto zde lze uvažovat pouze vnitřní zanášení, tedy vliv eutrofizace, viz kap. 3.1.4. Z rozdílu objemů, stanovené plochy 27 035 m² a počtu let od posledního odbahnění (28 let) lze vypočítat výšku ročního příbytku sapropelu, která by v tomto případě odpovídala 1,25 cm/rok.

Rozdíl výsledných objemů při použití stejné metody (Topo to Raster) v jiném rozlišení je dán lepší schopností rastru kopírovat břehovou linii při interpolaci. Vyšší rozlišení umožňuje zachytit větší detaily, a lépe tedy odpovídá skutečnému objemu. Přičemž je výsledek stejně omezen hustotou bodů vstupujících do interpolačního procesu a k chybám dochází především v „hluchých“ místech bez bodů.

Na obr. č. 16 je možné vidět přímo určené oblasti, kde k chybě v případě této funkce došlo, tedy byl zde vypočítán menší objem, než ve skutečnosti je. Při pohledu na modely, příloha č. 1, příloha č.2, zbývajících studovaných funkcí žádná taková místa nenajdeme a při porovnání s obr. 17 z roku 2011, z posledního uskutečněného vypuštění lze konstatovat, že lépe odpovídají faktickému plochému povrchu dna nádrže.

Chyby při určení objemu - Libocký rybník



obr. 16 – analýza výsledků (autor)



obr. 17 – poslední vypuštění Libockého rybníka, pohled na severozápad, březen 2011 (Zdeněk Mužik)

modrá šipka označuje oblast chyby funkce Topo to Raster, červená šipka označuje oblast nedostatku proměřených vzorků

Mezi faktory, které mohou výpočet objemu ovlivnit, by měl být především uveden vliv hustoty proměřených vzorků. Obr. 16 označuje oblasti, kde jasně k ovlivnění tímto faktorem došlo, a to u všech interpolačních metod. Na obr. č. 17 je opět možné porovnání s rokem 2011. Ve výsledných modelech je patrné, že v okolí naměřených hodnot je hloubka vyšší než v místech s větší vzdáleností od proměřených bodů. Tento faktor může výrazně ovlivnit výsledek, především u strmých břehů. Pro odstranění tohoto vlivu, by bylo vhodné provést měření v blízkosti břehů nad „linií zlomu“ dna a břehu.

S výše uvedeným faktorem úzce souvisí další zvažované zkruslení výsledků, totiž určení břehové linie ze satelitní mapy, resp. bodů na ní vytvořených pro zpřesnění výsledného modelu. Nejde o úplně ideální postup - ten by vznikl vlastním zaměřením břehové linie i blízkého okolí, aby interpolace mohly lépe určit trend povrchu, tedy lépe vypočítat objem.

V tabulkách (tab. 3 a tab. 4) je také uvedena rozloha, ze které vychází výsledný výpočet objemu. Přestože byla použita pouze jedna břehová linie, rozlohy vstupující do statistického výpočtu se u jednotlivých interpolačních funkcí liší. Rozdíl v rozloze je způsoben nedokonalým kopírováním rastru břehové linie při interpolaci nebo, v případě Natural Neighbor, vlivem konvexní obálky, kap. 3.4.2. Rozsah těchto nulových hodnot je určen zadaným rozlišením. S přihlédnutím k tomu, že nulové položky jsou vytvářeny u břehů, by nemělo jít o nejzásadnější faktor ovlivnění výpočtu.

Hodnoty rozloh pro výpočet se v porovnání s rozlohou uvedenou MPŘ (27 035 m²) nikterak zásadně neliší. Vstupní rozloha do výpočtu (břehová linie) měla hodnotu 27 149 m² a nejlépe ji „okopíroval“ TIN, který se lišil o +18 m².

Dále je také otázkou, zda proměřené vzorky odpovídají faktické hodnotě výšky bahna po vypuštění nádrže, tedy jestli nedojde k poklesu. Na toto téma byla provedena studie v rámci katederního projektu zaměřením nádrží v povodí Litovického potoka, kde na rybníku Strnad byly vzájemně porovnány hodnoty zaměřené

echosoundrem a vhodně upravené měřicí tyče. Dosažený výsledek vykazoval minimální odchylky měření. Tyto odchylky více odpovídaly chybám provedení měření než hodnotám konstantního rozdílu testovaných způsobů.

tab. 5 uvádí výsledky porovnání hloubek naměřených a interpolací získaných, cross-validaci. Pomocí 37 náhodně vybraných bodů a speciálního kritéria RMSE byly vypočítány hodnoty, které určovaly nejpřesnější metodu. Té dosáhla interpolační funkce TIN, avšak hodnoty kritéria jsou velmi podobné.

Pokud však vezmeme výše popsané faktory v potaz, je možné výsledek zanesení (9 650 m³) snížit. O kolik? To je těžké odhadnout. Další měření, u kterého by se předešlo výše popsaným faktorům ovlivnění výsledku, by jistě dokázalo odpovědět s velkou přesností.

7. Závěr

Hlavní stanovené cíle, tedy batymetrické zaměření malé vodní nádrže – Libockého rybníka - a následné vytvoření digitálních terénních modelů třemi určenými metodami byly splněny. Stejně tak byl splněn cíl v podobě rešeršního a metodického popisu řešené oblasti.

Celkově strávený čas na zaměřované lokalitě, který i se sestavením aparatury trval necelé 3 hodiny, a zároveň technická proveditelnost na napuštěné nádrži, dává této „experimentální“ metodě obrovský potenciál do budoucnosti. Výsledné hloubky, kterých echosounder v měřicí aparatuře RiverSurveyor dosahuje, jsou velmi přesné. Je potřeba stanovit metodiku, která by potlačovala faktory ovlivňující měření, především pak upravit rozměry a strukturu sítě proměřovaných vzorků.

