

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

**Katedra vodního hospodářství a environmentálního
modelování**



Bakalářská práce

**Zpracování batymetrických dat malé vodní nádrže
užitím GIS nástroje Topo to Raster**

Jaroslav Kříž

Vedoucí práce: Ing. Petr Bašta

© 2017 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jaroslav Kříž

Vodní hospodářství

Název práce

Zpracování bathymetrických dat malé vodní nádrže užitím GIS nástroje Topo to Raster

Název anglicky

Processing of bathymetry data of small water reservoir using GIS tool Topo to Raster

Cíle práce

Hlavním cílem bude zpracování bathymetrických dat vybrané malé vodní nádrže (MVN) v povodí Litovicko-Šáreckého potoka aplikací funkce Topo to Raster při odlišných variantách nastavení jejich parametrů. Dále zhodnocení vlivu nastavených parametrů na výsledné digitální modely terénu (DMT) dna nádrže.

Dílčím cílem bude zpracování rešerše zadané problematiky (MVN, bathymetrie, způsoby jejího měření, DMT a jeho tvorba v prostředí GIS).

Metodika

1. Rešerše na téma malé vodní nádrže, její zanášení sedimenty, bathymetrie a její dostupné metody měření, prostorové interpolace se zaměřením na funkci Topo to Raster, digitální model terénu
2. Popis zájmového území – malé vodní nádrže (možno využít manipulačního řádu nádrže a komunikace s místní samosprávou)
3. Preprocessing bathymetrických dat, doměření chybějících dat pomocí echosounderu RiverSurveyor M9, získání dat břehové linie nádrže (možno využít ortofoto)
4. Zpracování naměřených dat v prostředí GIS: aplikace funkce Topo to Raster v odlišných variantách nastavení jejich parametrů, vyhodnocení hloubek a akumulace nádrže aplikací zonální a popisné statistiky všech variant zhotovených DMT dna MVN, cross-validace výsledků pomocí kritéria RMSE.
5. Zhodnocení vlivu nastavení parametrů funkce Topo to Raster na cross-validační kritéria.

Doporučený rozsah práce
cca 40 normostran textu

Klíčová slova

bathymetrie, vodní nádrž, GIS, digitální model terénu, interpolace, Topo to Raster

Doporučené zdroje informací

- Erdem, H., 2013. RiverSurveyor S5 / M9 System Manual
Hutchinson, M. F. 1989. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. *Journal of Hydrology*, 106: 211–232
Kubinský, D., Fuska, J., Weis, K., Lehotský, M., 2013. Change of accumulation volume of Great Richňava and Small Richňava water reservoirs. *Acta hydrologica slovacica* 14/2, 402–413
Lin Y.T., Schuettpeiz 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

Předběžný termín obhajoby
2016/17 LS – FŽP

Vedoucí práce
Ing. Petr Bašta

Garantující pracoviště
Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 9. 3. 2017

doc. Ing. Martin Hanel, Ph.D.
Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 17. 3. 2017

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.
Děkan

V Praze dne 25. 04. 2017

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že mou bakalářskou práci "Zpracování batymetrických dat malé vodní nádrže užitím GIS nástroje Topo to Raster" jsem vypracoval samostatně pod vedením Ing. Petra Bašty a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 25.4.2017

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu mé práce Ing. Petru Baštovi za věnovaný čas, cenné rady a konzultace. Další díky patří Ing. Václavu Hradílkovi za instruktáž při měření. Velké poděkování patří mé rodině a přítelkyni za podporu během celého mého studia.

Zpracování batymetrických dat malé vodní nádrže užitím GIS nástroje Topo to Raster

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je batymetrické zaměření malé vodní nádrže Břve, která se nachází v povodí Šárecko-Litovického potoka, a následné zpracování naměřených dat v prostředí GIS interpolační funkcí Topo to Raster v různých variantách nastavení s různým množstvím vstupních dat, pomocí čehož je následně vyhodnocena daná interpolační funkce. Práce se v teoretické části zabývá malými vodními nádržemi, batymetrií, prostorovou interpolací a digitálním modelem terénu. Dále je popsán měřicí přístroj RiverSurveyor M9 a zájmové území. V praktické části je uvedena metodika přesného postupu měření dna malé vodní nádrže a následného zpracování naměřených dat. Výsledky znázorňují vyhodnocení batymetrického měření v podobě mapy hloubek a stanovení akumulčního objemu malé vodní nádrže Břve. Podle výsledných hodnot RMSE by se dalo říci, že touto metodou se dospělo ke zdárnému výsledku (hodnota RMSE nejpřesnějšího DTM = 0,0695 m).

Klíčová slova:

batymetrie, malá vodní nádrž, GIS, digitální model terénu, interpolace, Topo to Raster

Processing of bathymetry data of small water reservoir using GIS tool Topo to Raster

Abstract

The meaning of this bachelor thesis is bathymetric measurement of a small water reservoir called Břve, which is situated in the catchment area of Sarecko-Litovický stream, and the subsequent processing of the measured data in the ambient GIS interpolation functions Topo to Raster in a different setup of options with different input data by which the interpolation function is subsequently evaluated. The thesis, in the theoretical part, deals with small dams, bathymetry, spatial interpolation, and a digital terrain model. You can also find the description of the measuring device RiverSurveyor M9 and target area. In the practical part, there is a methodology of accurate measurement of the dam's bottom and the subsequent processing of the measured data. The results show the evaluation of a bathymetric measurement in the form of a map with depths and determination of the accumulating volume of a small dam Břve. Depending on the resulting values RMSE, you could say, that this method has achieved a good result (value RMSE most accurate DTM = 0,0695 m).

Keywords:

bathymetry, small water reservoir, GIS, digital terrain model, interpolation, Topo to Raster

Obsah

1	Úvod.....	8
2	Cíl práce.....	9
3	Literární rešerše	10
3.1	Malé vodní nádrže	10
3.1.1	Historie MVN	10
3.1.2	Dělení MVN	11
3.1.3	Vertikální členění nádržného prostoru MVN	16
3.1.4	Hráz MVN	18
3.1.5	Výpustné zařízení MVN	21
3.1.6	Bezpečnostní přeliv MVN	23
3.1.7	Zanášení MVN.....	23
3.2	Batymetrie.....	25
3.2.1	RiverSurveyor M9	25
3.3	Prostorová interpolace z bodových dat.....	27
3.3.1	Topo To Raster	28
3.4	Digitální model terénu	31
3.4.1	Sběr dat pro DTM	31
3.4.2	Způsoby prezentace DTM	32
3.4.3	Kontrola kvality výsledných DMT	32
4	Popis zájmového území	34
4.1	Úvodní informace	34
4.2	Technické údaje	34
5	Metodika	38
5.1	Batymetrické zaměření malé vodní nádrže Břve	38
5.2	Zpracování dat	40
6	Výsledky	45
7	Diskuze	54
8	Závěr	57
9	Seznam použité literatury	58
9.1	Knižní zdroje.....	58
9.2	Internetové zdroje	59
10	Seznamy.....	61
10.1	Seznam obrázků.....	61
10.2	Seznam tabulek	61
10.3	Seznam grafů	61

1 Úvod

Podmětem pro vznik této bakalářské práce byla potřeba zjistit, jakou měrou ovlivní různá nastavení parametrů funkce Topo to Raster výsledný digitální model terénu. Dalším potřebným zjištěním bylo, jak moc důkladně je zapotřebí vybranou malou vodní nádrž batymetricky zaměřovat pro kvalitní výsledný digitální model terénu. Ze získaných poznatků lze vyvodit optimální nastavení dané funkce, potřebnou hustotu najíždění nádrže, vyhodnocení hloubek a akumulaci nádrže.

Batymetrie byla prováděna přístrojem RiverSourveyor M9, který se řadí mezi nejmodernější přístroje na trhu. Měřicí přístroj byl usazen do kajaku speciálně upraveného pro tyto účely. Touto metodou bylo umožněno rychlému a přesnému zaměření malé vodní nádrže. Následné zpracování naměřených dat probíhalo aplikací již výše zmíněné funkce Topo to Raster.

2 Cíl práce

Cílem této bakalářské práce je batymetrické zaměření malé vodní nádrže Břve v povodí Litovicko-Šáreckého potoka použitím měřicího přístroje RiverSurveyor M9 a následné zpracování batymetrických dat aplikací funkce Topo to Raster při odlišných variantách nastavení jejích parametrů a odlišném množství vstupních bodů. Dále zhodnocení vlivu nastavených parametrů a množství vložených bodů na výsledné digitální modely terénu dna nádrže.

Dílčím cílem této práce je zpracování teoretické části na téma malé vodní nádrže, batymetrie, prostorová interpolace, digitální model terénu a popis zájmového území. Dále sepsání stručného metodického postupu při měření batymetrie pomocí echosounderu a následného zpracování naměřených dat.

3 Literární rešerše

Jelikož se v této bakalářské práci batymetricky zaměřuje a dále v prostředí GIS zpracovává malá vodní nádrž Břve, tak je vhodné, aby část literární rešerše byla věnována kapitole o malých vodních nádržích (dále jako „MVN“), batymetrii, prostorové interpolaci a digitálnímu modelu terénu (dále jako „DTM“).

3.1 Malé vodní nádrže

Jedná se o díla, která svými funkcemi a vlastnostmi pro která byla vybudována, nezanedbatelně ovlivňují krajinu kolem sebe. V daném povodí jsou významným zdrojem vody pro faunu i floru (Šálek, 1996).

Malé vodní nádrže jsou definovány dle technické normy ČSN 75 2410 jako:

- *objem nádrže po hladinu ovladatelného prostoru není větší než 2 mil.m³;*
- *největší hloubka nádrže nepřesahuje 9 m.*

Avšak ne každé malé vodní nádrže se tato definice týká. Vyjmout lze například malá vodní nádrž, u níž se při poruše vyskytuje možnost ohrožení lidského života, nebo nádrže přečerpávacích vodních elektráren atd. (ČSN 75 2410, 2011).

3.1.1 Historie MVN

Historie malých vodních nádrží ve světě sahá až do roku 2200 př.Kr., což je dokázáno z nalezení historických dokumentů. Jednalo se o území Číny, kde tyto nádrže byly budovány hlavně za účelem rybochovu. Kolem roku 2000 př.Kr. jsou zaznamenány zmínky o budování malých vodních nádrží za účelem ochrany, a to především k zachycení záplavových vod v jarních obdobích. Jednalo se o území Egypta a Mezopotámie. Nalezené dokumenty vypovídají o vysoké úrovni výstavby, což je na tu dobu pozoruhodné (Vrána a Beran, 1998).

První písemný důkaz o malých vodních nádržích na území dnešního Česka pochází z roku 1115 v listině Kladrubské. O výstavbu malých vodních nádrží v těchto historických dobách se hlavně postaraly duchovní řády a šlechta. Nádrže nebyly budovány duchovními řády a šlechtou např. za účelem ochranným nebo akumulacním, ale hlavně a možná i výhradně za účelem chovu ryb. Jelikož chov ryb byl nesmírně výnosný, byla stálá snaha zdokonalovat rybníkářství, ale také i kvalitu a techniku malých vodních nádrží. Jakub Krčín z Jelčan a Sedlčan (1535-1604) se postaral o výstavbu největšího rybníka na území Česka.

Jednalo se o rybník Rožmberk, v té době jedna z nejdokonalejších staveb u nás, ale i v celé střední Evropě. Během několika staletí probíhal v českých zemích rozkvět rybníkářství a staveb malých vodních nádrží, ale bohužel docházelo i k poškozování a nesprávnému zacházení s těmito vodními stavbami, a to především v dobách válek. V roce 1970 bylo na českém území 23 400 malých vodních nádrží s celkovým objemem 486 mil.m³ a celkovou výměrou 518 km² (Šálek a kol., 1989).

3.1.2 Dělení MVN

Malé vodní nádrže se mohou dělit dle několika kritérií. U nás je nejpoužívanější dělení podle funkce. Dále se nádrže dělí z hlediska umístění, způsobu zásobení vodou a vytvoření zásobního prostoru (Šálek, 1996).

Šedivý a Vrána (2011) dělí malé vodní nádrže podle funkce následovně:

- Zásobní nádrže: závlahové, vodárenské, průmyslové, energetické, zálohové, kompenzační, retardační, aktivizační.
V době, kdy je vody nadbytek ji zachycují a akumulují, aby mohla být dále využívána v době, kdy je naopak vody nedostatek.
- Ochranné nádrže: suché retenční, nárazové, retenční nádrže s malým zásobním prostorem, vsakovací, protierozní, dešťové.
Jsou budovány za účelem ochrany území a objektů při velkých vodách. Zajišťují transformaci povodňových vln a zachycení povodňových odtoků.
- Nádrže upravující vlastnosti vody: chladící, dočišťovací biologické, předešřívací, anaerobní biologické, usazovací, aerobní biologické.
Tyto malé vodní nádrže zajišťují fyzikální a chemické změny vody.
- Rybochovné nádrže: výtěrové a třecí rybníky, sádky, plůdkové výtažníky, karanténní rybníky, výtažníky, speciální komory, komorové rybníky, hlavní rybníky.
Svými technický parametry a vlastnostmi jsou ideálním prostředím pro chov ryb.
- Hospodářské nádrže: protipožární, výtopové zdrže, pro chov drůbeže, napájecí a plavící, pro pěstování vodních rostlin.

Každá z těchto nádrží je budována speciálně pro svoji funkci, např. protipožární zajišťuje dostatečný objem vody potřebné k hašení požáru.

- Speciální účelové nádrže: recirkulační, závlahové vodojemy, vyrovnávací, splavovací, přečerpávací, rozdělovací.

Jedná se o nádrže sloužící konkrétním potřebám např. v průmyslovém závodu nebo k akumulaci potencionální energie vody atd.

- Asanační nádrže: záchytné, laguny, skladovací, rekultivační, otevřené vyhnívací.

V místech, kde lidskou činností došlo k poškození území, se buduje tento typ nádrží, který svými vlastnostmi a funkcemi dokáže zásah po lidské činnosti napravit. Dále se tyto nádrže používají k uskladnění nebo zachycení nebezpečných látek.

- Rekreační nádrže: přírodní koupaliště, pro plavání a vodní sporty.

Tyto nádrže slouží lidem, kteří si zde užívají relaxace, vodních sportů atd.

Je u nich zrealizován přístup do vody a jsou vybaveny speciálním zařízením.

- Nádrže krajinnotvorné a v obytné zóně: hydromeliorační, umělé mokřady, okrasné, návesní rybníčky.

Jsou budovány v parcích, sídlištích apod., kde zajišťují estetický efekt a zlepšují ekologické podmínky.

- Nádrže na ochranu bioty: na ochranu flory, na ochranu fauny.

Pro ohroženou faunu a floru zajišťují optimální podmínky pro jejich život.

Každá malá vodní nádrž svou funkcí, pro kterou byla vybudována, by měla přispívat ke zlepšení úrovně vodohospodářských poměrů v životním prostředí. Funkce hlavní a vedlejší každé nádrže musí být určena ještě před výstavbou nebo rekonstrukcí stávající nádrže. Nejvýhodnější je budování malých vodních nádrží víceúčelových (Šedivý a Vrána, 2011).

