ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ
KATEDRA APLIKOVANÉ EKOLOGIE

ZPRACOVÁNÍ BATHYMETRICKÝCH DAT A VYHODNOCENÍ ZMĚNY AKUMULAČNÍHO OBJEMU MALÉ VODNÍ NÁDRŽE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

VEDOUCÍ PRÁCE: ING. PETR BAŠTA
BAKALANT: KAMILA VAŇKOVÁ

2020

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Kamila Vaňková

Krajinářství

Územní technická a správní služba

Název práce

Zpracování bathymetrických dat a vyhodnocení změny akumulačního objemu malé vodní nádrže

Název anglicky

Bathymetric data processing and evaluation of accumulation volume change of small water reservoir

---

Cíle práce

Hlavním cílem bude zpracování bathymetrických dat vybrané malé vodní nádrže (MVN) v povodí Jevanského potoka aplikací GIS pro účely vyhodnocení změny akumulačních objemů nádrže mezi lety 2017 a 2020.

Dílčím cílem bude zpracování rešerše zadané problematiky (MVN, bathymetrie a způsoby jejího měření, digitální model terénu (DMT) a jeho tvorba v prostředí GIS, prostorové interpolační funkce).

Metodika

Metodika:

1. Rešerše na téma malé vodní nádrže, její zanášení sedimenty, bathymetrie a její dostupné metody měření, DMT, prostorové interpolace se zaměřením na funkce Natural Neighbor a Topo to Raster

2. Popis zájmového území – malé vodní nádrže (možno využít manipulačního řádu nádrže a komunikace s místní samosprávou) a Jevanské soustavy MVN

3. Preprocessing bathymetrických dat, doměření chybějících dat pomocí echosounderu RiverSurveyor M9, získání dat břehové linie nádrže (možno využít ortofoto)

4. Zpracování naměřených dat pro roky 2014 a 2017 v prostředí GIS: aplikace funkcí Natural Neighbor a Topo to Raster, vyhodnocení hloubek a akumulace nádrže aplikací zonální a popisné statistiky pro zhotovené DMT dna MVN, cross-validace výsledků pomocí kritéria RMSE

5. Zhodnocení vlivu zanášení na akumulační objem nádrže

Doporučený rozsah práce

cca 30 normostran textu

Klíčová slova

Bathymetrie, digitální model terénu, echosounder, malá vodní nádrž, spline

Doporučené zdroje informací

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

Lin Y.T., Schuettpelz C.C., Wu C.H., Fratta D. (2009): A combined acoustic and electromagnetic wave-based techniques for bathymetry and subbottom profiling in shallow waters. Journal of Applied Geophysics 68: 203-218

Moore, I. D. – Grayson, R. B. – Ladson, A. R. Digital terrain modeling: A review of hydrological, geomorphological, and ecological applications. Hydrological Processes. 1991, 5, s. 3–30

Sibson, R. "A Brief Description of Natural Neighbor Interpolation," chapter 2 in Interpolating Multivariate Data. New York: John Wiley & Sons, 1981. 21–36

Watson, D. F., and G. M. Philip. "A Refinement of Inverse Distance Weighted Interpolation." Geoprocessing 2:315–327. 1985

Předběžný termín obhajoby

2019/20 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Petr Bašta

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 9. 3. 2017	Elektronicky schváleno dne 20. 2. 2020
doc. Ing. Martin Hanel, Ph. D.	prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.
Vedoucí katedry	Děkan

V Praze dne 09. 03. 2020

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Zpracování bathymetrických dat a vyhodnocení změny akumulačního objemu malé vodní nádrže vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědoma, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědoma, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze, dne 29.6.2020

Kamila Vaňková

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Petru Baštovi za jeho odborné vedení, trpělivost, vstřícné jednání, ochotu a poskytnuté informace ve všech fázích této práce.Dále bych ráda poděkovala svému manželovi, který mě po celou dobu studia velmi podporoval.

ABSTRAKT

Práce se zabývá malými vodními nádržemi, jejich historií, popisem a problémy, které nám přináší. Dále jsou zde uvedeny vybrané způsoby bathymetrického měření s dostupnými přístroji. V metodice práce se zabývám popisem území a základními technickými údaji rybníka Švýcar ležícího na Jevanské soustavě. V další kapitole se věnuji způsobu měření a zpracování dat za použití metod Natural Neighbor a Topo to Raster. Na závěr jsou porovnány naměřené hloubky z měření, které proběhlo roku 2017, s manipulačním řádem.

KLÍČOVÁ SLOVA:

Bathymetrie, digitální model terénu, echosounder, malá vodní nádrž, spline

ABSTRACT

The thesis is dealing with small water reservoir, their history, characteristics, and possible problems. Furthermore, it introduces chosen methods of bathymetry with available devices. The methodology includes the description of the location and basic technical parameters of the small water reservoir Švýcar, which is located at Jevanská soustava. The following chapter expounds the measurement and data processing via Natural Neigbor and Topo to Raster methods. The thesis is concluded and the comparison of the data collected in 2017 with the depths enlisted in the Small water reservoir operation guideline.

KEYWORDS

Bathymetry, Digital elevation model, echosounder, small water reservation, spline

Obsah

1 Úvod práce 1

2 Cíle práce 2

3 Rešerše 3

3.1 Malé vodní nádrže 3

3.1.1 Historie malých vodních nádrží 3

3.1.2 Dělení malých vodních nádrží 4

3.1.3 Prostory malých vodních nádrží 5

3.2 Problémy malých vodních nádrží 8

3.2.1 Povodně 8

3.2.2 Zanášení 9

3.2.3 Břehová abraze 9

3.2.4 Sedimenty 9

3.3 Bathymetrické mapování jezer 9

3.3.1 Historie měření 10

3.3.2 Metody bathymetrického měření 11

3.3.3 HydroSurveyor vs. RiverSurveyor 13

3.3.4 Interpolace 14

4 Metodika 17

4.1 Popis zájmového území 17

4.1.1 Manipulace za povodní 19

4.1.2 Základní technické údaje 19
4.1.3 Hydrologické údaje vodního toku 20
4.1.4 Charakteristické čáry nádrže Švýcar 22
4.1.5 Hráz 22
4.2 Měření dat 23
4.3 Příprava dat 23
4.3.1 ArcGIS 24
4.3.2 Metoda přirozeného souseda 24
4.3.3 Topo to Raster 24
4.4 Zpracování dat 24
4.4.1 Použití metody Natural Neighbor. 25
4.4.2 Použití metody Topo to Raster 25
5 Výsledky 30
5.1 Prezentace naměřených dat 30
5.2 Srovnání výstupů aplikovaných interpolačních metod 32
5.3 Srovnání výstupů odvozených na základě měření s manipulačním řádem 32
5.4 Charakteristické čáry nádrže podle manipulačního řádu 33
6 Diskuze 34
7 Závěr a přínos práce 36
8 Přehled literatury a použitých zdrojů 37
9 Přílohy 41

1 Úvod práce

Voda představuje život a je pro nás velmi cenným přírodním zdrojem, u kterého nelze přehlédnout jeho význam jakožto přírodního bohatství, a to především proto, že strategicky převyšuje jiné omezené zdroje. (Blažek a kol., 2006)

Voda je pro nás nenahraditelná, a to hlavně z důvodu jejího omezeného množství. Vodní hospodářství je souhrn všech jejích funkcí, a to užitečných i škodlivých. Vodní hospodářství není ve všech státech stejné, protože každá země má své specifické potřeby a možnosti. U nás jde o péči o vodní zdroje, zásobování zemědělství, průmyslu a obyvatel pitnou i užitkovou vodou, využití vodní energie, péči o čistotu toků atd. (Fiala a kol., 1980)

V tom nám mohou pomoci malé vodní nádrže, proto je jim věnována celá teroretická část bakalářské práce. V rešerši je zpracováno téma malých vodních nádrží, jejich technických částí a také to, jaké jsou možnosti jejich měření a následné zpracování dat.

Měření a sledování stavu vodních nádrží je důležité především pro zjištění kvality vody a předcházení jejich problémům, jako je zanášení vod, záplavy nebo břehová abraze. Proto jsou v této práci zpracována naměřená data Rybníka Švýcar, a to vybranými interpolačními metodami. Následně jsou výsledky porovnány s manipulačním řádem, jenž byl zpracován v roce 2014. Předpokladem výsledků je zanášení vodní nádrže a následná břehová abraze.

V metodické části práce jsou popsány základní technické údaje a hydrologické údaje vodního toku. Dále jsou zde vypsány interpolační metody Topo to Raster a Natural Neighbor, které byly zvoleny pro zpracování dat.

Ve výsledcích práce je nutné porovnat přesnost obou metod. Zpravidla metoda Topo to Raster je přesnější, proto se dá očekávat, že při zpracování dat poskytne lepší výsledky. Další porovnání potom bude v rámci naměřených hodnot a manipulačního řádu. Zde se očekává akualizace současného stavu nádrže za účelem zjištění potřebnosti případného odbahnění.

2 Cíle práce

Hlavním cílem bude zpracování bathymetrických dat vybrané malé vodní nádrže (MVN) v povodí Jevanského potoka aplikací GIS pro účely vyhodnocení změny akumulačních objemů nádrže mezi lety 2014 a 2017.

Dílčím cílem bude zpracování rešerše zadané problematiky (MVN, bathymetrie a způsoby jejího měření, digitální model terénu (DMT) a jeho tvorba v prostředí GIS, prostorové interpolační funkce).

3 Rešerše

3.1 Malé vodní nádrže

S vodou je nutné správně hospodařit, s čímž nám pomáhají právě malé vodní nádrže.

Dle ČSN 75 2410 jsou malé vodní nádrže právě ty nádrže, které splňují tyto podmínky:

- objem nádrže po hladinu ovladatelného prostoru není větší než 2 m^3
- největší hloubka nádrže nepřesahuje 9 m (ČSN 75 2410, 2011)

3.1.1 Historie malých vodních nádrží

V historii byl hlavní účel stavění hrází zcela prostý, stal se jím chov ryb. Ryby byly hlavním prvkem jídelníčků, a proto se naši pradědečkové věnovali především rybníkářství. (Hák, 1997) Budováním vodních nádrží se zabývaly už starověké civilizace jako Egypt, Mezopotámie, Čína nebo Indie, a to především z důvodu závlah a akumulace vody. První zmínky o existenci vodních nádrží a zároveň i o chovu ryb pocházejí z Číny už z roku 2200 př. n. l. (Vrána, Beran, 2013)

První písemné zmínky o rybnících v českých zemích jsou z roku 1115 v Kladrubské listině. Brzy se však o výstavbu rybníků a chov ryb začala zajímat šlechta i města, tudíž mnoho vybudovaných rybníků začalo sloužit k provozu mlýnů nebo pil. (Vrána, Beran, 2013)

Zajímavostí je skutečnost, že hlavní oblastí rybníkářství nebyly jižní Čechy, ale Pardubicko a Poděbradsko. O to se zasloužil hlavně Vilém z Perštejna. Během třiceti let bylo na pardubickém a kunětickohorském panství vybudováno více než 400 vodních děl. Posun byl zaznamenán v 16. století na Třeboňsku díky vytváření rybníkových soustav. Štěpánek Netolický vytvořil projekt umělého 40 km dlouhého kanálu Zlatá stoka, který je náhonem z řeky Lužnice a zlepšuje přívod vody do již existujících rybníků. (Vrána, Beran, 2013)

3.1.2 Dělení malých vodních nádrží

Malé vodní nádrže můžeme dělit na přirozené a umělé. Přirozené nádrže vznikají bez činnosti člověka, např. plesa, zatímco umělé vznikají přehrazením údolní řeky uměle vybudovanou hrází a je možné je ovládat, vypouštět a regulovat výše jejich hladin. Vodní nádrže můžeme dále dělit podle jejich polohy v krajině, výškového umístění v terénu, způsobu napájení vodou nebo funkce. Existuje celá řada typů malých vodních nádrží, například polní, luční nebo lesní. (Pavlica, 1964)

3.1.2.1 Rozdělení podle polohy

Výhodné pro chov ryb a vodní drůbeže jsou nádrže **návesní**, protože do nich stékají splachy z cest a hnojišť. Většinou leží v obcích nebo na jejich krajích. Mimo obce se vyskytují nádrže **polní**, jež jsou v údolích obdělávaných polí, tudíž se velmi rychle zanášejí splachy ornic. Dále pak **luční**, které jsou sice situovány podobně jako rybníky polní, nicméně okolní svahy jsou zatravněny a obhospodařovány jako louky, proto jsou splachy hlín omezeny. Ještě můžeme jmenovat nádrže **lesní**, jež kvůli přítokům lesních pramenů mají chladnou vodu, jejíž kvalita je ovlivňována spadaným listím, a nádrže **rašelinné**, které jsou založené na rašelinové půdě ovlivňující složení vody. (Pavlica, 1964)

3.1.2.2 Rozdělení podle výškového umístění

Dle výškového umístění rozlišujeme čtyři typy nádrží. Prvním jsou tzv. **zahloubené**, jež jsou zapuštěny pod okolní rovinný terén vyhloubením jámy nebo využitím přirozené prohlubně, jako jsou např. pískovny nebo cihelny. Další jsou **hrázové**, které vznikají vybudováním hráze po celém obvodu rovinatého terénu nebo jeho většinové části. Přehrazením údolí souvislou čelní hrází zase vznikají nádrže **údolní**. Posledním typem jsou nádrže **podzemní**, které zachycují pod terénem tekoucí vodu (podél toku řek) přehrazením údolí pod terénem. Vodu lze poté odebírat např. čerpáním. (Pavlica, 1964)

3.1.2.3 Rozdělení podle způsobu napájení vodou

Nebeské nebo také dešťové nádrže nemají stálý vodoteč, a tak získávají značnou část vody ze sněhů nebo jarních dešťů. Chladnou vodu bez organických látek mají nádrže **pramenné.** Tyto nádrže jsou napájené prameny ve svém dně nebo ve svazích. Velice náchylné k zanášení sedimenty, a to hlavně za velkých vod, jsou nádrže **průtočné**. Jejich zdrojem vody je vodoteč, jejíž údolí přehradily hráze, a celý tok jimi protéká. Hlavním znakem **bočních** nádrží je napájecí tok

tekoucí mimo nádrž, jednak ve svém dosavadním korytě – nádrž je vybudována v údolí vodoteče – a jednak tím, že údolí toku je přehrazeno a tok je přeložen podél nádrže (tzv. obtoková nádrž). (Pavlica, 1964)