Interpolační metodu TIN bych při použití pro modelování plochého dna malé vodní nádrže označil jako nejvhodnější na základě výsledků cross-validace. U metody Natural Neighbor dosáhla cross-validace nejvyšších hodnot. Metodu Topo to Raster ovlivnil faktor nízké hustoty proměřovaných vrorků, proto bych ji v tomto případě označil jako nejméně odpovídající reálnému objemu. Metody TIN a Natural Neighbor ukázaly výsledky, které považuji za reálnější, avšak ne za zcela přesné.

Za vlastní přínos této práce považuji především určení faktorů ovlivňujících výsledky při stanovení objemu. Dále srozumitelně popsaný postup při určení objemu v prostředí ArcGIS a následné porovnání všech tří metod. Za osobní přínos je také možno považovat v češtině popsaný postup týkající se měřicí aparatury, tedy jejího sestavení, nastavení a samotného sběru dat.

8. Přehled literatury a použitých zdrojů

Burrough, Peter a Mcdonnell, Rachael. 1998. *Principles Of Geographical Information Systems*. Oxford : Oxford University Press, 1998.

Costa, B.M., Battista, T.A a S.J.Pittman. 2009. Comparative evaluation of airborne LiDAR and ship-based multibeam SoNAR bathymetry and intensity for mapping coral reef ecosystems. *Remote Sensing of Environment*. 2009, Sv. 113, č.5, stránky 1082-1100.

Czerniak, J. R. a J.P.Reilly. 1998. *Applications of GPS for surveying and other positioning needs in departments of transportation*. Washington : National Academy Press, 1998. ISBN: 0309061164.

Čábelka, M. 2008. *Úvod do GPS*. Praha : CITT, 2008.

Čada, V. 2007. Tvar zemského tělesa a referenční plochy. *Přednáškové texty z Geodézie*. [Online] 2007. [Citace: 18. 4 2015.] <http://gis.zcu.cz/studium/gen1/html/ch02s03.html>.

Český normalizační, institut. 1997. *ČSN 46 6800 Rybářství*. Praha : Český normalizační, institut, 1997.

Český normalizační, institut. 1997. *ČSN 75 2410 Malé vodní nádrže*. Praha : Český normalizační, institut, 1997.

Čistý, Milan. 2005. *Rybníky a malé vodné nádrže II*. Bratislava : Slovenská technická univerzita v Bratislavě, 2005. ISBN: 80-227-2294-4.

D.Pavlík. Čo je GPS? OM2ADP. [Online] [Citace: 13. 4 2015.] <http://www.depe.sk/gps/gps01.htm>.

DiBiase, D. 2014. Coordinate Systems. *Department of geography*. [Online] 2014. [Citace: 2015. 4 13.] https://www.e-education.psu.edu/geog482spring2/c2_p10.html.

Directions Magazine. 2011. "Update: Esri has 40+% of GIS Marketshare". *Directions Magazine*. [Online] 21. 11 2011. [Citace:

23. 3 2015.] <http://www.directionsmag.com/entry/esri-has-40-of-gis-marketshare/215188>.

Encyclopaedia Britannica. "bathymetry". *Encyclopaedia Britannica Online Academic Edition*. [Online] Encyclopædia Britannica Inc. [Citace: 26. 3 2015.] <http://academic.eb.com.ezproxy.techlib.cz/EBchecked/topic/55994/bathymetry>.

Erdem, H. 2013. *RiverSurveyor S5 / M9 System Manual*. 2013.

ESRI. 2012. An overview of the Interpolation toolset. *ArcGIS Resources*. [Online] ESRI, 11. 8 2012. [Citace: 26. 3 2015.] http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/An_overview_of_the_Interpolation_tools/009z00000069000000/.

— . **2013.** How Natural Neighbor works. *ArcGIS Resources center*. [Online] ESRI, 6. 10 2013. [Citace: 12. 4 2015.] <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/00q90000003r000000>.

— . **2012.** How Topo to Raster works. *ArcGIS Resources*. [Online] ESRI, 11. 8 2012. [Citace: 4. 4 2015.] <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/009z0000007m000000>.

— . **2012.** What is a TIN surface? *ArcGIS resource*. [Online] ESRI, 2. 10 2012. [Citace: 8. 4 2015.] <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/00600000001000000>.

GEOSCIENCE AUSTRALIA, Department of Resources. 2008. *9 second DEM and D8 Digital Elevation Model & Flow direction grid*. Canberra : Geoscience Australia, 2008. ISBN: 9781921498152.

Government of Canada. 2014. Measuring depths with echosounders and sonars. *Fisheries and Oceans Canada*. [Online] 12. 3 2014. [Citace: 10. 4 2015.] <http://www.dfo-mpo.gc.ca/science/hydrography-hydrographie/measuring-depths-eng.html>.

- Gregesen, E. 2001.** *The Britannica guide to sound and light*. New York : In association with Rosen Educational Services, 2001. ISBN: 1615303006.
- Grieneisen, D. 2012.** *Real Time Kinematic GPS for Micro Aerial Vehicles*. Zurich : autor neznámý, 2012.
- Guo, J., Xu, L., Dai, L., McDonald, M., Wu, J., Li, Y.. 2005.** Application of the Real-Time Kinematic Global Positioning System in Bridge Safety Monitoring. *Journal of Bridge Engineering*. 2005, Sv. 10, stránky 163-168. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0702\(2005\)10:2\(163\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0702(2005)10:2(163)).
- Haren, H. van. 2001.** Estimates of sea level, waves and winds from a bottom-mounted ADCP in a shelf sea. *Journal of Sea Research*. 2001, Sv. 45, 1, stránky 1-14.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. a Wasle, E. 2008.** *GNSS - Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo and More*. New York : Springer, 2008. ISBN 9783211730126.
- Holcman, Radek. 2015.** Význam a funkce rybníků. *Rybářství Litomyšl*. [Online] 2015. [Citace: 3. 2 2015.] <http://www.rybarstvi-litomysl.cz/vyznam-a-funkce-rybniku/>.
- Hutchinson, M. 1988.** *Calculation of hydrologically sound digital elevation models*. Sydney : International Geographical Union, 1988. stránky 117 - 133. Proceedings of the Third International Symposium on Spatial Data Handling.
- Hutchinson, M. F. a Dowling, T. I. 1991.** A continental hydrological assessment of a new grid-based digital elevation model of Australia. *Hydrological Processes*. 1991, Sv. V, stránky 45-58.
- Hutchinson, M. F. a Gallant, J. C. 2005.** Representation of terrain. [autor knihy] P. A. Longley, a další. *Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications*. Hoboken, N.J : John Wiley & Sons, 2005, kap. 9, stránky 105-124.