Pavlica (1964) dělí malé vodní nádrže podle umístění následovně:

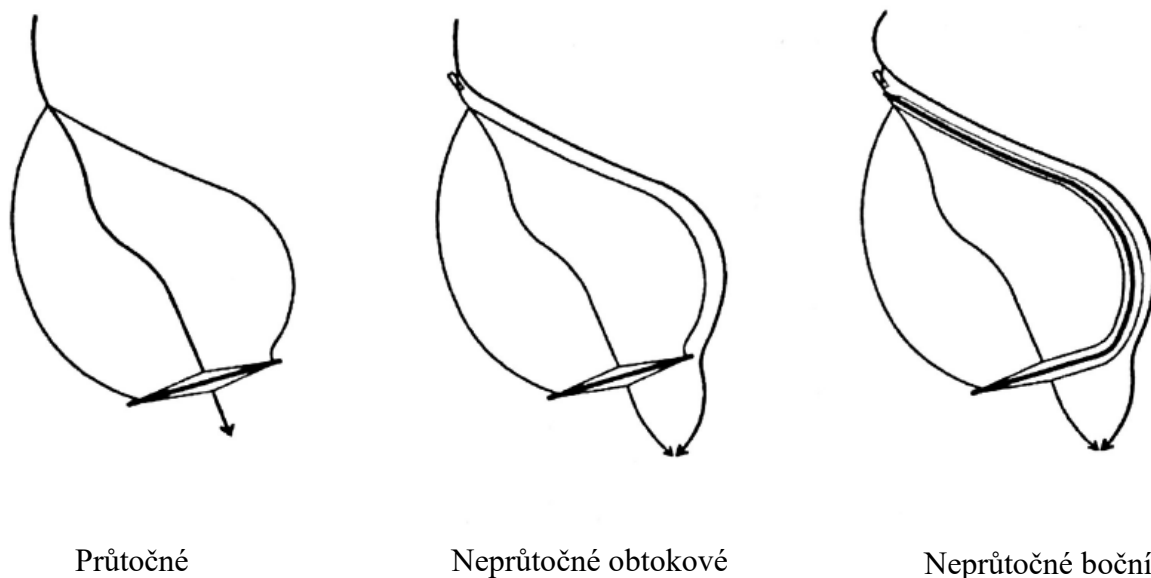
- Návesní: jedná se o nádrže nacházející se přímo ve městech a vesnicích nebo na jejich okrajích. Jsou to většinou nádrže rybochovné, požární, ochranné nebo zásobní. Často zde dochází ke stékání vody z okolních komunikací a dvorů, což ovlivňuje složení vody v nádrži.
- Polní: tyto nádrže se nacházejí v údolích, která jsou obklopena obdělávanými poli. V období vydatných dešťů a jarního tání sněhu dochází k plošnému odtoku vody z pole a následnému zanášení nádrže smytou ornici. Obsažená hnojiva v ornici mají za následek změnu chemických vlastností vody a zarůstání nádrže. Polní nádrže jsou většinou budovány s rybochovnou, ochrannou, závlahovou nebo hospodářskou funkcí.
- Luční: tyto nádrže se nacházejí v údolích, která jsou obklopena obhospodařovanými loukami. Kořenový systém zasetých trav v okolí nádrže omezuje splach hlíny, tudíž nedochází k takovému zanášení jako u polních nádrží.
- Lesní: jelikož se tyto nádrže nacházejí v lesích, tak jsou velmi ovlivňovány okolním porostem, a to např. spadaným listím nebo menším množstvím slunečního svitu, což má za následek nižší teplotu vody v nádrži. Jedná se především o rybochovné a zásobní nádrže.
- Rašelinné: jsou situovány na rašelinových půdách, čímž je ovlivňováno složení vody v nádrži (Pavlica, 1964).

Z výše uvedeného dělení a následných definic, lze jasně vidět, že název vždy jednoduše odpovídá tomu, kde se malá vodní nádrž nachází.

Dělení malých vodních nádrží podle způsobu zásobení vodou:

- Dešťové: někdy nazývány jako nebeské. Tyto nádrže jsou zásobeny vodou z přívalových dešťů a jarního tání sněhu. Jelikož je tento typ nádrží bez stálého přítoku vody, tak to má za následek, že roční objem vody je velmi nestálý. Objem je také velkou měrou ovlivňován výparem z hladiny a průsakem vody ve dně. Tyto negativní faktory ovlivňující objem vody se dají eliminovat pomocí výstavby nádrže se strmými svahy, nepropustným dnem a průměrnou hloubkou nádrže alespoň 2 m. Jsou užívány k zachycení srážkového odtoku z bezprostřední blízkosti nádrže (Šálek a kol., 1989; Vrána a Beran, 1998).
- Pramenné: u tohoto typu se voda dostává do nádrže pomocí pramenů, studní a jímacích drénů. Jelikož se jedná o ne dost vydatný zdroj vody, tak je tento způsob zásobení spíše ojedinělý (Vrána a Beran, 1998).
- Říční a potoční: tento způsob zásobení vodou je zcela nejpoužívanější díky stálému přítoku vody do malé vodní nádrže. Proto jsou řeky a potoky vhodné pro budování velkých rybníků a rybníčních soustav. Říční a potoční malé vodní nádrže se dále dělí na: průtočné (neregulovatelné) a neprůtočné (regulovatelné).
 - Průtočné: nádrže toho typu se nacházejí přímo na vodním zdroji a řeka nebo potok zcela protéká nádržným prostorem vodního díla. Budovány jsou přehrazením údolí vodního zdroje. Jsou užívány především jako nádrže zásobní a retenční. Nevýhoda těchto průtočných nádrží nastává při snížení rychlosti průtoku vody v nádržném prostoru. To má za následek usazování sedimentů, které nese vodní zdroj a následné zmenšování nádržného prostoru.
 - Neprůtočné: velkou výhodou u tohoto typu je možnost regulovat přítok vody do dané malé vodní nádrže. Regulovatelnost umožňuje odlehčení nádrži od velkých vod a zmenšení množství zanášení dna sedimenty. Mezi neprůtočné patří nádrže obtokové a boční. U obtokových nádrží dochází k přehrazení vodního zdroje a vybudování umělého koryta pro následné obvedení vodního toku.

Boční nádrže jsou zásobovány vodou z vodního toku pomocí vybudovaných náhonů (Pavlica, 1964).



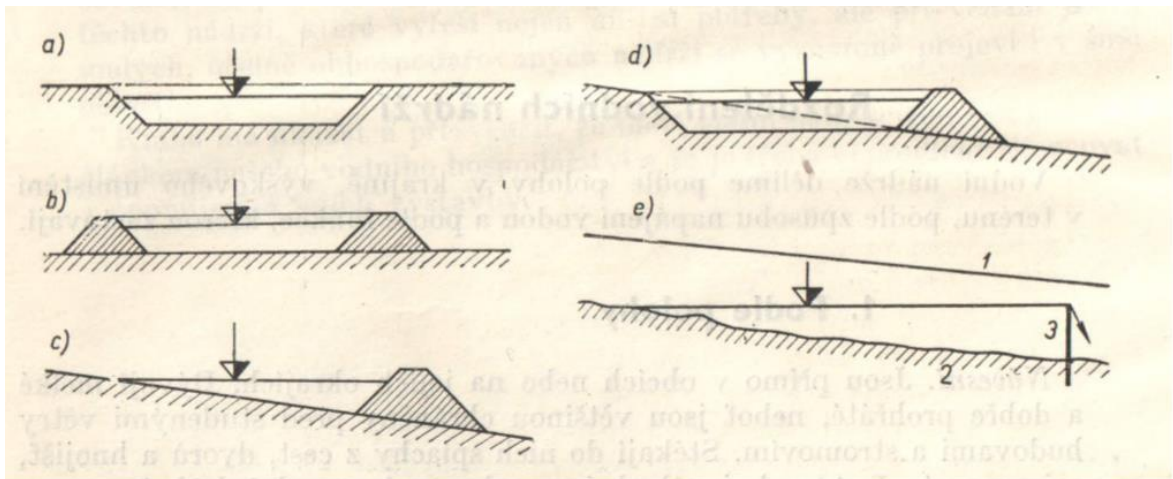
Obrázek 1: Říční a potoční malé vodní nádrže (zdroj: Šedivý a Vrána, 2011)

- Odpadní: jedná se o vody, které se do vodní nádrže dostávají z městských sídlišť, průmyslových a zemědělských závodů. Nejedná se zde o cílené zásobení vodní nádrže, nýbrž o snahu čištění odpadních vod (Šálek a kol., 1989).

Pavlica (1964) dělí malé vodní nádrže podle způsobu vytvoření zásobního prostoru následovně:

- Zahloubená: prostor nádrže je zapuštěn pod úroveň okolního terénu. Nádržný prostor je vytvořen vybagrováním nebo jsou využity staré pískovny, doly, cihelny atd.
- Hrázová: tento typ nádrží je vytvořen vybudováním hráze po obvodu rovinného terénu. Nadmořská výška dna nádrže je stejná jako nadmořská výška terénu kolem nádrže.
- Údolní: vznikají přehrazením údolí čelní hrázi.

- Podzemní: princip získávání vody podzemními nádržemi spočívá v přehrazení podzemních vodních proudů, které se nacházejí podél řek a následného čerpání vody.
- Kombinovaná: tento typ nádrže se vyskytuje velmi často a je složen z výše popsaných typů nádrží (Pavlica, 1964).



a...Zahloubená

d...Kombinovaná

b...Hrázová

e...Podzemní

c...Údolní

Obrázek 2: Dělení malých vodních nádrží podle způsobu vytvoření zásobního prostoru
(zdroj: Pavlica, 1964)

3.1.3 Vertikální členění nádržného prostoru MVN

Základní vertikální členění malých vodních nádrží probíhá do třech částí: prostor stálý (mrtvý), prostor zásobní (akumulační) a prostor ochranný (retenční) (Šálek a kol., 1989). U malých vodních nádrží každoročně napouštěných se přidává prostor půdní a zálohový (rezervní) (Cablík, 1960).

Prostor stálý (mrtvý)

Stálý prostor se nachází mezi dnem a zásobním prostorem nádrže (hladinou stálého nadržení). Slouží k usazování nánosů v nádrži. K vypouštění dochází jen výjimečně (čerpáním). U rybochovných nádrží se prostor stálý vůbec nevyskytuje.

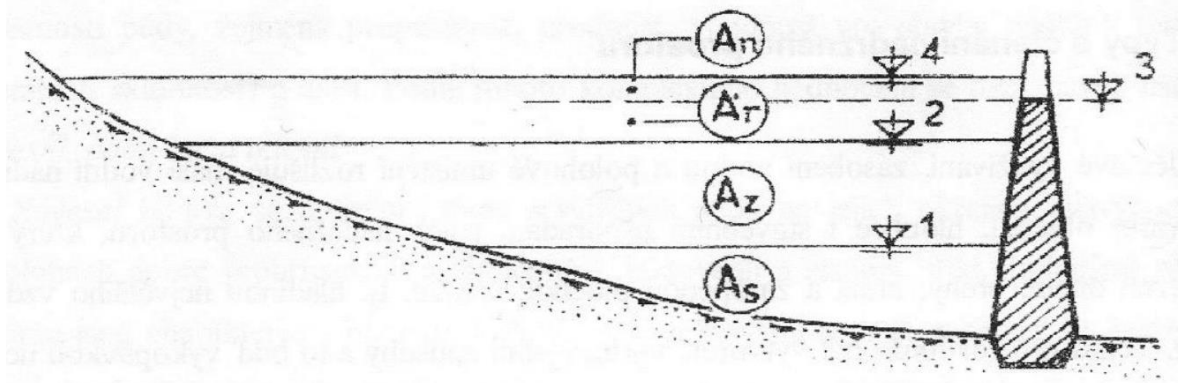
Prostor zásobní (akumulační)

Zásobní prostor se nachází mezi prostorem stálým a prostorem ochranným. Slouží k akumulaci vody v době nadbytku a následného využívání v obdobích sucha (závlahy apod.). Zásobní prostor se dá pomocí výpustného zařízení zcela regulovat a vypouštět.

Ochranný prostor (retenční)

Jedná se o prostor, který svým objemem chrání nádrž před ničivými účinky povodně.

- Ovladatelný: se nachází mezi prostorem zásobním a korunou bezpečnostního přelivu. Lze ovládat pomocí výpustného zařízení.
- Neovladatelný: se nachází mezi korunou bezpečnostního přelivu a procházející stoupačkou povodňovou vodou (Tlapák a Herynek, 2002).



A_s ...*Prostor stálý*

A_z ...*Prostor zásobní*

A_r ...*Prostor ochranný ovladatelný*

A_n ... *Prostor ochranný neovladatelný*

1...*Hladina stálého nadržení*

2...*Hladina zásobního prostoru*

3...*Hladina ovladatelného ochranného prostoru*

4...*Hladina neovladatelného ochranného prostoru*

Obrázek 3: Vertikální členění nádržného prostoru (zdroj: Tlapák a Herynek, 2002)

3.1.4 Hráz MVN

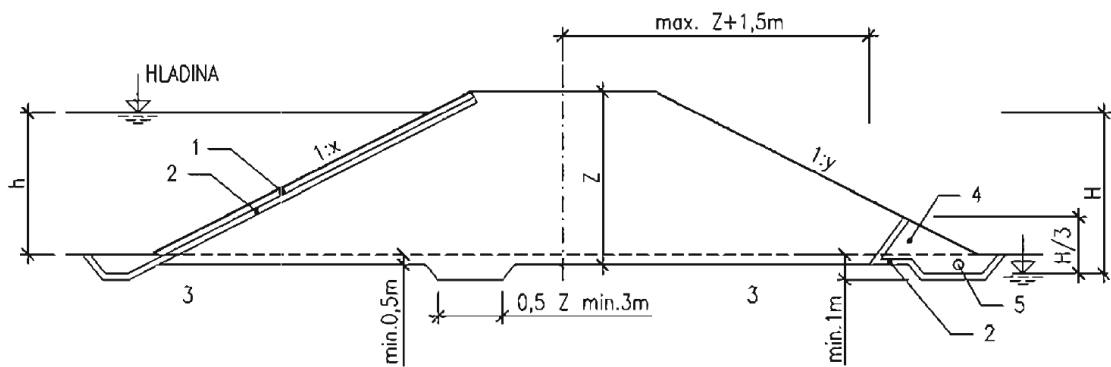
Hráz je základním kamenem každé malé vodní nádrže. Svým rozsahem je zcela nejdražší a stavebně nejnáročnější prvek daného vodního díla. Proto je zapotřebí při projektování a následné výstavbě dbát na účelnosti, jednoduchosti, ekonomice a dlouhé životnosti. Před samotnou výstavbou je bezpochybně nutné zvážit, jaký bude použit materiál, způsob založení, tvar samotné hráze apod. (Vrána a Beran, 1998).

Hráze malých vodních nádrží jsou budovány zásadně zemní. Na základě inženýrsko-geologického průzkumu se určí vhodný materiál, který bude pro stavbu použit. U zemních hrází je velice výhodné, aby se zemník, z kterého bude materiál těžen, nacházel co nejblíže následně vybudované hráze. Zcela nejlepším řešením je, když se místo těžby nachází v zátopě budoucí nádrže, jelikož se sníží náklady na dopravu a zvětší se objem budované nádrže. Je nutné však brát ohled na možné porušení přirozených nepropustných pokryvů a zhoršení průsakových poměrů (ČSN 75 2410, 2011).

Pokud po hrázi má vést veřejná komunikace, musí být koruna hráze u malých vodních nádrží navrhována v souladu s ČSN 73 6101. V případě, že po koruně hráze nebude vedena trvalá komunikace, ale je zapotřebí počítat s občasným pojezdem vozidel (např. požární vozidlo), tak se šířka koruny navrhuje min. 3,5 m. Pokud je pojezd po koruně hráze zcela vyloučen, tak se šířka koruny navrhuje dle technologie výstavby, avšak při překročení výšky 5 m hráze musí být minimální šířka koruny 3 m (Šálek a kol., 1989; ČSN 75 2410, 2011).

Hráze malých vodní nádrží se dělí podle způsobu uložení zeminy na:

- Homogenní: i když se jedná stavebně o velmi jednoduché dílo, tak se dle normy ČSN 73 6824 doporučují homogenní hráze budovat do výšky 6 m. Celá hráz je vybudována ze stejného materiálu, který musí být dostatečně nepropustný a konstrukčně stálý. Mezi nejvhodnější zeminy patří jílovitopísčité, a naopak se nepoužívají zeminy jílovité (namrzají, bobtnají).
- Nehomogenní: je stavěna ze dvou nebo více druhů zeminy. Jednotlivé druhy zeminy se postupně skládají do tělesa hráze podle svých vlastností. Dále je do tělesa hráze vloženo těsnění za účelem zabránění průsaku vody hrází. Těsnění může být vybudováno z nepropustné zeminy, železobetonu, folie apod. (Šálek, 1996; Vrána a Beran, 1998).



