

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta Životního prostředí

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování



**Vliv rozložení měřených dat
v prostoru vybrané malé vodní nádrže
na výsledný digitální model**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Marta Kuželková

Vedoucí práce: Ing. Václav Hradilek

2017

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Marta Kuželková

Krajinářství

Název práce

Vliv rozložení měřených dat v prostoru vybrané malé vodní nádrže na výsledný digitální model.

Název anglicky

The influence of measured data pattern on small water reservoir

Cíle práce

Hlavním cílem bude detailní batymetrické zaměření malé vodní nádrže (MVN) Jiviny v povodí Litovicko-Šáreckého potoka, vyhodnocení hloubek formou digitálního modelu terénu (DMT) jež bude brán jako skutečný stav nádrže. Následně budou vybrána naměřená data s cílem simulovat současnou praxi sběru dat. V současné době jsou katedrou vodního hospodářství a environmentálního modelování sbírána data pomocí zjednodušených geometrických nájezdů různých typů. Je důležité mít informaci o tom jaké má takové rozložení vstupních dat vliv na matematický model a výsledný DMT dna. následně porovnány se skutečným stavem. Cílem bude navrhnoutí nejefektivnějšího sběru dat a vyhodnocení míry odlišnosti jednotlivých geometrií sběru dat.

Dílčím cílem bude zpracování rešerše zadané problematiky (batymetrie, moderní způsoby jejího měření a zpracování DMT v prostředí GIS).

Metodika

Teoretická část bude zaměřena na shrnutí obecných poznatků k MVN a jejich zanášení sedimenty, batymetrická měření a jejich způsoby využívané v praxi, způsoby tvorby DTM v prostředí GIS a popis vybraných interpolačních metod, které budou použity v práci. Dále popis retenční nádrže Jiviny.

V rámci praktické části bude retenční nádrž Jiviny zaměřena využitím SBES RiverSurveyor M9 a zaměřená data budou zpracována v prostředí ESRI ArcGIS Desktop (extenze 3D Analyst). DMT dna MVN bude zpracována vybranými interpolačními technikami, následně budou porovnány výsledky jednotlivých DMT dna a diskuze.

Doporučený rozsah práce

40

Klíčová slova

Batymetrie, interpolace, malá vodní nádrž, sediment

Doporučené zdroje informací

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

Předběžný termín obhajoby

2016/17 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Václav Hradílek

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 7. 9. 2016

doc. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 6. 10. 2016

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 24. 04. 2017

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci nazvanou „Vliv rozložení měřených dat v prostoru vybrané malé vodní nádrže na výsledný digitální model“ vypracovala samostatně pod vedením Ing. Václava Hradilka a že jsem použila pouze materiály, které jsem uvedla v seznamu literatury.

V Praze dne 22.4.2017

.....

Poděkování

Děkuji Ing. Václavu Hradilkovi za odborné vedení při tvorbě této bakalářské práce, za nápomoc a ochotu při měření a za trpělivost při vysvětlování. Dále děkuji rodině a přátelům za jejich podporu.

Abstrakt

Tato práce se věnuje batymetrickému měření na malých vodních nádržích. V první části se řeší úvodní terminologie věnující se malým vodním nádržím, jejich batymetrií a zanášení sedimentem. V části druhé měření dat za pomoci přístroje River Surveyor M9 umístěného v kajaku, kterým byla zaměřena retenční nádrž Jiviny v povodí Litovicko-Šáreckého potoka. Primární data, jež byla získána najetím husté sítě po celé ploše nádrže, pro účely práce představují reálný obraz dna. Tato bodová data byla dále analyzována v prostředí software Arc Gis. Součástí analýz byl náhodný výběr souborů vybraných procent dat, u kterých byly dále použity deterministické a stochastické interpolační metody pro vytvoření digitálního modelu terénu. Pomocí výpočtu RMSE pro jednotlivé modely byly porovnány dosažené přesnosti. Tyto hodnoty byly následně zaneseny do grafu, ve kterém byl určen zlomový bod, u kterého je při dané hustotě dat dosaženo požadované přesnosti. Konečným cílem této práce bylo určit hustotu dat, kterou je nutné naměřit pro tvorbu dostatečně přesného digitálního modelu terénu. Bylo zjištěno, že k nejvýznamnějšímu zlomu dochází při využití 20%. Pro vybranou malou vodní nádrž představuje těchto 20%, z celkového počtu dat, 7 185 bodů. Od tohoto zlomového bodu dochází k významnému nárůstu chyby.

Klíčová slova: batymetrie, digitální model terénu, interpolace, echosoundingu

Abstract

This thesis deals with bathymetric measuring on small water reservoir. At first elementary terminology is explained, including small water reservoirs, their bathymetry and sedimentation. Second part is dedicated to bathymetric measuring small water reservoir Jiviny in practice, using River Surveyor M9 fixed in kayak. Primary data, which were gathered by kayak crossing the reservoir in high density intervals, represents, for purposes of this thesis, real image of the water bottom. These point dataset were analyzed using ArcGIS software. As component of analyzes, data were randomly dividend into sets of chosen data percentage of real image. For these sets were used stochastic and deterministic methods to interpolate the surface creating digital terrain model. Using RMSE for each data set, the accuracy were compared. Final purpose of this thesis is to determine data density required for interpolation of certain accuracy. The result was that the greatest break occurs with using 20% of dataset. For selected small water reservoir 20% represents 7 185 points of total. From this breakpoint a significant increase in error is observed.

Keywords: bathymetry, digital terrain model, interpolation, echosounding

Obsah

1	Úvod.....	9
2	Cíle práce	10
3	Literární rešerše.....	11
3.1	Batymetrie	11
3.1.1	Echosounding.....	12
3.1.2	Batymetrické mapy	14
3.2	Digitální model terénu	15
3.2.1	Druhy DMT.....	17
3.3	Interpolace bodových dat	19
3.3.1	Interpolační techniky.....	19
3.4	Malé vodní nádrže	22
3.4.1	Historie.....	22
3.4.2	Definice a rozdělení	24
3.4.3	Současný stav, zanášení a odbahňování.....	25
4	Charakteristika zájmové lokality	27
5	Metodika	30
5.1	Měření	30
5.2	Analýza dat v prostředí GIS	31
6	Výsledky	33
7	Diskuze.....	38
8	Závěr	39
9	Seznam použité literatury.....	40
	Internetové zdroje obrázků:.....	42
10	Přílohy.....	43

1 Úvod

Při výzkumné činnosti týkající se malých vodních nádrží nás s určitostí zajímá právě plnění jejich základní funkce. Pro jejich správný chod a možnost stabilního využívání je třeba dbát na dobrý stav nádrže, spočívající nejen v technickém udržování, ale rovněž i řešení problematiky přirozeného erozně-sedimentačního procesu.

Zanášení nádrží je v České republice aktuální problém ovlivňující nejen vodohospodářskou efektivitu vodních ploch, ale rovněž i jejich ekologickou stránku. Dluh, který přenášíme z let minulých, kdy nebylo o české rybníky dostatečně pečováno, se začíná zviditelňovat v podobě neuspokojivého současného stavu zanesených nádrží. Pro bližší výzkum těchto procesů, je třeba provést batymetrické měření těchto nádrží. Pomocí současné technologie jsme schopni v relativně krátkém čase určit objem retenčního prostoru nádrže. Tyto informace mohou být užitečné především při hodnocení vitality nádrže a jejího povodí.

Pokud bude při opakovaných měřeních zjištěno silné zanášení, je namístě provést na vodním toku a nádrži takové úpravy, aby byly tyto projevy zmenšeny, což přispěje ke zlepšení jakosti vody a v návaznosti také na celkové zlepšení životního prostředí okolí.

2 Cíle práce

Prvotním cílem této bakalářské práce bylo batymetrické zaměření retenční nádrže Jiviny, spadající do povodí Litovicko-Šáreckého potoka, která se nachází na západním okraji Prahy. Při měření byl kladen důraz na získání velkého množství bodových dat rovnoměrně rozmístěných po nádrži. K tomuto účelu byla použita batymetrická metoda singlebeam echosounderu za pomoci přístroje RiverSurveyor M9, který byl instalován do dna kajaku, kterým byla následně najeta hustá síť po vodní hladině.

Hlavním cílem této práce bylo následně pomocí naměřených dat s použitím software Arc GIS stanovit potřebnou hustotu dat a vhodné rozmístění pro interpolování bodových dat za účelem vytvoření digitálního modelu terénu s optimální přesností.

Dílčím cílem doprovázejícím provedené měření bylo zpracování literární rešerše na téma malých vodních nádrží, digitálního modelu terénu, interpolace bodových dat a dalších pojmů potřebných k pochopení problematiky.

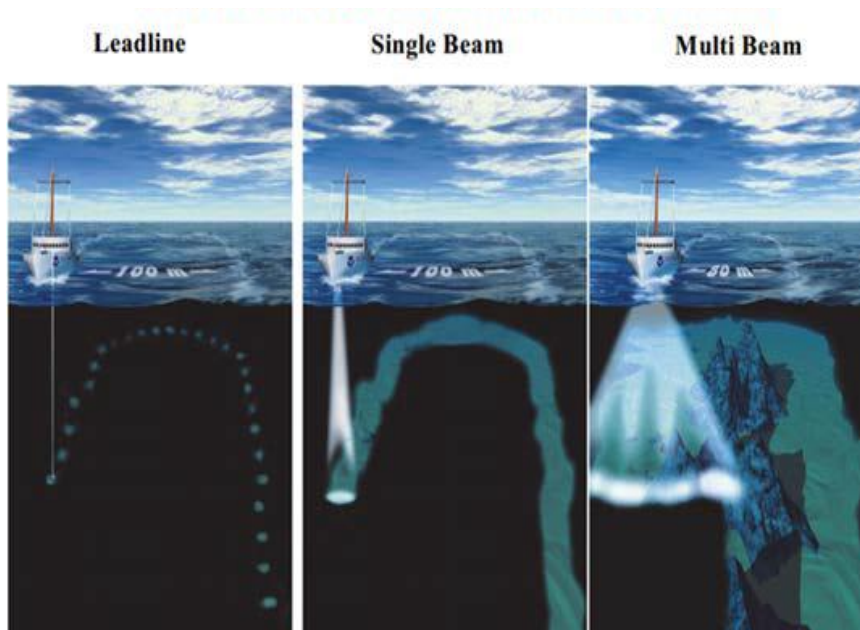
3 Literární rešerše

3.1 Batymetrie

Batymetrie je vědní obor zabývající se měřením a mapováním hloubky jezer, moří, oceánů a ostatních vodních ploch, od hladiny až po dno (Mayer, 2016).