Hutchinson, M., Stein, J. A., Stein, J.L., Xu, T. 2009. Locally adaptive gridding of noisy high resolution topographic data. [autor knihy] R.D. Braddock a L.T.H. Newham (eds). *Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand and International Association for Mathematics and Computers in Simulation*. Anderssen : 18th World IMACS Congress, 2009, stránky 2493–2499.

Hutchinson, Michael. 2008. Adding the Z-dimension. [autor knihy] J.P. Wilson a A.S. Fotheringham (eds). *Handbook of Geographic Information Science*. Malden : Blackwell Pub., 2008, stránky 144-168.

Chrisman, Nicholas. 1984. The role of quality information in the long-term functioning of a geographic information system. *Cartographica*. 1984.

Keller, R. J., Nichols, M. E. a Lange, A. F. 1998. *Methods and apparatus for precision agriculture operations utilizing real time kinematic global positioning system systems*. US6199000 B1 1998. <http://www.google.com/patents/US6199000>.

Kondolf, G. Mathias, Gao, Yongxuan, Annandale, George W., Morris, Gregory L., Jiang, Enhui, Zhang, Junhua, Cao, Yongtao, Carling, Paul, Fu, Kaidao, Guo, Qingchao, Hotchkiss, Rollin, Peteuil, Christophe, Sumi, Tetsuya, Wang, Hsiao-Wen, Wang, Zhongmei, Wei, Zhilin, 2014. Sustainable sediment management in reservoirs and regulated rivers: Experiences from five continents. *Earth's Future*. 2014, Sv. 2, stránky 256-280.

Konečný, M., Kaplan, V., Keprtová, K., Podhrázský, Z., Strachon, Z., Tajovská, K. 2005. *kartografie a geoinformatika*. Brno : Geografický ústav PřF MU Brno, 2005.

Krása, Josef a a kol. 2013. *Hodnocení ohroženosti vodních nádrží sedimentem a etrofizací podmíněnou zemědělské půdy*. Praha : ČVUT, 2013. ISBN: 978-80-01-05428-4.

Kubinský, D., Fuska, J., Weis, K., Lehotský, M., 2013. Zmeny akumuláčného objemu vodných nádrží Veľká Richňavská a Malá

Richňavská. *ACTA HYDROLOGICA SLOVACA*. 2013, Sv. 14, č. 2, stránky 402-413.

Lambiel, C. a Delaloye, R. 2004. Contribution of real-time kinematic GPS in the study of creeping mountain permafrost: examples from the Western Swiss Alps. *Permafrost and Periglacial Processes*. 2004, Sv. 15, stránky 229-241.
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ppp.496/epdf>.

Maršálek, Blahoslav. 2009. *Znečištění povrchových vod živinami: příčiny, důsledky a možnosti řešení (eu)trofizace*. Praha : Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost, 2009. ISBN 978–80–02–02154–4.

McKean, J., Nagel, D., Tonina, D., Bailey, P., Wright, C.W., Bohn, C., Nayegandhi, A. 2009. *Remote Sensing of Channels and Riparian Zones with a Narrow-Beam Aquatic-Terrestrial LIDAR*. 2009. doi: 10.3390/rs1041065.

Moretto, J., Rigon, E., Mao, L., Delai, F., Picco, L., Lenzi, M. 2014. *Short-term geomorphic analysis in a disturbed fluvial environment by fusion of LiDAR, colour bathymetry and dGPS surveys*. *Catena* 122 : autor neznámý, 2014.
doi:10.1016/j.catena.2014.06.023.

Normandeau, A., Lajeunesse, P. a Philibert, G. 2013. Late-Quaternary morphostratigraphy of Lake St-Joseph (southeastern Canadian Shield): Evolution from a semi-enclosed glacial marine basin to a postglacial lake. *Sedimentary Geology*. 2013, Sv. 295, DOI: 10.1016/j.sedgeo.2013.07.005, stránky 38-52.

Olivera, F., Furnans, J., Maidment, D., Djokic, D., Ye, Z. 2002. Drainage Systems. [autor knihy] David R. Maidment (ed.). *Arc hydro: GIS for water resources*. Redlands : ESRI Press, 2002, kap. 4, stránky 55-86.

Park, S. W., Linsen, L., Kreylos, O., Owens, J. D., Hamann, B. 2006. Discrete Sibson Interpolation. *IEEE TRANSACTIONS ON VISUALIZATION AND COMPUTER GRAPHICS*. 2006, Sv. 12, 2.