1...Opevnění

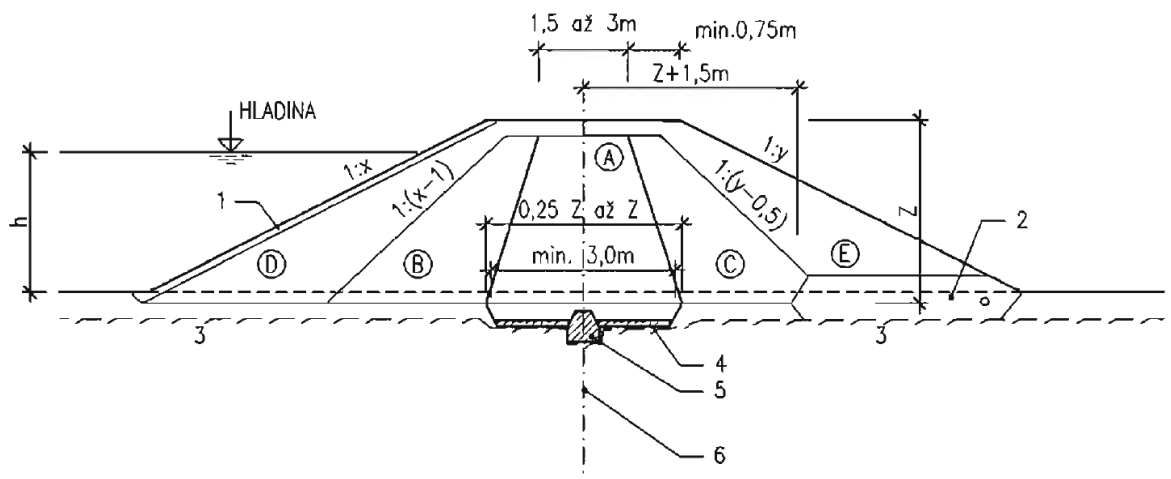
4...Patní drén

2...Filtr

5...Drenážní potrubí

3...Nepropustné podloží

Obrázek 4: Homogenní hráz (zdroj: ČSN 75 2410, 2011)



1...Opevnění

4...Betonová vyrovnávací vrstva

2...Drenážní prvek

5...Betonová zavazovací ostruha

3...Skalní podloží

6...Těsnící prvek v podloží

Obrázek 5: Nehomogenní hráz (zdroj: ČSN 75 2410, 2011)

Podle půdorysného tvaru se hráze dělí na čelní přímé, čelní vypouklé, čelní vyduté, čelní lomené a nepravidelné. Ekonomicky nejvýhodnější jsou hráze čelní přímé, jelikož jsou budovány, pokud možno v nejužším místě údolí, díky čemuž je zapotřebí méně materiálu, proto je tento typ hráze nejčastější (Šálek a kol., 1989).

3.1.5 Výpustné zařízení MVN

Každá malá vodní nádrž musí být opatřena výpustným zařízením, které slouží k udržení hladiny normálního nadržení na požadované výšce a k celkovému vypouštění vody z nádrže. Nádržím, s objemem ovladatelného prostoru do 1 mil.m³, stačí pouze jeden vypouštěcí objekt. Nádrže s větším objemem musí být vybaveny dvěma výpustmi. Všechny výpusti by měly být opatřeny uzávěrem provozním, kterým lze regulovat průtoky za všech okolností v nádrži a uzávěrem revizním, který se využívá při poruchách a opravách uzávěru provozního. Výpustné zařízení by mělo být navrhováno a stavěno tak, aby dokázalo v potřebném čase vypustit požadované množství vody z nádrže. Tento funkční objekt je zpravidla umístěn u čelní hráze do největší hloubky nádrže (ČSN 75 2410, 2011).

Podle způsobu odvádění vody z nádrže dělíme výpusti na:

- Otevřené: dnes už se prakticky tyto výpusti nenavrhují, jelikož svou mohutnou konstrukcí narušují celistvost hráze a esteticky nezapadají do okolí.
- Uzavřené, trubní: název odpovídá způsobu odvádění vody, které probíhá pomocí potrubí, uloženého v hrázi nádrže.

Podle uzavíracího mechanismu dělíme trubní výpusti na:

- Lopatové nebo šikmé stavidlové uzávěry na návodní straně: jedná se o nejstarší typ trubního výpustního zařízení. Mechanismus je složen ze samotné lopaty, kterou je výtokové potrubí uzavíráno a dřevěným táhlem, ocelovou závitovou tyčí, lanem nebo řetězem, kterým se lopata ovládá z koruny hráze.
- Čepové uzávěry: jedná se opět o historický typ uzávěru. Dalo by se říct, že jde o dřevěnou zátku, která je zaražena do dřevěného potrubí,

jenž se ovládá pomocí tyče s hákem z lodi nebo z koruny hráze. Výhodou tohoto typu je, že čep uzávěru je stále ponořen pod vodu, čímž je zabráněno svévolnému vypouštění nádrže. Velikou nevýhodou je, že nelze vypustit jen část objemu vody nádrže, ale jen celý objem.

- Šoupátkové uzávěry: dnes velmi užívaným uzavíracím zařízením. Tento mechanismus je tvořen přírubovým šoupátkem, kterým lze velice citlivě regulovat průtok. Přírubové šoupě lze umístit na návodní, ale i na vzdušné straně hráze. Na vzdušné straně je šoupě k vidění spíše ojediněle, jelikož v tomto případě je výpustně potrubí stále pod tlakem. Nepochybně velkou výhodou tohoto umístění je, že na vzdušné straně je šoupě velmi dobře přístupné např. pro možné opravy a revize. Při umístění šoupátka na návodní straně musí být vybudována šachta s ovládacím mechanismem.
- Stavidlové uzávěry a plochá kanalizační šoupátka: tento způsob funguje na podobném principu jako lopatové uzávěry. Ovládání probíhá ocelovým táhlem nebo šroubovou tyčí. Vytahováním a spouštěním ocelové tyče se zmenšuje nebo zvětšuje otvor pro průtok, čímž se reguluje množství protékající vody.
- Požeráky: jedná se o nejpoužívanější typ výpustného zařízení. Je tvořen železobetonovou, ocelovou nebo dřevěnou skříňovou konstrukcí. Uzavírací prvek tvoří dlužová stěna, která se skládá z dřevěných fošen, které jsou uchyceny v železných drážkách. Vypouštění nádrže probíhá postupným vyndáváním dřevěných fošen z koruny požeráku. Přístup k požeráku je zajištěn lávkou z koruny hráze a výpusť je zabezpečena před nežádoucím vniknutím pomocí ocelového poklopu (Šálek, 1996; Vrána a Beran, 1998).

3.1.6 Bezpečnostní přeliv MVN

U každé průtočné malé vodní nádrže musím být vybudován bezpečnostní přeliv na ochranu hráze a území pod hrází při povodních. Přeliv by měl být nehrazený a bez částí, které nejsou ovladatelné bez lidské činnosti. V žádném případě by neměla být umístována žádná zařízení na bezpečností přeliv, ani v jeho blízkosti, která by mohla negativně ovlivňovat jeho funkci a kapacitu. Bezpečnostní přeliv se navrhuje na průtok Q_{100} , jen ve zdůvodněných případech se může navrhopvat na menší průtok Q_{50} (Q_{20}), jde především o malé historické nádrže (ČSN 75 2410, 2011; Vrána a Beran, 1998).

Dle konstrukce se bezpečnostní přelivy dělí na:

- Přímé: tento typ je umístěn v čelní hrází nádrže a doporučuje se pro hráze do výšky 5 m.
- Boční: budují se do boku nádrže. V tomto případě nenarušuje bezpečnostní přeliv těleso hráze.
- Kašnové: jsou umístěny před hrází. Přelivná hrana má tvar půlkruhový, či lomený.
- Šachtové: jedná se o svislé válcové těleso z železobetonu.
- Nouzové: jedná se o doplňkový bezpečnostní přeliv, který napomáhá hlavnímu bezpečnostnímu přelivu při průchodu kulminačního průtoku (Šedivý a Vrána, 2011).

3.1.7 Zanášení MVN

Usazování sedimentů v malých vodních nádržích je přirozený a stále probíhající proces, při němž jsou negativně ovlivňovány vodohospodářské, ekologické a estetické funkce nádrže. Tento proces má největší dopad na nádrže průtočné, u nichž dochází v ústí toku do samotné nádrže k zanášení nádržného prostu plaveninami, což je způsobeno snížením rychlosti vody při vtoku do vodního díla (ČSN 75 2410, 2011; Šálek a kol., 1989).

Už od minulosti bylo zanášení malých vodních nádrží chápáno zcela přirozeně a stejně tak bylo přirozeně vnímáno odbahňování rybníků a následné hospodaření s vytěženým sedimentem. Bohužel od 50. let minulého století docházelo k postupnému zhoršení situace. Zanášení malých vodních nádrží se dostalo do extrémních hodnot a

hospodaření s vytěženým sedimentem se stalo méně využívané. V roce 1998 bylo odhadováno, že celkový zásobní prostor všech malých vodních nádrží je zanesen z jedné třetiny usazeninami.

Hlavní příčiny zanášení nádrží:

- Břehová abraze: je způsobena účinkem vlnobití na břehovou linii nádrže, při kterém dochází k porušení břehů a následného uvolňování zeminy do nádržního prostoru. Největší vliv má břehová abraze na svahy s vysokým sklonem, svahy bez vegetačního pokryvu, hlinité a písčité svahy a na nádrže, u kterých dochází k častému kolísání hladiny vody. K zamezení tohoto účinku se lze docílit použitím technických (např. rovnanina, kamenná dlažba) nebo vegetačních (např. keřové vrby) protierozních opatření.
- Vnitřní zanášení: je způsobeno rozkladem odumřelých rostlin a živočichů. Sečením a zamezením růstu velkého množství rostlin se dá částečně tomuto druhu zanášení zamezit. Avšak tyto posečené rostliny musejí být přemístěny mimo nádrž.
- Zanášení přítokem: touto příčinou jsou ovlivňovány všechny průtočné nádrže. Usazený sediment je produktem eroze z pozemků nacházejících se v povodí nádrže a erozí samotného koryta přítoku. Zanášení přítokem se dá zamezit, jen pokud se budou řešit protierozní opatření v celém povodí nádrže (zemědělské pozemky, lesní pozemky atd.) (Janeček a kol., 2012; Vrána a Beran, 1998).

Odstraňování nežádoucího sedimentu je časově i finančně dost náročné. Řadí se do revitalizací malých vodních nádrží. Samotnému odbahňování předchází příprava včetně projektu, při čemž je potřebné zjistit objem a kvalitu sedimentu, způsob těžby, následné využití vytěženého materiálu apod.

Způsoby těžby sedimentu:

- Suchou cestou na dně vypuštěné nádrže s použitím strojů pro zemní práce
- Mokrou cestou pomocí sacích bagrů
- Kombinací obou výše uvedených způsobů
- Jiným způsobem, např. podvodním dozerem (ČSN 75 2410, 2011; Šedivý a Vrána, 2011)

3.2 Batymetrie

V překladu tento termín znamená měření hloubek. Jedná se o zaznamenávání rozdílů výšek mezi hladinou vodní plochy a dnem daného vodního díla do batymetrické mapy. Dříve se batymetrií hlavně určovala hloubka oceánů. V dnešní době se batymetricky zaměřují také vodní nádrže a potoky (Pokorná, 2007).

V začátcích se hloubky měřily pomocí olovnice spuštěné na dno vodní plochy a odečtením dané hloubky. Na našem území tuto metodu poprvé použil pro měření hloubek prof. Václav Švampera, který v roce 1903 započal měření šumavských jezer (Šobr a Jánský, 2003).

Dnes již jsou batymetrické metody, při kterých je měření přesnější, rychlejší a jednodušší. Jednou z moderních metod užívanou při batymetrii je LiDAR. Tato metoda funguje na principu odrazu světla. Pomocí laseru upevněného na letadle je možno provést sken terénu o vysokém rozlišení, který dokáže zachytit různé tvary (McKean, et al., 2009). Mezi další používanou metodu patří echosounding. Přístroje postavené na tomto principu měří vzdálenost od zdroje díky jednomu vertikálnímu ultrazvukovému paprsku (Single beam echo sounder), který se odráží ode dna. Velikou předností tohoto principu je přístroj, který má paprsků více (Multibeam echo sounder) a dokáže zaměřit danou lokalitu rychleji. Vícepaprskový přístroj je dále schopný měřit rychlost proudění, a tím pádem i průtok ve vodním toku (Poti, et al., 2012).

3.2.1 RiverSurveyor M9

Jedná se o americký výrobek firmy SonTek. Tento přístroj využívá metodu echosounding. RiverSurveyor M9 je schopný komunikovat s GPS přijímačem, takže dokáže každému bodu měření přiřadit souřadnice. Skládá se z měřicí hlavičky a těla

přístroje. Hlavice přístroje je během měření ponořena do vody (SonTek, 2017). Přesné specifikace přístroje udává níže přiložená Tabulka 1.

Tabulka 1: Přesná specifikace přístroje RiverSurveyor M9
(zdroj: Vodní hospodářství, 2015), vlastní zpracování

Systém	
počet vysílačů/přijímačů	celkem 9
vysílač/přijímač	2x 4paprskový systém o frekvenci 3,0 MHz/ 1,0 MHz
úhel vysílačů/přijímačů	25°
frekvence svislého paprsku	0,5 MHz
Měření rychlosti	
hloubka profilu	od 0,06 do 40 m
rozsah rychlostí	± 20 m/s
přesnost	± 0,25 % měřené rychlosti
rozlišení	0,001 m/s
počet buněk	až 128
velikost buněk	od 0,02 do 4 m
Měření hloubky	
rozsah	od 0,20 do 80 m
přesnost	1 %
rozlišení	0,001 m
Měření průtoků	
Rozsah při Bottom-Track	od 0,3 do 40 m
rozsah s RTK GPS	od 0,3 do 80 m
výpočet průtoku	interní

Součástí balení je i mobilní zařízení se softwarem, který komunikuje s Hydrosurveyorem (SonTek, 2017).



Obrázek 6: Riversurveyor M9 (zdroj: SonTek, 2017)

3.3 Prostorová interpolace z bodových dat

V terénním modelování slouží interpolace k určení hodnot v místech, kde nebyly naměřeny. Tyto hodnoty jsou určovány na základě naměřených dat, která se nacházejí v dané lokalitě. Je zapotřebí, aby sledovaný jev byl spojitý či prostorově závislý. Nejčastěji je interpolací odhadována hodnota nadmořské výšky (jedná se o souřadnici Z), dále je možno odhadovat teplotu, srážky atd. (Burian, 2008). Výsledek interpolace se většinou zobrazuje v rastrové grafice, prostorové projekci nebo se jím proloží izolinie (Ježek, 2015).

Dle vstupních dat mohou být interpolace děleny na bodové, liniové a plošné. Dle širě působení se dále dělí na lokální a globální (Klimánek, 2006).

- Lokální typ: tento typ interpoluje neznámou hodnotu pouze z bodů, které se nacházejí zpravidla v blízkosti určovaného bodu. Změna jedné hodnoty ovlivní výsledek pouze v dané lokalitě, nejedná se o celé řešené území.
- Globální typ: tento typ zahrnuje do výpočtu odhadu všechny vstupní naměřené hodnoty. Změnou jedné hodnoty je ovlivněn výsledek celé zkoumané lokality (Burrough and McDonnell 1998).

Použitá interpolační funkce má velký vliv na výsledné modely. Proto je nutné, aby byl před samotným začátkem interpolace vybrán vhodný algoritmus pro zpracování naměřených dat na základě daných specifických vlastností. V dnešní době je na výběr

z mnoha interpolačních funkcí, mezi které patří: Natural Neighbor, Spline, IDW atd. (Klimánek, 2006).

Ke zpracování dat této práce byla použita funkce Topo To Raster z programu ArcGIS patřícího společnosti ESRI.