Od historických dob, až do 19. století se k měření používaly jednoduché metody spočívající ve spuštění těžkého lana se závažím z paluby lodi. Hloubka byla následně změřena pomocí délky lana, kterou bylo potřeba ponořit, než závaží dopadlo na dno. Tímto postupem se však dala zjistit hloubka pouze v jediném bodě a jeho opakování bylo velmi pracné. V roce 1840 vytvořil touto metodou britský vědec James Clark Ross první batymetrickou mapu Mexického zálivu (Mayer, 2016).

Oproti pracnému a nepřesnému historickému měření hloubek pomocí olovnice, úhlů teodolity a délek pásmy, jsme dnes schopni k měření využít moderních přístrojů – totální stanice a sonarů (viz Obr. 1) Rovněž manuální zakreslování naměřených dat a tvorba batymetrických dat je v dnešní době realizována pomocí počítačů s odpovídajícím softwarem (Česák a Šobr, 2005).



Obr. č. 1: Porovnání batymetrických metod (SĀŘĀCIN a CALIN, 2013)

Určení hloubky ve vodě je komplexním hydrografickým úkonem, ve kterém je zapotřebí zvolit vhodné postupy a přístroje pro konkrétní případ. Je také nezbytné dobře znát principy měření a v případě echosoundingu i vlastnosti šíření zvuku ve vodě, aby bylo dosaženo potřebné přesnosti (International Hydrographic Bureau, 2005).

3.1.1 Echosounding

V dnešní době se pro měření hloubky využívají především echoloty. Jedná se o nenáročnou metodu, pomocí které můžeme efektivně mapovat dno. Sonda použitá pro měření je přístroj ponořený pod vodní hladinu, kde vysílá a znovu přijímá akustické vlny. Frekvence vyslané vlny se pohybuje v rozmezí 50-200 kHz. Vlna projde vodním prostředím a ve chvíli střetnutí se dnem se odrazí zpět do echolotu. Je nezbytné, aby byla sonda přístroje celou dobu ponořena pod vodní hladinu. Přesnost této metody je závislá na hloubce, do 50-ti metrů se hodnoty měří s přesností nepřekračující 10 cm (Česák a Šobr, 2005).

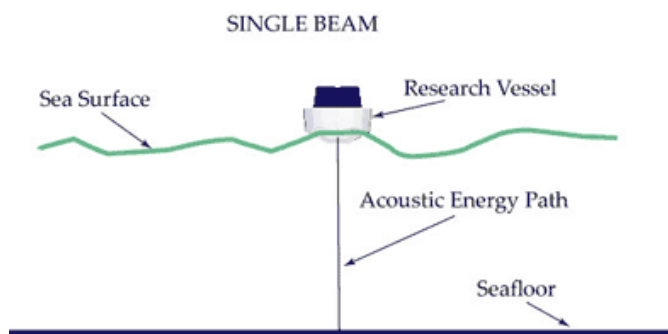
Echosounder vysílá ultrazvukovou vlnu přímým paprskem ke dnu, kde dojde k odrazu a návratu zpět do přístroje (International Hydrographic Bureau, 2005). Jako ultrazvuk označujeme mechanické vlnění, jehož frekvence je vyšší než 16 kHz (Vesecká, 2005). Hloubka vody je následně vypočtena pomocí změřeného času, který je pro vyslání a navrácení vlny potřeba. Tato hodnota je vypočtena jako jedna polovina ze součinu času a rychlosti šíření zvuku ve vodním prostředí (International Hydrographic Bureau, 2005). Rychlost šíření zvukové vlny ve vodě je za normálních podmínek přibližně 1450 m/s, je však ovlivňována řadou faktorů, mezi které patří například salinita, teplota, hustota a tlak (Kukal a kol., 1977).

Pro mělké vody jsou tyto echosoundery vybaveny možností vyslání paprsků o více frekvencích-nízké a vysoké. Jejich použitím lze zjistit přítomnost tvrdého podloží a sedimentů (International Hydrographic Bureau, 2005).

Echosoundery se dají rozdělit na dvě hlavní skupiny:

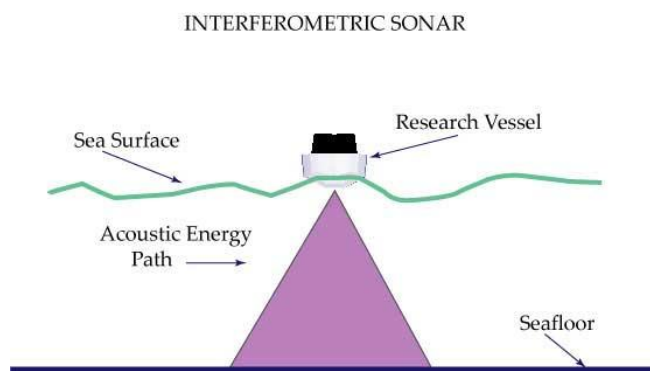
- Singlebeam
- Multibeam

Singlebeam echosounder je obvykle konstruován tak, že pro přijímání a vysílání paprsku využívá stejného zařízení. Šířka paprsku, měřícího pouze v jednom bodě, je závislá na rozměrech sondy a také na délce zvukové vlny. S rostoucí vlnovou frekvencí a velikostí měřiče je paprsek užší.



Obr. č. 2: Singlebeam echosounder (URL 1)

Multibeam echosounder má odlišná snímací pole pro vysílání a přijímání paprsku. (International Hydrographic Bureau, 2005). Tento druh echosoundery je schopen vyslat široký pás akustických vln. V mělkých vodách je rozsah paprsků menší, avšak signál je přijat ve velké kvalitě. Ve větších hloubkách je dosah paprsků širší s omezeným rozlišením naměřených dat (Dierssen a Theberge, 2012).



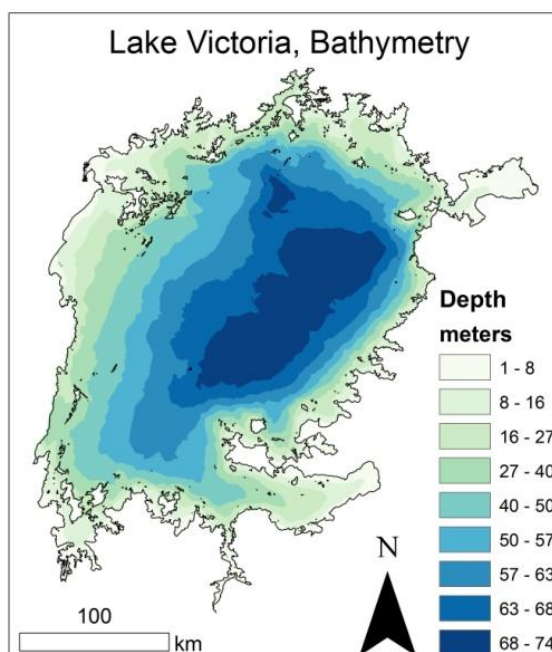
Obr. č. 3: Multibeam echosounder (URL 1)

Ačkoliv se metoda singlebeam echosoundery může zdát proti multibeam nedokonalá a pomalá, singlebeam echosoundery jsou stále hojně využívány pro hydrografická měření po celém světě. Přístroje byly postupem času vylepšeny a analogové

vystřídány digitálními. Stejně tak byla vylepšena i jejich přesnost (International Hydrographic Bureau, 2005).

3.1.2 Batymetrické mapy

Při tvorbě batymetrické mapy je třeba dbát na to, aby plnila svou funkci, byla přehledná a také, aby po kartografické stránce plnila veškeré požadavky – v mapě musí být naznačena orientace světových stran a měřítko. Jako izobaty označujeme křivky, které na mapě propojují místa se stejnou hloubkou. Pro lepší přehlednost je vhodné je doplnit barevnou škálou. Principem je rozdělení hloubek do intervalů, které jsou poté barevně označeny a vykresleny do mapy. Počet těchto intervalů je vhodné stanovit na počet menší než deset, při vyšších počtech dochází ke špatnému barevnému rozlišování jednotlivých vrstev. Barvy je vhodné volit v odstínech modré, či jejich kombinace s dalšími barvami. Pro znázornění větší hloubky využíváme postupně tmavších barev (Česák a Šobr, 2005).



Obr. č. 4: Příklad vhodně zpracované batymetrické mapy (URL 2)

3.2 Digitální model terénu

Problematiku realistického znázornění terénu řešili v minulosti již naši předkové. Pomocí historické kopečkové metody, šrafování a dnešního zobrazení s využitím vrstevnic s pomocným stínováním se snažili o věrné napodobení zemského povrchu (Oršulák a Pacina, 2012). Pomocí kartografického a geografického modelování, tvoříme fyzický nebo abstraktní systém nazývaný model. Procesem doprovázejícím tvorbu modelu je generalizace, jejíž míra je závislá na účelu, měřítku a grafických možnostech výstupu. Generalizace užívá výběru, zobecnění, a nahrazení ke zjednodušení modelu (Moravec, 2001).

Digitální model terénu (DMT) můžeme chápat jako digitální reprezentaci zvolené části povrchu. Tyto modely nám dovolují zobrazovat a analyzovat jevy, které souvisejí s topografií této části zemského povrchu (Weibel a Heller, 1991).

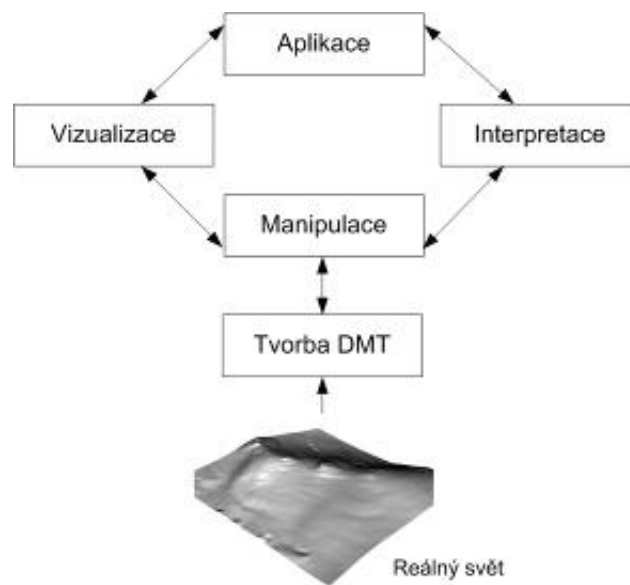
DMT je modelem povrchu Země, ve kterém vynecháme všechny objekty a ponecháme pouze terén. Výsledek je zjednodušením jinak velmi složitého skutečného obrazu Země (Oršulák a Pacina, 2012). DMT se tímto liší od digitálního modelu povrchu, ve kterém jsou zahrnuty veškeré prvky, které se na reliéfu vyskytují (budovy, stromy, také mosty, a další). V dnešní době slouží DMT jako primární podklad, pomocí kterého lze uskutečnit rychlou a efektivní regionalizaci a morfometrickou analýzu (Křížek a spol., 2016).