- Patera, A., Nacházel, K. a Fošumpaur, P. 2002.** *Nádrže a vodohospodářské soustavy 10*. Praha : Vydavatelství ČVUT, 2002. ISBN 80-01-02620-5.
- Peralvo, Manuel a Maidment, David. 2003.** Influence of DEM interpolation methods in Drainage Analysis. [Online] 2003. [Citace: 1. 4 2015.] <http://www.crrw.utexas.edu/gis/gishydro04/Introduction/TermProjects/Peralvo.pdf>.
- Poláček, Jiří. 2001.** *Manipulační a provozní řád pro vodní dílo Libocký rybník*. Praha : autor neznámý, 2001.
- Riedford, A., Daub, Ch. a Loef, P. 2006.** Precise Positioning in Real-Time using Navigation Satellites and Telecommunication. Achen : Shaker verlag, 2006.
- Rybářství, Litomyšl. Význam a funkce rybníků.** [Online] [Citace: 3. 2 2015.] <http://www.rybarstvi-litomysl.cz/vyznam-a-funkce-rybniku/>.
- Sedlák, Vladimír, Lošonczi, Peter a Ivana, Podlesná. 2009.** *Družicové navigačné systémy*. Košice : VŠBM, 2009. ISBN: 978-80-89282-31-9.
- Shuanggen, J., Cardellach, E. a Xie, F. 2014.** *GNSS remote sensing: theory, methods and applications*. New York : Springer, 2014. ISBN 9789400774810.
- Schejbal, Ctirad, Homola, Vladimír a Staněk, František. 2004.** *Geoinformatika*. Košice : PONT, s.r.o., 2004. ISBN 80-967611-8-8.
- Schmitt, T., Mitchell, N. C. a T.S, RAMSAY. 2008.** Characterizing uncertainties for quantifying bathymetry change between time-separated multibeam echo-sounder surveys. *Continental Shelf Research*. 2008, Sv. 28, 9, stránky 1166-1176.
- Sibson, R. 1981.** A brief description of natural neighbor interpolation. [autor knihy] V. Barnett. *Interpreting Multivariate Data*. Chichester : John Wiley, 1981, stránky 21- 36.
- Šafarčíková, Simona a Pešata, Michal. 2006.** Zvýšená hladina živin. [autor knihy] Záboj Hrázský a Simona Šafarčíková (eds.).

Živiny v krajině. místo neznámé : DAPHNE ČR, institut aplikované ekologie, 2006.

Šálek, J. 1996. *Malé vodní nádrže v životním prostředí*. Ostrava : Vysoká škola báňská. Technická univerzita, 1996. ISBN: 8070783702.

Švábenský, O., Weigel, J. a J.Fixel. 1995. *Základy GPS a jeho praktické aplikace*. Brno : CERM, 1995. ISBN: 80-214-0620-8.

The National Oceanography Centre . Echo-sounders. *The National Oceanography Centre* . [Online] [Citace: 10. 4 2015.] <http://noc.ac.uk/research-at-sea/ships/onboard-equipment/echo-sounders>.

Tsai, Victor. 1993. Delaunay triangulations in TIN creation: an overview and a linear-time algorithm. *International journal of geographical information systems*. Madison : [online published], 1993, stránky 501-524.

Vivoni, E., Ivanov, V., Bras, R., D., Entekhabi. 2004. Generation of Triangulated Irregular Networks Based on Hydrological Similarity. [autor knihy] Govindaraju R. S. (ed.). *Journal of Hydrologic Engineering*. West Lafayette : Purdue University, 2004.

Vrána, Karel a Beran, Jan. 2013. *Rybníky a účelové nádrže*. Praha : ČVUT, 2013. ISBN 978-80-01-04002-7.

Walling, Desmond E. 2009. The Impact of Global Change on Erosion and Sediment Transport by Rivers: Current Progress and Future Challenges. [Online] 2009. [Citace: 11. duben 2015.] <http://unesdoc.unesco.org/images/0018/001850/185078E.pdf>.

Wikipedia: the free encyclopedia. ArcGIS. *Wikipedia: the free encyclopedia*. [Online] San Francisco (CA): Wikimedia Foundation. [Citace: 23. 3 2015.] <http://en.wikipedia.org/wiki/ArcGIS>.

Wille, P.C. 2005. *Sound images of the ocean in research and monitoring*. New York : Springer, 2005. ISBN 3540241221.

Y.Motonaga, Yorozuya, A. a Iwami, Y. 2014. Direct measurement of river-bed form with sand waves. [autor knihy] G. de Cesare, M.

J. Franca, M. Pfister (eds.) A. J. Schleiss. *River flow 2014*.
London : Taylor & Francis group, 2014, stránky 273-278.

Zákon č. 99/2004 Sb. o rybníkářství, výkonu rybářského práva, rybářské stráží, ochraně mořských rybolovných zdrojů a o změně některých zákonů (zákon o rybářství) v aktuálním znění.

Zeměměřičský úřad. Síť permanentních stanic GNSS České Republiky. [Online] [Citace: 11. 4 2015.] <http://czepos.cuzk.cz/>.

Zengin, H. a Yeşil, A. 2006. Comparing the performances of real-time kinematic GPS and a handheld GPS receiver under forest cover. *Turkish journal of agriculture and forestry*. 2006, Sv. 30, stránky 101-110.

<http://dergipark.ulakbim.gov.tr/tbtkagriculture/article/viewFile/5000027124/5000027361>.