3.3.1 Topo To Raster

Jedná se o nástroj, který je navržen k vytvoření hydrologicky korektního DTM. Interpolační metoda je založena na programu ANUDEM (Hutchinson, 1988). Topo To Raster je navržen tak, aby přesností a kvalitou výpočtu odpovídal lokálnímu typu interpolace a zároveň výsledek odpovídal svou spojitostí i globálnímu typu interpolace (ArcGIS Pro, 2017). Algoritmus je hlavně přizpůsoben pro výpočty s vrstevnicovými daty a vychází z předpokladu, že hlavními faktory modelující tvar terénu jsou hydrologické procesy. Prvním krokem je tvorba jednoduché odtokové sítě identifikací lokálního maxima křivosti v každé vrstevnici a také výpočty maximálních sklonů. Informace z prvního kroku jsou dále použity v následné interpolaci DTM. Ke zlepšení přesnosti interpolace je možné zahrnout do výpočtu doplňující data, která jsou pro zájmovou lokalitu dostupná. Především se jedná o linie toků, břehové linie, výškové kóty a hranice zájmového území (Klimánek, 2006).

Nastavení nástroje Topo To Raster:

Vstupní data (Input feature data): Charakter vstupních dat může být různý.

- Výškové body (Point elevation): jedná se o bodovou vrstvu, jejíž hodnoty představují povrchové vyvýšeniny.
- Vrstevnice (Contour): jedná se o liniovou vrstvu spojující místa se stejnou nadmořskou výškou.
- Vodní toky (Stream): jedná se o liniovou vrstvu. Každý tok může být znázorněn pouze jednou linií, která je orientována směrem po proudu.
- Deprese (Sink): jedná se o bodovou vrstvu, která představuje známé topografické deprese.
- Hranice (Boundary): jedná se o polygonovou vrstvu, představující hranici výstupního rastru. Buňky nacházející se za danou hranicí nesou hodnotu NoData.

- Jezera (Lake): jedná se o polygonovou vrstvu, určující umístění vodní plochy. Minimální hodnotu výšky budou nést buňky na břehu vodní plochy.
- Útes (Cliff): jedná se o liniovou vrstvu reprezentující útesy. Každý útes je znázorněn tak, že levá strana linie představuje spodní hranu útesu a pravá strana linie představuje horní hranu útesu.
- Pobřeží (Coast): jedná se o polygonovou vrstvu reprezentující pobřežní oblast. Buňky ve výstupním rastru nacházející se za tímto polygonem nesou hodnotu menší, než je minimální limit nastavený uživatelem.
- Vyloučení (Exclusion): jedná se o polygonovou vrstvu, která zajišťuje, aby body nacházející se uvnitř této vrstvy nebyly zapojeny do interpolace.

Velikost výstupní buňky (Output cell size): pomocí tohoto řádku se nastavuje velikost buněk, při které bude rastr vytvořen.

Rozsah výstupního rastru (Output extent): defaultně je minimální a maximální souřadnice X nastavena na minimální a maximální souřadnici X ze všech vstupních dat. To samé platí pro souřadnici Y.

Okraj (Margin in cells): tímto parametrem je nastavena vzdálenost od hranice (boundary), ve které ještě proběhne interpolace. Hodnota tohoto parametru musí být větší nebo rovna nule a defaultně je nastavena na 20.

Minimální hodnota souřadnice Z (Smallest z value to be used in interpolation): je standardně nastavena na hodnotu minimální souřadnice Z všech vstupních bodů o dvacet procent sniženu.

Maximální hodnota souřadnice Z (Largest z value to be used in interpolation): je standardně nastavena na hodnotu maximální souřadnice Z všech vstupních bodů o dvacet procent zvýšenu.

Odtoková síť (Drainage enforcement):

- Uplatňovat (Enforce): tímto parametrem je nastaveno, že všechna bezodtoková místa budou vyplněna.
- Neuplatňovat (No enforce): tímto parametrem je nastaveno, že žádná bezodtoková místa nebudou vyplněna.
- Uplatňovat deprese (Enforce with sink): vstupní body představují známé topografické deprese, které jsou ve výpočtu zachovány. Ostatní deprese jsou považovány za nepravé a jsou vyplněny.

Primární typ vstupních dat (Primary type of input data):

- Vrstevnice (Contour): dominantní typ vstupních dat jsou vrstevnice.
- Výškové body (Spot): dominantní typ vstupních dat jsou výškové body.

Maximální počet iterací (Maximum number of iterations): tímto parametrem je nastaveno, jestli má být vyplněno více či méně bezodtokových míst. Hodnota počtu iterací musí být větší než nula.

Nerovnost (Roughness penalty): tento parametr charakterizuje míru nerovnosti. Jeho hodnota musí být větší nebo rovna nule. Pokud jsou základním datovým typem vrstevnice, standardní hodnota je nastavena na nulu. Pro datový typ výškové body je to hodnota 0,5. Větší hodnoty nejsou doporučovány.

Profil zakřivení nerovnosti (Profile curvature roughness penalty): u tohoto parametru jsou nastavovány hodnoty 0 (výchozí, bez profilu zakřivení), 0,5 (střední profil zakřivení) a 0,8 (pro maximální profil zakřivení). Větší hodnoty než 0,8 nejsou doporučovány.

Regulace hladkosti (Discretisation error factor): tento parametr se používá k regulaci hladkosti při převodu vstupních dat na rastr. Hodnota parametru musí být větší než nula. Běžně se používají hodnoty z intervalu od 0,5 do 2, standardní hodnota je 1. Čím vyšší je parametr, tím je větší vyhlazení.

Vertikální směrodatná odchylka (Vertical standard error): v případě že vstupní výšková data vykazují velkou náhodnou chybu v souřadnici Z, tak vertikální směrodatná odchylka může být nastavena na malou kladnou hodnotu. Pro většinu výškových dat by měla být vertikální směrodatná odchylka nulová.

Tolerance 1: hodnota tolerance 1 vyjadřuje hustotu výškových dat ve vztahu k odtokové síti. U výškových bodů se tato hodnota přebírá z hodnoty vertikální směrodatné odchylky. U vrstevnic se doporučuje použít poloviční hodnota průměrného kroku vrstevnic.

Tolerance 2: hodnota tolerance 2 zamezuje vyplňování bezodtokých oblastí nereálně vysokými bariérami.

Výstupní vrstva vodních toků (Output stream polyline features): výstupní liniová vrstva vodních toků je vytvořena během interpolačního procesu. Porovnáním se vstupní vrstvou vodních toků může být ověřena správnost vytvořené odtokové sítě.

Výstupní vrstva neodstraněných depresí (Output remaining sink point features): výstupní bodová vrstva neodstraněných depresí nezahrnuje body vstupní vrstvy charakterizující deprese. Pokud je počet neodstraněných depresí vysoký, lze snížit změnou hodnot tolerancí 1 a 2. Zbývající deprese většinou vyjadřují chyby ve vstupních datech, které proces odtokové sítě nebyl schopen odstranit. Jedná se tedy o účinný nástroj pro odhalení chyb ve vstupních datech.

Výstupní diagnostický soubor (Output diagnostic file): jedná se o textový soubor s výpisem všech vstupních dat, zvolených parametrů a počtem odstraněných depresí při každé iteraci.

Výstupní soubor parametrů (Output parameter file): jedná se o textový soubor s výpisem všech vstupních dat a zvolených parametrů, který může být použit pro zopakování interpolace pomocí nástroje *topo to raster by file* (ArcGIS Pro, 2017).

3.4 Digitální model terénu

Digitální model terénu, ve zkratce DTM (Digital Terrain Model), představuje digitalizovanou podobu zemského terénu ve formě výšek velkého množství bodů se souřadnicemi X, Y, Z, která nezahrnuje stavby, sídla, stromy apod. (El-Sheimy et al., 2005; Klimánek, 2006). Jedná se o soubor uspořádaných číselných informací o terénním reliéfu, doplněných pravidly pro jeho používání (Slovník geodetického a kartografického názvosloví, 1979).

3.4.1 Sběr dat pro DTM

Pro tvorbu digitálního modelu terénu je potřeba provést sběr dat. V současné době je na výběr z mnoha způsobů, jak tyto data získat. Při výběru je třeba zvážit několik faktorů, mezi které patří: velikost území, požadovaná přesnost dat, čas, cena a požadovaná maximální hustota bodů. Nejpřesnějším, avšak časově a cenově nejméně výhodným způsobem, je nivelace. Mezi další způsoby patří např.: GPS, LiDAR, DPZ, Radarové snímání, vektorizace map atd. (Li et al., 2005).

3.4.2 Způsoby prezentace DTM

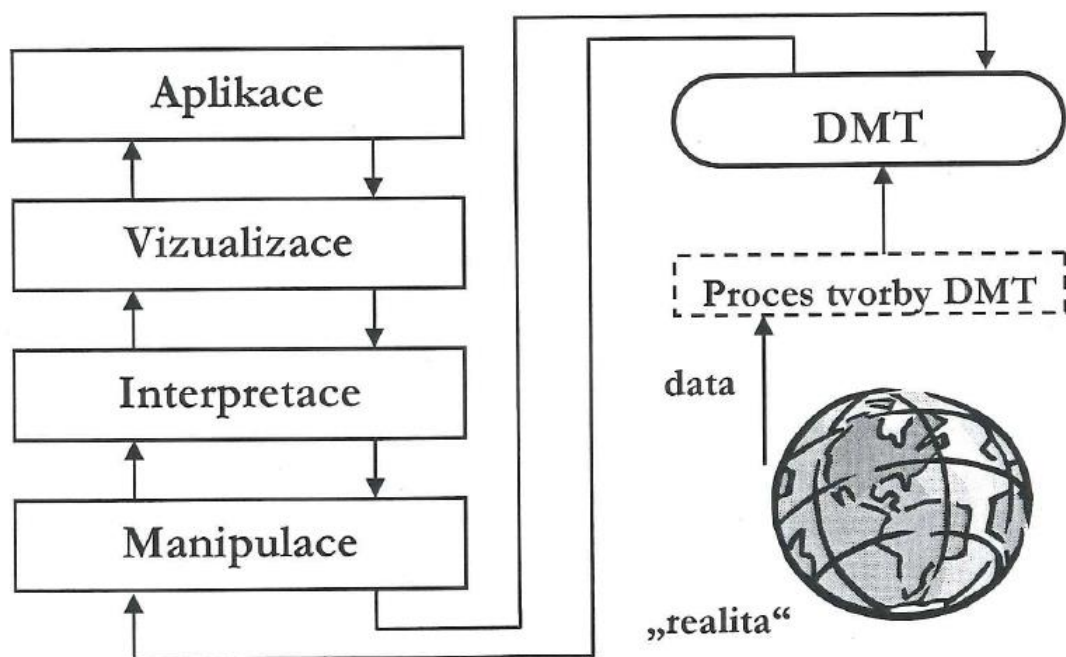
Nejčastěji je DTM prezentován jako rastr nebo jako TIN (Trianguled Irregular Network) (Toppe, 1987).

Při tvorbě TIN se využívá metoda triangulace. Principem triangulace je algoritmus, který pracuje se třemi body, jimiž je proložena kružnice. Pokud se v dané kružnici nenachází žádný další bod, tak je vytvořen z daných třech bodů trojúhelník. Jestliže byl v kružnici další bod nalezen, zvolí se jiné tři body a postup se opakuje. Výsledkem tohoto algoritmu jsou rovinné trojúhelníkové plošky (Kreveld, 1997).

Rastr: v prostředí GIS se nejčastěji jedná o model složený z buněk (pixelů). Buňka je považována za pravoúhlou plochu, jejíž hodnota představuje výšku pro celou buňku. Můžeme se také setkat s variantou, kdy je buňka tvořena uzavřenou plochou čtyřmi body, u kterých je výška odlišná. Dané plochy ve výsledku tvoří zborčené trojúhelníky (Kraus, 2000).

3.4.3 Kontrola kvality výsledných DMT

Po každém generování DMT by měla být provedena kontrola kvality výsledného povrchu. Velmi běžnou metodou kontroly kvality je vynechání určitého procenta vstupních bodů. Po vygenerování DMT výška těchto bodů je odečtena od výsledného povrchu, aby bylo zjištěno, jak přesně tento povrch vystihuje skutečný terén. Tyto diference mohou být použity k výpočtu chyby DMT, jako je např. RMSE (Root Mean Square Error – střední polohová chyba) (El-Sheimy et al., 2005).



Obrázek 7: Hlavní úkoly při modelování terénu (zdroj: Klimánek, 2006)

4 Popis zájmového území

Malá vodní nádrž Břve o katastrální výměře vodní plochy 9,7 ha se nachází na toku Litovický potok v ř.km 20,8. Rybník Břve je situován v městské části Hostivice, konkrétně v městské části Břve. Spolu s rybníky Litovickým, Kala, Strahovským a Baštou tvoří soustavu Hostivických rybníků. Rybník Břve je třetím rybníkem soustavy, nad rybníkem Kala ve směru k prameni. Rybníky Litovický, Kala a Břve jsou součástí maloplošného zvláště chráněného území. Jedná se o přírodní památku „Hostivické rybníky“, která byla vyhlášena Odborem životního prostředí Krajského úřadu Středočeského kraje. Zájmové území je rovinaté s nadmořskou výškou 350 m n.m. Malá vodní nádrž je průtočná, napájena Litovickým potokem, korytem od výpusti výše položeného rybníka Strahovský. Koryto od spodní výpusti odvádí vody do rybníka Litovického. Koryto od bezpečnostního přelivu odvádí vody do níže položeného rybníka Kala. Nádrž vznikla nasypáním zemní hráze a úpravy zátopy v souvislosti s budováním vodovodu pro Pražský hrad v 16. století. V první polovině minulého století bylo vodní dílo kompletně rekonstruováno do dnešní podoby a uvedeno do provozu v roce 1932. Jedná se o historické vodní dílo (Faiferlík, 2012).

4.1 Úvodní informace

- Číslo hydrologického pořadí: 1-12-02-002
- Napájecí tok: Litovický potok
- Katastrální území: Litovice
- Obec: Hostivice
- Okres: Praha západ
- Kraj: Středočeský
- Vlastník: Rybářství Třeboň Hld.a.s., IČ 46678191 (Faiferlík, 2008)

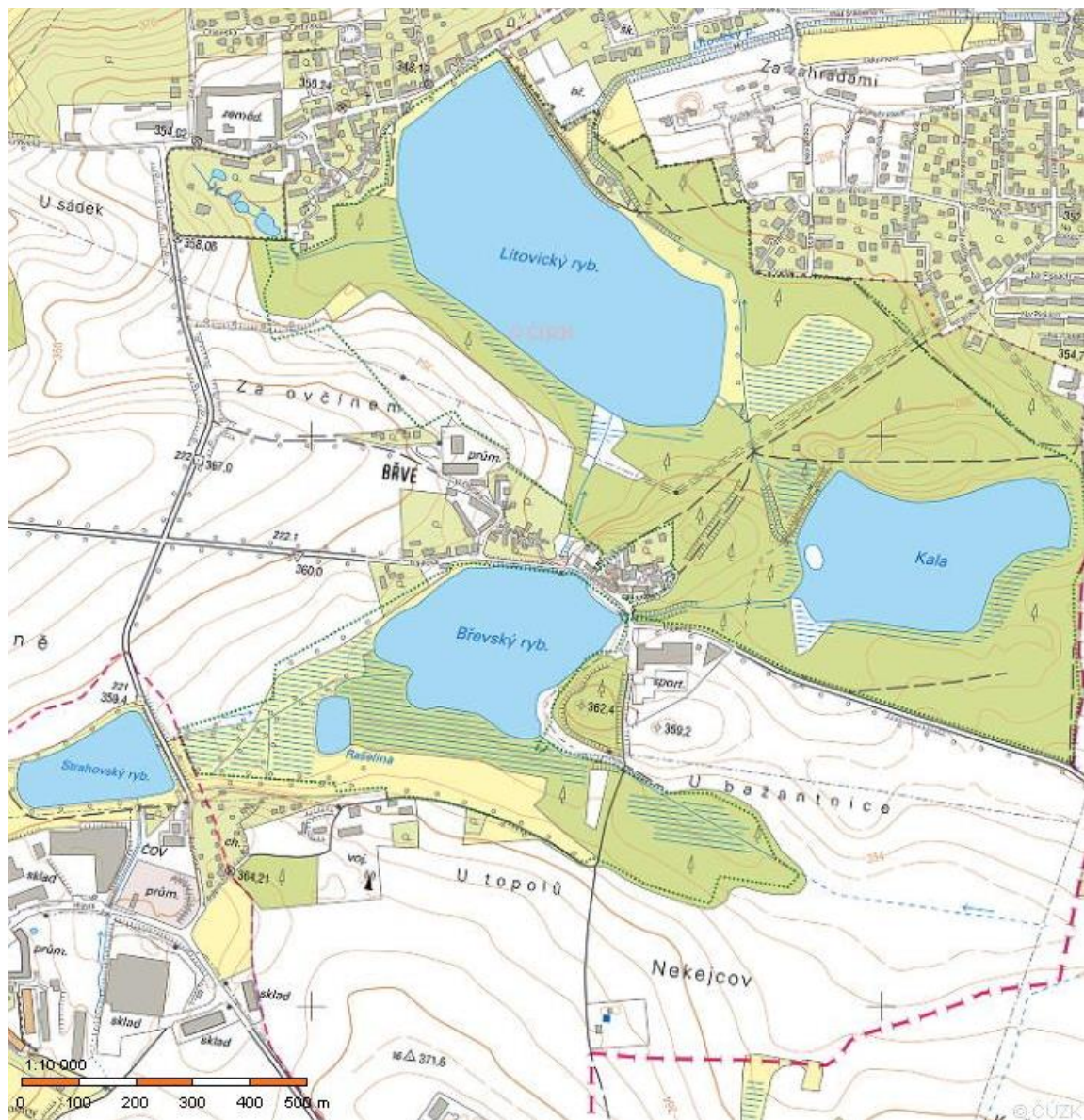
4.2 Technické údaje

- Katastrální výměra: 97699 m²
- Vodní plocha: 9,7 ha
- Účel rybníka: rybochovný, krajínovotvorný, akumulací, retenční, k zachování bioty pro přirozený výskyt korýšů, obojživelníků, ryb, vodního ptactva a ostatních vodních živočichů.