Pro sestavení a následné využívání DMT je třeba aplikovat následující činnosti:

- Tvorbu (získání dat geodetickým měřením nebo DPZ, tvorba výškového modelu)
- Manipulaci (úpravy modelu, odstranění chyb)
- Interpretaci (analyzování modelu za účelem dalších informací, využití pro další úlohy)
- Vizualizaci (prezentace dat z DMT i dat odvozených)
- Aplikaci (velké spektrum aplikace DMT pro různá odvětví)

(Oršulák a Pacina, 2012)

Pro tvorbu obecného modelu je třeba nejprve získat topografická data. Tato data je třeba naměřit v terénu aplikováním kontaktních nebo distančních metod. Kontaktní metody jsou realizovány prostřednictvím geodetických měření přímo v terénu. Metody distanční, mezi které řadíme radarové, družicové a laserové snímání povrchu probíhají dálkově, například z letadla. Pro tvorbu modelu je také možno využít zdigitalizované mapové podklady v podobě zakreslených vrstevnic a zaměřených výškových bodů (Křížek a spol., 2016).



Obr. č. 5: Schéma využití DMT

Mezi kritéria pro výběr metody shromáždění dat patří:

- Rozloha území
- Přesnost, které chceme dosáhnout
- Potřebná hustota získaných bodů
- Časová náročnost
- Cena metody

Obě tyto metody mají svá uplatnění při aplikaci na určité podmínky. Při jejich volbě je vhodné vybrat si nejvýhodnější variantu dle výše zmíněných kritérií (Oršulák a Pacina, 2012).

Získaná data jsou tvořena body rozmístěnými v určené hustotě, které nesou informaci o nadmořské výšce. Pro vytvoření spojitého modelu terénu je nutné použitím podkladů z primárních dat dopočítat další body s nadmořskou výškou i na místech, ve kterých nebylo měření provedeno (Křížek 2016 a spol. ex Hengl a Reuter, 2009).

Prázdná místa mezi měřenými body se doplňují pomocí interpolačních technik. Jejich aplikací jsou ze základních dat pomocí matematických výpočtů doplněna chybějící data. Přesnost a kvalita dosaženého výsledku závisí nejen na vstupních datech, ale i na zvolené metodě interpolace a nastavení jejich parametrů (Oršulák a Pacina, 2012).

3.2.1 Druhy DMT

Data pro vytvoření digitálních modelů terénu mohou být představována třemi způsoby. Rastrovou metodou pravidelných buňek, nepravidelnou sítí trojúhelníku TIN, nebo pomocí liniově strukturované sítě (Moore a kol., 1991). V současnosti jsou však nejrozšířenější dva typy DMT, které jsou rovněž využívány i softwarem Arc GIS. Jsou jimi tyto typy:

- TIN (triangulated irregular network)
- Rastr (grid)

První ze zmíněných realizuje povrch terénu pomocí nepravidelné trojúhelníkové sítě, ve které jsou nositeli informace o nadmořské výšce jejich společné vrcholy – uzly. Vstupní data pro tuto metodu jsou zpravidla ve formě vrstevnic a výškových bodů. Rastrový digitální model je oproti tomu rozdělený na stejně velké, pravidelně uspořádané buňky, přičemž každá z těchto buněk nese stejnou informaci o nadmořské výšce po celé své ploše (Křížek a spol. 2016 ex. Reuter a Nelson, 2009).

Po každém vytvoření DMT je vhodné ověřit přesnost, s jakou jsme vytvořili model. Pro zjištění dosažené kvality a přesnosti modelu můžeme použít například kontrolu pomocí vrstevnic. Jedná se o vizuální kontrolu, kterou provedeme v námi vytvořeném modelu vykreslením vrstevnic počítačem z vytvořeného modelu v intervalu zmenšeném o polovinu. Pokud porovnáme vstupní a vykreslené vrstevnice, můžeme dobře odhalit chyby, kterých jsme se dopustili u interpolace. Tyto chyby je možné opravit nastavením vhodných parametrů pro interpolaci.

Další často užívanou metodou je náhodný výběr ze souboru vstupních dat a následné vytvoření DTM pro tento zmenšený soubor. Hodnoty výšek ze zmenšeného souboru dat odečteme od původního modelu, a získaný rozdíl použijeme pro výpočet chybovosti. Vhodným nástrojem pro tento výpočet může být RMSE (Root mean square error) (Oršulák a Pacina, 2012).

Oba z těchto typů mají svá pro a proti a jsou výhodné pro rozdílná užití. Velikost měřítka nebo požadavek na různé druhy analýz určují výběr metody. DMT formou TIN, dosahují lepších výsledků především v členitém terénu. Díky možnosti místního přizpůsobení hustoty dat můžeme pro lokality s větší změnou terénu použít k interpolacím více bodů (vytvoří se více malých trojúhelníků), a naopak v rovinných oblastech použít nižší hustotu dat. DMT TIN je nápomocný především na menším území, na kterém požadujeme vyšší přesnost.

Oproti tomu rastrové modely využívají neměnnou pravidelnou síť stejně velkých buněk souvisle pokrývajících území. Pokud máme tedy část s prudkou změnou členitosti na malém prostoru, nemusí být počet buněk dostačující. Přesnost těchto modelů je s rostoucí velikostí buňky nižší. Z tohoto vyplývá, že modely tvořené pomocí rastru je vhodné používat pro velká a střední území. Výhodou rastrových modelů je především jednodušší průběh prostorových a morfometrických analýz. Data rastrové povahy je rovněž možno kombinovat s dalšími dostupnými rastrovými daty v dalších vrstvách (Křížek 2016 a spol. ex Hengl a Reuter, 2009).

3.3 Interpolace bodových dat

Při interpolacích kalkulujeme pomocí matematických výpočtů hodnoty, neznámé hodnoty, prostřednictvím hodnot známých (Doušek a Matějík, 2005). Při modelování digitálních terénů slouží tímto způsobem interpolace k doplnění nadmořských výšek v místech, kde nejsou data naměřena (Weibel a Heller, 1991).

Neexistuje žádná nejlepší interpolační metoda, která by byla vhodná pro všechna použití. Výsledná kvalita modelu závisí především na rozdělení a kvalitě vstupních dat a vhodné volbě interpolačního postupu (Weibel a Heller, 1991 ex Lam, 1983).

3.3.1 Interpolační techniky

Interpolační metody dělíme na tyto druhy:

- Deterministické
- Geostatické

Deterministické metody používají k vytvoření povrchu měřené body, případně také matematické výpočty. Geostatické metody využívají rovněž měřené body a statistiku, jejich využití je především v pokročilém modelování (Childs, 2004).

Dále můžeme prostorové interpolační metody dělit na místní a komplexní. Druhá ze zmíněných užívá k interpolaci všechna vstupní data rozmístěná po celém území. Většinou se tato metoda nevyužívá pro samostatné prostorové modelování, její využití je však vhodné pro určení míst, kde dochází k významné změně průběhu. Pro tuto komplexní metodu nejsou malé změny terénu významné, při interpolaci dochází k jejich zahlazení, což vede ke ztrátě dat.

Lokální metoda využívá k interpolaci pouze sousedící body, díky kterým odhaduje hodnotu v nezaměřených místech. Může být užitá jako vhodné doplnění globální metody. Body, které jsou bezprostředně sousedící, jsou si zpravidla navzájem více

podobné, než body vzdálené. Hodnoty bodů jsou tedy tím podobnější, čím menší je vzdálenost mezi nimi (Qulin a Xiao, 2014).

Pro vytvoření souvislého modelu pro konkrétní účel se většinou využívá rastrové metody zobrazení. Příkladem takovýchto modelů může být například model nadmořské výšky, průměrné teploty nebo salinity podzemní vody. Dalším možným způsobem, jak vytvořit spojitý model je pomocí vektorových linií, spojujících místa o stejné hodnotě – izolinií (Huisman a Rolf, 2009).

Mezi prostorové rastrové a vektorové interpolační metody řadíme:

- **TIN**
- **Natural neighbor**
- **IDW**
- **Kriging**
- **Spline**

(Qulin a Xiao, 2014)

TIN (triangulated irregular network) vytváří souvislou, nepravidelnou, trojúhelníkovou síť v rozsahu zkoumané oblasti. Tato metoda využívá izoliny, které propojují body o stejné hodnotě. V případě výškového digitálního modelu nazýváme tyto linie vrstevnicemi (Huisman a Rolf, 2009).

Jako nástroj pro triangulaci bodů se běžně užívá Delaunayova triangulace. Vyznačuje se propojením tří bodů do trojúhelníku, kolem kterých opíšeme kružnici takovou, aby v ní neležel žádný další bod. Díky tomuto principu se interpolace pomocí TIN hodí i pro velké soubory dat (Weibell. a Heller, 1991).

Natural neighbour používá k interpolaci vážený průměr hodnot ze sousedních bodů. Váha je určena pomocí sítě Thiessenových polygonů, která je vytvořena pomocí vstupních bodů a dále pomocí polygonu sestaveného kolem interpolované buňky. Na místech průtoku obou polygonů se nacházejí přirození sousedé. Jejich plocha určuje jejich váhu. Využití natural neighbour je používáno především pro body s rovnoměrným rozmístěním (Křížek a spol., 2016).

IDW (metoda inverzních vzdáleností) se řadí mezi nejjednodušší metody interpolace, které jsou však velmi často využívány. Funguje na základě váženého průměru, který je vypočítán na základě nepřímé úměrnosti vzdálenosti mezi vstupními a interpolovanými body. Na základě toho je bližším bodům přiřazena větší váha, než bodům vzdálenějším (Ježek, 2015).

Kriging je jednou z geostatických metod, jež k výpočtu hodnot interpolovaných bodů rovněž využívá vážený průměr ze vstupních dat ležících v jejich blízkosti. K určení váhy využívá variogram (Burian, 2008).