9. Seznam obrázků

OBR. 1 – DĚLENÍ MVN PODLE PŘÍVODU VODY (VRÁNA ET AL. , 2013)	17
OBR. 2 – USPOŘÁDÁNÍ PROSTOR V MALÉ VODNÍ NÁDRŽI (ŠÁLEK, 1996)	17
OBR. 3 – VYUŽITÍ ECHOSOUNDERU PRO MĚŘENÍ HLOUBKY DNA Z LODI (GOVERNMENT OF CANADA, 2014)	24
OBR. 4 – GLOBÁLNÍ NAVIGAČNÍ SATELITNÍ SYSTÉMY (SHUANGGEN ET AL. , 2014).....	25
OBR. 5 - PRVKY SATELITNÍHO NAVIGAČNÍHO SYSTÉMU (D.PAVLÍK)	26
OBR. 6 - VLIV ROZLOŽENÍ A VIDITELNOSTI SATELITŮ (SCHEJBAL ET AL. , 2004)	30
OBR. 7 – INTERPOLAČNÍ METODA NATURAL NEIGHBOR (PARK ET AL. , 2006).34	
OBR. 8 – ZÁJMOVÁ LOKALITA - LIBOCKÝ RYBNÍK (AUTOR)	38
OBR. 9 – KORYTO LITOVICKÉHO POTOKA (AUTOR)	39
OBR. 10 – VEGETAČNÍ DOPROVOD PODÉL BOČNÍ HRÁZE, POHLED NA SEVER (AUTOR).....	40
OBR. 11 – REFERENČNÍ STANICE A POUŽITÉ PLAVILO, DOUBLE KAJAK (AUTOR)	45
OBR. 12 – HLOUBKA PŘEVODNÍKU, PONORU (ERDEM, 2013) UPRAVENO AUTOREM	46
OBR. 13 – KONTROLA STAVU PŘI SBĚRU DAT (ERDEM, 2013) UPRAVENO AUTOREM	47
OBR. 14 – SBĚR BATYMETRICKÝCH DAT LIBOCKÉHO RYBNÍKA (AUTOR)	48
OBR. 15 – DRÁHA PŘI SBĚRU DAT (AUTOR).....	48
OBR. 16 – ANALÝZA VÝSLEDKŮ (AUTOR)	55
OBR. 17 – POSLEDNÍ VYPUŠTĚNÍ LIBOCKÉHO RYBNÍKA, POHLED NA SEVERO- ZÁPAD, BŘEZEN 2011 (ZDENĚK MUŽÍK)	55

10. Seznam tabulek

TAB. 1 – NEJČASTĚJŠÍ TECHNICKÉ ZÁVADY U MVN (VRÁNA ET AL. , 2013)	20
TAB. 2- KATEGORIE STUPŇŮ TROFIE (MARŠÁLEK, 2009).....	22
TAB. 3 – VÝSLEDNÝ OBJEM K AKTUÁLNÍ HLADINĚ	52
TAB. 4 – OBJEM PŘEPOČÍTANÝ K NORMÁLNÍ HLADINĚ	53
TAB. 5 – CROSS-VALIDACE	53
TAB. 6 – VLIV METODY SBĚRU DAT NA VÝSLEDNÝ OBJEM K AKTUÁLNÍ METODĚ	53

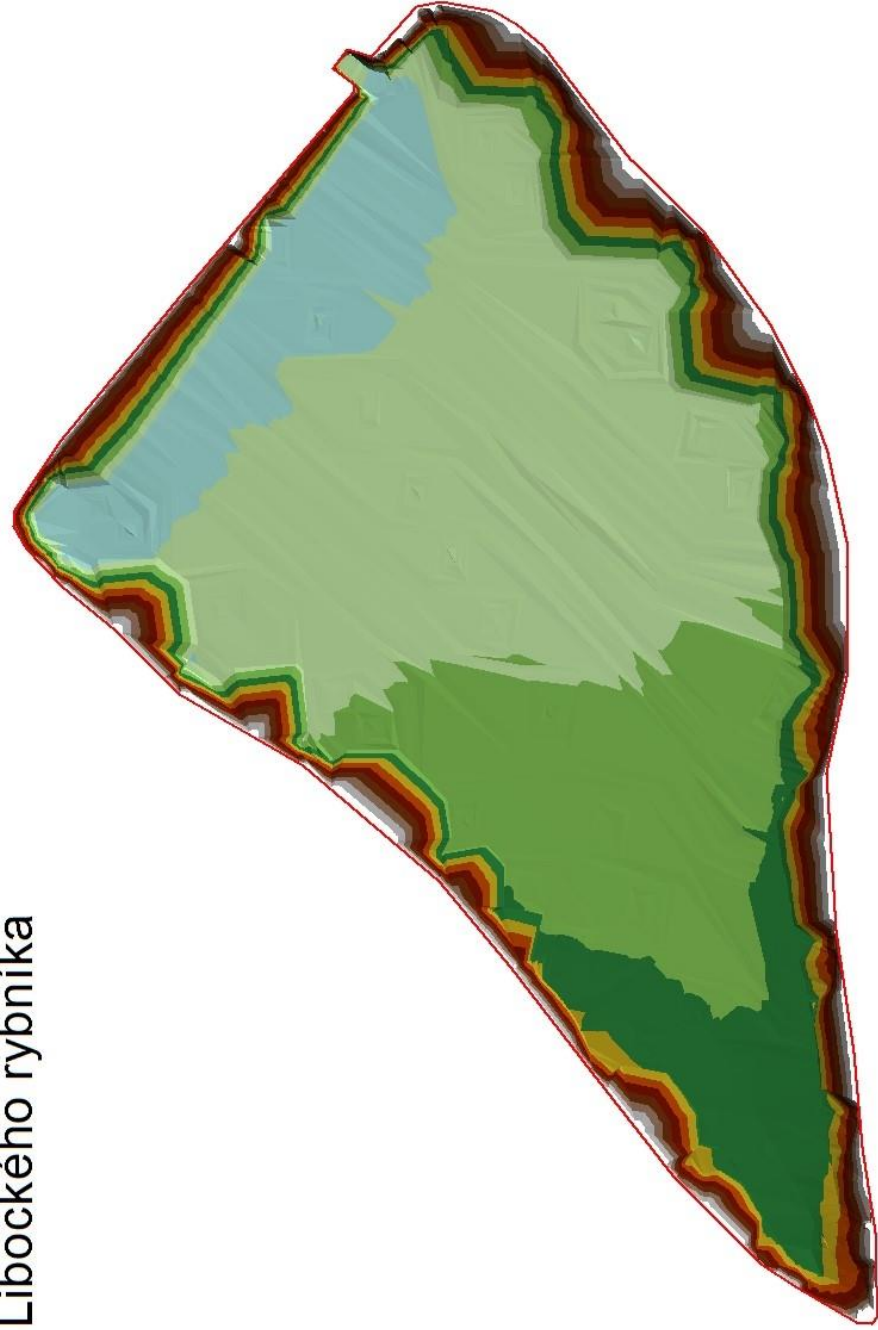
11. Seznam příloh:

PŘÍLOHA Č. 1 – DEM – TIN (AUTOR)	70
PŘÍLOHA Č. 2 DEM - NATURAL NEIGHBOR (AUTOR)	71
PŘÍLOHA Č. 3 DEM – TOPO TO RASTER (AUTOR)	72
PŘÍLOHA Č. 4– DEM – TOPO TO RASTER ROZLIŠENÍ 10X10 CM (AUTOR)	73
PŘÍLOHA Č. 5– MODELBUILDER – MODEL FUNKCÍ (AUTOR)	74

DEM v zobrazení TIN Libockého rybníka

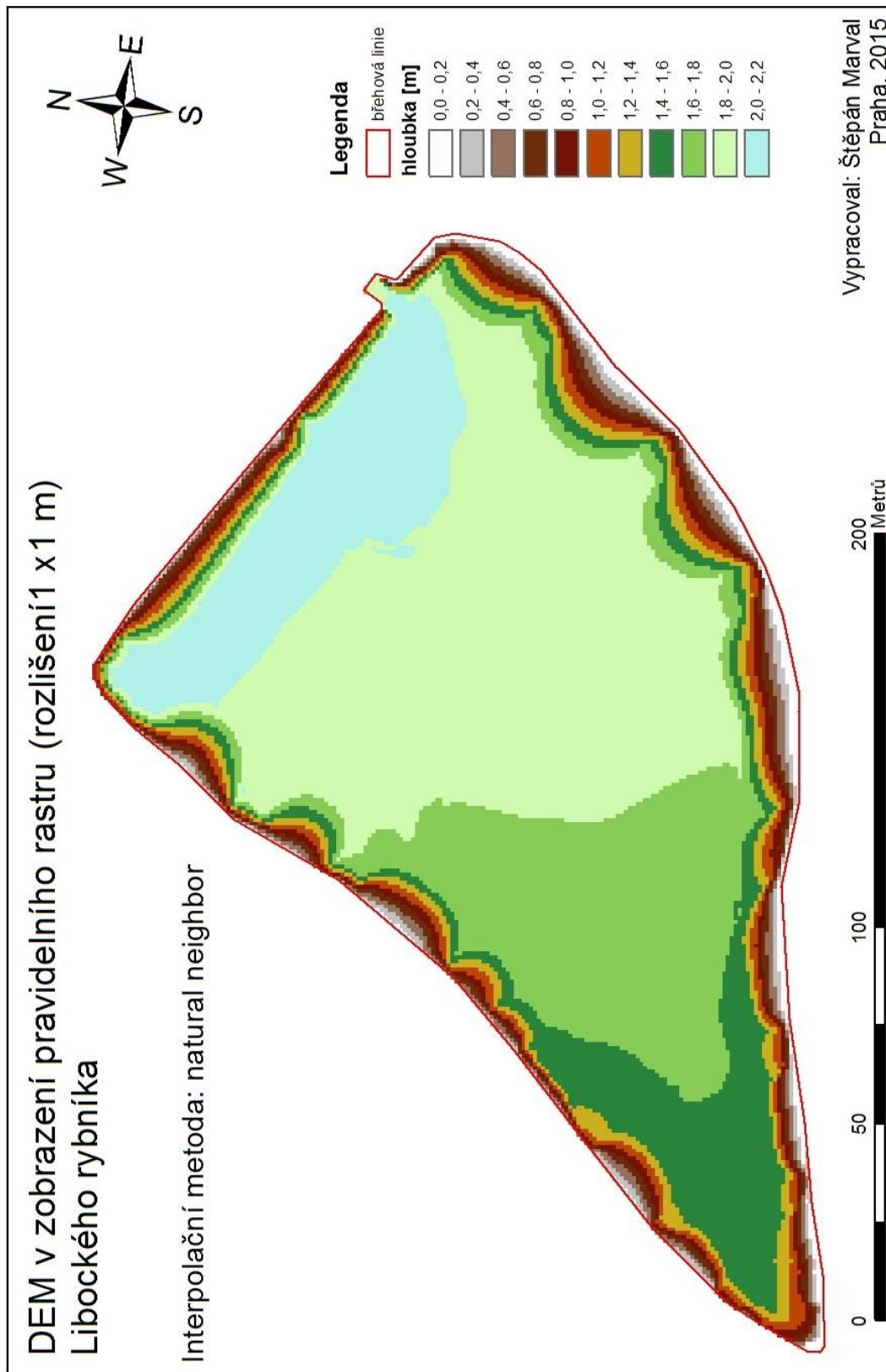


- Legenda**
- břehová linie
 - hloubka [m]
 - 2,2 - 2,0
 - 2,0 - 1,8
 - 1,8 - 1,6
 - 1,6 - 1,4
 - 1,4 - 1,2
 - 1,2 - 1,0
 - 1,0 - 0,8
 - 0,8 - 0,6
 - 0,6 - 0,4
 - 0,4 - 0,2
 - 0,2 - 0,0