- Hráz:
 - Maximální hloubka: 3,86 m
 - Délka: 303 m
 - Maximální výška: 6,4 m
 - Šířka koruny: 6 m
 - Šířka v patě: 35 m
 - Sklon svahů:
 - Návodní: 1:1,5
 - Vzdušný: 1:2,5
- Vypouštěcí zařízení:
 - Druh: betonový požerák na návodní straně, součást bašty
 - Profil: 0,4 m
- Přeliv:
 - Druh: dlážděná koruna, půlkruh
 - Délka přelivné hrany: 13,5 m
- Hladina:
 - Výškový systém: balt p.v.
 - Normální: 351,00 m n.m.
 - Na horní hraně přelivu: 351,00 m n.m.
 - Při Q_{100} : 351,77 m n.m.
- Průtoky:
 - Q_{355} : 3,0 l/s
 - Q_{330} : 6,0 l/s
 - Q_{100} : 12,80 m³/s
- Objem vody:
 - Prostor při normální hladině: 119 280 m³
 - Retenční prostor: 78 970 m³
 - Celkový prostor nádrže: 198 250 m³
 - Výpar: 63 000 m³/rok, 740 mm (Faiferlík, 2008)



Obrázek 8: Lokalizace na území ČR (zdroj: ČÚZK, 2017)



Obrázek 9: Výřez z katastrální mapy (zdroj: ČÚZK, 2017)

5 Metodika

Metodika této práce nejdříve popisuje postup batymetrického měření malé vodní nádrže Břve a následně zpracování naměřených dat.

5.1 Batymetrické zaměření malé vodní nádrže Břve

Batymetrické zaměření malé vodní nádrže Břve bylo uskutečněno 22.3.2017 pomocí echosounderu RiverSurveyor M9. Jedná se o produkt americké firmy SonTek. Tento přístroj byl zapůjčen Katedrou vodního hospodářství a environmentálního modelování.

Během měření nádrže byla hlavice přístroje usazena ve speciálně upraveném kajaku pro tyto účely. Dále byla do kajaku umístěna komunikační jednotka, která přijímala signál od Real Time Kinematic (RTK) a zpracovávala data. Tato komunikační jednotka byla propojena s modulem M9 pomocí kabelů.

Dále byla na břehu nádrže připravena k použití právě již zmíněná RTK stanice, která během celého měření komunikovala s komunikační jednotkou a předávala jí přesné údaje o konkrétní poloze přístroje.

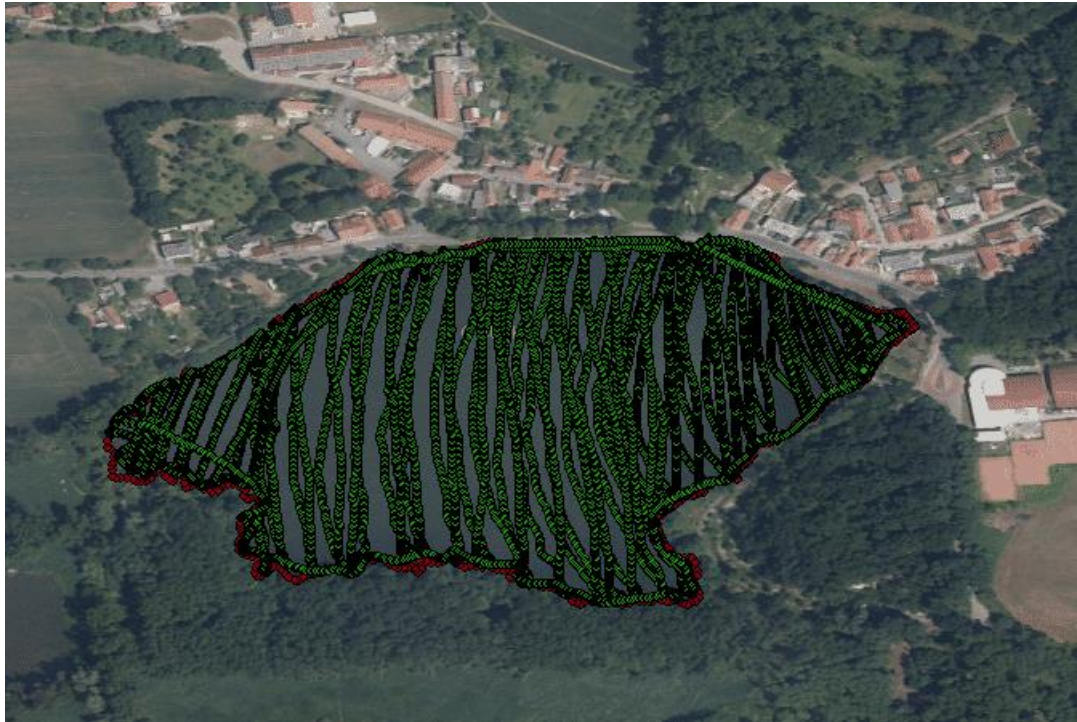


Obrázek 10: RTK stanice na břehu nádrže (zdroj: Anežka Nevoralová, zatím nepublikováno)

Mobilní telefon byl dalším přístrojem, který byl po dobu měření stále v provozu. Pro batymetrické účely je tento telefon vybaven softwarem RiverSurveyor Live a byl používán k bezdrátovému ovládní měřicího přístroje. Za účelem ochrany byl neustále opatřen vodotěsným obalem a pověšen na krk kajakáře.

Ještě před samotným začátkem měření bylo nutné přístroj zkalibrovat a nastavit několik základních parametrů měření. Kalibrace byla prováděná otáčením kajaku s přístrojem v horizontálním i vertikálním směru, přičemž bylo snahou dosáhnout takových podmínek, které by mohly vzniknout při pohybu plavidla po hladině vody. Bez kalibrace by byla data zkreslená. Parametry, které je doporučeno před začátkem každého měření aktualizovat, se zadávají do výše zmíněného mobilního telefonu. Patří mezi ně aktuální výška hladiny vody v nádrži, oblačnost, teplota nebo hloubka měřící jednotky pod hladinou vody. Jedná se o takové údaje, které mění podmínky měření a tím ovlivňují výstupní naměřená data.

Po zapojení a zprovoznění všech komponentů mohlo dojít k samotnému najíždění nádrže. Průběh projížděné trasy byl s kajakářem předem domluven tak, aby došlo k maximálně možné přesnosti měření vzhledem k aktuálním podmínkám. Celkem bylo naměřeno 14 062 bodů. K půdorysnému zaměření břehové linie během tohoto měření nedošlo.



Obrázek 11: Trajektorie při měření MVN Břve + bodová břehová linie + ortofoto
(zdroj: autor, ČÚZK, 2017)

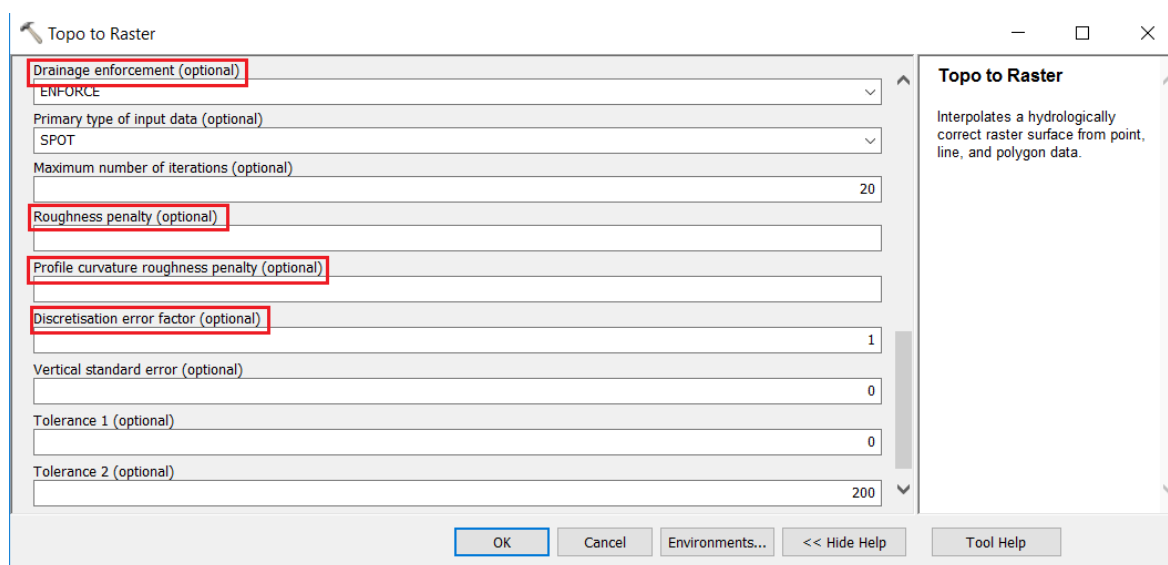
5.2 Zpracování dat

Z již zmiňovaného batymetrického měření byly získány body se souřadnicemi X, Y, Z, které byly pro snazší manipulaci importovány do MS Excel. Dále s těmito daty bylo pracováno v prostředí GIS, kde se z nich v první řadě vytvořila bodová vrstva, která reprezentovala dno nádrže. Dále bylo vyexportováno do nové vrstvy náhodně vybraných 10 % bodů z celkového počtu a z původní vrstvy byly vymazány. Tyto body budou následně použity pro kontrolu přesnosti výsledné bodové interpolace pomocí cross validace za použití kritéria RMSE. Dalším krokem bylo rozdělení zbylých 90 % bodů na 70 %, 50 % a 30 %, z kterých byly následně vytvořeny tři nové bodové vrstvy. Jelikož nedošlo k půdorysnému zaměření břehové linie, tak následovala vektorizace břehové linie podle ortofotomapy ČÚZK, aby mohla být následně vložena jako bodová vrstva s nulovou hodnotou souřadnice Z do interpolace s naměřenými body za účelem získání reálnějšího průběhu digitálního modelu terénu dna. Bodová vrstva břehové linie byla dále převedena do polygonové vrstvy, aby následně při interpolaci posloužila jako hranice území.

K vytvoření digitálního modelu terénu dna malé vodní nádrže Břve byla použita GIS funkce Topo to Raster ve více variantách nastavení s 90 %, 70 %, 50 % a 30 % počty bodů. Tento nástroj je součástí ArcToolboxu programu ArcGIS.

Parametry, které byly ve funkci nastavovány:

- Output cell size: velikost jedné buňky byla nastavena vždy na 1 x 1 m.
- Drainage enforcement
- Primary type of input data: primární typ dat byl nastaven vždy na spot (body).
- Roughness penalty
- Profile curvature roughness penalty
- Discretisation error factor

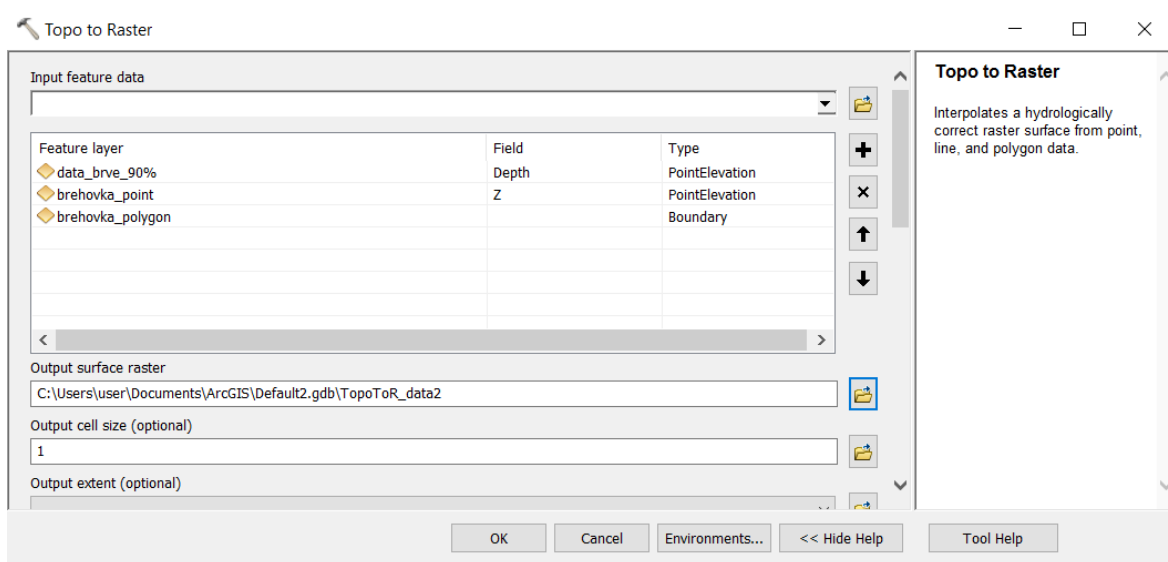


Obrázek 12: Topo to Raster – Názorná ukázka nastavovaných parametrů (zdroj: autor, 2017)

Různá nastavení parametrů Drainage enforcement, Roughness penalty, Profile curvature roughness penalty a Discretisation error factor je možno vidět v příloženém Grafu 1, který se nachází v kapitole Výsledky. Tento graf byl vytvořen v programu MS Excel.

Vrstvy vstupující do funkce Topo to Raster:

- Bodová vrstva reprezentující naměřené hloubky
- Bodová vrstva reprezentující břehovou linii s nulovou souřadnicí Z
- Polygonová vrstva reprezentující břehovou linii sloužící jako hranice území



Obrázek 13: Topo to Raster – Názorná ukázka vstupních vrstev (zdroj: autor, 2017)

Kontrola přesnosti výsledných digitálních modelů terénu dna pomocí cross-validace probíhala za použití funkce Extract Values to Points. Jako vstupní data byla použita bodová vrstva obsahující 10 % původně vyčleněných bodů z celkového počtu naměřených bodů a daný digitální model terénu dna. Pomocí této funkce byla ke každému bodu ze vstupní vrstvy přiřazena hodnota ze vstupního rastru, kterou vypočítala použitá funkce Topo to Raster. Následně byla každá naměřená hodnota porovnána s vypočtenou hodnotou interpolační funkce. Výsledné rozdíly těchto hodnot byly dále vloženy do vzorce RMSE pro zjištění střední polohové chyby mezi naměřenými daty a daty vytvořenými interpolací. Výsledné hodnoty RMSE v závislosti na nastavení parametrů funkce Topo to Raster a množství použitých bodů jsou k vidění v Grafu 2, který se nachází v kapitole Výsledky.