Pomocí variogramu zjišťujeme proměnlivost prostorové veličiny. Tento nástroj udává průměrnou nepodobnost mezi různě vzdálenými body v jejich hodnotách. Při narůstající vzdálenosti jsou si body tedy méně podobné (Ježek, 2015).

Při průběhu funkce kriging je nejprve provedeno postupné porovnání dvojic naměřených bodů, ze kterých je následně vytvořen semi-variogram. Z něj je následně vypočtena váha pro body využití v interpolaci (Huisman a Rolf, 2009).

Kriging může být velmi dobrým nástrojem pro prostorové analýzy, pro jeho správné používání a interpretaci je však nezbytná dobrá znalost geostatiky a principu autokorelace. Tato metoda bývá často použita v případě, že hustota vstupních dat nebo změny jejich vlastností jsou takové, že by u jednodušších interpolačních metod mohlo dojít k nespolehlivým predikcím (Huisman a Rolf, 2009).

Tato metoda se rovněž dělí na více poddruhů, jako příklad můžeme uvést:

- Ordinary Kriging – tato metoda předpokládá, že mezi daty neexistuje žádný stálý trend průměru
- Universal Kriging – předpokládá, že takovýto trend mezi daty existuje a že jej můžeme zobrazit

(Childs, 2004).

Spline při interpolaci vytváří povrch, který se co nejvíce blíží vstupním bodům, avšak s co nejmenší křivostí. Tuto metodu je možné upravovat pomocí parametrů, které ovlivňují výsledný tvar modelu v závislosti na našich požadavcích a cílech.

Takto lze například dosáhnout toho, že model nebude procházet přesně vstupními body, ale v jejich blízkém okolí. Takovýto model se vhodně uplatní především v hydrologii, kde je žádoucí, aby byl výsledný povrch přiměřeně hladký (Oršulák a Pacina, 2012).

Tato metoda se využívá rovněž i v meteorologii, případně pokud interpolujeme terén, ve kterém nedochází k výrazným výškovým rozdílům. Naopak nevhodná je tato metoda pro blízké body s velkými rozdíly mezi hodnotami (Burian, 2008).

Software Arc GIS používá dvou druhů interpolace pomocí Spline, oba z nich jsou řízeny parametrem weight. Jsou jimi:

- Spline with tension
- Regularized spline

U prvního z uvedených určuje tento parametr vlastnosti vytvořeného povrchu. V závislosti na vyšší hodnotě weight je povrch více pružný. U regularized spline řídí parametr weight shlazení výsledného povrchu. Ve výsledném výstupu budou tímto zahlazeny všechny případné zlomy a povrch se bude jevit jako homogenní (Oršulák a Pacina, 2012).

3.4 Malé vodní nádrže

3.4.1 Historie

Stavba vodních nádrží byla již v dávné minulosti životně důležitá pro mnoho starověkých civilizací. Zadržení vody a její uchování bylo jedinou možností, jak přečkat dlouhá období sucha. Sladká voda byla potřeba pro přežití lidí i zvířat, ale stejně tak i k zavlažování zemědělských plodin. Z roku 2200 př. n. l. pochází první dokumenty, ve kterých můžeme nalézt první zmínky o budování vodních nádrží.

Podél mezopotamských řek Tigris a Eufrat byl velký rozmach výstavby nádrží kolem roku 600 let př. n. l.. Také v Indii můžeme dokonce dodnes nalézt přibližně 50 000 malých vodních nádrží se zemními hrázemi, vybudovaných ve starověku za

účelem zkrotit prudké střídání období vytrvalých dešťů a ničivého sucha. Hlavní účel vodních nádrží se postupně obměňoval a rozšiřoval, kupříkladu na výstavbu podzemních vodojemů s pitnou vodou, odběr užitkové vody, chov ryb a další vodárensko-hospodářské stavby (Vrána a Beran, 1998).

V Českých zemích byly nádrže v historii rovněž velmi významným prvkem. Z listiny Kladrubské můžeme dohledat, že první malé vodní nádrže v našich zemích byly vybudovány před rokem 1115 n. l. Tyto nádrže byly převážně církevním majetkem, jejich zřizování bylo především pro účely chovu ryb. Na výstavě rybníků se začala zanedlouho podílet rovněž i šlechta a poddanská města, která přispěla k rozšíření jejich využití pro provozní a výrobní účely měst.

Velký důraz na stavbu rybníků kladl za své vlády Karel IV., v tomto období byl mimo jiné založen Velký rybník (dnešní Máchovo jezero). Pro zakládání rybníků byly obvykle vybírány pozemky, které byly zemědělsky nebo hospodářsky jinak nevyužitelné, především trvale podmáčené půdy a bažiny (Smolík a kol., 2014).

Počátkem 16. století byl v českých zemích velký rozmach v budování rybníků. Namísto stavby samostatných nádrží se přešlo k budování rybníčních soustav, které byly budovány v mnoha oblastech v Čechách i na Moravě. Především třeboňská, pardubická a poděbradská soustava byly svým významem a rozlohou velmi podstatné (Semotanová a kol., 2007).

Na konci 16. století měla celková plocha nádrží a soustav historicky nejvyšší hodnotu přibližně 180 000 ha. Během dalších dvou století se tato plocha zmenšila o více než polovinu a do roku 1948 klesla na pouhých 40 000 ha (Votruba a Broža, 1966). Za tento úbytek může především třicetiletá válka a zrušení nevolnictví (Smolík a kol., 2014). Mimo rybochovné účely byly v těchto letech založeny i nádrže potřebné pro průmyslový provoz a plavení dřeva-zejména na malých tocích, dále však i nádrže s funkcí ochranou a energetickou. Po roce 1945 převažuje potřeba výstavby vodárenských nádrží, jako příklad můžeme uvést nádrž Nechanice (Votruba a Broža, 1966).

V roce 1970 byla celková plocha rybníků odhadována na 52 000 ha rozdělených mezi 23 400 nádrží (Smolík a kol., 2014). V současnosti je na území české republiky

33 713 historických rybníků. Celková plocha jejich zastoupení je 59 643 ha (Chmelová a kol, 2013).

Rybníky v našich zemích měly vždy velký význam, rybochovná, krajínovorná i rekreační funkce doprovázená retenčními a hospodářskými potřebami měla na dostatek kvalitní vody vysoké požadavky. Při dobrém obhospodařování nádrže rovněž zlepšovaly odtokové poměry řek a přispívaly k zachycování splavenin, smývaných deštěm z polí a lesů. Tyto sedimenty byly při výskytu větší vrstvy bahna vybrány a navráceny na okolní pozemky. Díky tomuto postupu se zvýšila úrodnost půdy.

V současné době není však stav rybníků z hlediska zanesení sedimenty vhodný. Zanesené rybníky je nutné vyčistit a bahno navrátit na pozemky, toto opatření povede ke zlepšení kvality vody, zvětšení retenčního prostoru a k zvýšení úrodnosti okolních půd (Vojtěch, 1997).

3.4.2 Definice a rozdělení

Malé vodní nádrže jsou definovány českou technickou normou **ČSN 75 2410**, která je uvedena dále:

Tato norma platí pro navrhování, výstavbu, rekonstrukce a provoz vodních nádrží (za vodní nádrž se pokládá i suchá nádrž) se sypanými hrázemi, u kterých jsou splněny současně tyto podmínky:

- a) Objem nádrže po hladinu ovladatelného prostoru (hladinu normální) není větší než 2 mil. m³
- b) Nejvyšší hloubka nádrže nepřesahuje 9 m

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

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

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

Tato norma **ČSN 75 2410** dále také rozděluje malé vodní nádrže do 9 kategorií, dle jejich účelu:

- Zásobní nádrže
- Ochranné (retenční) nádrže
- Nádrže upravující vlastnosti vody (čistící)
- Rybochovné nádrže
- Hospodářské nádrže
- Speciální účelové nádrže
- Asanační nádrže
- Rekreační nádrže
- Krajnotvorné nádrže a nádrže v obytné zástavbě

V praxi však nebývají nádrže pouze jednoúčelové, často se setkáváme s nádržemi s kombinovanými funkcemi, kde jedna z funkcí je zvolena jako hlavní (Vrána a kol., 1998).

3.4.3 Současný stav, zanášení a odbahňování

Malé vodní nádrže jsou důležitým prvkem naší krajiny, mimo jiné se především podílejí na udržování systému ekologické stability. V současnosti však obecně nejsou v příliš dobrém stavu. V minulosti nebyly uvolňovány dostatečné finance potřebné pro jejich údržbu a obnovu. Problémy od vodohospodářsko-technických přes ekologické až po majetkoprávní a legislativní jsou v současné době pozůstatkem po

období, ve kterém nebylo o malé vodní nádrže vhodně pečováno (Vrána a kol., 1998).

1962	1992	Rozdíl
182 943	196 188	13 245

Tab. č.1: Objem sedimentů v českých nádržích (tis.m³)(Vrána a Beran, 1998)

Zanášení rybníků sedimenty je v současnosti hlavní vodohospodářský problém (viz. Tab. 1). Zanášení je způsobeno především erozními procesy, ke kterým dochází srážkovou činností v povodí nádrže (Vrána a kol., 1998). V důsledku toho je retenční prostor nádrže zmenšován usazeným bahnem, které na sebe rovněž váže fosfor získaný z transportovaných půdních částic z povodí, který má za následek nepřírozenou eutrofizaci (Vojtěch, 1997).

Eutrofizací se rozumí proces obohacování sladkých vod o živiny, v jehož důsledku se rozrůstá fytoplankton. Tento jev je přirozený, avšak splachováním půdních částic z hnojených polí je tento proces urychlen, přičemž dochází ke spotřebě kyslíku rostlinami a v důsledku jeho nedostatku dochází k úhynu ryb a celkovému znehodnocení vody (Malátková a kol., 2004).

Pravidelné odbahňování rybníků, je předpokladem pro správnou funkci malé vodní nádrže. Zanášení rybníků je dlouhodobý proces, který má za následek narušení mnoha funkcí nádrže (ČSN 75 2410).

Pro zjištění stavu rybníku a určení jeho zanesení sedimentem je nutné nejprve provést jeho průzkum. Je třeba provést průzkum nejen samotné nádrže, ale rovněž i jejího povodí. Rozlišujeme dva druhy průzkumu, tachygrafický a batygrafický. První ze zmíněných se provádí za vypuštěné nádrže. Oproti tomuto batygrafický průzkum je realizován v plné nádrži (Vojtěch, 1997).