3.1.3 Prostory malých vodních nádrží

3.1.3.1 Hráz

Nejdůležitějším, nejdražším a potencionálně nejzranitelnějším prvkem vodních nádrží je hráz. Při stavbě je důležitý výběr umístění její osy, zásady výběru materiálu, způsob založení, návrh a posouzení tvaru hráze, neškodné odvedení průsakových vod a ochrana svahů hráze. (Vrána, Beran, 2013) Typ hráze, její tvar, konstrukce a založení hráze musí splňovat určité požadavky, jako jsou filtrační stability hráze a podloží s bezpečným a kontrolovatelným odvedením průsakové vody, statické a deformační stability jednotlivých částí a celku včetně podloží, potřebné vodotěsnosti nádrže, bezpečnosti proti přelití a porušení hráze a dále pak životnost díla. (ČSN 752410, 2011)

Návrh hráze

Mluvíme-li o hrázích malých vodních nádrží, dělíme hráze na zemní, kamenné nebo kamenité či betonový blok. Tyto hráze jsou finančně méně náročné i mnohem jednodušší z hlediska stavebních prací. (Francek, Kloub, 1957)

Dělení hrází

Hlavní skupinu hrází, které rozlišujeme podle funkce, účelu nebo tvaru, dělíme na čelní obtokové, boční a dělící. Podle způsobu přívodu vody můžeme hráze rozdělit na průtočné, obtokové nebo boční. (Šálek a kol., 1989)

Průtočná i boční hráz vzniká přehrazením údolí napájecího toku. Čelní hráze mají výhodu malé spotřeby materiálu, která je daná především malou délkou hráze. Jejich nevýhodou je vysoká průtočnost a nutnost návrhu bezpečnostního přelivu na vysokou hodnotu návrhového průtoku, což zvyšuje investiční náklad a nepůsobí příjemně z estetického hlediska. Tyto nádrže trpí větším zanášením sedimenty, a to právě z hlediska vysoké průtočnosti hlavně při povodních. Negativním dopadem je především

ovlivnění funkce objektů nádrže, možnost vzniku eutrofizačních procesů a ovlivnění kvality vody. (Vrána, Beran, 2013)

Obtokové nádrže vznikají také přehrazením údolí čelních hrází, ale navíc je vybudována obtoková stoka, jež slouží k převedení vody při vyprazdňování nádrže. Posléze může být tato stoka využita i v případě povodňových situací. (Vrána, Beran, 2013)

Dělící hráze jsou ty, které rozdělují velké rybníky na menší části. Takovým příkladem je hráz oddělující rybníky Rožmberk a Vítek. (Vrána, Beran, 2013)

Na hráze přímé, zakřivené nebo lomené rozdělujeme nádrže z hlediska půdorysného tvaru osy. Nejčastějšími jsou hráze přímé. (Vrána, Beran, 2013)

Materiál pro stavbu hrází

Inženýrsko-geologický průzkum určuje vhodnost materiálu pro stavbu hrází. Jeho hlavní částí je posouzení vhodné lokality, fyzikálně-mechanických vlastností zeminy, úrovně hladiny podzemní vody v zemníku a objemu zeminy. Při výběru zemníku pro stavbu hráze je potřeba posoudit jednak jakost pozemků, kde se zemník nachází, a jednak vlastnictví pozemků. Zatřídění a vhodnost zemin pro stavbu hráze udává ČSN 75 2410.

Koruna hráze

Dle ČSN 75 2410 korunu hráze navrhujeme tak, aby byla přístupná pro obsluhu po celé její délce. Její šířka musí umožnit alespoň jednosměrný průjezd vozidel zejména při povodních a opravách. Hráz by měla být ve sklonu 1-3 % v jednom směru z důvodu odvodu srážkové vody z koruny hráze. (ČSN 75 2410, 2011)

3.1.3.2 Filtry

Filtry se zřizují v místech, kde by mohlo docházet k vyplavování částic zeminy, a to díky vlnobití, prosakující vodě nebo kolísání hladiny. (Vrána, Beran, 2013) Úkolem filtrů je ochrana před zanesením pórů patních drénů, aby nebyla ohrožena jejich správná funkčnost. Vhodnými materiály jsou písky, štěrkopísky nebo drcené kamenivo, přičemž nesmí obsahovat více než 5 % částic pod 0,063

mm. Kromě přírodních materiálů můžeme použít i pórovité hmoty jako jsou technické textilie nebo betonové prefabrikáty. (Šálek a kol., 1989) Dle ČSN 75 2410 rozdělujeme materiály na stejnozrnné a relativně nestejnozrnné, materiál by neměl být jemnozrnný nebo mít sklon k oddělování či slepování. (ČSN 75 2410, 2011)

3.1.3.3 Výpustná zařízení

Výpustná zařízení jsou důležitá pro malé vodní nádrže v případě, kdy je potřeba umožnit bezpečné vypouštění vody z nádrže v požadovaném čase, v případě potřeby nebo poruchy hráze. Dalším důvodem je udržení hladiny na normální výši. Umístění výpustních zařízení je zpravidla v čelní hrázi a v nejnižším místě nádrže, pokud tak dovolí geologická stavba podloží. Jedním funkčním výpustním zařízením musí být vybavena každá malá vodní nádrž. Nádrže, které mají objem větší než 1 milion m^3, musí být vybaveny dvěma výpustnými zařízeními. (Vrána, Beran, 2013). Druhou výpust lze použít i jako odběrné zařízení, např. pro závlahy nebo energetické účely, kterým lze vypouštět vodu do toku pod nádrží a jenž odpovídá požadavkům na výpust. V případě, že nádrž nemá alespoň jednu výpust, která umožňuje dostatečně citlivou regulaci průtoku, navrhuje se pro speciální výpustné zařízení s přiměřenou kapacitou. Umístění alespoň jedné z výpustí musí být takové, aby umožnilo úplné vypuštění nádrže a odvodnění jejího dna. (ČSN 75 2410, 2011)

Výpustná zařízení se skládají z uzavíracího prvku a zařízení pro odběr vody. Výpusti rozdělujeme dle způsobu odvádění vody na **otevřené** a **trubní**.

Otevřené – stavidlové výpusti jsou tvořeny železobetonovými nebo kamennými žlaby, jejichž dno odpovídá nejnižšímu místu nádrže a stěny jsou budovány po celé výšce hráze. Z důvodu mohutné konstrukce se již otevřené hráze nenavrhují. Mohutná konstrukce může vést k průsakům podél stěn objektu nebo nežádoucím vibracím, navíc nejsou příliš estetické. Na druhou stranu tyto výpusti plní i úlohu bezpečnostního přelivu, tzn., že voda při povodňových situacích rovnou padá přes horní hranu stavidlových uzávěrů. (Vrána, Beran, 2013)

Hradícím zařízením otevřených výpustí jsou tvořena stavidla, klapkové nebo segmentované uzávěry. Otevřené výpusti se mohou kombinovat s výpustmi trubními, které jsou složeny z uzavíratelného orgánu, výpustného potrubí a ze

zařízení na útlum kinetické energie vytékající vody. Tyto výpusti jsou používány k vypouštění vody pomocí zabudovaného potrubí. (Šálek a kol., 1989)

Trubní výpusti můžeme dělit dle typu uzavíracího mechanizmu na čepové, lopatkové, šoupátkové uzávěry nebo požeráky.

U lopatkové výpusti je uzávěr tvořen oválnou deskou, jež je stlačována tlakem vody na šikmý konec dřevěného výpustného potrubí. Čepové uzávěry jsou spojené s dřevěným odpadním potrubím. Tento typ je v dnešní době už historií. Byl tvořen dřevěnou zátkou zaraženou do otvoru v odpadním potrubí. (Vrána, Beran, 2013)

Požeráky jsou nejvíce používaným typem trubních výpustí. Jejich konstrukce je tvořena skříňovou konstrukcí z betonu, oceli nebo železobetonu. Výpusti u požeráků tvoří dřevěné fošny, které se zasouvají do ocelových drážek. Požeráky můžeme rozdělit na otevřené požeráky s jednoduchou dlužovou stěnou, otevřené požeráky se dvěma dlužovými stěnami, otevřené požeráky s třemi dlužovými stěnami, polouzavřený požerák s jednou nebo dvěma dlužovými stěnami, kombinovaný požerák s dlužovými stěnami. (Vrána, Beran, 2013)

3.2 Problémy malých vodních nádrží

Vodní díla mohou významně zasáhnout do krajinného rázu. Tyto změny mohou být očekávané anebo vyvolané. Na rozdíl od změn očekávaných, které jsou zahrnuty už v plánu, změny vyvolané můžeme a nemusíme předpokládat. Například výstavbou vzdouvacího objektu na toku se významně poruší biologická kontinuita prostředí vodního toku. (Broža a kol., 1998) Stavba malých vodních nádrží je velice nákladná, a ne vždy prospěšná pro krajinu. Je tedy potřeba ke stavbám přistupovat důkladně a identifikovat důvody, proč je nutné stavět nádrž nebo obnovovat již zaniklý rybník. (Just a kol., 2020)

3.2.1 Povodně

Povodní se rozumí velké zvýšení hladiny toku nebo povrchových vod. Při tomto jevu hrozí vylití vody z koryta, což může způsobit škody. Povodní můžeme rozumět i stav, kdy odtok neprobíhá přirozeným způsobem, nebo je nedostatečný. Preventivně připravujeme povodňové plány, prohlídky nebo jiná opatření, jako jsou biologická nebo vodohospodářsko-technická opatření. (Milerski a kol., 2005)

3.2.2 Zanášení

Zanášení nádrží je přirozený jev. Zanášení bývá problémem v případě, kdy je kvůli vodnímu toku přinášeno větší množství splavenin nebo plavenin. Ukládání splavenin a plavenin je závislé na rychlosti vody. V našich přírodních podmínkách se tak většinou děje až při povodňovém stavu. (Broža, 2005)

3.2.3 Břehová abraze

Břehová abraze je způsobená vlnobitím a břehovou linií. Touto erozí jsou ohroženy hlavně svahy s vyšším sklonem, svahy bez vegetačních pokryvů, svahy hlinité, písčité a nádrže s velkým kolísáním hladiny. Z toho vyplývá, že možnost a případná velikost břehové abraze je závislá na sklonu namáhaného svahu, na pedologickém složení půdního profilu, na složení půdního pokryvu, na kolísání hladiny v nádrži, na délce svahu a na antropogenní činnosti. (Vrána, Beran, 2013)

3.2.4 Sedimenty

Za jeden z největších vodohospodářských problémů je globálně považovaná eroze půdy a s ní spojená sedimentace.

Erozí a zanášením sedimenty se snižuje průtočnost koryt. To má za následek především hydrologickou funkci nádrže – zvyšuje se rychlost průtoku, teplota, ale také se snižuje jakost odebírané vody. (Bell, 1998)

Pro správnou funkci nádrží je nutné odstraňovat sedimenty v pravidelných intervalech. Právě pomocí hydropedologického průzkumu dna nádrže můžeme určit, kolik je v nádrži sedimentu nebo jaká je hloubka usazenin či charakter nádrže. Tím můžeme určit způsob těžby tohoto materiálu. (ČSN 75 2410, 2011)

Abychom předcházeli těmto problémům, je třeba pravidelně obnovovat bathymetrické údaje, tím můžeme odhadovat prognózy trendu a efektivně navrhovat obranná řešení. (Kubinský a kol., 2013)

3.3 Bathymetrické mapování jezer

Bathymetrie se v dnešní době používá hlavně k vytvoření map například pro hledání vraků, plavbu lodí, hledání ropných polí. Dále má využití také k vojenským účelům – hledání min. (Novák a kol., 2017)

Nové technologie bathymetrie vodních toků a nádrží umožňují stanovení jejich zásobních kapacit a sledování množství a dynamiky sedimentů.

Kvalitní vstupní data jsou důležitou součástí pro geomorfologické analýzy vodních ploch. Tato data nám odpovídají na otázky ohledně retenční kapacity vodních toků nebo množství sedimentů a jejich dynamiky. Na tyto otázky nám odpovídá právě bathymetrie. (Marval a kol., 2018)

Bathymetrií nazýváme metodu, díky níž můžeme zmapovat jezera jak přírodního, tak i antropogenního rázu. Metody, které používáme, známe více jak sto let. V minulých letech se používaly teodolity, v současnosti se upřednostňují sonary nebo teodolické stanice.

Na rozdíl od výškopisného mapování rostlého povrchu leteckou metodou v bathymetrii nelze používat infračervený paprsek, a to z toho důvodu, že vodní plocha tento paprsek pohlcuje. Co se týká rostlého povrchu, v České republice bylo v letech 2009 až 2013 provedeno rozsáhlé mapování, a to především leteckou metodou pomocí globálních navigačních satelitních systémů. Alternativou pro vodní plochy mohou být technologie založené na principu rozdílu dvou laserových paprsků o různých vlnových délkách. (Novák a kol., 2017)

3.3.1 Historie měření

První zmínky o měření vodních ploch jsou datovány až do 16. století, kdy se rod Rožmberků pokoušel zaměřit šumavská jezera. Jejich výpočty ale nebyly vůbec přesné, často byly až přehnané. Přesnějších měření jsme se dočkali až při měření šumavských jezer profesorem Václavem Švamberou. Ten je se svými posluchači měřil pouze pomocí teodolitu a speciálních úhloměrů, případně pomocí ocelového drátu. Ten natáhl na hladinu, a na něm vyznačil každých 10 metrů. Dále poté na každém metru spustil na ocelovém lanku sondovací zařízení. (Šobr, 2003)

Další měření vybraného profilu zajistili následovníci profesora Václava Švambery pomocí vytyčení břehové linie. Technologie jako sonary nebo geodetické stanice vystřídaly do té doby používané zastaralé pomůcky, které sloužily k měření délky, hloubky nebo úhlu. Těmito pomůckami byly například teodolity, olovnice nebo speciální pásma. (Šobr, Česák, 2005)

Již zmíněné olovnice byly později nahrazeny modernější a vyspělejší technologií – sonary, které pracují s vysílanými a zpět odeslanými vlnami.

3.3.2 Metody bathymetrického měření

Před každým měřením je nutné se seznámit nejenom s danou vodní plochou, je dobré si také určit, za jakým účelem budeme měření provádět. Na základě toho je možné, že se bude měření lišit.