Hodnota RMSE je matematicky vyjádřena jako:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$$

- y_i : je naměřená hodnota
- \hat{y}_i : je hodnota interpolovaného DTM
- n : je počet kontrolovaných bodů

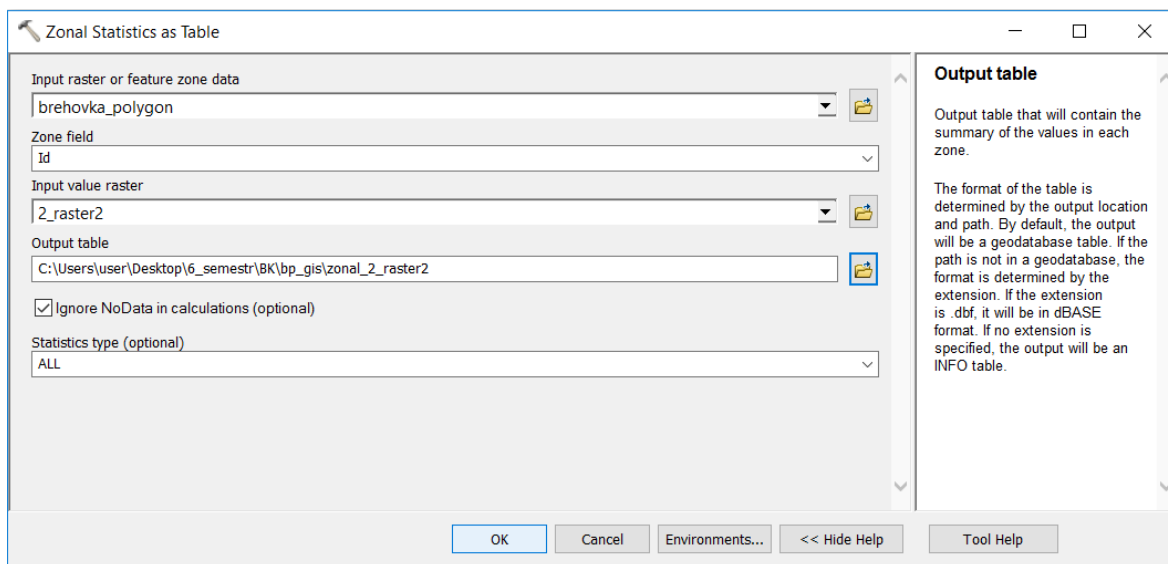
FID	Shape	Step	Sample	Time	Depth	UTM X	UTM Y	Altitude	VB Depth	BT Depth	HDOP	random	RASTERVALU
6	Point ZM	In Transect	418	0:00:00	0,52	446079,86	5546545,85	352,98	0,52	0,3	2,9	0,051299	0,43601
7	Point ZM	In Transect	421	0:00:00	0,39	446079,62	5546546,44	352,96	0	0,39	2,9	0,000365	0,43601
8	Point ZM	In Transect	423	0:00:00	0,43	446079,58	5546546,67	352,95	0,43	0,44	2,9	0,005323	0,43601
9	Point ZM	In Transect	432	0:00:00	0,48	446079,75	5546548,39	352,97	0,48	0,49	2,9	0,036607	0,477619
10	Point ZM	In Transect	448	0:00:00	0,43	446083,26	5546557,08	353	0,43	0,43	2,9	0,100674	0,410793
11	Point ZM	In Transect	463	0:00:00	0,33	446085,83	5546563,82	353,01	0	0,33	2,8	0,080475	0,358214
12	Point ZM	In Transect	491	0:00:00	0,51	446094,77	5546575,76	352,97	0,51	0,3	2,8	0,005822	0,439745
13	Point ZM	In Transect	499	0:00:00	0,33	446093,51	5546578,64	353,05	0	0,33	2,8	0,013905	0,493795
14	Point ZM	In Transect	518	0:00:00	0,34	446084,68	5546588,61	352,98	0	0,34	2,8	0,047042	0,362347
15	Point ZM	In Transect	519	0:00:00	0,33	446084,22	5546589,17	352,99	0	0,33	2,8	0,099156	0,505034
16	Point ZM	In Transect	527	0:00:00	0,32	446081,32	5546590,72	353,03	0	0,32	2,8	0,095012	0,432266
17	Point ZM	In Transect	552	0:00:00	0,45	446081,79	5546574,61	352,96	0,45	0,45	2,8	0,038206	0,441569
18	Point ZM	In Transect	554	0:00:00	0,43	446082,36	5546573,05	352,92	0,43	0,43	2,8	0,022069	0,432089
19	Point ZM	In Transect	556	0:00:00	0,41	446082,84	5546571,77	352,91	0,41	0,42	2,8	0,005534	0,421966
20	Point ZM	In Transect	558	0:00:00	0,41	446083	5546570,6	352,92	0,41	0,41	2,8	0,024102	0,402295
21	Point ZM	In Transect	571	0:00:00	0,35	446084,63	5546562,31	352,95	0	0,35	2,8	0,06854	0,354556
22	Point ZM	In Transect	577	0:00:00	0,36	446084,72	5546561,74	353	0	0,36	2,8	0,016185	0,354556
23	Point ZM	In Transect	583	0:00:00	0,37	446083,5	5546565,05	352,98	0	0,37	2,8	0,001557	0,356536
24	Point ZM	In Transect	584	0:00:00	0,38	446083,19	5546565,83	353	0	0,38	2,8	0,086059	0,367255
25	Point ZM	In Transect	588	0:00:00	0,41	446082,26	5546569,31	352,95	0,41	0,4	2,8	0,034138	0,395603

Obrázek 14: Názorná ukázka tabulky vzniklé použitím funkce Extract Value to Points
červeně – naměřené hodnoty, zeleně – vyinterpolované hodnoty (zdroj: autor, 2017)

Na základě všech hodnot RMSE bylo vyhodnoceno, jaký výsledný digitální model terénu dna v porovnání s kontrolními body je nejpřesnější. Z daného modelu byl následně vypočten akumulační objem malé vodní nádrže Břve ke dni 22.3.2017, který by se dal považovat za nejpřesnější. Dále byla použita v programu ArcGIS funkce Minus, pomocí které byly stanoveny rozdíly mezi jednotlivými digitálními modely terénu dna. Ve funkci Minus byly od hodnot nejpřesnějšího DTM dna odečítány hodnoty DTM dna s větší hodnotou RMSE.

K vypočtení akumulačního objemu bylo zapotřebí znát sumu hloubek všech buněk digitálního modelu terénu dna. Tato hodnota byla zjištěna pomocí funkce Zonal Statistics as Table, která sumarizuje všechny hodnoty rastru. Jelikož rozměr buňky byl při nastavování funkce Topo to Raster zvolen 1 x 1 m, tak plocha jedné buňky činí 1 m².

Vynásobením plochy jedné buňky a sumy všech hloubek byl vypočten akumulční objem malé vodní nádrže Břve.



Obrázek 15: Zonal Statistics as Table – zjištění sumy hloubek (zdroj: autor, 2017)

6 Výsledky

Ve výsledcích jsou představena zpracovaná data z batymetrického měření. Je zde zobrazen současný stav hloubek a akumulačního objemu malé vodní nádrže Břve kde dni 22.3.2017, vyhodnocení nastavení funkce Topo to Raster a závislost kvality výsledného digitálního modelu terénu na množství použitých bodů při interpolaci.

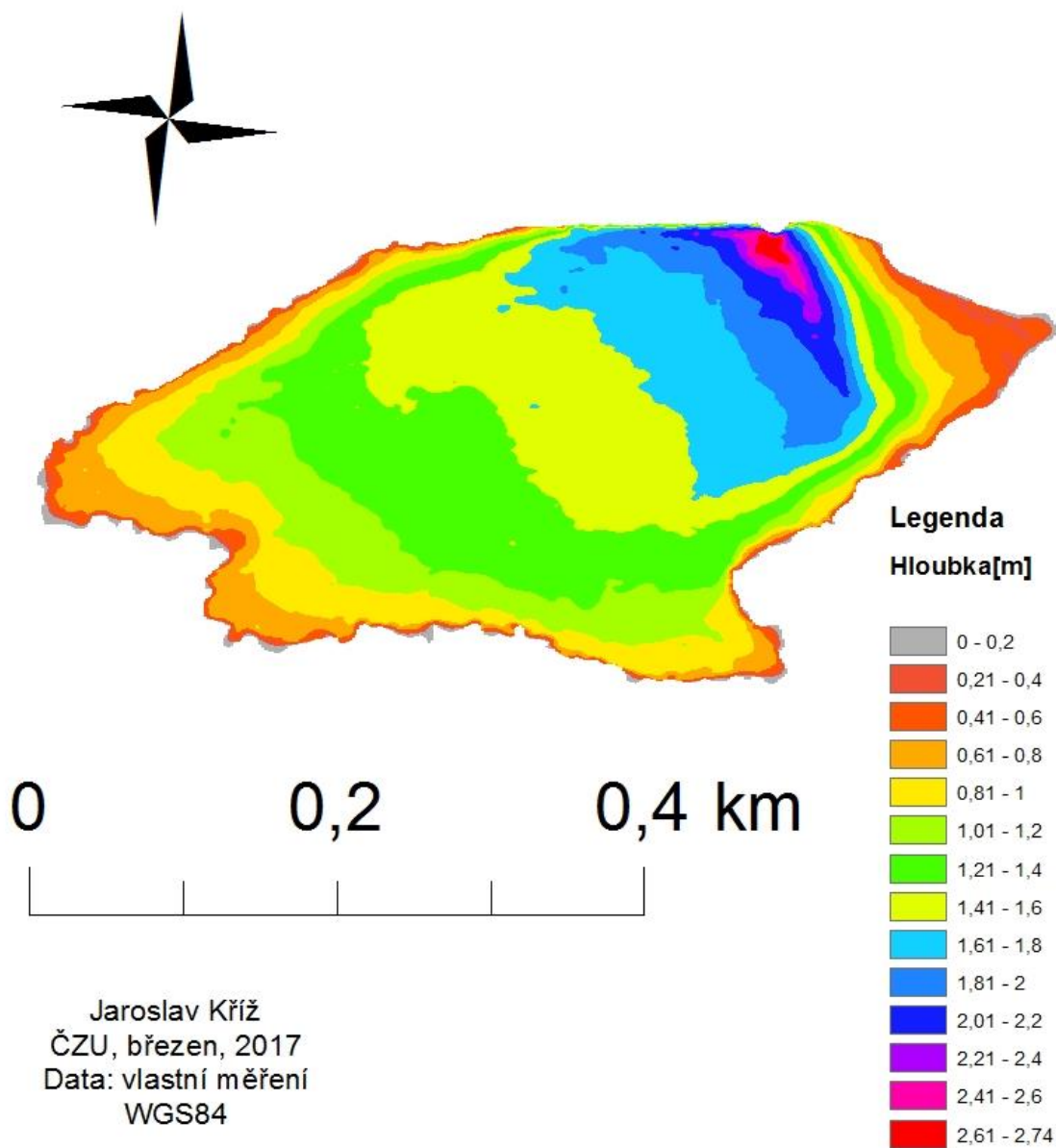
Následující Obrázek 16 představuje digitální model terénu dna malé vodní nádrže Břve, který podle RMSE byl vyhodnocen jako nejpřesnější. Tento model byl interpolován z 90 % naměřených bodů při nastavení funkce Topo to Raster:

- Drainage enforcement: No enforce
- Cell size: 1
- Primary type of input data: Spot
- Ostatní parametry byly nastaveny defaultně

Pomocí tohoto digitálního modelu terénu dna byly určeny hloubky a akumulační objem nádrže. Jedná se o hodnoty:

- Akumulační objem: 101 473 m³, což je o 15 % méně než objem při normální hladině vody.
- Hloubky: jsou znázorněny v Obrázku 16 a maximální hloubka je 2,74 m.

Digitální model terénu dna malé vodní nádrže Břve



Obrázek 16: Digitální model terénu dna malé vodní nádrže Břve při použití 90 % procent naměřených bodů a nejpřesnějšího nastavení interpolační funkce podle RMSE (zdroj: autor, 2017)

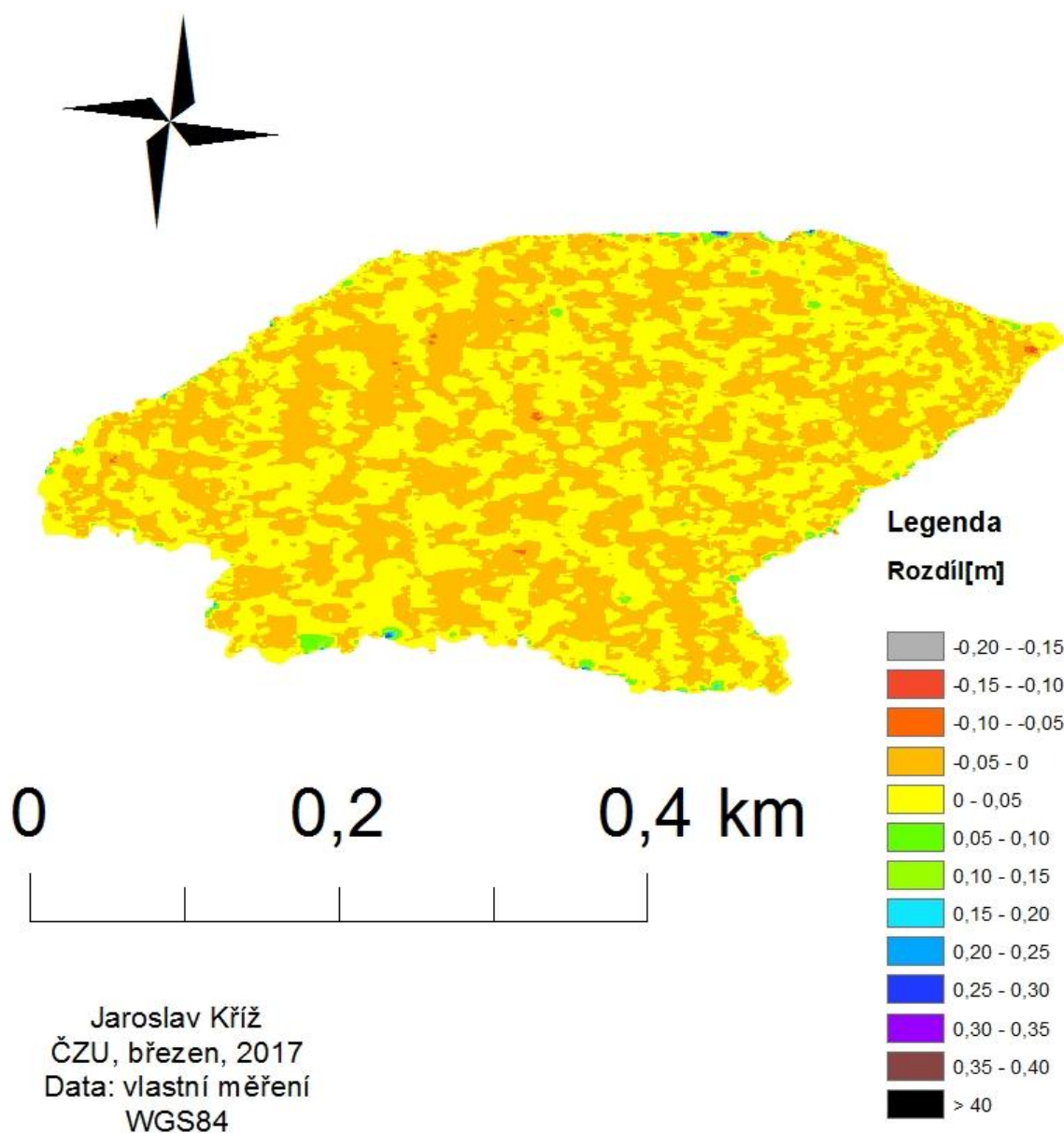
Dále jsou zobrazeny tři rastry znázorňující rozdíly mezi:

- výše zmíněným digitálním modelem terénu dna, který byl podle RMSE vyhodnocen jako nejpřesnější a modelem, který byl interpolován z 70 % naměřených bodů a se stejným nastavením interpolační funkce jako výše zmíněný digitální model terénu dna.
- výše zmíněným digitálním modelem terénu dna, který byl podle RMSE vyhodnocen jako nejpřesnější a modelem, který byl interpolován z 50 % naměřených bodů a se stejným nastavením interpolační funkce jako výše zmíněný digitální model terénu dna.
- výše zmíněným digitálním modelem terénu dna, který byl podle RMSE vyhodnocen jako nejpřesnější a modelem, který byl interpolován z 30 % naměřených bodů a se stejným nastavením interpolační funkce jako výše zmíněný digitální model terénu dna.