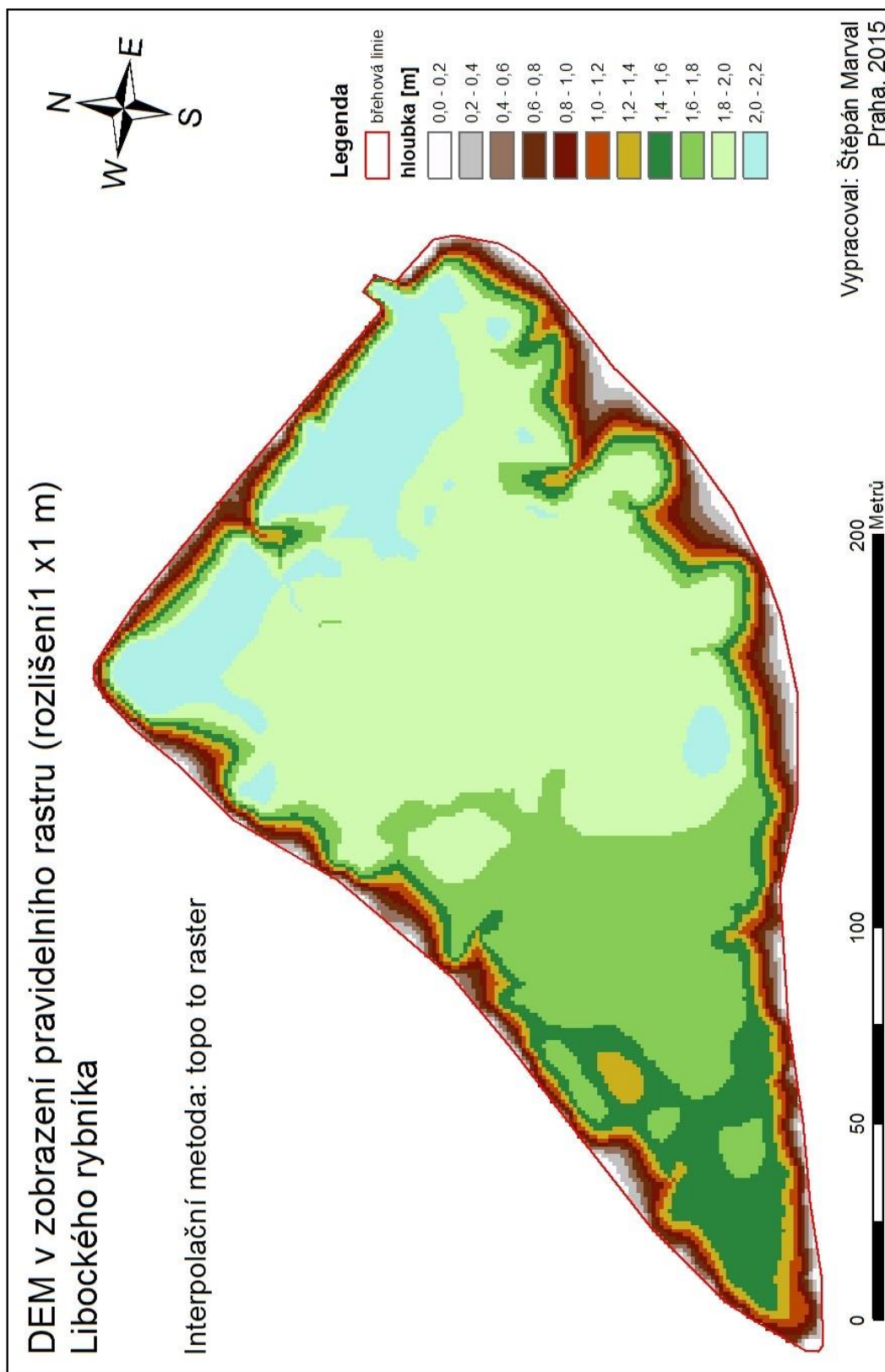


Vypracoval: Štěpán Marval
Praha, 2015

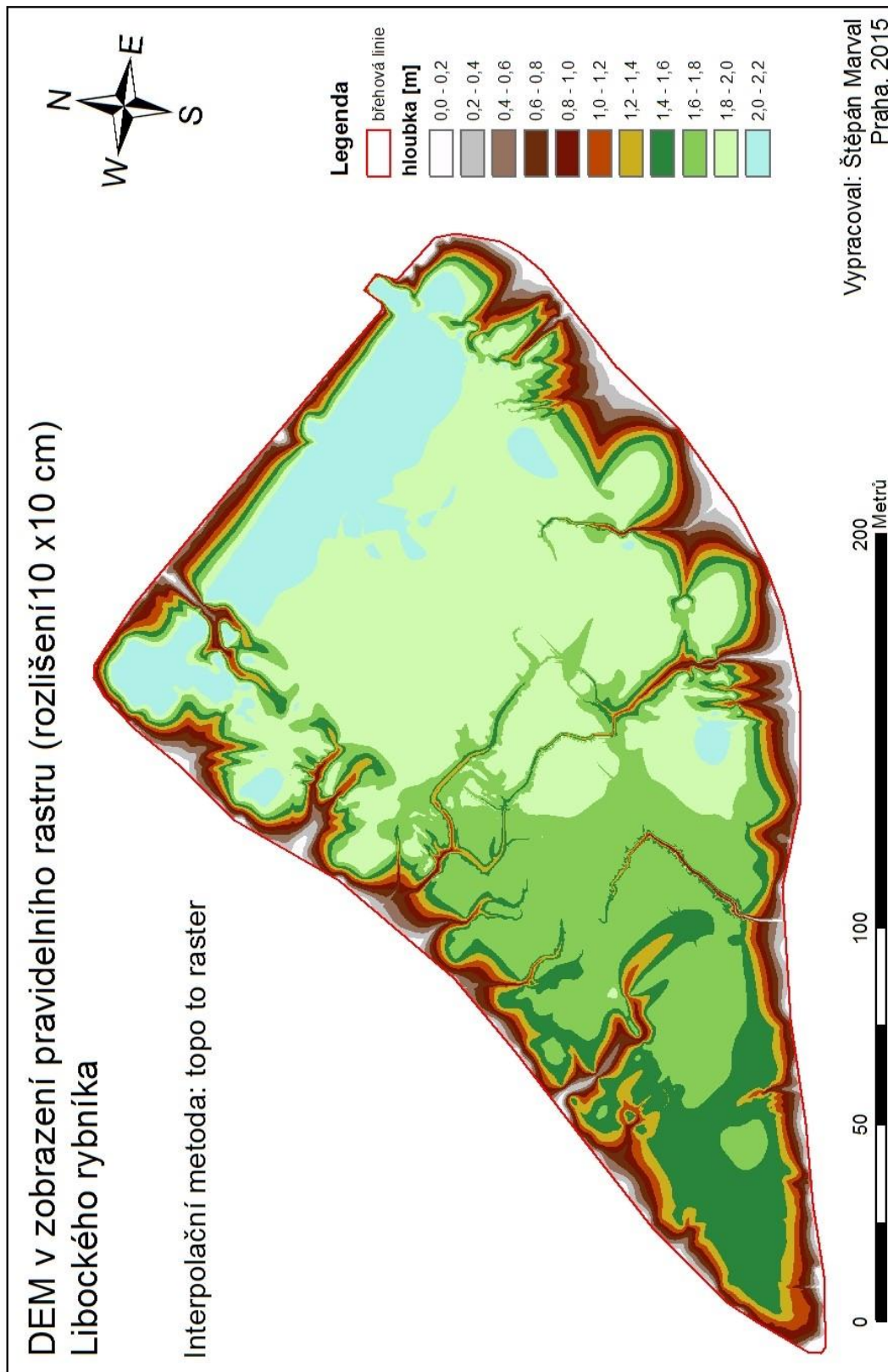
přiloha č. 1 – DEM – TIN (autor)