Před začátkem měření je nutné dopředu odhadnout hloubku daného vodního objektu a také je dobré dopředu vědět, kam postavíme stativ s teodolitem.

Měření je možné provádět dvěma způsoby. Jednou z metod je méně přesná ortogonální metoda, která je poměrně zastaralá. Daleko přesnější je měření pomocí totální stanice. (Šobr a kol., 2005)

3.3.2.1 Mapování ortogonální metodou

Základem ortogonální metody jsou stáčnice a kolmice, které jsou pravoúhlé souřadnice k měřické přímce, kdy měřická délka může být pevná nebo volná. (Procházka, 2012)

Pomocí teodolitu měříme horizontální úhly a délková měření provádíme pomocí pásma. Abychom předcházeli chybám, vybíráme nízký počet polygonových bodů. Díky naměřeným hodnotám můžeme vykreslit půdorysný plán jezera. (Šobr, Česák, 2005)

3.3.2.2 Geodetické totální stanice

Totální stanice jsou přístroje, které měří zároveň vzdálenosti, vodorovné směry a výškové úhly, tj. polární souřadnice. (GEOPEN s. r. o., 2014)

Geodetické totální stanice jsou prakticky teodolity s vestavěným dálkoměrem, který se dá řídit jednoduchým počítačem. Do paměti přístroje si můžeme ukládat a registrovat úhlové a délkové hodnoty, které pak snadno přeneseme do počítače. Výsledkem této metody měření jsou souřadnice x, y, z, kdy souřadnice z se rovná výšce hladiny jezera. (Šobr, Česák, 2005)

3.3.2.3 Echolot

Echolot, který využívají především rybáři, je jeden z druhů měření vodních ploch. Jedná se o jednopaprsčitý sonar, jenž funguje na principu vysílaných zvukových vln ke dnu. Tyto vlny se poté odráží zpět do sondy. Paprsek má tvar kuželu a jeho úhel se může pohybovat od 10 do 30 stupňů. Tato metoda je vhodná

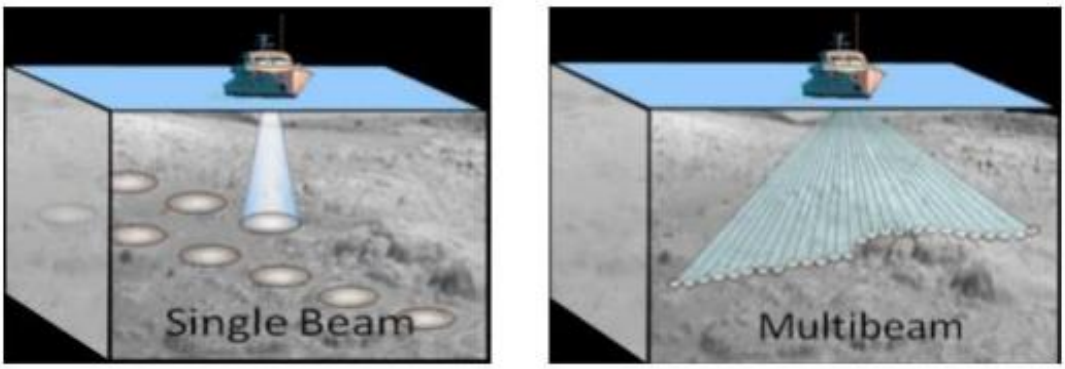
pro mělké vody, pokud je správně nastavený střední úhel čili 20 stupňů. (Novák a kol., 2017)

Echolot vysílá zvukové vlny, které když se odrazí ode dna, ryby či jiného objektu, vrátí se zpět do přístroje, kde se zpracovávají. Jedná se o velmi rychlou a pohodlnou metodu měření vodních ploch. Stejně jako teodolity, i echoloty vybaveny vnitřní pamětí, do které se zapisují hodnoty hloubek, a na displeji se zobrazuje graf. Dalším vybavením, které nám echolot nabízí, může být i GPS, která nám poskytuje souřadnice *x*, *y*, *z*. GPS je možné využívat na velké ploše s dobrým družicovým signálem, proto je GPS na území České republiky velmi málo využívaná. (Šobr, Česák, 2005)

3.3.2.4 Mnohopaprsčitý a boční sonar

Spojením mnohopaprsčitého a bočního sonaru získáváme kvalitní informace o obrazu dna. Mnohopaprsčitý sonar se používá především v hlubokých oceánských oblastech. Díky více paprskům je schopný snímat větší plochu. Tento sonar pracuje kolmo k směru pohybu plavidla, a tak nám nabízí souvislý obraz povrchu pod vodní hladinou. Oproti echolotu, jenž je mnohonásobně dražší, nám monohopaprsčitý sonar nabízí záběr 120 stupňů. Sonar je výhodný díky krátké operační době, která je velmi cenná především ve zkoumání oceánských oblastí. (Novák a kol., 2017)

Boční sonar je používán spíše v rámci prozkoumávání usazenin či složení dna. Využívá se zde síla odrazu zvukových vln od sedimentů a usazenin. (Novák a kol., 2017)



Obr. 1: Porovnání jednopaprsčitého (single beam) a mnohopaprsčitého (multibeam) sonaru *(URL 1)*

3.3.3 HydroSurveyor vs. RiverSurveyor

Konkrétním příkladem sonarů může být přístroj HydroSurveyor nebo RiverSurveyor M9. V podstatě se jedná o velmi podobné přístroje navržené firmou SonTek. Tyto přístroje mají stejný hardware, avšak každý z nich používáme k jinému druhu měření. V jednoduchém pojetí můžeme říci, že RiverSurveyor M9 lze využít k měření průtoků, zatímco HydroSurveyor použijeme v momentě, kdy budeme chtít vytvořit bathymetrické mapy nebo změřit objem vody v nádrži, případně sledovat změny objemu vody. (SonTek, 2016)

3.3.3.1 HydroSurveyor

HydroSurveyor je přístroj, který je navržený pro sbírání bathymetrických dat. Je schopný měřit hloubku od 0,2 metru až do 40 metrů. S daty, která jsou zaznamenána a analyzována, se dá dále pracovat v programech jako jsou GIS nebo 3-D CAT, a tím může být stanoveno přesné množství vody a hloubky. Tato metoda je výhodná v tom, že je rychlejší a šetrnější k životnímu prostředí, navíc vyžaduje méně zaměstnanců, což umožňuje i větší úsporu peněz. Tato loď má tvar trupu do písmene v, což zajišťuje snadnou manipulaci a strhávání vzduchu. Data se dají přenášet z lodi rovnou do počítače na pevninu pomocí Bluetooth. (SonTek, 2016)

Obr. 2: HydroSurveyor *(URL 2)*

3.3.3.2 RiverSurveyor M9

RiverSurveyor M9 je velmi přesná technologie navržená firmou SonTek, která je vhodná pro měření říčního průtoku nebo rychlostního příčného profilu proudu vody. Měření probíhá z pohybujícího se plavidla nebo stálého plavidla. Technologii lze připevnit na různé typy plavidel, například upravený kajak nebo plavidlo, které bylo přesně navrženo firmou SonTek – hydroboard. Další částí je radiová anténa, jež zpřesňuje výškovou a horizontální přesnost. (Novák a kol., 2017)

RiverSurveyor se skládá z devítipaprskového měřícího přístroje, těla, které je propojeno s komunikačním modulem a GPS anténou. GPS je umístěna na těle zařízení. Tento signál je poté odeslán pomocí bluetooth. Celý systém se poté ovládá pomocí nainstalovaného programu RiverSurveyor Live, který je určen jak pro počítače, tak pro mobilní zařízení, jako jsou chytré telefony či tablety. Tento software umožňuje měřícím pracovníkům zpracovávat data v reálném čase. Dále je možný okamžitý export dat do databáze a následné zpracování dat. Celý tento systém je napájen baterií, která je ukryta ve vodotěsném modulu. (Novák a kol., 2017)

3.3.4 Interpolace

Další nedílnou součástí bathymetrického měření jsou interpolační metody. Jedná se o metody, díky nimž můžeme zpracovávat naměřená bathymetrická data a vytvořit z nich model terénu dna vodní nádrže. Není jen jedna správná univerzální metoda, kterou bychom mohli zpracovat všechna naměřená data, proto je dobré zvážit, pro která z nich chceme interpolaci využít. Jedná se například o srážky, nadmořskou výšku nebo to, jak jsou jednotlivá data rozvržena. Termín interpolace lze vysvětlit jako proces výpočtu neznámých hodnot na základě bodových dat, která známe. Díky interpolaci můžeme odhadnout i neznámá data pomocí těch, která známe. (Burian, 2008)

Opakem interpolace je extrapolace. Pakliže pomocí interpolace můžeme odhadnout neznámé hodnoty díky bodům, které známe. Opačně, díky extrapolacím můžeme odhadovat hodnoty i mimo dosah prostorové domény. Jedná se však o méně přesný odhad, a proto se ho nedoporučuje používat. (Burian, 2008)

Interpolace mají více metod, které můžeme dělit podle způsobu zpracování dat. Jejich příklady jsou například Inverse Distance Weighting, Spline Interpolace nebo Kriging. Výsledky měření můžeme zpracovat do takzvaného rastru. S pojmem rastr se setkáváme v kartografii. Pod tímto pojmem si můžeme představit soubor buněk nebo pixelů a pravidelně uspořádaných bodů. (Burian, 2008)

3.3.4.1 Inverse Distance Weighting

Inverse Distance Weighting je jedna z velmi přesných metod interpolace. Tato metoda nám určí hodnotu měřené veličiny, v našem případě například hloubku vody v nádrži, v jednotlivých pixelech rastru. Přesnost této metody záleží na počtu bodů, které máme k dispozici. Čím více bodů, tím přesnější povrch získáme. (Oršulák, Pacina, 2010)

3.3.4.2 Spline Interpolace

Další typ interpolace je metoda Spline. Jedná se o metodu s minimální křivostí. Díky této metodě můžeme vytvořit povrch, který bude procházet všemi vstupními body. Jedná se o velmi podobnou metodu, jako je například Kriging, kde za použití obou metod získáme velmi podobné výsledky. Největším rozdílem je zde to, že uživatel musí u Spline nastavit maximální vyhlazení – na rozdíl od Kriging, kde je vyhlazení objektivně určeno. (Hengl 2007)

Tato metoda je vhodná pro interpolace veličin mapujících například klima. Metoda Spline je často používaná například pro interpolaci povrchu horského terénu, především pro vrcholy hor, které nejsou zaměřeny, protože dokáže vypočítat i vyšší hodnoty, než jsou ty naměřené. Tato metoda je naopak nevhodná pro krajinu, která se potýká s body velmi rozdílných hodnot blízko u sebe. (Burian, 2008)

3.3.4.3 Kriging

Kriging je nejsložitější metoda, kterou na základě diplomové práce D. G. Kriega vytvořil Georges Matheron roku 1963. Kriging vypočítává neznámou hodnotu na základě váženého průměru okolních bodů. Na rozdíl od všech ostatních metod se zakládá na statistických modelech. (Burian, 2008)

U této metody záleží především na prostorovém uspořádání bodů a na vzdálenosti těchto bodů. (Johnston a kol., 2001) Je vhodná především pro odvětví geologie k hledání ropných ložisek. (Childs, 2004) Tato metoda se také používá k interpolaci výšek a pro meteorologická data. (Burian, 2008)

3.3.4.4 Digitální model terénu

Pomocí digitálního modelu terénu můžeme interpretovat dna nádrží. Používá se především pro rastrové znázornění Země bez všech objektů na jejím povrchu. (Li a kol., 2005)

Nejpřesnější metodou pro vytvoření digitálního modelu terénu je nivelace, která je finančně i časově velmi náročná. Dalšími metodami je GPS, LiDAR a radarové snímky. (Li a kol., 2005) Metody můžeme rozdělit do dvou skupin. Na přímé metody, které se měří přímo v terénu a při nichž se měří přesná poloha a výška každého bodu, nebo bezkontaktní metody jako je laserové skenování nebo radarové snímání, které řadíme do dálkového průzkumu Země. Nepřímými metodami jsou potom ty, které vycházejí z již existujících dat. Jedná se například o interpretace map. (Oršulák, Pacina, 2010)

4 Metodika

Metodika této práce nám přiblíží zpracování a porovnání bathymetrických dat z let 2014 a 2017. Pro práci bylo zvoleno porovnání dat ve dvou metodách, konkrétně Topo to Raster a Natural Neigbor, které nabízí program ESRI ArcGIS Desktop. Díky zpracovaným mapám je možné vyhodnotit změnu akumulačního prostoru vlivem zanášení nádrži Švýcar, která leží na Jevanském potoce a je součástí Jevanské rybniční soustavy v Kostelci nad Černými lesy.