Po průzkumu velikosti vrstvy sedimentu je třeba provést rozbor vzorků sedimentu a dle jeho výsledků rozhodnout, jak bude naloženo s vytěženým materiálem. Bahno lze, v případě bohatého obsahu živin, použít jako ekologické hnojivo, aplikované postřikem na okolní pole (Vojtěch, 1997).

4 Charakteristika zájmové lokality

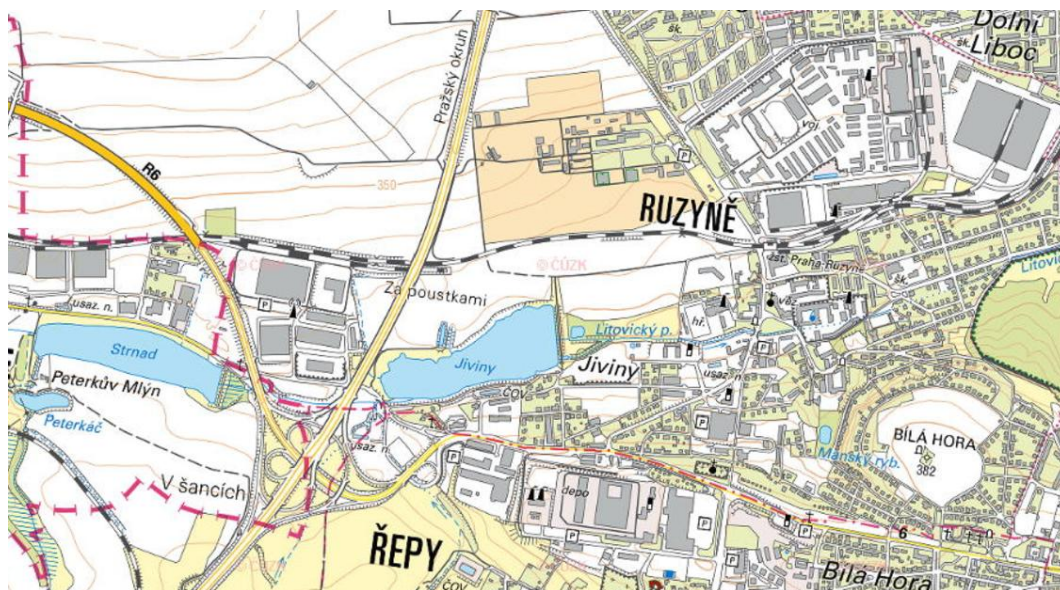
Retenční nádrž Jiviny, patřící do povodí Litovicko-šáreckého potoka, se nachází na západním okraji hlavního města Prahy v městské čtvrti Ruzyně (viz Obr. č. 6 a 7).



Obr. č.6: Poloha VD Jiviny v rámci ČR (URL 1)

Tato retenční nádrž byla vystavěna pro zadržování přívalové vody přivedené z Litovického potoka, do něhož ústila dešťová kanalizace. Výstavba nádrže byla realizována v letech 1980 – 1984. Mezi další funkce nádrže patří také chov pro účely Českého svazu rybářů a pro regulaci průtoků Litovického potoka. Nádrž je protáhlého tvaru v západovýchodním směru. Rozměry nádrže jsou přibližně 600x 210 m (Broža a kol., 2005).

VD Jiviny patří pod správu Lesů ČR, jejich vlastníkem je však Hlavní město Praha. Jedná se o průtočnou nádrž s plochou hladiny 90 000 m² a objemem 138 000 m³. Zemní sypaná hráz dosahuje výšky 5,5 m a její celková délka měří 288 m. Pro potlačení výrazné abrazivní činnosti bylo v letech 1999-2000 přidáno drátokamenné opevnění, které bylo však v roce 2008 opět odstraněno z důvodu koroze drátěných prvků. Kameny byly využity na pohož návodní strany hráze (Hl. město Praha, 2013).



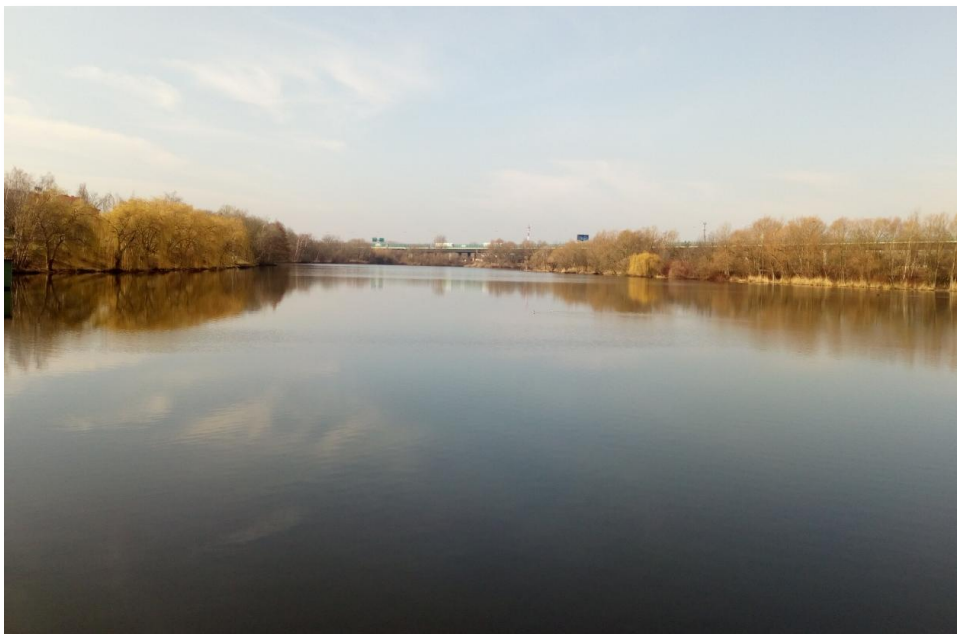
Obr. č. 6: Bližší pohled na lokalitu (URL 1)

Jiviny disponují sdruženým objektem, jehož součástí jsou také hrazené bezpečnostní přelivy a spodní výpusti s hradidly, tvořené dvojicí potrubí s průměrem 0,6 m. Spodní výpusti jsou ovladatelné pomocí elektrotechniky, v případě potřeby také manuálně. Součástí sdruženého objektu je rovněž i bezpečnostní přeliv, který je složen ze dvou oddělených komor hrazených segmentovými uzávěry. Oba přelivy jsou symetrické a jejich šíře dosahuje 3,15 m. Za těmito přelivy se nachází skluz (Viz obr.: č.8 a 9) a 15-ti metrové vývařiště (Broža a kol., 2005).



Obr. č. 8 a 9: Hrazený bezpečnostní přeliv a skluz s vývařištěm (Autor, 2017)

Podél severního okraje nádrže se rozprostírá udržované parkové území zahrnující vysázenou doprovodnou vegetaci (Viz obr. č. 10 a 11) i, kontrastující s protějším přírodním břehem obklopeným rákosovými porosty. Jižní břehová linie nádrže je hojně využívána rybáři, ale také slouží jako hnízdiště vodního ptactva a úkryt obojživelných živočichů (Hl. město Praha, 2013).



Obr. č. 10: Jiviny, pohled z hráze (Autor, 2017)



Obr. č. 11: Hráz nádrže (URL 2)

5 Metodika

Následující část bakalářské práce je věnována praktickému batymetrickému měření retenční nádrže Jiviny. Jeho cílem bylo podrobně zaměřit současný stav. Toto detailní zaměření složí k analyzování změn, ke kterým dochází při aplikování interpolačních metod na vybrané soubory dat.

5.1 Měření

Pro účel této bakalářské práce byla retenční nádrž Jiviny batymetricky zaměřena hustě pokrytou sítí dat, jež byly měřeny pomocí metody echosoundingu. Jako měřicí přístroj byl použit RiverSurveyor M9 vyráběný společností SonTek. Tento echosounder primárně vyrobený pro účely měření průtoku, byl týmem Ing. Hradilka v roce 2005 vyzkoušen pro měření na stojatých vodních plochách, kde se po úpravách potvrdila možnost měření na klidné vodě (Hradilek a kol., 2015). Pro potřeby tohoto měření byla sonda přístroje upevněna do dna slalomové kánoe s kajakovým sezením.

Za účelem zvýšení přesnosti měřených dat byla rovněž použita stanice RTK (Real time kinematic), jež byla postavena na břeh nádrže. Měření bylo realizováno příčnými přejezdy kajakem po celé délce nádrže v rozestupech přibližně 1,5 m. Celková najetá dráha činící přes 50 km, byla zaměřena ve třech měřících dnech.

Měřicí přístroj i stanice RTK jsou vzájemně bezdrátově propojeny a k jejich ovládání slouží mobilní telefon s programem RiverSurveyor Life, který je umístěn v nepromokavém obalu a zavěšen na krku jezdce. Před zahájením měření je nezbytné provést kalibraci kompasu, který je zabudován v měřicí hlavici. K tomuto účelu je nutné kajakem s upevněnou sondou otáčet kolem tří os se snahou simulovat tak nadcházející jízdu po hladině. Tuto kalibraci je nutné provádět po dobu nejméně 90 s. Při prvním měření byla rovněž zaměřena hladina vodní plochy a zapsána hodnota na vodoměrné lati u sdruženého objektu pro zpětný výpočet hladiny v navazujících měřeních.

Následně byly na mobilním telefonu nastaveny potřebné parametry měření zahrnující především ponor jezdce, čas, magnetickou deklinaci a další. Po těchto přípravách bylo provedeno samotné měření.

Snaha o ježdění přímých linií byla v mnohých případech komplikována z důvodu špatné orientace jezdce v terénu, nepříznivým povětrnostním vlivům, či náročnou manipulací s kajakem. Data jsou však i přesto v rámci celé plochy uspokojivě rozložena.

Realizací tohoto měření jsme získali husté rozložení bodových dat o rozestupech 1-2m po celé ploše nádrže, pomocí kterých jsme následně vytvořili DMT za využití několika interpolačních metod.

5.2 Analýza dat v prostředí GIS

Po naměření bylo třeba data nahrát z přístroje do počítače, kde byly převedeny do tabulky. Byla provedena selekce bodů nevhodných pro interpolaci z důvodu jejich velké chybovosti při naměření, tyto body byly z výsledné tabulky vymazány. Následně byla data nahrána do programu ArcMap, a za pomoci nástroje *create feature from XY table* převedena do bodové vrstvy. Celkový počet naměřených bodů po vyřazení nevyhovujících dat byl téměř 36 000. Tato data představovala pro následující analýzy reálný obraz dna nádrže. Z těchto 100% bodů byly pomocí nástroje *subset features* vytvořeny soubory náhodně vybraných dat.