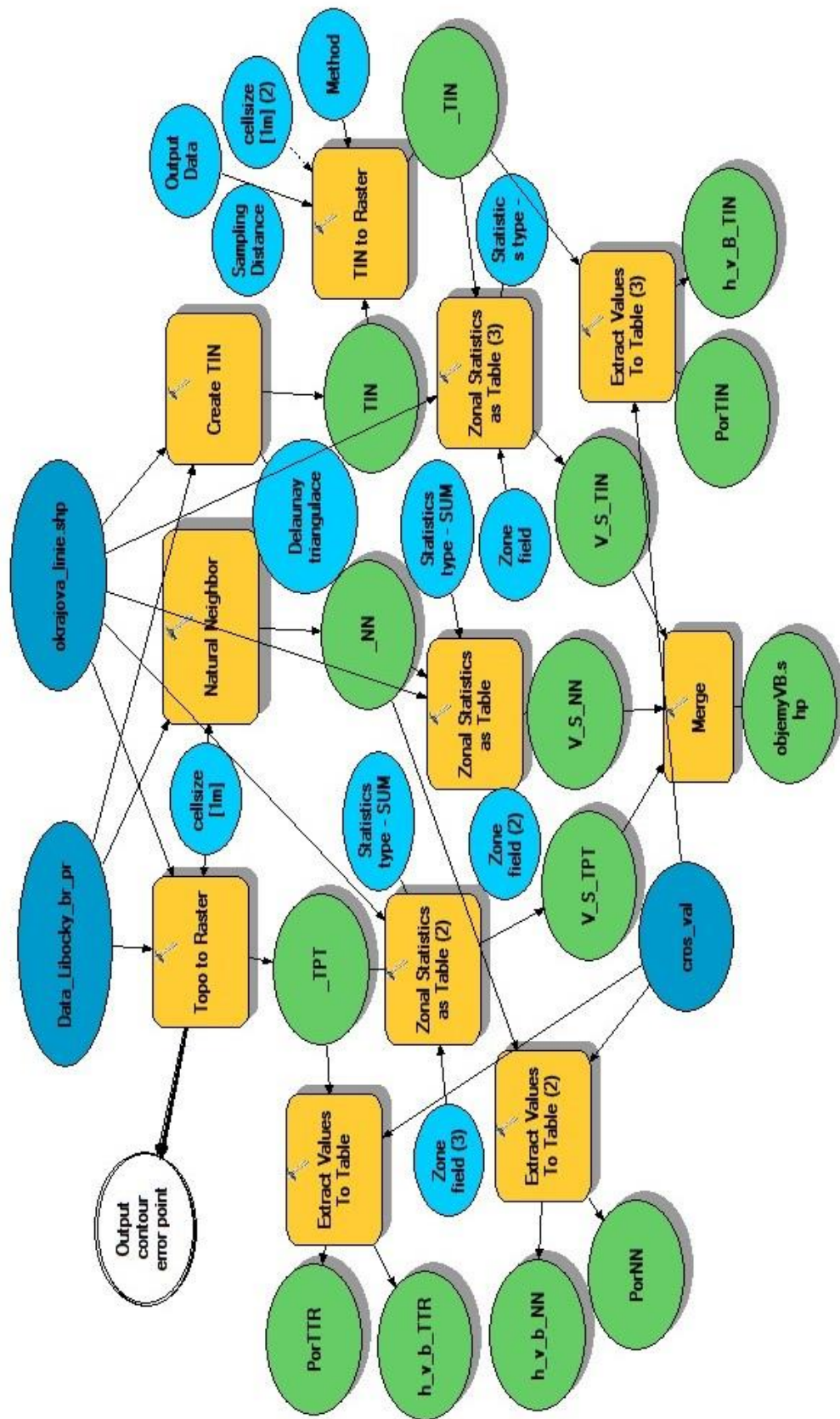
příloha č. 2 DEM - Natural Neighbor (autor)



příloha č. 3 DEM – Topo to Raster (autor)



přiloha č. 4- DEM – Topo to Raster rozlišení 10x10 cm (autor)



příloha č. 5– modelbuilder – model funkcí (autor)