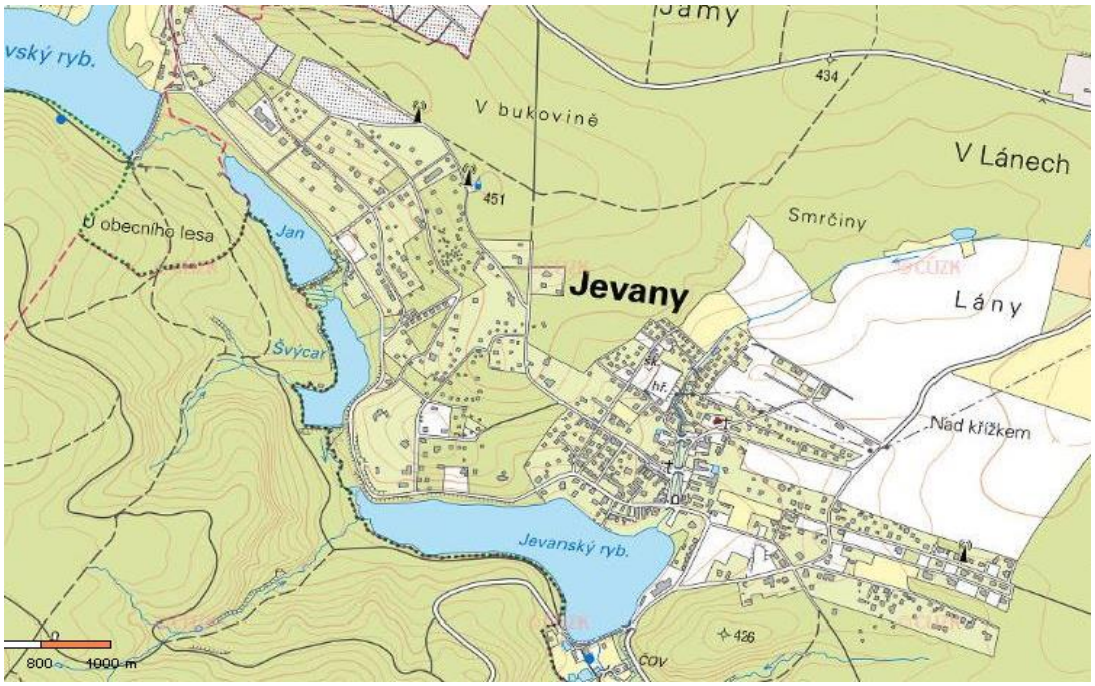
4.1 Popis zájmového území

Soustava rybníků na Jevanském potoce, konkrétně malá vodní nádrž Švýcar

Rybník Švýcar, který leží na Jevanském potoku v obci Jevany ve Středočeském kraji, je pod správou České zemědělské univerzity v Praze a Školního lesního podniku v Kostelci nad Černými lesy. Jedná se o průtočný rybník, který se nachází mimo zastavěné území obce. Vodní dílo Švýcar svým retenčním účinkem neovlivňuje povodňové přítoky. (Čašek, 2014)

První zmínky o rybnících v této oblasti jsou datovány do roku 1445, avšak celá soustava byla vybudována mezi 16. - 17. stoletím. (Hlavatý, 2020) Soustava slouží především k chovu ryb, a to především kaprovitých, ale nalezneme zde i jiné doplňkové druhy jako jsou štiky nebo sumci. V létě lze rybníky využít například ke koupání. Okolní krajina je především zalesněná. (Česká zemědělská univerzita, 2019)

Soustava zahrnuje celkem deset rybníků. Konkrétně to jsou rybníky Požár, Louňovický, Pařez, Vyžlovský, Nohavička, Ján, Švýcar, Jevanský, Pilský a Šáchovec. (Oficiální stránky Obce Jevany, 2020)



Obr. 3: Soustava rybníků na Jevanském potoce *(URL 3)*

Obr. 4: Poloha nádrže Švýcar v České republice *(URL 4)*

Obr. 5: Pohled na korunu hráze nádrže Švýcar

4.1.1 Manipulace za povodní

V případě stoupání vody až po korunu hráze může dojít k přelití vody přes její korunu, a tím hrozí její poškození. Za povodňových průtoků je nutno manipulovat s hladinou tak, aby bylo dosaženo maximálního využití ochranného prostoru. Proto při manipulaci s vodou nesmí dojít k ohrožení bezpečnosti vodního díla, které může být způsobeno především nesprávnou manipulací s technologickým zařízením a dále potom zvětšováním zásobního prostoru na úkor ochranného prostoru. (Čašek, 2014)

4.1.2 Základní technické údaje

Jevanská soustava rybníků spadá pod katastrální úřad v Jevanech. Vodní nádrž Švýcar byla vystavěna za účelem akumulace a vzdouvání povrchových vod pro chov ryb. Pro tuto nádrž byla zvolena hráz čelní, zemní (homogenní). Plocha povodí je 42 202 m^2. Délka koruny hráze je zhruba 140 m. Jedná se o kategorii vodního díla IV. (Čašek, 2014)

4.1.3 Hydrologické údaje vodního toku

Hydrologické číslo povodí: číslo hydrologického pořadí: 1-09-03-106

Plocha povodí po profil pod hrází rybníka: 14,2 km^2

Napájení: rybník je průtočný

Tok (Zdroj vody): Jevanský potok

Hladina normálního nadržení: 392,30 m n. m.

Roční úhrn výparu: 750 mm

Roční výpar: 24 368 m^3

Minimální zůstatkový průtok Q_{MZ}: Q_{330d}= 15,2 l/s

Průměrný dlouhodobý roční průtok (Q_a) v l/s- 65,2

(Časek 2014)

N – leté průtoky (Qm) v l/s	
Q100	18,2
Q50	15
Q20	12,6
Q50	10,6
Q10	8,2
Q5	5,8
Q2	4
M – denní průtoky (Qm) v l/s	
Q30d	149,9
Q270d	23,1
Q330d	15,2
Q335d	8,7

Tabulka 1: N-leté a m-denní průtoky (Manipulační a provozní řád Rybníka Švýcar; Časek, 2014)

Výškové parametry m n. m.	
Kóta koruny hráze v niveletě (min.)	393,50 m n. m
Kóta maximální hladiny	393,00 m n. m
Kóta provozní hladiny	392,30 m n. m
Kóta nejnižšího místa zátopy	390,10 m n. m
Plochy a objemy (m^2 a m^3)	
Plocha zátopy při prov. hladině	32 500 m^2
Objem vody při prov. hladině	28 843 m^3
Plocha zátopy při max. hladině	43 400 m^2
Objem vody při max. hladině	65 504 m^3
Objem vody neovl. retenčního prostoru	26 661 m^3
Výšky a sklony (m)	
Minimální převýšení hráze nad normálem	1,2 m
Výška vodního sloupce	2,2 m
Šířka koruny hráze	4,3- 5,0 m, zatravněná
Délka hráze	cca 140 m
Sklon návodního svahu	1:1,4, zatravněný
Sklon vzdušného svahu hráze	1 : 2- 1: 2,5, opevněn travou a náletem
Typ hráze	čelní, zemní (homogenní)
Výpustné zařízení	
Manipulační objekt	ocelový, šoupátkový uzávěr
Uzávěr	lopata
Potrubí	ocel DN 700 mm - délky 20,0 m
Spád potrubí	7,20 %
Bezpečností přepad	
Typ	čelní
Délka přepadové hrany	6,40 m
Kóta přepadové hrany	392, 3 m n.m.
Kapacita přepadu při H max	6,64 $m^3 s^{-1}$
Max. kapacita přelivu (po korunu hráze)	15,5 $m^3 s^{-1}$

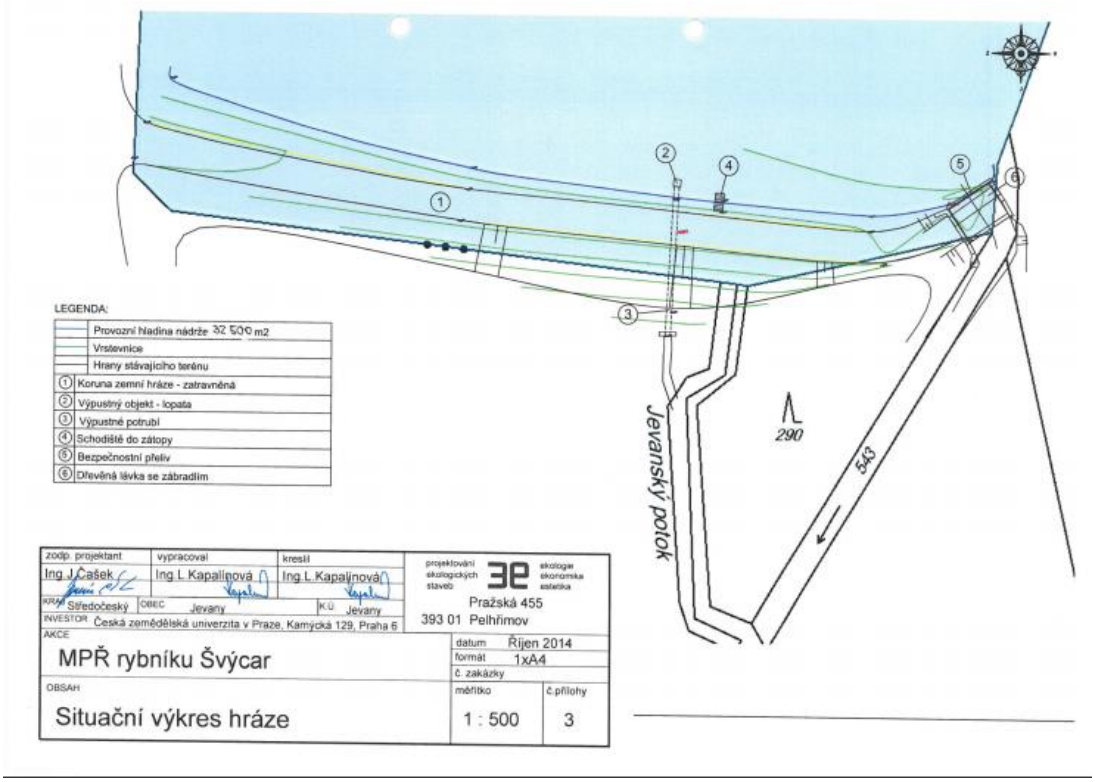
Tabulka 2: Základní popis vodního díla (Manipulační a provozní řád Rybníka Švýcar; Čašek, 2014)

4.1.4 Charakteristické čáry nádrže Švýcar

Charakteristické čáry nádrže byly získány z tachymetrického plánu v měřítku 1:500 s výškovou odlehlostí vrstevnic 0,5 metru.

4.1.5 Hráz

Jako základ pro násyp hráze rybníka Švýcar byl použit materiál z místních zdrojů. Návodní strana je lokálně zpevněna betonovými panely, zbytek ploch je zatravněný. Jedná se o sypanou homogenní hráz čelní s bočním zavázáním na pravém břehu. (Čašek, 2014)



Obr. 6: Manipulační a provozní řád Rybníka Švýcar (Čašek, 2014)

Prostor	Kóta m. n. m.
Šířka koruny	4,3- 5,0 m
Sklon svahu – návodní	01:01,4
Sklon svahu – vzdušný	1:2-1:2,5
Kóta koruny hráze	cca 140 m
Minimální převýšení koruny hráze nad normálem	1,2 m

Tabulka 3: Základní údaje hráze (Manipulační a provozní řád Rybníka Švýcar; Čašek, 2014)

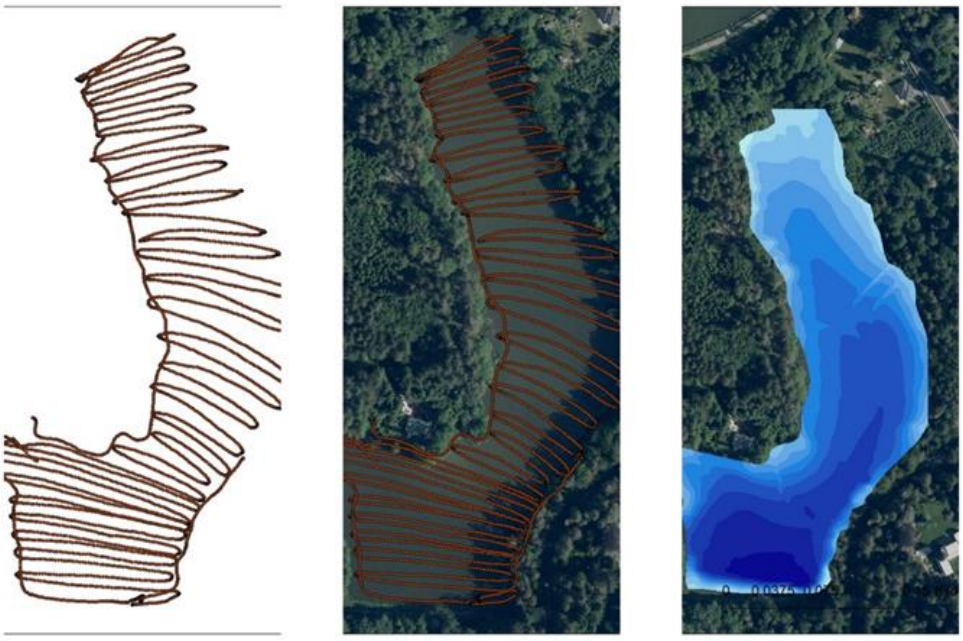
Prostor	Kóta m. n. m.	Objem v m³	Plocha m²
Dno	390,1	0	0
Zásobní	392,3	38 843	32 500
Retenční po Q2	393	26 661	43 400
Celkem po korunu	393,5	88 705	49 400

Tabulka 4: Rozčlenění prostoru hráze (Manipulační a provozní řád Rybníka Švýcar; Čašek, 2014)

4.2 Měření dat

Měření dat proběhlo v roce 2017 pomocí přístroje RiverSurveyor M9. Přístroj byl připevněn na speciálně upravené kánoi. Data byla získána pomocí měření s pravidelnými odhady. Tato data nebyla předem vytyčena, ale rozestupy byly odhadnuty. Popis metody měření přístrojem RiverSurveyor M9 je popsán v literární rešerši na straně 13.

4.3 Příprava dat



Obr. 7: Postup zpracování dat v programu ArcGIS

4.3.1 ArcGIS

Veškerá naměřená data jsou zpracovávaná v americkém softwaru ArcGIS, který byl vytvořen firmou ESRI. Díky tomuto programu můžeme spravovat, analyzovat a vytvářet vizualizace dat. (VŠB – TU, Institut geoinformatiky, 2009) Výsledkem tohoto programu nemusí být pouze mapa jako taková, ale i interaktivní aplikace či report. Mimo jiné obsahuje i databáze nebo mapy, které jsou formou Open Data přístupné i veřejnosti. (ARCDATA Praha, s. r. o., 2020)

Hlavním dodavatelem pro Českou republiku je firma ARCDATA.

4.3.2 Metoda přirozeného souseda

Metoda Natural Neighbor je jednodušší metoda, kterou lze interpolovat bodová data v programu ArcGIS. Je velmi podobná metodě IDW, a to proto, že jde o vážený průměr hodnot sledované veličiny v okolních bodech. (Sibson, 1981)

Jak napovídá sám název, metoda přirozeného souseda odhaduje data podle nejbližšího naměřeného bodu. Proto je efektivní pouze v momentě, kdy tyto naměřené hodnoty jsou uspořádány pravidelně a blízko sobě. Zkoumané území je nejprve rozděleno do nepravidelných trojúhelníků a poté jsou z nich vytvářeny Thiessenovy polygony. (Burian, 2008)

4.3.3 Topo to Raster

Druhou metodou, kterou budeme analyzovat data v programu ArcGIS, je nástroj Topo to Raster. Tato metoda je určena pro vytváření hydrologicky korektního modelu terénu a umožňuje modelovat náhlé změny v reliéfu terénu. (Burian, 2008)

4.4 Zpracování dat

Data jsou zpracovávána v programu ArcGIS 10.6.1, ve studentské verzi softwaru. V první řadě bylo potřeba vložit naměřená data pomocí tlačítka Add data. Dále je nutné si zvolit vybranou interpolační metodu, v našem případě Topo to Raster nebo metodu Natural Neighbor.