Výsledné hodnoty těchto rastrů jsou:

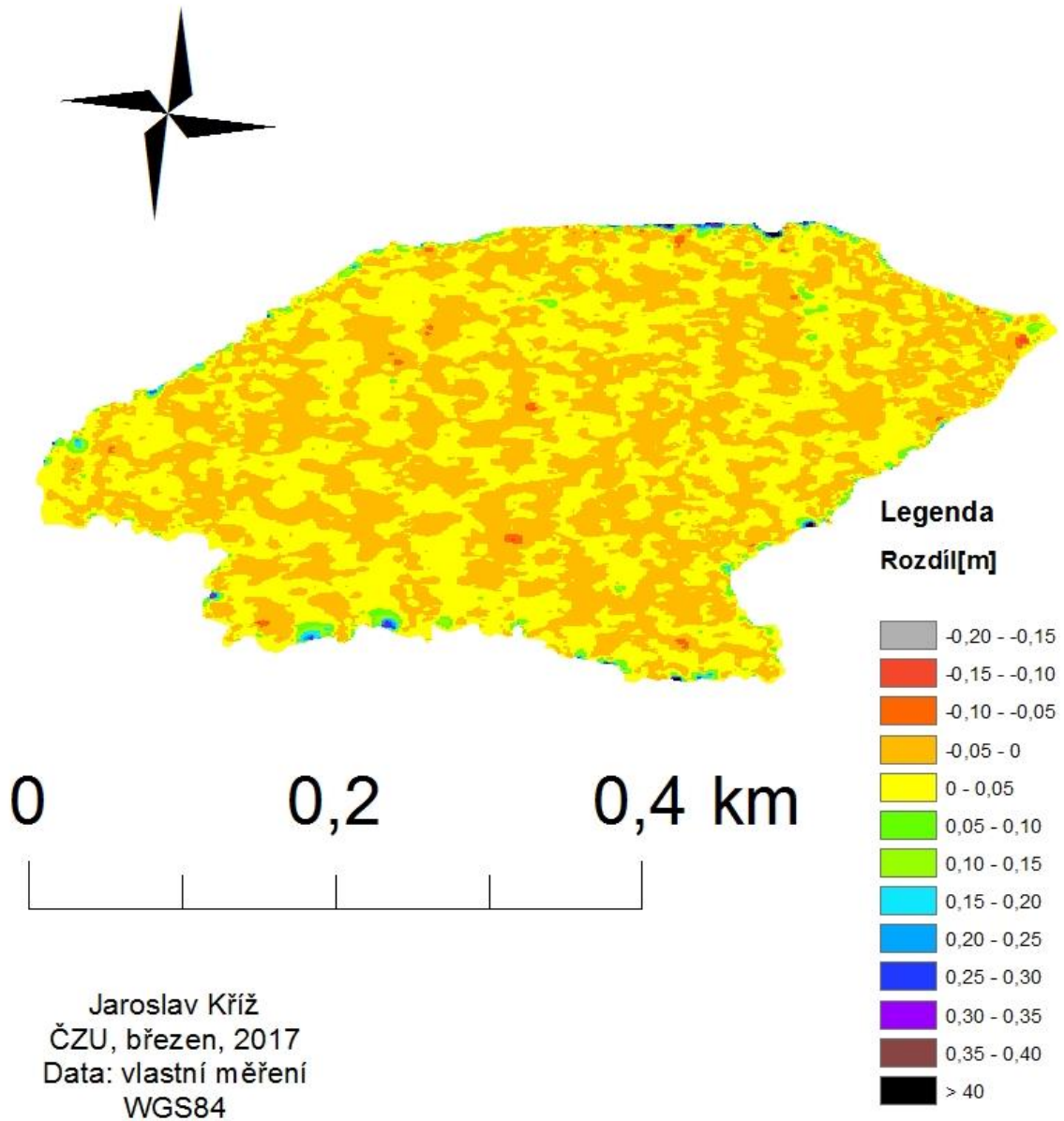
- Minimální hodnota je rovna -0,158 m.
- Maximální hodnota je rovna 1,231 m.

Rozdíl výsledných digitálních modelů terénu 90 % X 70 %



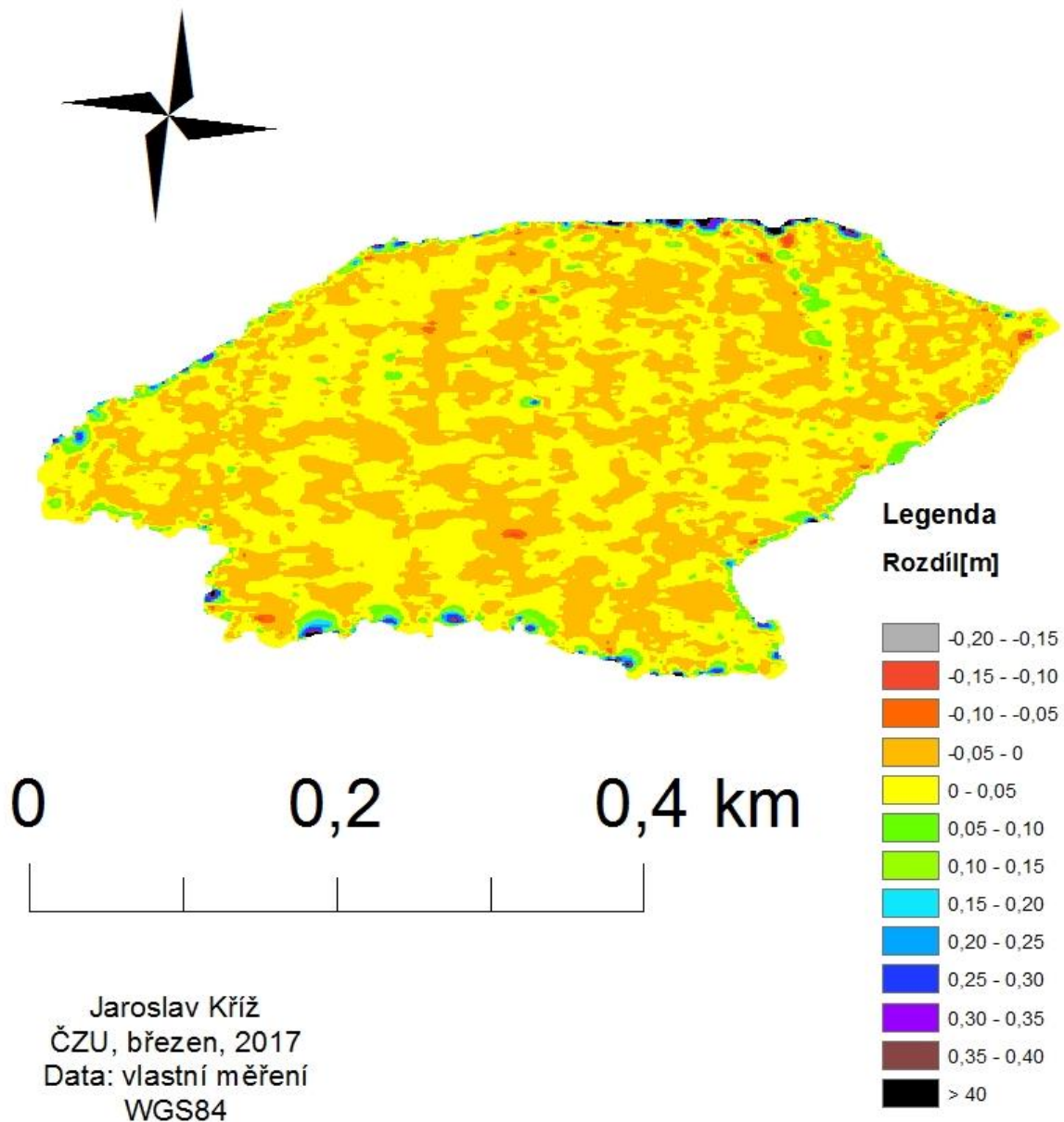
Obrázek 17: Rastr znázorňující rozdíl mezi digitálními modely terénu (zdroj: autor, 2017)

Rozdíl výsledných digitálních modelů terénu 90 % X 50 %



Obrázek 18: Rastr znázorňující rozdíl mezi digitálními modely terénu (zdroj: autor, 2017)

Rozdíl výsledných digitálních modelů terénu 90 % X 30 %



Obrázek 19: Rastr znázorňující rozdíl mezi digitálními modely terénu (zdroj: autor, 2017)

Jsou zde i patrné rozdíly mezi jednotlivými výsledky akumulčních objemů (nastavení parametrů interpolační funkce: stejné jako u nejpřesnějšího digitálního modelu terénu dna podle RMSE).

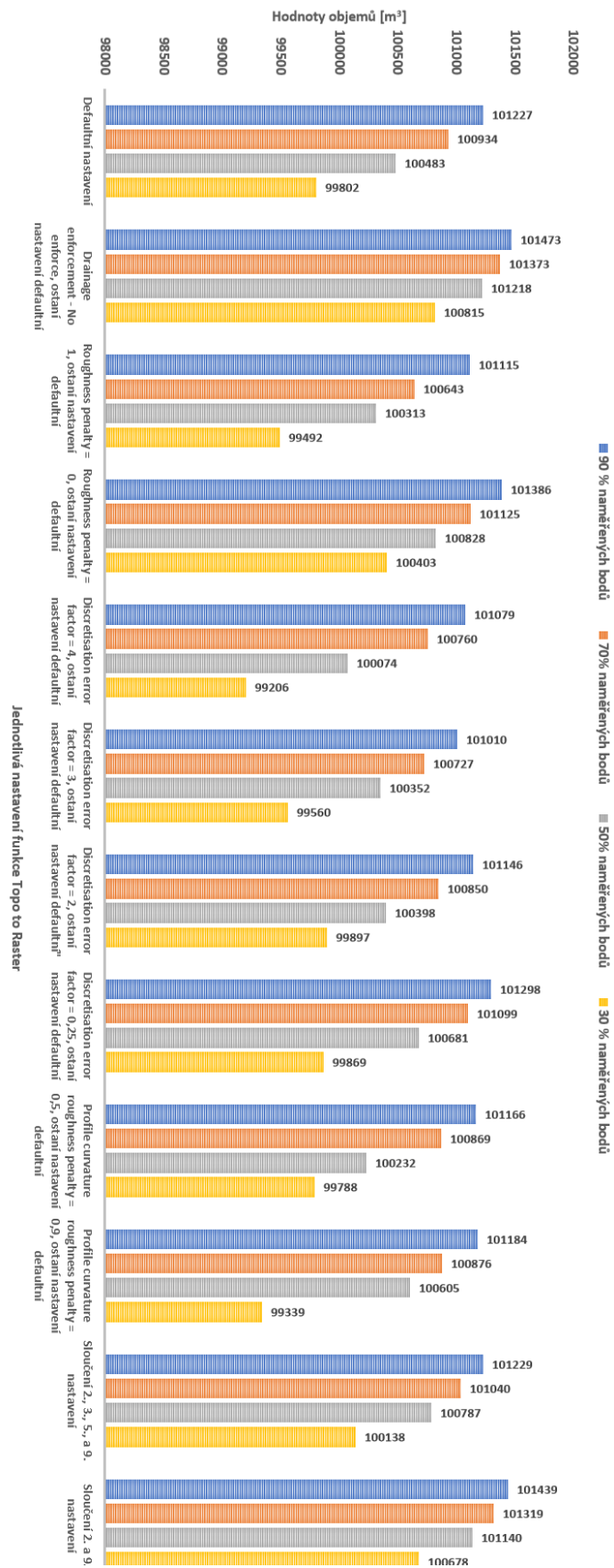
Tabulka 2: Jednotlivé akumulční objemy (zdroj: autor, 2017)

Datová sada [%]	Akumulční objem [m ³]
90	101 473
70	101 373
50	101 218
30	100 815

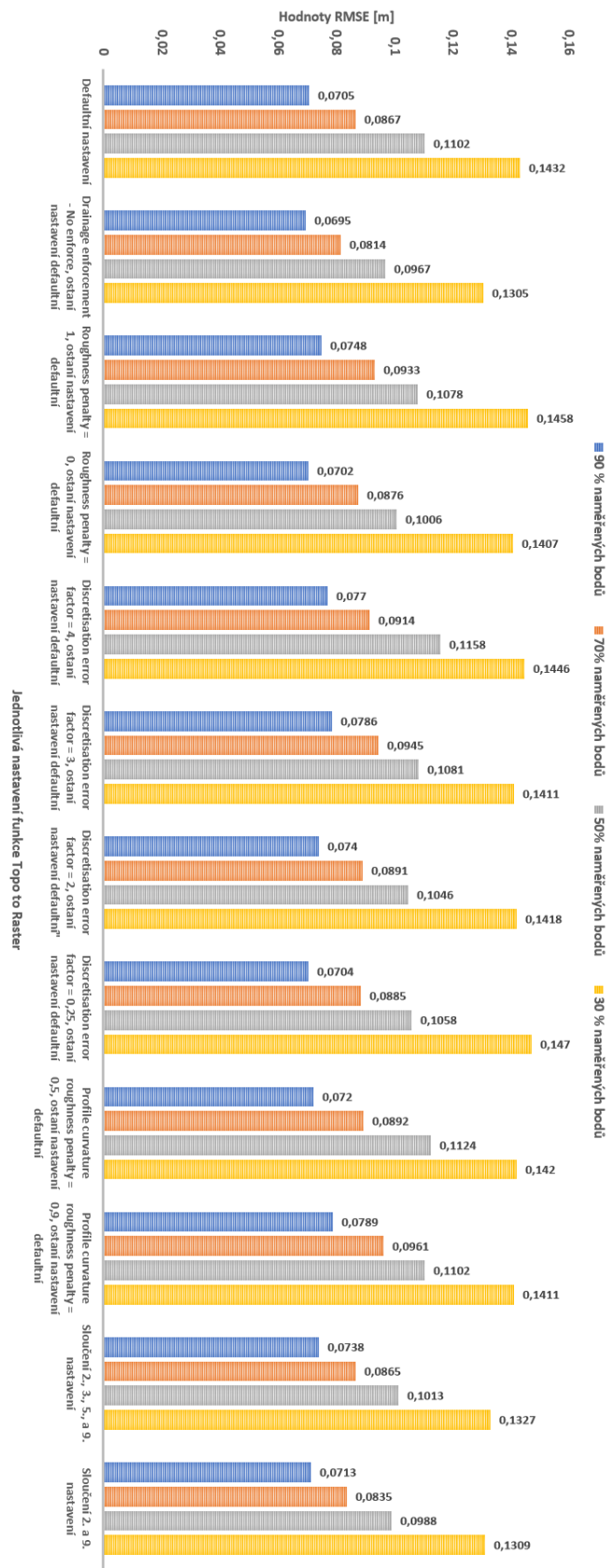
Následující Graf 1 na straně 52 zobrazuje výsledné akumulční objemy při všech použitých variantách nastavení interpolační funkce a množstvích použitých bodů. Hodnoty výsledných objemů jsou v rozmezí 99 206 m³ až 101 473 m³. Průměrná hodnota ze všech akumulčních objemů je rovna 100 676 m³.

Graf 2 na straně 53 zobrazuje výsledné hodnoty RMSE pomocí kterých jsou vyhodnoceny výsledné digitální mode terénu dna. Hodnota RMSE je závislá na variantě použitého nastavení interpolační funkce a na procentuální datové sadě.

- Maximální hodnota RMSE: je rovna 0,147 m.
- Minimální hodnota RMSE: je rovna 0,0695 m.
- Průměrná hodnota RMSE: je rovna 0,10214 m.