Principem náhodného výběru u *subset feature* je rozdělení celku na dvě podmnožiny, první o velikosti L prvků a druhá o velikosti $N-L$ prvků, přičemž N je celkový počet dat. Prvky jsou děleny generováním náhodných hodnot z intervalu $\langle 0,1 \rangle$. Jestliže je náhodná hodnota menší než podíl L ku N , prvek je přiřazen do první podmnožiny. Pokud je větší, prvek náleží druhé podmnožině (ESRI, 2016).

Soubory vybrané tímto způsobem zastupují 1, 3, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 a 90 % z naměřeného celku. Pro větší přesnost, byl každý výběr datasetu opakován desetkrát. Pro každý tento soubor dat byly dále provedeny interpolace Spline with tension a Ordinary kriging a pro každou z těchto interpolací byla následně vypočtena

hodnota směrodatné odchylky (RMSE), která byla mezi shodnými datovými soubory zprůměrována. Výsledné hodnoty byly vyneseny do grafu.

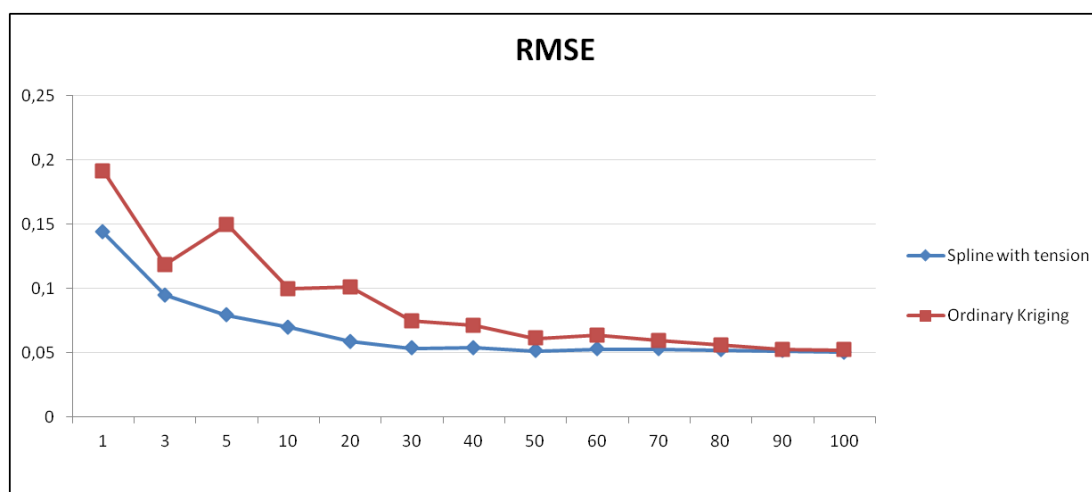
Druhotně byla provedena simulace nájezdů kajakem, výběrem bodových dat ze 100% vrstvy. Byly vytvořeny tři rozdílné geometrie nájezdu, simulující sběr dat, v současné době v praxi aplikovaný katedrou vodního hospodářství a environmentálního modelování.

6 Výsledky

Od výsledků bylo původně očekáváno, že k zobrazení závislosti velikosti datového souboru na dosaženou přesnost, zjištěnou pomocí RMSE, bude stačit provést tyto analýzy pouze jednou. Po jejich provedení bylo však zjištěno, že náhodný výběr je zatížen občasnou nepřesností, která však lze odstranit zaměněním hodnoty za průměr těchto hodnot z většího počtu pokusů.

Jak můžeme vidět v následujícím grafu č.1, u první interpolační metody - Spline with tension došlo po zprůměrování deseti hodnot RMSE pro každý datový soubor k vyhlazení řady. Oproti tomu u Ordinary Kriging můžeme pozorovat, že pro lepší výsledky by pravděpodobně bylo vhodné zopakovat interpolace vícekrát a eliminovat tím náhodné výchylky ve směrodatných odchylkách. Z tohoto důvodu se jako vhodnější pro popis výsledků jeví první interpolační metoda.

Z grafu je zřejmé, že s rostoucím podílem použitých dat, je dosaženo větší přesnosti. Zajímavým a rovněž hledaným přechodem je hodnota 20% dat z celkových 35 929 bodů. Po překročení této hodnoty velikost směrodatné odchylky klesá pouze minimálně. Dle tohoto výsledku je tedy nejefektivnější sběr 20% dat pro dosažení uspokojivé přesnosti při interpolování povrchu na tomto geomorfologickém typu nádrže.



Graf č. 1: Závislost směrodatné odchylky RMSE na využitém procentu dat (Autor, 2017)

Pro podrobnější výsledky jsou dále přiloženy obě tabulky zobrazující všechny hodnoty RMSE, pro Spline with tension i pro Ordinary Kriging. Pomocí tabulek č. 2 a 3 je jednoduché zjistit, že při jednotlivých opakování interpolací pro stejný datový soubor docházelo často k značným odchylkám v hodnotách RMSE. Tyto různé hodnoty jsou způsobeny tím, že soubory dat z celkového počtu byly při každém opakování znovu vybrány a tudíž byla pokaždé pro interpolaci použita odlišná kombinace dat. Je tedy logické, že při využití všech 100% dat se hodnota směrodatné odchylky měnit nebude.

Spline with tension													
opakování/ dataset	1%	3%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
1	0,047	0,084	0,073	0,054	0,06	0,047	0,055	0,047	0,053	0,053	0,055	0,047	0,05
2	0,137	0,088	0,079	0,081	0,056	0,053	0,062	0,048	0,049	0,054	0,055	0,052	0,05
3	0,161	0,091	0,069	0,054	0,062	0,049	0,059	0,043	0,049	0,054	0,053	0,051	0,05
4	0,191	0,096	0,073	0,079	0,083	0,05	0,054	0,055	0,055	0,052	0,052	0,048	0,05
5	0,155	0,086	0,066	0,055	0,046	0,051	0,064	0,055	0,048	0,055	0,055	0,051	0,05
6	0,143	0,088	0,073	0,119	0,05	0,061	0,053	0,05	0,05	0,05	0,055	0,052	0,05
7	0,126	0,093	0,109	0,06	0,053	0,055	0,049	0,054	0,061	0,057	0,051	0,053	0,05
8	0,155	0,117	0,105	0,056	0,05	0,062	0,041	0,048	0,054	0,044	0,046	0,053	0,05
9	0,161	0,095	0,071	0,082	0,056	0,044	0,056	0,063	0,053	0,054	0,051	0,052	0,05
10	0,16	0,108	0,073	0,056	0,069	0,061	0,044	0,048	0,053	0,054	0,047	0,052	0,05
průměr	0,1436	0,0946	0,0791	0,0696	0,0585	0,0533	0,0537	0,0511	0,0525	0,0527	0,052	0,0511	0,05

Tab. č. 2: Výsledky hodnot RMSE pro metodu Spline with tension (Autor, 2017)

Ordinary kriging													
opakování/ dataset	1%	3%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
1	0,172	0,095	0,198	0,054	0,105	0,062	0,068	0,045	0,066	0,061	0,045	0,068	0,052
2	0,176	0,234	0,084	0,082	0,11	0,051	0,079	0,064	0,065	0,059	0,058	0,053	0,052
3	0,256	0,098	0,185	0,082	0,107	0,085	0,057	0,055	0,064	0,061	0,056	0,054	0,052
4	0,219	0,105	0,099	0,137	0,105	0,086	0,082	0,065	0,054	0,059	0,056	0,053	0,052
5	0,191	0,103	0,186	0,14	0,059	0,071	0,073	0,07	0,065	0,061	0,059	0,055	0,052
6	0,18	0,201	0,19	0,102	0,104	0,081	0,07	0,046	0,062	0,052	0,058	0,043	0,052
7	0,139	0,107	0,191	0,073	0,106	0,048	0,074	0,054	0,064	0,061	0,058	0,054	0,052
8	0,17	0,118	0,1	0,1	0,103	0,089	0,074	0,068	0,064	0,06	0,057	0,053	0,052
9	0,217	0,11	0,08	0,082	0,102	0,085	0,06	0,073	0,064	0,058	0,057	0,043	0,052
10	0,193	0,012	0,184	0,144	0,108	0,086	0,074	0,069	0,065	0,061	0,055	0,046	0,052
průměr	0,1913	0,1183	0,1497	0,0996	0,1009	0,0744	0,0711	0,0609	0,0633	0,0593	0,0559	0,0522	0,052

Tab. č. 3: Výsledky hodnot RMSE pro metodu Ordinary kriging (Autor, 2017)

Další zkoumanou vlastností bylo porovnání v současné době využívaných geometrií nájездů pro sběr dat. Byly porovnány tři typy těchto geometrií – příčné přejezdy, podélné přejezdy a spirála. V následující tabulce č. 4 jsou zapsány hodnoty RMSE vypočtené po interpolaci pomocí Spline with tension a Ordinary Kriging, rovněž je uvedeno procento dat, které je realizací těchto nájездů zaměřeno.

metoda/ nájezd	příčný	podélný	spirála
Spline with tension	0,032	0,251	0,046
Ordinary Kriging	0,03	0,076	0,11
Počet bodů	1426	2183	1064
Procento celku	3,97	6,08	2,96
Celkový počet bodů	35 929		

Tab. č. 4: Hodnoty RMSE souborů dat vybraných prostřednictvím nájezdů (Autor, 2017)

Tyto tři různé geometrie nájezdu (Viz obr. č. 12-14) simulované prostřednictvím výběru bodů mají rozdílné plošné rozložení sebraných dat a rovněž také obsahují rozdílný počet bodů. Příčný nájezd zahrnuje přibližně 4% z celkového počtu, podélný 6% a spirálový nájezd představuje téměř 3%. Dle těchto výsledků je zřejmé, že dosažená přesnost výsledného DMT není ovlivněna pouze počtem dat, ale rovněž i jejich prostorovým rozložením. Při pokrytí 6% dat pomocí podélného nájezdu byla vypočtena největší směrodatná odchylka a to u použití obou interpolačních metod. Dle těchto výsledků se jako nejpresnější varianta jeví metoda příčných nájezdů.