4.4.1 Použití metody Natural Neighbor.

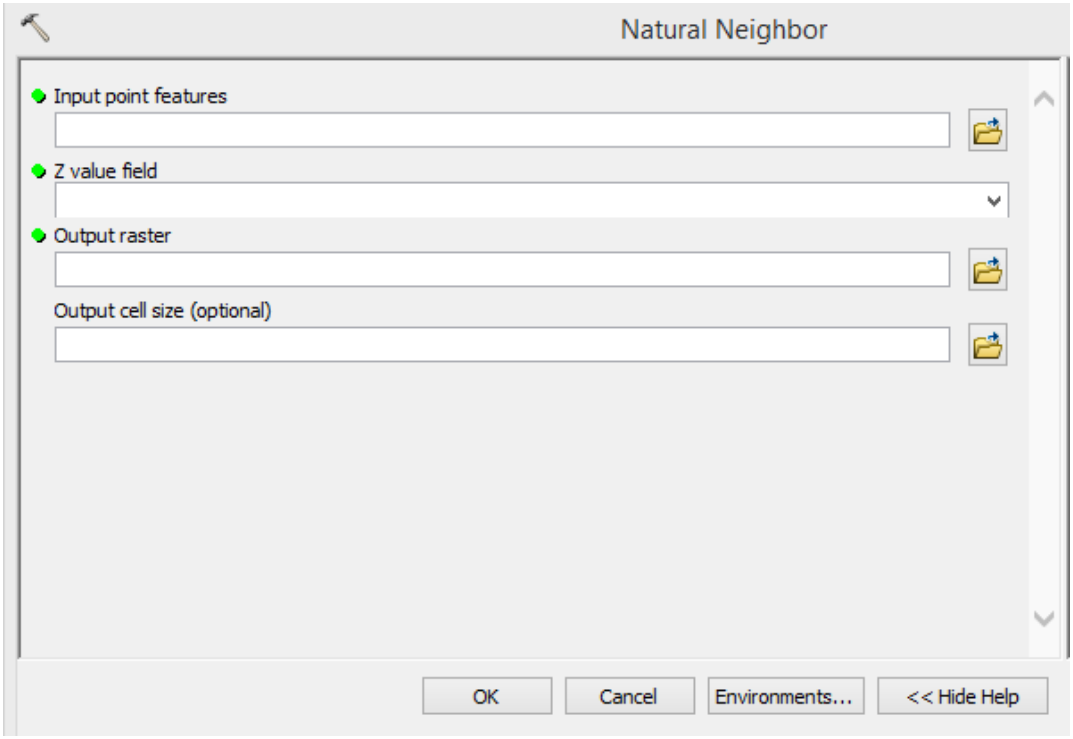
Po zvolení metody je potřeba nastavit výchozí data:

1. Input point features: Je nutné vybrat naměřená data z výběru. Jedná se o hodnoty Z, které mají být interpolovány do povrchového Rasteru.

2. Z – Value field: Zde můžeme zvolit hloubku, jako v našem případě, nebo nadmořskou výšku.

3. Output Raster: Zvolené úložiště interpolovaného povrchového rastru.

4. Output cell size: Explicitní nastavení velikosti buňky, ve které bude vytvořen výstupní rastr. Zde byla zvolena velikost 0,5 metru.



Obr. 8: Postup zpracování dat v programu ArcGIS pomocí metody Natural Neighbor

4.4.2 Použití metody Topo to Raster

1. Input features data: Je nutné vložit vstupní prvky obsahující souřadnici Z, které mají být interpolovány do povrchového rastru.

2. Field: Zvolíme pole, ve kterém jsou uloženy atributy, konkrétně hloubky.

3. Type: Typ datového souboru vstupních funkcí.

4. Contour: Liniová vrstva, kde jsou zapsány výšky vrstevnic v atributech. Pole ukládá výšky vrstevnic.

5. *Stream:* Vodní toky; linie orientovaná po proudu, kdy je každý tok zastoupen jednou linií.

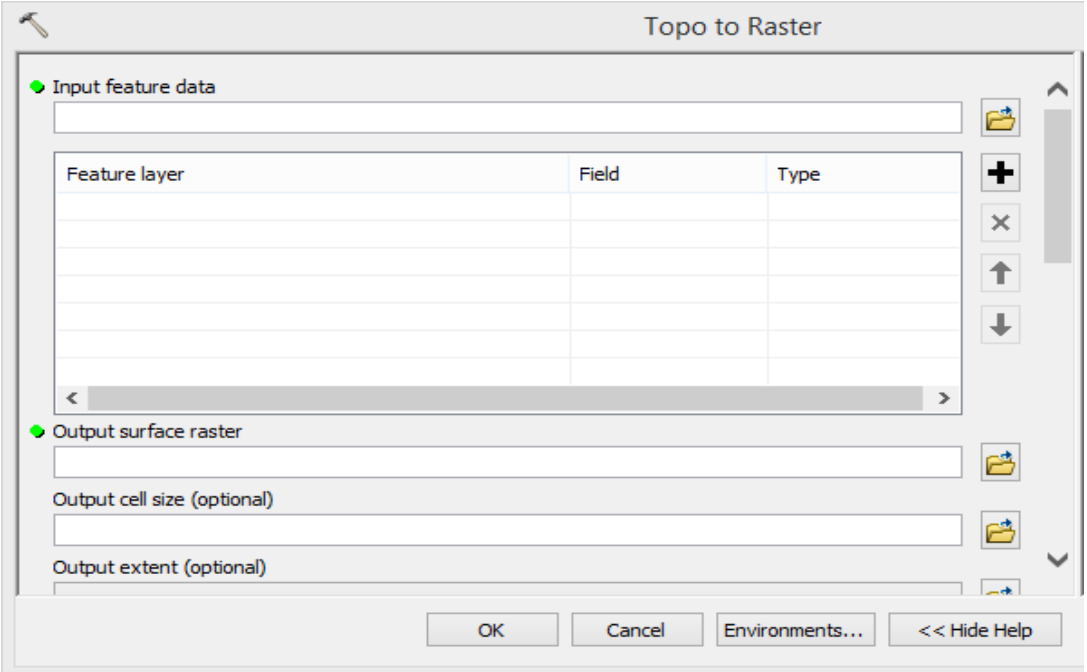
6. *Sink*: Deprese, buňky ukazující topografický pokles. Třída liniových prvků umístěných proudů

7. *Boundary*: Hranice, třída prvků obsahující mnohouhelník (polygon), který představuje vnější hranice výstupního rastru. Buňky ležící mimo hranice budou mít vždy hodnotu NoData.

8. *Lake*: Jezera, polygonová vrstva. Buňky budou uvnitř jezera. Budou mít hodnotu minimální výšky na břehu jezera.

9. Output surface Raster: Zvolené úložiště interpolovaného povrchového rastru.

10. Output cell size: Explicitní nastavení velikosti buňky, ve které bude vytvořen výstupní rastr. Zde byla zvolena velikost 0,5 metru.

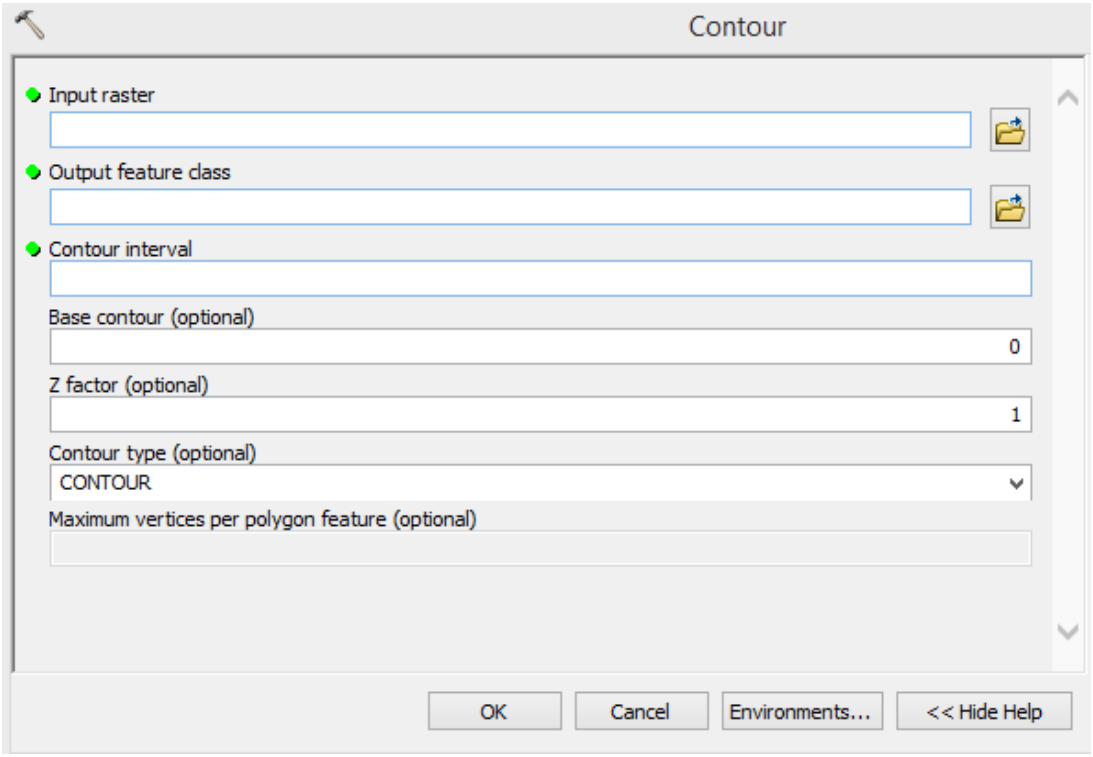


Obr. 9: Postup zpracování dat v programu ArcGIS pomocí metody Topo to Raster

Poté je nutné pomocí břehové linie oříznout výsledná data. Břehová linie je ve formátu polygonu – hranice břehové linie včetně vnitřních výplní. Poté si zvolíme místo, kam výsledek uložíme. K oříznutí používáme funkci Extract by Mask. Jako Input Raster data zvolíme data, která jsou naměřená na malé vodní nádrži. Naopak Input Raster or feature mask data, zde potom volíme polygon břehové linie. Output Raster zvolíme místo, kam výsledek uložíme.

Pro každou z metod jsme pomocí naměřených dat vypočetli plochy a objemy na základě různých hladin vody.

Pro obě metody použijeme funkci Contour. Jako Input Raster zvolíme příslušné rastry hloubek z příslušné interpolace. Output feature class potom budou výsledná data. Jednotku pro Contour interval jsme nastavili 0,10 metrů. Base contour zvolíme 0 - žádná voda v nádrži, jako Z faktor 1 - defaultní hodnota. Contour type nastavíme pro výpočet plochy funkci SHELL a pro výpočet objemu funkci POLYGON. U ploch se vytvoří soustředěné polygony dle příslušných hloubek. U objemů se vytvoří také polygony, které ale nebudou plné, půjde jen o prstence s vyřízlými vnitřními polygony, které daný polygon obklopují.



Obr. 10: Funkce Contour v programu ArcGIS

Pro výpočet ploch do vzniklé atributové tabulky přidáme sloupec s názvem plochy. Ty potom spočítáme pomocí Calculate geometry.

Pro výpočet objemů bude dalším krokem funkce Zonal statistics as table, kde si nastavíme předchozí vrstevnice, výsledkem zde bude tabulka.

Pomocí tlačítka SUM můžeme vypočíst sumy všech hloubek pro každý prstencový polygon vymezený příslušným intervalem dvou sousedních vrstevnic. Objem se vypočte jako součin hloubky a plochy, v našem případě součin sumy hloubek v příslušném polygonu a jeho plochy – takže v tabulce vzniklé funkcí Zonal Statistics as Table přidáme nový sloupec, Name: Objem, Type: Float, do dolního okna je nutné napsat vzorec [SUM] * 0.25.

Pomocí okna ArcCatalog je nutné vybrat WMS prohlížecí služby, potom je možné jako podklad přidat například Ortofoto. Pro ortofoto mapu je zdrojem zeměměřický a katastrální úřad, konkrétně odkaz http://geoportal.cuzk.cz/WMS_ORTOFOTO_PUB/WMService.aspx.

Dále se upraví vizualizace map, je možné přidat měřítko nebo směrovku.