Graf 1: Výsledné hodnoty objemů (zdroj: autor, 2017)



Graf 2: Výsledné hodnoty RMSE (zdroj: autor, 2017)

7 Diskuze

Předmětem této bakalářské práce je batymetrické zaměření malé vodní nádrže Břve, zhodnocení vlivu nastavení parametrů interpolační funkce Topo to Raster na výsledný digitální model terénu dna dané nádrže, určení závislosti výsledného digitálního modelu terénu dna na hustotě vstupních dat, vypočtení akumulčního objemu Břve a vyhodnocení měření v podobě hloubek.

Zaměření Břve bylo zrealizováno nevšední metodou, která spočívala v usazení přístroje do speciálně upraveného kajaku. Použití právě kajaku bylo pro měření velikým přínosem, jelikož díky svému malému ponoru a snadné manévrovatelnosti na základě lidského faktoru lze naměřit hodnoty v mělkých a hůře dostupných místech, zejména v oblasti břehů. Za zmínku lze uvést hodnotu 22 cm, nejmenší naměřenou hloubku. Pro podmínky převládající v ČR je použitá metoda ve většině případech dostačující, dokonce pro malé vodní nádrže se jedná o metodu nejvhodnější a nejpřesnější. Avšak v případě velkých vodních ploch je praktičtější využít motorizovaná plavidla, jenž lidem usnadní práci při pohybování nutném pro měření.

Naměřená data jsou původně vyexportována z přístroje RiverSurveyor M9 ve formátu, jenž je k přečtení pouze v softwaru dodávaným výrobcem přístroje. Ze zkušenosti načerpané při zpracovávání mé bakalářské práce mohu doporučit si tato data překonvertovat do excelovského sešitu. Právě excel je totiž vhodným formátem pro nahrávání zdrojových dat do programu ArcGIS. V prostředí programu ArcGIS byly vytvořeny digitální modely terénu dna malé vodní nádrže Břve za použití vícero variant nastavení funkce Topo to Raster při různém procentuálním množství vstupních dat do této interpolační funkce.

Z výsledného digitálního modelu terénu dna lze vidět pozvolný spád od napájecího toku ke spodnímu výpustnému zařízení. Dno nevykazuje členitost nebo náhlou změnu hloubek. Výjimku tvoří území v blízkosti spodní výpusti nádrže. Maximální hloubka 2,74 m odpovídá nastavení a procentuálnímu množství vstupních dat, které bylo vyhodnoceno na základě RMSE (0,0705 m) jako nejlepší (viz Graf 2). Maximální hloubka se logicky nachází právě u spodního výpustného zařízení.

Podle nastavení interpolační funkce a procentuálního množství vstupních dat byly ovlivňovány interpolované hloubky, což mělo dále za následek různé hodnoty

akumulačních objemů. Na základě hodnot RMSE byl určen nejpravděpodobnější akumulací objem, jehož hodnota je $101\,473\text{ m}^3$, což je cca 85 % akumulací objemu při normální hladině dle manipulačního řádu. Bohužel během měření nebyla zjištěna kóta aktuální hladiny, která by jednoznačně a ihned určila, jestli se jedná o změnu zapříčiněnou nánosem sedimentu do nádrže nebo poklesem hladiny. Díky výpočtům a zjištěným informacím jsem přesvědčen, že se jedná spíše o změnu akumulací objemu zapříčiněnou poklesem vodní hladiny. Usuzuji tak na základě toho, že mnou zjištěná maximální hloubka je zhruba o 1,12 m nižší než maximální hloubka podle manipulačního řádu nádrže, přičemž je méně pravděpodobné, aby se u spodního výpustného zařízení vyskytovala tak vysoká vrstva sedimentů. Pomocí polygonové vrstvy, která reprezentuje hranici vodní plochy, byla určena výměra, která vyšla cca o 1,64 ha menší oproti ploše udávané v manipulačním řádu. Dané rozdíly maximálních hloubek, odvozených z modelu a z manipulačního řádu, a výměr vodní plochy, po dosazení do vzorce pro výpočet objemu, udávají výsledek $18\,386\text{ m}^3$. Tato hodnota je téměř skoro stejná jako hodnota rozdílu objemu vypočteného z digitálního modelu terénu dna a objemu udávaném v manipulačním řádu.

Břehová linie byla vektorizována pomocí ortofotomapy ČÚZK. Jelikož se v místech břehů občas vyskytoval vysoký porost, bylo zapotřebí při této metodě dbát velké pozornosti. Ve všech místech nebylo jednoznačné, kde končí vodní hladina, kvůli právě již zmiňovanému porostu. Digitalizovaná břehová linie z ortofota byla použita i při tvorbě digitálního modelu terénu dna John Redmond Reservoir (Kansas Biological Survey, 2007) a jezera Fletcher v Yosemiteském národním parku v USA (Huggett, 2008).

Obrázky 17 – 19 poukazují na skutečnost, že čím méně podrobný datový set (kterému odpovídají větší hodnoty RMSE, viz Graf 2) byl použit při interpolaci, tím menší hodnoty hloubek byly získány. Proto lze označit akumulací objemy při větší hodnotě RMSE, v závislosti na procentuálním množství datové sady, za podhodnocené. K největším rozdílům hloubek mezi procentuálními datovými sadami docházelo v blízkosti břehů. Extrémní hodnota (1,231) se nachází u spodního výpustného zařízení. Tento fakt je dle mého uvážení odůvodnitelný dvěma faktory. Prvním faktorem je obtížnější manipulace s kajakem v blízkosti břehů. Porosty, mělčiny, to vše mohlo ovlivnit zkreslení naměřených hodnot. Druhým faktorem je zvektorizovaná břehová linie, u které je nastavená hloubka (souřadnice Z) nula. Toto nastavení, v součinnosti s maximální hloubkou u spodního

výpustného zařízení, mohlo mít za následek zneřádnění interpolační funkce, která obecně hůře reaguje na velké změny interpolovaného jevu na malých vzdálenostech. Na základě Grafu 1 lze konstatovat, že při použití funkce, jenž ukazatel RMSE vyhodnotil jako nejpřesnější, není rozdíl mezi akumulacími objemy v závislosti na procentuální datové sadě tak markantní, jak by se dalo očekávat. Avšak u méně vhodného nastavení se už rozdíly zvětšují.

Graf 2 vystihuje celkem malé rozpětí hodnot RMSE v závislosti na nastavení interpolační funkce v rámci jednotlivých procentuálních datových sad. RMSE je více ovlivněno právě hustotou naměřených bodů. Podobnost hodnot RMSE v rámci různých nastavení interpolace je dle předpokladů ovlivněna charakterem dna, který je, jak již bylo zmíněno, bez náhlých změn hloubek. Pokud by bylo dno více členité, dosahovalo větších hloubek a nacházely se na něm velké spádové rozdíly, tak by nastavení funkce mělo větší vliv na výsledný digitální model terénu dna.

Z mého měření malé vodní nádrže Břve a následného vyhodnocení vyvozuji názor, že při zpracování naměřených dat u nádrže s podobným charakterem dna, jako je u malé vodní nádrže Břve, nemá slibnou perspektivu se podrobněji zabývat parametry funkce Topo to Raster. Optimální je nastavení, které podle RMSE vyšlo nejpřesněji, ale na základě výsledků lze doporučit také nastavení defaultní.

Hodnocení čtyř procentuálních datových sad je takové, že čím větší hustota bodů je použita při interpolaci, tím je samozřejmě výsledný digitální model terénu dna kvalitnější, což je vidět v Grafu 2. Avšak z Grafu 1 je patrné, že při nastavení interpolace vyhodnoceném podle RMSE jako optimálním pro všechny čtyři sady dat (druhá čtveřice záznamů) jsou výsledné akumulacími objemy ze všech datových sad podobné.

8 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo provést batymetrické zaměření malé vodní nádrže Břve. Měření bylo provedeno přístrojem RiverSurveyor M9 dne 22.3.2017. Následné zpracování naměřených dat proběhlo v programu ArcGIS. Na základě hodnot RMSE bylo zhodnoceno, že interpolace funkcí Topo to Raster byla velice přesná (minimální hodnota RMSE jest 0,0695 m). Dále byl vyhodnocen v Grafu 2 vliv množství vstupních bodů do dané interpolační funkce na hodnotu RMSE. Součástí výsledků je také akumulací objem Břve a vyhodnocení hloubek. Daný objem má hodnotu 101 473 m³ a maximální hloubka je rovna 2,74 m.

V rámci této práce byla také vypracována rešerše, která zahrnuje témata: malé vodní nádrže, batymetrie, prostorová interpolace z bodových dat a digitální model terénu.

Malá vodní nádrž Břve byla představena v samostatné kapitole. Byly zde uvedeny především lokalizační a technické údaje.

Dále byla popsána metodika postupu při měření batymetrie malé vodní nádrže echosounderem a zpracování naměřených dat.

Bakalářskou práci ukončuje stěžejní kapitola Diskuze, ve které je uvedeno možné odůvodnění spočtených hodnot a výsledných jevů.

9 Seznam použité literatury

9.1 Knižní zdroje

- BURIAN, Jaroslav. *Vyznáte se v interpolacích?* 2008 Geobusiness 7/11 40-42 s.
- BURROUGH Peter and McDONNELL Rachael. *Principles of geographical information systems*. Oxford: Oxford University Press, 1998, 333 p.
- CABLÍK, Jan. *Základy stavby rybníků a hospodářských nádrží*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1960, 311 s.
- ČSN 75 2410. *Malé vodní nádrže*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011, 48 s. Praha
- EL-SHEIMY, Naser et al. *Digital terrain modeling: acquisition, manipulation, and applications*. Boston: Artech House, 2005, 257 p. ISBN 9781580539210.
- FAIFERLÍK, Jaroslav. *Manipulační a provozní řád pro rybník Břve na Litovickém potoce*. Plzeň, 2008, 14 s.
- FAIFERLÍK, Jaroslav. *Průvodní zpráva: Rekonstrukce a odbahnění rybníka Břve*. Plzeň, 2012, 9 s.
- HUGGETT, Brian. *Fletcher Lake Bathymetry*. 2008, 47 s.
- HUTCHINSON, Michael. *Calculation of hydrologically sound digital elevation models. Paper presented at Third International Symposium on Spatial Data Handling at Sydney*. 1988, Australia.
- JANEČEK, Miloslav a kol. *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2012, 113 s. ISBN 978-80-87415-42-9
- JEŽEK, Josef. *Geostatistika - Úvod do geostatistiky*. Praha: Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze, 2008.
- KLIMÁNEK, Martin. *Digitální modely terénu*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2006, 85 s. ISBN 80-7157-982-3.
- KRAUS, Karl. *Photogrammetrie Band 3. Topographische Informationssysteme*. Köln: Dümmler Verlag, 2000.
- KREVELD, Marc. *Algorithmic Foundations of Geographic Information Systems*. New York: Springer, 1997. ISBN: 978-3540638186
- LI, Zhilin et al. *Digital terrain modeling: principles and methodology*. New York: CRC Press, 2005. ISBN 0-415-32462-9

- McKEAN, Joseph et al. *Remote sensing of channels and riparian zones with a narrow-beam aquatic-terrestrial LIDAR*. 2009 Remote sensing, vol.1 1065 – 1096 s.
- PAVLICA, Jan. *Malé vodní nádrže a rybníky*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1964, 200 s.
- POTI M. et al. *A Biogeographic Assessment of Seabirds, Deep Sea Corals and Ocean Habitats of the New York Bight*. 2012 Science to Support Offshore Spatial Planning, 9 s.
- ŠÁLEK, Jan, MIKA, Zdeněk a TRESOVÁ, Anna. *Rybníky a účelové nádrže*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1989, 267 s. ISBN 80-03-00092-0
- ŠÁLEK, Jan. *Malé vodní nádrže v životním prostředí*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 1996, 141 s. ISBN 80-7078-370-2
- ŠEDIVÝ, Vilém a VRÁNA, Karel. *Vodní hospodářství: Hydraulika, Malé vodní nádrže, Revitalizace krajiny*. Vodňany: Střední rybářská škola a Vyšší odborná škola vodního hospodářství a ekologie, 2011, 235 s. ISBN 978-80-87096-14-7
- Slovník geodetického a kartografického názvosloví*. Praha: Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, 1979. Edice Výzkumného ústavu geodetického, topografického a kartografického.
- ŠOBR, Miroslav a JANSKÝ, Bohumír. *Jezera České republiky*. Praha: Univerzita Karlova, 2003, 199 s. ISBN 80-86561-05-4
- TLAPÁK, Václav a HERÝNEK, Jaroslav. *Malé vodní nádrže*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2002, 198 s. ISBN 80-7157-635-2
- TOPPE, Ronald. *Terrain models – A tool for natural hazard Mapping*. 1987
- VRÁNA, Karel a BERAN, Jan. *Rybníky a účelové nádrže*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1998, 150 s. ISBN 80-01-01713-3

9.2 Internetové zdroje

- ArcGIS Pro: How Topo to Raster works. [online]. 2007 [cit. 2017-04-15]. Dostupné z: <http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/3d-analyst/how-topo-to-raster-works.htm>
- ArcGIS Pro: Topo to Raster. [online]. 2007 [cit. 2017-04-15]. Dostupné z: <http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/3d-analyst/topo-to-raster.htm>
- Geoportál ČÚZK: Nahlížení do katastru nemovitostí: Zobrazení mapy. [online]. 2017 [cit. 2017-04-15]. Dostupné z: <http://nahliznidokn.cuzk.cz/VyberKatastrMapa.aspx>
- Kansas Biological Survey: Applied Science and Technology for Reservoir Assessment (ASTRA). [online]. 2007 [cit. 2017-04-15].

Dostupné z: http://www.kwo.org/Reservoirs/ReservoirBathymetry/JohnRedmondReservoir_revised_12010_kbs.pdf

SonTek: Riversurveyor S5 and M9. [online]. 2007 [cit. 2017-04-15]. Dostupné z: <http://www.sontek.com/productsdetail.php?RiverSurveyor-S5-and-M9-14>

Vodní hospodářství: Za hranice batymetrie. [online]. 2015 [cit. 2017-04-15]. Dostupné z: www.vodnihospodarstvi.cz/ArchivPDF/vh2015/vh_03-2015.pdf

Vodní hospodářství: Za hranice batymetrie. Pokorná, M. [online]. 2007 [cit. 2017-04-15]. Dostupné z: www.vodnihospodarstvi.cz/ArchivPDF/vh2015/vh_03-2015.pdf

10 Seznamy

10.1 Seznam obrázků

Obrázek 1: Říční a potoční malé vodní nádrže	15
Obrázek 2: Dělení malých vodních nádrží podle způsobu vytvoření zásobního prostoru ..	16
Obrázek 3: Vertikální členění nádržného prostoru	18
Obrázek 4: Homogenní hráz	20
Obrázek 5: Nehomogenní hráz	20
Obrázek 6: Riversurveyor M9	27
Obrázek 7: Hlavní úkoly při modelování terénu	33
Obrázek 8: Lokalizace na území ČR	36
Obrázek 9: Výřez z katastrální mapy	37
Obrázek 10: RTK stanice na břehu nádrže	38
Obrázek 11: Trajektorie při měření MVN Břve + bodová břehová linie + ortofoto	40
Obrázek 12: Topo to Raster – Názorná ukázka nastavovaných parametrů	41
Obrázek 13: Topo to Raster – Názorná ukázka vstupních vrstev	42
Obrázek 14: Názorná ukázka tabulky vzniklé použitím funkce Extract Value to Points	43
Obrázek 15: Zonal Statistics as Table – zjištění sumy hloubek	44
Obrázek 16: Digitální model terénu dna male vodní nádrže Břve při použití 90 % procent naměřených bodů a nejpřesnějšího nastavení interpolační funkce podle RMSE	46
Obrázek 17: Rastr znázorňující rozdíl mezi digitálními modely terénu	48
Obrázek 18: Rastr znázorňující rozdíl mezi digitálními modely terénu	49
Obrázek 19: Rastr znázorňující rozdíl mezi digitálními modely terénu	50

10.2 Seznam tabulek

Tabulka 1: Přesná specifikace přístroje RiverSurveyor M9	26
Tabulka 2: Jednotlivé akumulční objemy	51

10.3 Seznam grafů

Graf 1: Výsledné hodnoty objemů	52
Graf 2: Výsledné hodnoty RMSE	53