Obr. č.12: Simulace příčného nájezdu (Autorrr, 2017)



Obr. č. 13: Simulace podélného nájezdu (Autor, 2017)

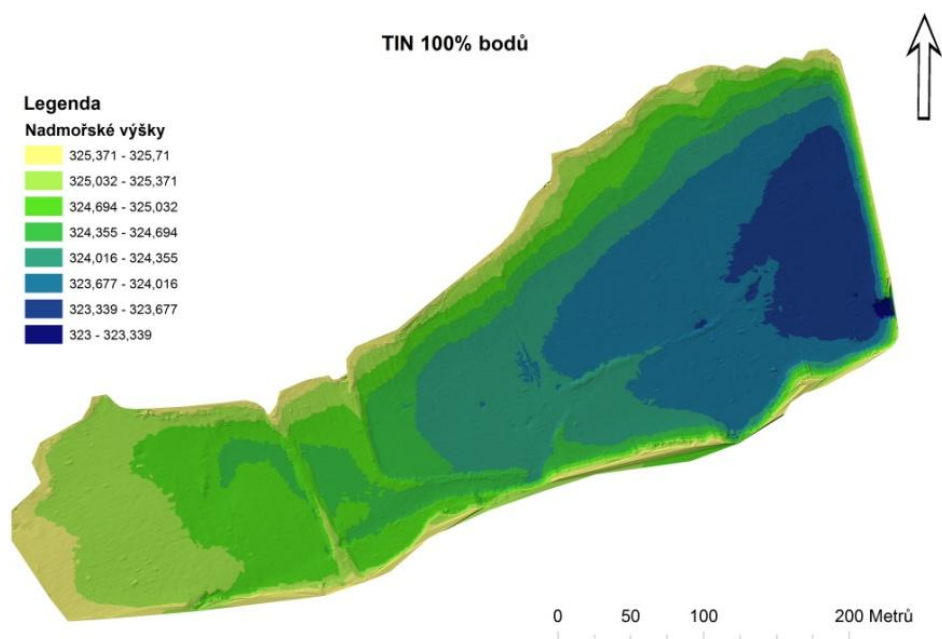


Obr. č. 14: Simulace nájezdu tvaru spirály (Autor, 2017)

Porovnání mapových výstupů, jež byly vytvořeny pro 1% a 100% bodů oběma interpolačními metodami je připojeno v přílohách. Na těchto mapách nejsou patrné příliš velké rozdíly, avšak je dobře vidět, jak zvolená interpolační metoda pracuje s povrchem. U metody Ordinary kriging můžeme při použití 1% dat pozorovat větší členitost okrajů jednotlivých intervalů, což nám poskytuje větší škálu informací, o to víc je však metoda Spline with tension snadněji čitelná se svými vyhlazenými přechody. Avšak při použití 100% dat se tato tendence jeví spíše obráceně.

V přiložených mapách č.3-6, se na okraji nádrže vyskytují místa vyznačená tmavě-šedou barvou, jedná se převážně o litorální pásma, která byla pro měření z kajaku v důsledku sedimentace nepřístupná a tudíž zde nebyla naměřena data. Pokud však změřená data porovnáme s původním obrysem nádrže, vidíme, že došlo ke zmenšení retenčního prostoru nádrže.

Na závěr je ukázán DMT pomocí metody TIN (obr. č.15). Při tomto zobrazení lze pozorovat další informace, které z batymetrických map nelze vyčíst. Můžeme zde například pozorovat pozůstatek odvodňovacího kanálu, který je však již pouze málo patrný. Příčinou je pravděpodobně zanesení kanálu sedimenty. Vyvýšený pás na západní straně značí přítomnost cesty, buď z let minulých před vystavěním nádrže nebo se může jednat o cestu potřebnou pro manipulaci při vypouštění nádrže.



Obr. č.15: DMT vytvoření metodou TIN (Autor, 2017)

7 Diskuze

Výsledky uvedené v předchozí kapitole vedou k závěru, že nejefektivnější je sběr 20% dat z celkového povrchu malé vodní nádrže. Je však třeba si uvědomit, že tento závěr je postaven na tvrzení, že body, jež byly na nádrži naměřeny, představují 100% obraz dna, což dozajista není pravda. Ačkoliv je síť bodů naježděna velmi hustě, i přesto je patrné, že rozložení těchto bodů není vždy rovnoměrné. Pokud bychom byli schopni naměřit data, která by byla rozložena rovnoměrně, je pravděpodobné, že by byly výsledné směrodatné odchylky ještě sníženy. Pro zpřesnění výsledků by rovněž bylo vhodné provést dané interpolace opakovaně pro získání většího vzorku dat potřebného především pro interpolační metodu Ordinary kriging.

Pokud vezmeme v úvahu provedené simulace nájezdů prostřednictvím výběru bodů pozorujeme, že vliv na přesnost výsledné interpolace má nejenom počet naměřených dat, ale zároveň i jejich rozmístění v rámci celého území. Jako praktická otázka do budoucna zůstává realizace takové geometrie nájezdu, aby její pomocí bylo najeto efektivních 20% dat a zároveň byla tato data co nejlépe rozprostřena po celé nádrži. V návaznosti na to je potřeba zjistit, zda jsou tyto geometrie vhodné pro všechny tvary a typy nádrží. Pro výzkum těchto informací je třeba aplikovat sběr dat v efektivním rozsahu na geomorfologicky různorodé malé vodní nádrže a porovnat výsledky kterých bude dosaženo.

8 Závěr

Součástí této bakalářské práce bylo podrobné batymetrické zaměření retenční nádrže Jiviny. K tomuto měření metodou singlebeam echosoundingu byl využit přístroj River Surveyvor M9. Pomocí naměřených dat byla analýzou zjištěna závislost jejich hustoty na výslednou přesnost digitálního modelu terénu. Jako nejvíce efektivní hodnota se jeví zaměření 20% z celkového povrchu nádrže. Toto zjištění může být nápomocné při dalších realizacích batymetrických měření na malých vodních nádržích.

Jako dílčí část analýz datového souboru byla provedena simulace sběru dat v různých geometriích za účelem zjistit, zda je patrná závislost na přesnosti výsledného DMT a plošném rozložení dat. Zdá se, že rozložení dat může mít na výsledek větší vliv, než jejich počet, tuto teorii je však potřeba podrobit dalšímu výzkumu.

Praktické využití batymetrického měření malých vodních nádrží je především potřebné pro výzkum míry zanášení a procesu sedimentace v rámci povodí českých toků. Díky jednoduchému efektivnímu postupu je možné zjistit aktuální stav nádrže a v případě potřeby zajistit sanaci narušeného povodí. Díky potřebným krokům provedeným správným obhospodařováním nádrží přispíváme k udržení a rozvoji ekologické stability zájmové lokality.

9 Seznam použité literatury

1. **BURIAN J., 2008:** Vyznáte se v interpolacích? GeoBussines, 41 s.
2. **BROŽA a KOL., 2005:** Přehrady Čech, Moravy a Slezska, Kniha 555, Liberec, ISBN 80-8666-11-7
3. **ČESÁK J., ŠOBR M., 2005:** Metody batymetrického mapování Českých jezer, Sborník České geografické společnosti, 110, 3, str: 141-151
4. **ČSN 75 2410, 2011:** Malé vodní nádrže. Úřad pro technickou normalizaci, metodologii a státní zkušebnictví, Praha, 48 s.
5. **DIERSSEN H. M., THEBERGE A. E., 2012:** Encyclopedia of Ocean Sciences, Taylor and Francis, New York
6. **DOUŠEK F., MATĚJÍK M., 2005:** Geodézie. Mendelova zemědělská a lesnická universita v Brně, Brno, 309 s
7. **ESRI-ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESERCH INSTITUTE, 2016:** How subset features works,
online: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extensions/geostatistical-analyst/how-subset-features-works.htm>, cit.: 20.4.2017
8. **CHILDS C., 2004:** Interpolating surfaces in ArcGIS Spatial Analyst, ESRI Education services, Arc User July-September
9. **CHMELOVÁ R., ŠARAPATKA B., FRAJER J., PAVKA P., NETOPIL P.:** Databáze zaniklých rybníků v ČR a jejich současné využití, Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého v Olomouci, ACTA ENVIRONMENTALICA UNIVERSITAS COMENIANAE vol.21, Bratislava, ISSN: 1335-0285
10. **HLAVNÍ MĚSTO PRAHA, 2013:** VD Jiviny, Pražská příroda, online: <http://www.praha-priroda.cz/vodni-plochy-a-potoky/vodni-plochy-dle-katastru/ruzyne/vd-jiviny/>, cit.: 15.4.2017
11. **HRADILEK V., BAŠTA P., VIZINA Š., MÁCA P., PECH P., 2015:** Verification of remote sensing data for measuring bathymetry on small water reservoirs., 15th International SGEM GeoConference. Czech University of Life Sciences, Prague.
12. **HUISMAN O. a ROLF A., 2009:** Principe sof Geographic Information Systems, ITC-International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede, ISBN 978-90-6164-269-5

13. **INTERNATIONAL HYDROGRAPHIC BUREAU, 2005:** Manual on Hydrography, International Hydrographic organisation, Publication M-13, 1. vydání
14. **JEŽEK J., 2015:** Geostatika a prostorová interpolace, Karolínium, Praha, vydání první, ISBN 978-80-246-3076-2
15. **KŘÍŽEK M., UXA T., MIDA P., 2016:** Praktikum morfometrických analýz reliéfu, Nakladatelství Karolinum, Praha, ISBN 978-80-246-3244-5, 1. vydání
16. **KUCHAŘ K., 1946:** Přehled kartografie, Kropáč a Kucharský, Praha, 1. vydání
17. **KUKAL Z, LELLÁK J., NAGY F., PTÁČEK J., REIN F., REBICHA VSKÝ J., 1977:** Základy oceánografie, Academia Praha, 1. Vydání, 512 s
18. **MALÁTKOVÁ J., 2004:** Ottova encyklopedie A – Ž. Ottovo nakladatelství s.r.o., ISBN: 80-7360-014-5, 1. Vydání
19. **MAYER L., 2016:** History of Bathymetry: Early methods, online: <http://larrymayer.net/history-of-bathymetry-early-methods/>
20. **MORAVEC D., 2001:** Kartografické a geoinformatické modelování, Karolinum, Univerzita Karlova v Praze, ISBN: 80-246-0338-1
21. **MOORE I. D., GRAYSON R.B., LADSON A. R., 1991:** Digital terrain modeling: A review of hydrological, geomorphological and ecological applications. Hydrological Processes, vol. 5, s 3-30
22. **ORŠULÁK A PACINA, 2012:** 3D modelování a virtuální realita, Ing. Tomáš Mikulenka, Ústí nad Labem, 1. Vydání, 64 s
23. **SEMOTANOVÁ a kol., 2007:** ČESKO Ottův historický atlas. Ottovo nakladatelství, ISBN: 978-80-7360-577-3, 400 s
24. **QULIN a XIAO, 2014:** Comparative Analysis of Spatial Interpolation Methods: an Experimental Study, Beijing Jiaotong University, IFSA Publishing, S.L,
25. **SMOLÍK J. a kol., 2014:** Technicko-bezpečnostní dohled nad vodními díly. Ministerstvo zemědělství, ISBN 978-80-7434-160-1
26. **VESECKÁ J., 2005:** Kmitání, vlnění a akustika. Karolinum, Universita Karlova v Praze, ISBN 80-246-1030-2
27. **VOJTĚCH V., 1997:** Metodická příručka pro obnovu a odbahňování rybníků a předzdrží. Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.Masaryka, Praha. ISBN 80-85900-16-5
28. **VOTRUBA L., BROŽA V., 1966:** Hospodaření s vodou v nádržích. Nakladatelství technické literatury, 323 s.

