

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ A ENVIRONMENTÁLNÍHO
MODELOVÁNÍ



ZPRACOVÁNÍ BATHYMETRICKÝCH DAT MALÉ VODNÍ
NÁDRŽE UŽITÍM GIS NÁSTROJE SPLINE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Irena Hlavatá

Vedoucí práce: Ing. Petr Bašta

2017

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Irena Hlavatá

Vodní hospodářství

Název práce

Zpracování bathymetrických dat malé vodní nádrže užitím GIS nástroje Spline

Název anglicky

Processing of bathymetry data of small water reservoir using GIS tool Spline

Cíle práce

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

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

Metodika

1. Rešerše na téma malé vodní nádrže, její zanášení sedimenty, bathymetrie a její dostupné metody měření, prostorové interpolace se zaměřením na funkci Spline a její dvě varianty (Regularized Spline, Spline with Tension), DMT
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 echosoundery RiverSurveyor M9, získání dat břehové linie nádrže (možno využít ortofoto)
4. Zpracování naměřených dat v prostředí GIS: aplikace funkcí Regularized Spline a Spline with tension 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 Spline na cross-validační kritéria.

Doporučený rozsah práce
cca 40 normostran textu

Klíčové slova

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

Doporučené zdroje informací

Erdem, H., 2013. RiverSurveyor 55 / M9 System Manual

Kubinský, D., Fuska, J., Weis, K., Lehotský, M., 2013. Change of accumulation volume of Great Richňava and Small Richňava water reservoirs. Acta hydrologica slovac 14/2, 402–413

Lin Y.T., Schuettpeitz 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

Předběžný termín obhajoby

2016/17 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Petr Bažta

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

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci nazvanou „Zpracování batymetrických dat malé vodní nádrže užitím GIS nástroje Spline“ vypracovala samostatně, pod vedením Ing. Petra Bašty a že jsem použila pouze materiály, které jsem uvedla v seznamu literatury.

V Praze dne

Poděkování

V první řadě bych chtěla poděkovat svému vedoucímu práce, panu Ing. Petru Baštovi za věnovaný čas, konzultace a cenné rady. Dále bych poděkovala celé mé rodině a přátelům za jejich trpělivost a podporu během mého studia.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá zpracováním naměřených batymetrických dat a následným vyhodnocením v Geografickém informačním systému(GIS), za pomoci funkce Spline. Teoretická část práce se zabývá obecně malými vodními nádržemi, jejich zanášením a odbahňováním. Dále jsou popsány metody měření batymetrie, interpolace a její metody a digitální model terénu.

V metodice je popsána zájmová lokalita nádrže, sběr a zpracování batymetrických dat a tvorba digitálního modelu terénu interpolační metodou Spline s využitím dvou variant, a to Regularized Spline a Spline with Tension. Nejlépe se osvědčila metoda Spline with Tension. Metoda Regularized Spline byla vyhodnocena jako méně vhodná pro tvorbu DMT dna nádrže.

Klíčová slova

Batymetrie, digitální model terénu, echosounder, malá vodní nádrž, Spline

Abstract

This bachelor thesis deals with the processing of measured batymetric data and subsequent evaluation in the Geographic Information System (GIS), using the Spline function. The theoretical part of the thesis deals generally with small water reservoirs, their clogging and deflection. There are also described methods of measurement of batymetry, interpolation and its methods and digital terrain model.

The methodology describes the interest site of the tank, the collection and processing of batymetric data and the creation of a digital terrain model using the Spline interpolation method using two variants: Regularized Spline and Spline with Tension. The Spline with Tension method is best. The Regularized Spline method was judged to be unsuitable for DMT tank formation.