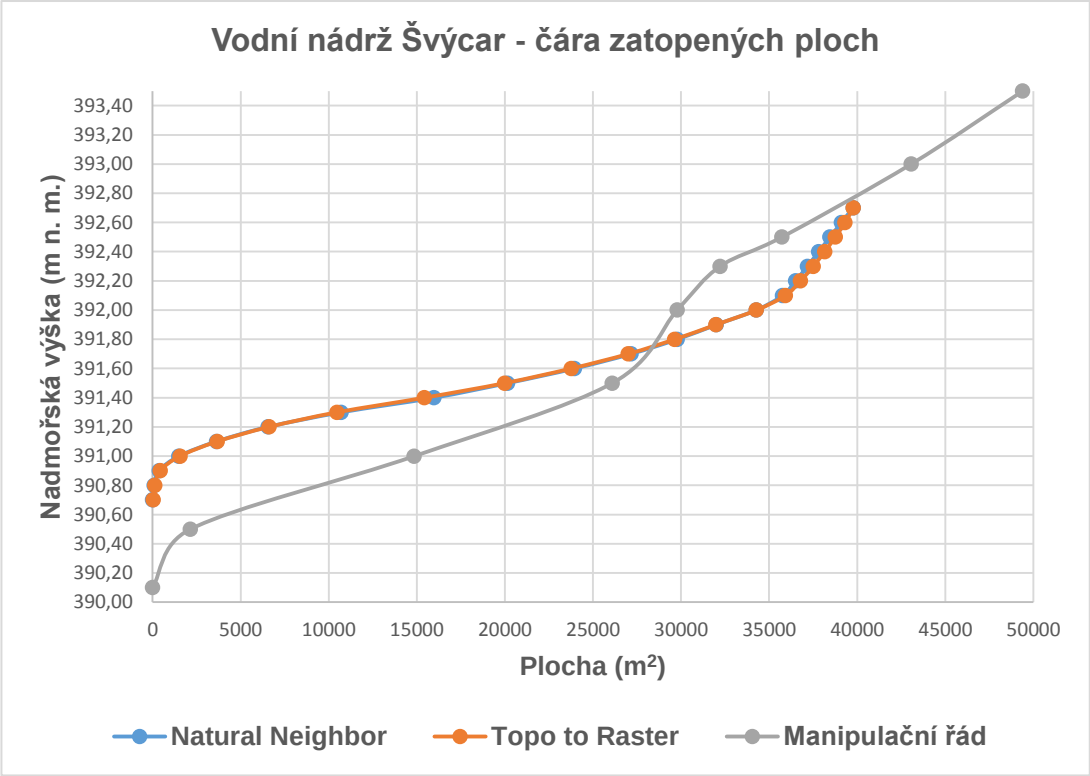
5 Výsledky

5.1 Prezentace naměřených dat

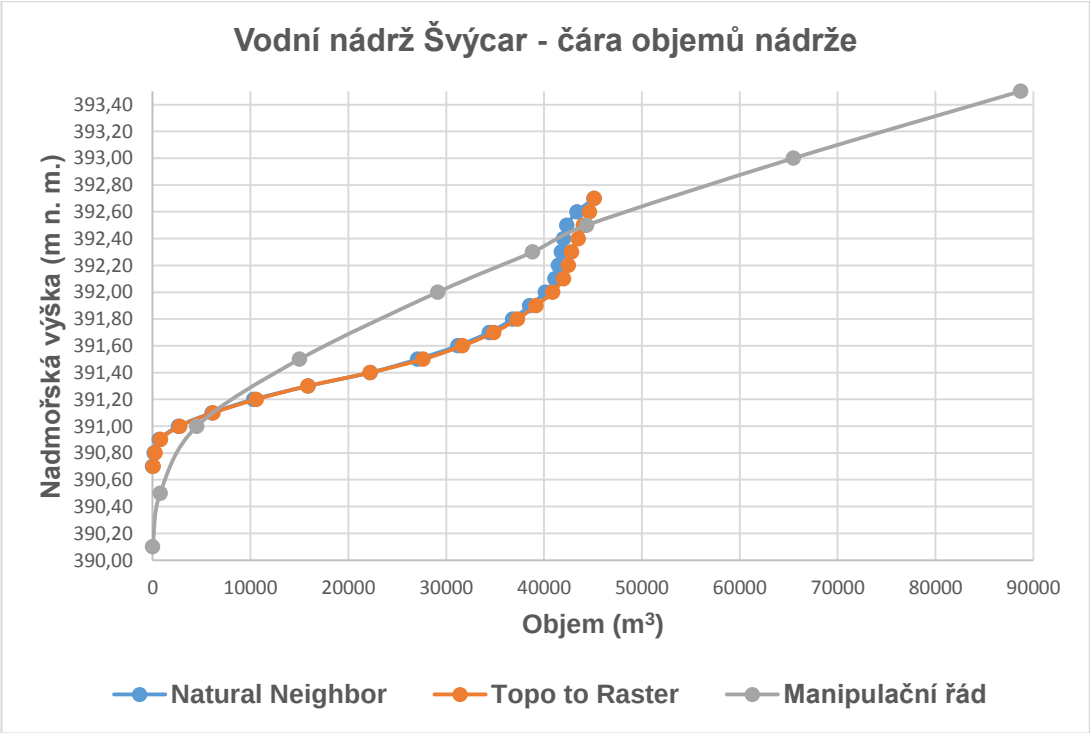
Pro zpracování dat jsme zvolili dvě metody, Topo to Raster a Natural Neighbor. Zpracována jsou data z roku 2017, která jsou porovnána s daty z manipulačního řádu z roku 2014, získaného z pracoviště Školního lesního podniku v Kostelci nad Černými lesy, kam nádrž Švýcar spadá. Námi naměřená data byla zpracována velmi podrobně, o tom svědčí i počet naměřených bodů hloubek. Konkrétně se jedná o 4286 bodů.

Největší naměřená hloubka se nachází u hráze. Ze zpracovaných dat lze vyčíst, že hloubka stoupá rovnoměrně od vtoku Jevanského potoka do nádrže k výpustnímu zařízení. Jak je zřejmé z obrázku číslo 6 a 7, na dně nádrže je jasně patrná údolnice (pomyslné koryto Jevanského potoka) vedoucí od vtoku Jevanského potoka do nádrže, kde je nejnižší hloubka 0,23 m, a končí u výpustného zařízení u hráze, kde jsou hloubky největší, a to konkrétně 2,01 m. Zhruba v polovině nádrže dosahuje hloubka při údolnici přibližně poloviny maximální hloubky v nádrži. Sklon údolnice je přibližně rovnoměrný.

Nejnižší bod dna je v nadmořské výšce 390,7 m n. m. a hladiny 392,70 m n. m.



Obr. 11: Vodní nádrž Švýcar – čára zatopených ploch



Obr. 12: Vodní nádrž Švýcar – čára objemů nádrže

Pro porovnání dat jsme použili naměřená data z manipulačního řádu z roku 2014 a námi naměřená data z roku 2017, která byla zpracována dvěma metodami. Topo to Raster a Natural Neighbor. Pro vizuální porovnání jsme data zpracovali do dvou grafů, a to pro plochy a objemy při dané nadmořské výšce. Z dat lze poté vyčíst hned několik zajímavostí.

Podrobnější znázornění grafů lze dohledat v příloze číslo 7 a 8.

5.2 Srovnání výstupů aplikovaných interpolačních metod

Po srovnání výstupů aplikovaných interpolačních metod z hlediska závislosti rozloh vodní plochy na výšce vodní hladiny dle obrázku 11 s čárami ploch je zřejmé, že obě metody prostorové interpolace vstupních bodových dat naměřených hloubek podávají velmi podobné, místy až shodné výsledky.

Pro výšky hladiny od 390,7 m n. m. do 391,2 m n.m. jsou výsledky z obou metod totožné. Od výšky 391,8 m n. m. metoda Natural Neighbor oproti metodě Topo to Raster plochy lehce nadhodnocuje, ale jedná se řádově pouze o desítky m^2, poté až k naměřené hladině naopak výsledné plochy velmi mírně nadhodnocuje metoda Topo to Raster. Plocha nádrže v době měření byla téměř 4000 m^2.

Na základě srovnání z hlediska objemů lze konstatovat, že pro hladiny od nadmořských výšek 390,70 m n. m. do 391,40 m n. m., poskytují obě aplikované interpolační metody téměř shodné výsledky. Pro vyšší hladiny jsou objemy lehce nadhodnocovány metodou Topo to Raster, stejně jako v případě ploch. Konkrétní hodnoty ploch i objemů jsou patrné z tabulek v příloze 2 a 3. Objem v době měření vody v nádrži byl 45 000 m^3.

5.3 Srovnání výstupů odvozených na základě měření s manipulačním řádem

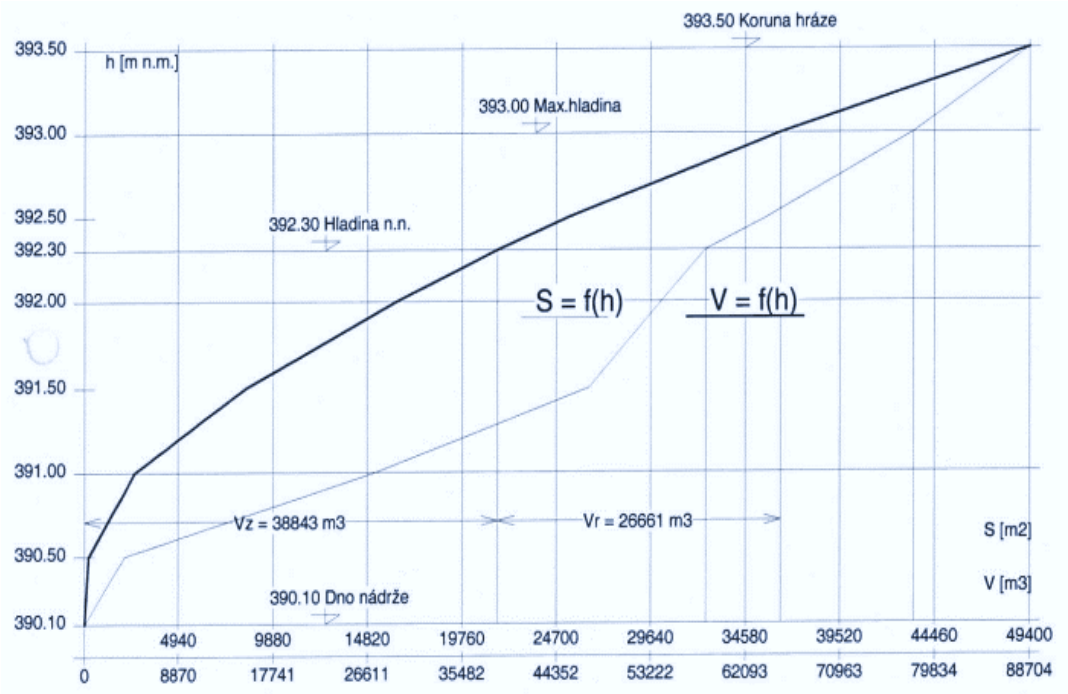
Z grafů, které nalezneme v příloze číslo 7 a 8, lze vyčíst hlavní rozdíl v nejnižším naměřeném bodě dna nádrže, jehož nadmořská výška se liší o 0,5 m. Přesné umístění nejhlubšího místa dle manipulačního řádu nelze určit, neboť manipulační řád neobsahuje prostorovou mapu rozložení hloubek.

Nejnižší bod se dle manipulačního řádu nachází v 390,10 m n. m., oproti tomu nejnižší bod v době měření se nacházel v 390,70 m n.m. Dále lze odvodit, že

do 371,75 m n.m. jsou plochy nádrže značně nadhodnoceny vůči provedenému měření, oproti tomu od výšky hladiny 371,75 m. n.m. nadhodnocují data námi provedená měření. Pro úroveň vodní hladiny ve výšce 392,70 m n. m., což byl vodní stav v době měření, jsou plochy i objemy dle měření srovnatelné s údaji v manipulačním řádě.

U objemů je to analogické v nadmořské výšce 391,10 m n.m.

5.4 Charakteristické čáry nádrže podle manipulačního řádu



Obr. 13: Charakteristické čáry nádrže (Manipulační a provozní řád Rybníka Švýcar; Čašek, 2014)

Charakteristické čáry nádrže byly získány z tachymetrického plánu v měřítku 1:500 s výškovou odlehlostí vrstevnic 0,5 metrů.

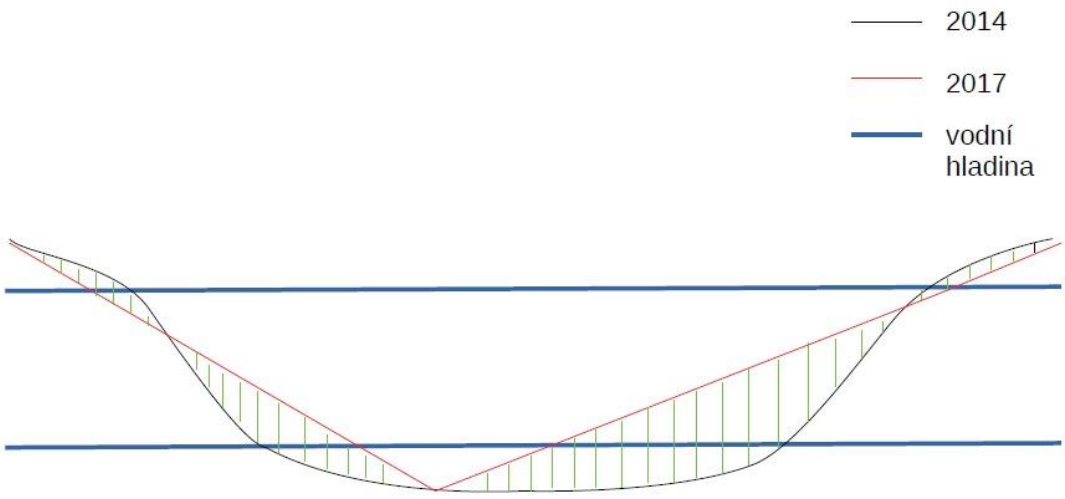
6 Diskuze

V případě srovnání obou použitých interpolačních metod můžeme konstatovat, že obě metody podávají velmi srovnatelné výstupy pro tvorbu charakteristických čar námi zvolené vodní nádrže. Na základě těchto čar nelze rozhodnout, jaká metoda je pro zpracování dat vhodnější. Zatímco metoda Natural Neighbor je jedna z nejjednodušších, metodu Topo to Raster můžeme popsat jako velmi robustní a komplexní. Tato metoda také zahrnuje daleko více parametrů, a i proto bývá velmi často využívaná hydrology pro potřeby získání hydrologicky korektního digitálního modelu terénu. Z toho můžeme usuzovat, že metoda Topo to Raster by měla poskytovat přesnější výsledky.

Avšak při vzájemném srovnání přílohy číslo 5 a přílohy číslo 6 lze pozorovat u bathymetrické mapy dna vytvořené metodou Topo to Raster malé, ale nerealisticky vypadající zářezy. Tato metoda je založena na Splinových funkcích, které bývají citlivé na strukturu vstupních dat, zatímco metoda Natural Neighbor je v tomto ohledu univerzálnější. Proto je zde metoda Natural Neighbor vhodnější než metoda Topo to Raster.

Při porovnání bathymetrického měření z roku 2017 s manipulačním řádem, který vychází z dat z roku 2014, můžeme sledovat hned několik změn vodní plochy. Z obrázku číslo 14, kde je naznačen příčný řez nádrže, je patrné, že ve vyšší nadmořské výšce byl břeh původně položen výše, což naznačuje černá čára. Zároveň nejníže položená část dna je umístěna hlouběji, než je tomu u červeného příčného řezu, který znázorňuje modelaci s daty z roku 2017. Tyto změny můžeme přisuzovat probíhající břehové abrazi, kdy dochází k přesunu dnového materiálu z vyšších partií směrem ke dnu. Důsledkem toho je zanášení vodní nádrže, což právě naznačuje červená čára dna. Břehovou abrazí se upravila nejenom plocha, ale i objem vodní hladiny. Spodní znázorněná hladina je příklad zanesení (2017), kdy je patrný menší objem i plocha nádrže než v případě odbahnění (2014). V případě horní hladiny je tomu naopak. V roce 2014 je patrný menší objem i plocha nádrže než v roce 2017.