- 29. VRÁNA K., BERAN J., 1998:** Rybníky a účelové nádrže. ČVUT, 150 s
- 30. WEIBEL R., HELLER M., 1991:** Digital Terrain Modeling, In: Maguire, D.J., Goodchild, M.F. and Rhind, D.W. (eds.). Geographical Information Systems: Principles and Applications. London: Longman, 269-297

Internetové zdroje obrázků:

URL 1: U.S. Geological Survey, 2014: dostupné z:

<https://woodshole.er.usgs.gov/operations/sfmapping/bathy.htm>

URL 2:HAMILTON S.E., 2016: Creation of a Bathymetric Map of Lake Victoria, Africa, dostupné z: http://faculty.salisbury.edu/~sehamilton/LV_Bathy/

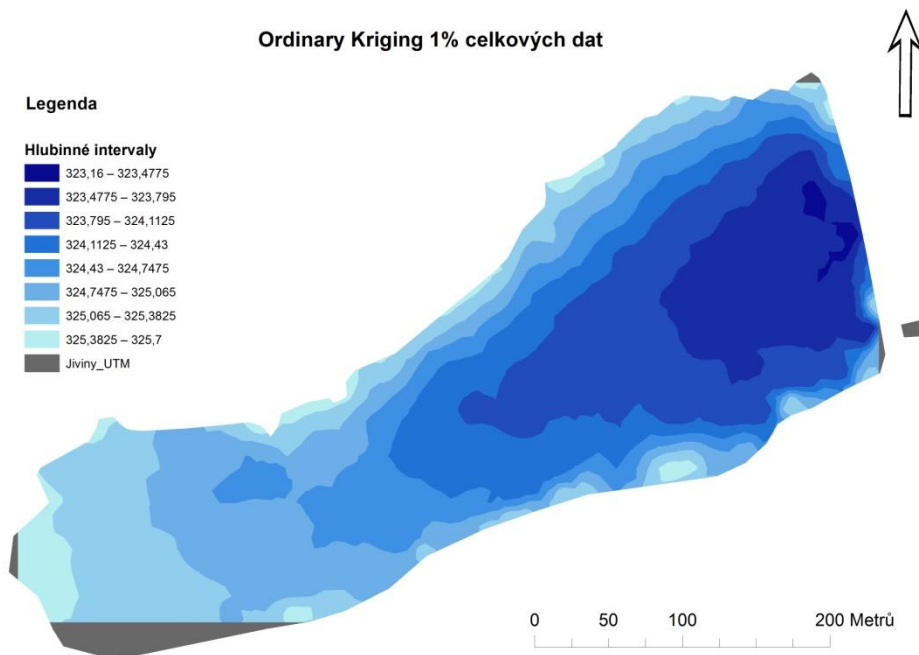
URL 3: GEOPORTAL GOV, 2014: Copyright Cenia, dostupné z

<http://geoportal.cuzk.cz/Geoprohlizec/default.aspx?wmcid=1323>

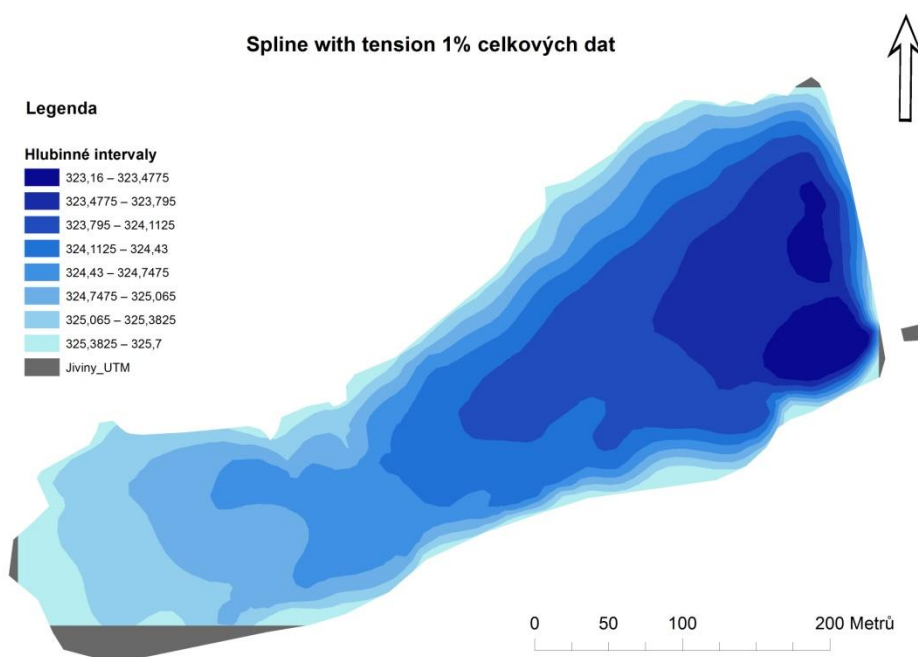
URL 4: PRAŽSKÁ PŘÍRODA, 2013: Copyright Hlavní město Praha, dostupné z:

<http://www.praha-priroda.cz/vodni-plochy-a-potoky/vodni-plochy-dle-katastru/ruzyne/vd-jiviny/>

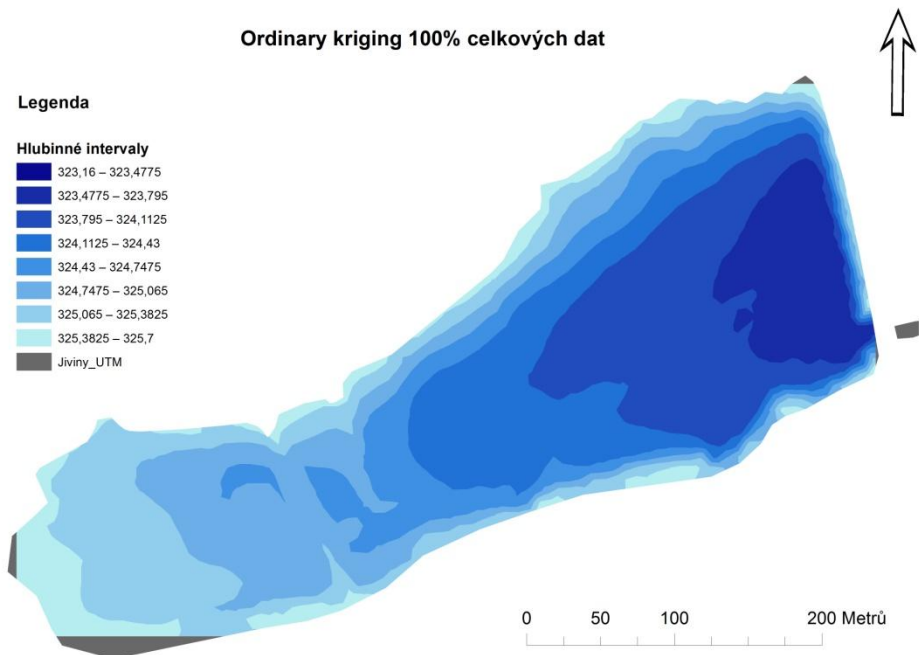
10 Přílohy



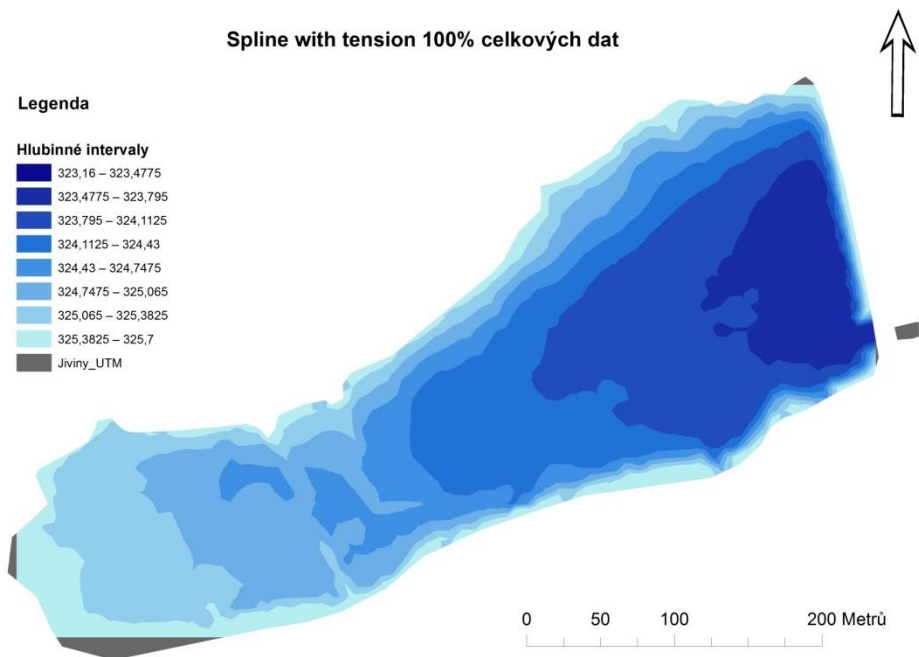
Příloha č. 1: Batymetrická mapa z 1% dat pomocí Ordinary Kriging (Autor, 2017)



Příloha č. 2: Batymetrická mapa z 1% dat pomocí Spline with tension (Autor, 2017)



Příloha č. 3: Batymetrická mapa ze 100% dat pomocí Ordinary kriging (Autor, 2017)



Příloha č. 4: Batymetrická mapa z 100% dat pomocí Spline with tension (Autor, 2017)