Naším předpokladem ale je, že námi naměřená data jsou dalekou přesnější, protože dno bylo zaměřenou hustou sítí bodů, zatímco podkladem pro charakteristické čáry dle manipulačního řádu byla jen vrstevnicová mapa v měřítku 1:500, vzniklá tachymetricky.



Obr. 14: Grafické znázornění vývoje vodního díla Švýcar

7 Závěr a přínos práce

Hlavní podstatou práce bylo porovnání naměřených dat s manipulačním a provozním řádem Rybníka Švýcar z roku 2014. Zaměření dat proběhlo v roce 2017. Data byla změřena pomocí speciálního kajaku a pomocí systému RiverSurveyor.

V rámci porovnání byla data zpracována 2 různými interpolačními metodami, a to konkrétně Natural Neighbor a Topo to Raster, jejichž výsledky byly porovnány právě s již zmiňovaným manipulačním řádem. Je zcela patrné, že data z roku 2017 jsou přesnější než data z roku 2014, což dokazuje i počet zaměřených bodů, a to více než 40 000.

Díky naměřeným hodnotám jsme mohli porovnat i objemy a plochy a to, jak se postupem času vyvíjely jejich hodnoty. Zatímco výsledky obou interpolačních metod jsou téměř shodné, značně se rozcházejí právě s manipulačním řádem. Do naměřené výšky 391,8 m n.m. se obě interpolační metody shodují, poté metoda Natural Neighbor výsledky lehce nadhodnocuje, a to o několik desítek m^2. Avšak srovnání těchto metod s manipulačním řádem poukazuje na to, že do výšky 391,70 m n.m. interpolační metody výsledky značně nadhodnocují, od 391,70 m n.m. je daný jev zcela opačný.

Z porovnání naměřených hodnot lze usuzovat, že na vodním díle Švýcar došlo během tří let k zanášení sedimenty a probíhá zde břehová abraze. To dokazují i rozdílné nadmořské výšky v porovnání naměřených dat s manipulačním řádem. Konkrétně se jedná o 0,50 metru. Poměrně velké rozdíly mezi daty z roku 2014 a 2017 lze vysvětlit právě již zmiňovanou břehovou abrazí.

Přínosem práce je především nové zmapování hydrologického průzkumu a určení nových, přesnějších charakteristických čar. Díky rychlé a relativně přesné obnově bathymetrických dat můžeme lépe odhadovat prognózy trendu zanášení nádrže, a tak navrhovat včasná a správná ochranná řešení. To je důležité především proto, že dle Bella (1998) se zanášením zvyšuje rychlost průtoku, mění se teplota a také se snižuje kvalita vody v nádrži. Pro předcházení těmto jevům je nutné odstraňovat sedimenty v pravidelných intervalech.

8 Přehled literatury a použitých zdrojů

- ARCDATA PRAHA, ©2020: Aplikace ArcGIS (online) [cit. 2020.05.03.], dostupné z <https://www.arcdata.cz/produkty/arcgis/aplikace-arcgis#teren>.

- Bell, F. G., 1998: Environmental geology: Principles and Practice, Wiley, Malden, ISBN 0865428751.

- Blažek V., 2006: Voda v České republice. Consult, Praha, ISBN 80-903482-1-1.

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

- Broža V., 2005: Vodohospodářské stavby. Vydavatelství ČVUT, Praha, ISBN 80-01-03175-6.

- Broža V., Čihák F., Satrapa L., 1998: Hydrotechnické stavby. Český svaz stavebních inženýrů, Praha.

- Čašek J., 2014: Manipulační a provozní řád Rybníka Švýcar. 3e – projektování ekologických staveb s. r. o., Pelhřimov.

- Česká zemědělská univerzita v Praze, ©2019: Lesní správa, myslivost a rybářství (online) [cit. 2020.04.28.], dostupné z <https://slp.czu.cz/cs/r-11201-strediska/r-11354-lesni-sprava-myslivost-a-rybarstvi>.

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

- Fiala J., Kaura J., Sádlo J.,1980: Stavby vodní a meliorační pro 4. ročník SPŠ stavebních. Nakladatelství techn. lit, Praha.

- Francek J., Kloub J., 1957: Zemní hráze vodních nádrží. Ústav pro technické a ekonomické informace, Praha.

- GEOPEN, s. r. o., ©2020: Totální stanice (online) [cit. 2020.01.08.], dostupné z <https://www.merim.cz/mereni-vzdalenosti/totalni-stanice>.

- Hák Z., 1997: Technické zajímavosti našich vodních nádrží a říčních cest. Zdeněk Hák, Česká republika.

- Hengl T., 2007: A Practical Guide to Geostatistical Mapping of Environmental Variables. Office for Official Publications of the European Communities, Lucemburk.

- Hlavatý J., 2020: Proměny Penčického údolí (online) [cit.2020.04.28.], dostupné z < https://pencice.estranky.cz/clanky/cernokostelecko.html>.

- Childs C., 2004: Interpolating in ArcGIS Spatial Analyst. ESRI Education Service 3, S. 32-35.

- Johnston K., Ver Hoef J. M., Krivoruchko K., Lucas N., 2001: Using ArcGIS Geostatistical Analyst. ESRI. Redlands,

- Just T., Moravec P., Stodola J., 2020: Doporučení k projektům malých vodních nádrží (online) [cit. 2020.05.11.], dostupné z <http://strednicechy.ochranaprirody.cz/pece-o-vodni-rezim-krajiny/male-vodni-nadrze>.

- Kubinský D., Fuksa J., Weis K., Lehotský M., 2013: Zmeny akumulačného objemu vodných nádrží Veľká Richňavská a Malá Richňavská. Acta Hydrologica Slovaca, S. 402–413.

- Li Z., 2005: Digital Terrain Modeling: Principles and Methodology. CRC Press, New York, ISBN 0-415-32462-9.

- Marval Š., Hejduk T., Dušková K., Tomek M., Vybíral T., Roub R., Velísková Y., Sočuvka V., Dušek P., Hlaváček J., 2018: Batymetrické měření pro stanovení morfologie dna vodní nádrže (online) [cit. 2020.05.03], dostupné z <https://www.vtei.cz/2018/12/batymetricke-mereni-pro-stanoveni-morfologie-dna-vodni-nadrze>.

- Milerski R., Mičín J., Veselý J., 2005: Vodohospodářské stavby. Akademické nakladatelství CERM, Brno, ISBN 80-325-2896-1.

- Novák P., Reil A., Roub R., Vybíral T., 2015: Nové technologie batymetrie vodních toků a nádrží. Vodní hospodářství, S. 1-5.

- Novák P., Roub R., Vybíral T., Hlaváček J., Marval Š., Hejduk T., Bureš L., Hradilek V., Máca P., Maxová J., Ptáčníková L., Čuba P., Vacek M., 2017: Nové technologie batymetrie vodních toků a nádrží pro stanovení jejich zásobních kapacit a sledování množství a dynamiky sedimentů. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., Praha, ISBN 978-80-87361-81-8

- Obec Jevany, ©2020: Blízké okolí (online) [cit. 2020.05.16.], dostupné z <https://www.obecjevany.cz/obec-1/informace-o-obci/blizke-okoli>.

- Oršulák T., Pacina J., 2012: Centrum pro virtuální realitu a modelování krajiny. Centrum digitálních služeb MINO, Ústí nad Labem.

- Pavlica J., 1964: Malé vodní nádrže a rybníky. Státní nakladatelství technické literatury, Praha.

- Procházka P., ©2012: Ortogonální metoda (online) [cit. 2019.12.17.], dostupné z <https://www.ssstavji.cz/assets/File.ashx?id_org=400032&id_dokumenty=3952>.

- Sibson, R., 1984: A Brief Description of Natural Neighbor Interpolation. In Barnet, V. (Ed.) Interpreting Multivariate Data. Chicester: John Wiley & Sons, 1981. S. 21–36.

- SonTek, ©2018: RiverSurveyor vs HydroSurveyor: What´s the Difference? (online) [cit. 2019.12.15.], dostupné z <https://www.sontek.com/RiverSurveyor-vs-HydroSurveyor-whats-difference>.

- SonTek, ©2016 HydroSurveyor (online) [cit. 2019.12.15.], dostupné z <https://www.sontek.com/HydroSurveyor>.

- Šálek J., Mika Z., Tresová A., 1989: Rybníky a účelové nádrže. Státní nakladatelství technické literatury, Praha, ISBN 80-03-00092-0.

- Šobr M., 2003: Nová bathymetrická měření šumavských jezer. Katedra geografie ZČU v Plzni, Česká republika, ISBN 80-7082-946-X.

- Šobr M., Česák J., 2005: Metody batymetrického mapování českých jezer. Geografie – Sborník České geografické společnosti, Praha.

- Šobr M., Jánský B., Kocum J., Česák J., 2005: Nová batymetrická mapování glaciálních jezer na české straně Šumavy. Geografie – Sborník České geografické společnosti, Praha.

- Vrána K., Beran J., 2013: Rybníky a účelové nádrže. České vysoké učení technické, Praha, ISBN 978-80-01-04002-7.

- Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, ©2015: Prostorová analýza nezaměstnanosti (online) [cit. 2020.04.29.], dostupné z <http://gisak.vsb.cz/pan/cz/up_zakladni_informace.php>.

Seznam URL

- URL 1: <https://oceanexplorer.noaa.gov/> [cit. 2020.03.21]

- URL 2: <https://www.sontek.com/> [cit. 2020.03.21]

- URL 3: <http://sgi-nahlizenidokn.cuzk.cz/> [cit. 2020.03.14]

- URL 4: <https://mapy.cz/> [cit. 2020.03.15]

9 Přílohy

Seznam příloh

- Příloha 1: Naměřená data (Manipulační a provozní řád; Čašek, 2014)
- Příloha 2: Data zpracovaná metodou Natural Neighbor
- Příloha 3: Data zpracovaná metodou Topo to Raster
- Příloha 4: Břehová linie
- Příloha 5: Natural Neighbor
- Příloha 6: Topo to Raster
- Příloha 7: Vodní nádrž Švýcar - čára plochy
- Příloha 8: Vodní nádrž Švýcar - čára objemu

Příloha 1: Naměřená data (Manipulační a provozní řád; Čašek, 2014)

MANIPULAČNÍ ŘÁD (2014)			
nadmořská výška (m n. m.)	**hloubka (m)**	**plocha (m^2)**	**objem (m^3)**
392,70	0,00		
392,60	0,10		
392,50	0,20	35 728	44 352
392,40	0,30		
392,30	0,40	32 220	38 843
392,20	0,50		
392,10	0,60		
392,00	0,70	29 785	29 135
391,90	0,80		
391,80	0,90		
391,70	1,00		
391,60	1,10		
391,50	1,20	26 098	15 020
391,40	1,30		
391,30	1,40		
391,20	1,50		
391,10	1,60		
391,00	1,70	14 857	4 532
390,90	1,80		
390,80	1,90		
390,70	2,00		

Příloha 2: Data zpracovaná metodou Natural Neighbor

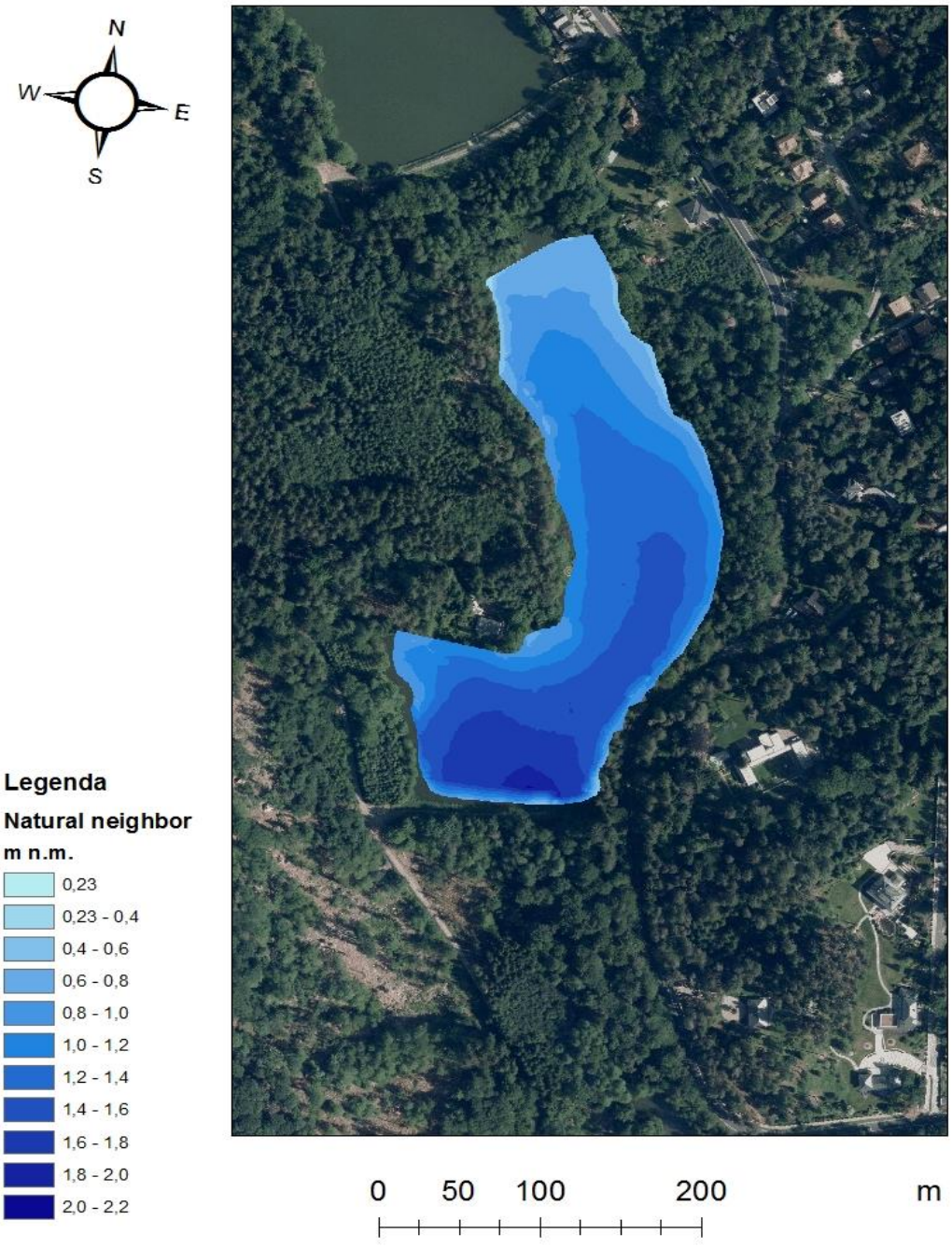
NATURAL NEIGHBOR (2017)			
nadmořská výška (m n. m.)	**hloubka (m)**	**plocha (m^2)**	**objem (m^3)**
392,70	0,00	39 777	45 106
392,60	0,10	39 110	43 372
392,50	0,20	38 461	42 331
392,40	0,30	37 820	41 996
392,30	0,40	37 176	41 782
392,20	0,50	36 506	41 493
392,10	0,60	35 768	41 106
392,00	0,70	34 271	40 153
391,90	0,80	32 003	38 530
391,80	0,90	29 787	36 816
391,70	1,00	27 168	34 415
391,60	1,10	23 958	31 200
391,50	1,20	20 160	27 100
391,40	1,30	15 977	22 242
391,30	1,40	10 710	15 902
391,20	1,50	6 557	10 350
391,10	1,60	3 632	6 078
391,00	1,70	1 499	2 660
390,90	1,80	377	703
390,80	1,90	90	176
390,70	2,00	4	10

Příloha 3: Data zpracovaná metodou Topo to Raster

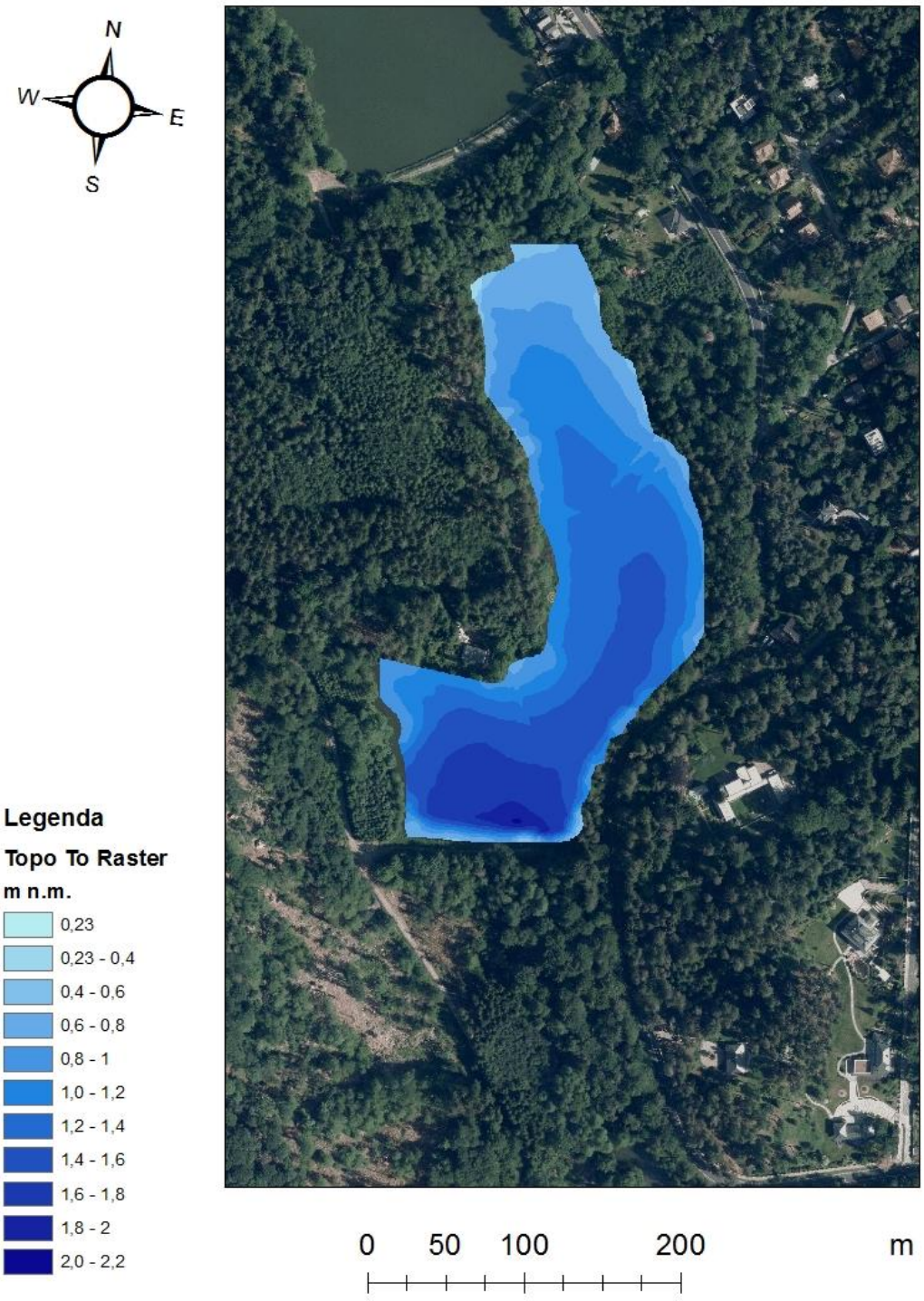
TOPO TO RASTER (2017)			
nadmořská výška (m n. m.)	**hloubka (m)**	**plocha (m^2)**	**objem (m^3)**
392,70	0,00	39 782	45 140
392,60	0,10	39 316	44 643
392,50	0,20	38 757	44 025
392,40	0,30	38 156	43 494
392,30	0,40	37 507	42 813
392,20	0,50	36 783	42 502
392,10	0,60	35 928	41 989
392,00	0,70	34 283	40 902
391,90	0,80	31 983	39 194
391,80	0,90	29 649	37 283
391,70	1,00	27 011	34 884
391,60	1,10	23 770	31 671
391,50	1,20	19 994	27 645
391,40	1,30	15 433	22 239
391,30	1,40	10 468	15 869
391,20	1,50	6 608	10 592
391,10	1,60	3 665	6 187
391,00	1,70	1 556	2 775
390,90	1,80	433	813
390,80	1,90	134	264
390,70	2,00	32	65

Příloha 4: Břehová linie

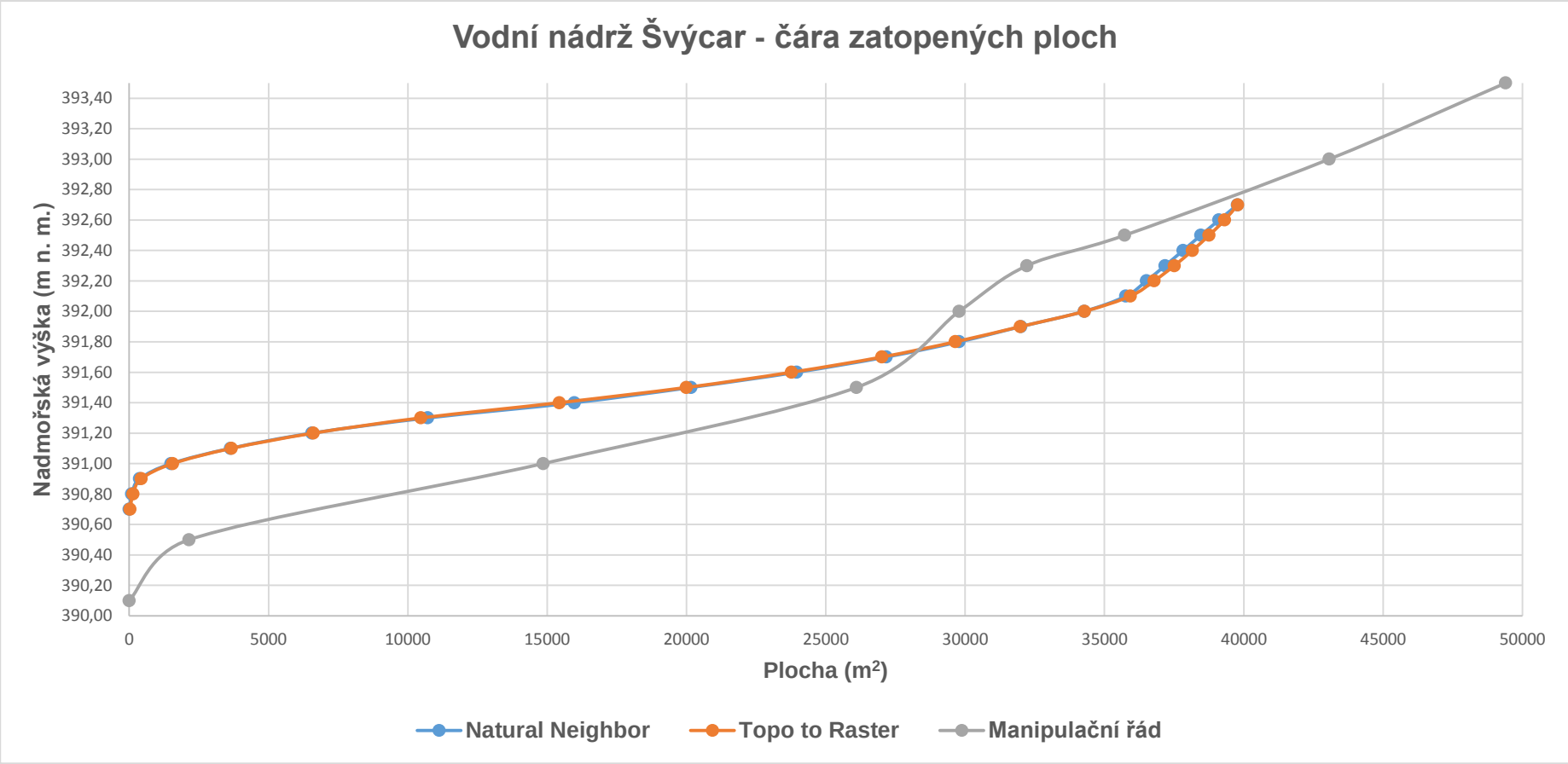
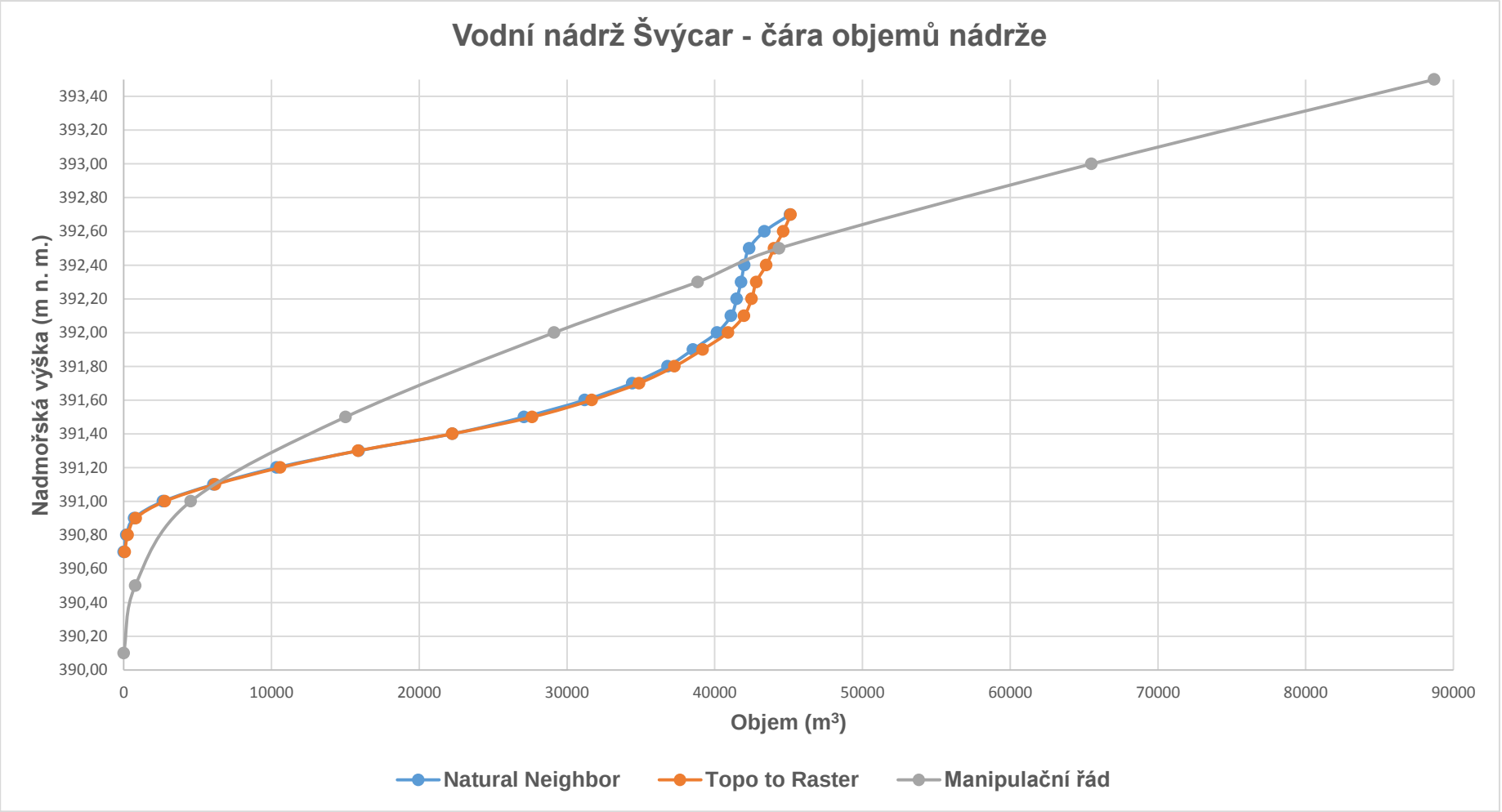
Příloha 5: Natural Neighbor



Příloha 6: Topo to Raster



Příloha 7: Vodní nádrž Švýcar – čára zatopených plochy



Příloha 8: Vodní nádrž Švýcar – čára objemů nádrže