Keywords

Batymetrie, digital terrain model, echosounder, a small water tank, Spline

Obsah

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Úvod..... | 9 |
| 2 | Cíl práce..... | 10 |
| 3 | Literární rešerše | 11 |
| 3.1 | Malé vodní nádrže..... | 11 |
| 3.2 | Rozdělení MVN..... | 12 |
| 3.2.1 | Rozdělení MVN dle způsobu zásobení vodou | 12 |
| 3.2.2 | Rozdělení MVN dle polohy | 12 |
| 3.2.3 | Rozdělení MVN dle funkce nádrže..... | 13 |
| 3.3 | Prostory MVN..... | 14 |
| 3.4 | Odbahňování nádrží..... | 16 |
| 3.4.1 | Zanášení nádrží | 16 |
| 3.4.2 | Těžba sedimentu | 17 |
| 3.5 | Současné problémy MVN..... | 18 |
| 3.6 | Batymetrie..... | 20 |
| 3.6.1 | Metody měření batymetrie..... | 20 |
| 3.7 | Digitální model terénu | 25 |
| 3.8 | Prostorová interpolace bodových dat..... | 26 |
| 3.8.1 | Vybrané interpolační metody..... | 27 |
| 4 | Metodika | 30 |
| 4.1 | Popis Zájmové lokality | 30 |
| 4.1.1 | Vymezení lokality..... | 30 |
| 4.1.2 | Identifikace MVN | 32 |
| 4.1.3 | Popis MVN | 33 |
| 4.2 | Batymetrické zaměření MVN | 34 |
| 4.3 | Interpolace DMT..... | 36 |
| 4.3.1 | Vyhodnocení chyb | 37 |
| 4.3.2 | Stanovení objemu nádrže..... | 38 |
| 5 | Výsledky | 39 |
| 5.1 | DMT dna nádrže | 39 |
| 5.1.1 | Porovnání mapových výstupů DMT | 39 |
| 5.1.2 | Porovnání DMT pomocí popisné statistiky..... | 42 |
| 6 | Diskuze | 45 |
| 7 | Závěr | 47 |

Seznam použitých zkratk

ADCP Acoustic Doppler Current Profiler (přístroj měřící na principu Dopplerova efektu)

ČUZK Český úřad zeměměřičský katastrální

ČSN Česká státní norma

DMT Digital Terrain Model (digitální model terénu)

GIS Geographic Information System (geografický informační systém)

GPS Global Position System (globální polohový systém)

IDW Inverse Distance Weighted (metoda inverzních vzdáleností)

LIDAR Light Detection and Ranging (dálkové měření vzdálenosti)

MVN Malá vodní nádrž

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

RTK Real Time Kinematic (kinematika v reálném čase)

1 Úvod

Malé vodní nádrže jsou důležitou součástí naší krajiny, v které plní několik důležitých funkcí, např. zásobní, estetickou, ochrannou, asanační, rekreační, rybochovnou apod. Většina těchto nádrží je víceúčelových, při správném návrhu a provozování přispívají tyto nádrže k ochraně a tvorbě životního prostředí (Šálek a kol., 1989).

Hlavním problémem malých vodních nádrží je jejich zanášení sedimenty, které vede ke zhoršování akumulární schopnosti nádrže, a tím k následnému zmenšení objemu vody, což vede k postupnému zániku nádrží. V České republice je stávající stav nádrží z tohoto hlediska neuspokojivý. Většina malých vodních nádrží je natolik zanesena, že nezvládá plnit funkci, pro kterou byla vybudována.

Malou vodní nádrží, která je předmětem této práce, je Louňovický rybník, který se nachází ve středočeském kraji v obci Louňovice. Tento rybník je součástí soustavy malých vodních nádrží nacházejících se na Jevanském potoce. Hlavním cílem této práce bylo zpracovat a vyhodnotit naměřená batymetrická data a následně vytvořit digitální model terénu dna nádrže v programu ArcGis pomocí funkce Spline s nastavením odlišných parametrů této funkce.

Měření hloubek malých vodních nádrží pomocí echosounderu není v České republice příliš rozšířené a využívané. Jedná se ovšem o technologie, pomocí kterých lze snadno a rychle získat data o hloubkách.

V literární rešerši jsou obecně popsány malé vodní nádrže, odbahňování a zanášení nádrží, současné problémy malých vodních nádrží, batymetrie a její způsoby měření, digitální model terénu a prostorová interpolace bodových dat s vybranými interpolačními metodami.

Ve čtvrté kapitole je popsána vybraná malá vodní nádrž, její lokalizace a základní údaje o vodním díle. Dále je zpracován postup měření batymetrie pomocí ADCP přístroje RiverSurveyor M9. Z těchto naměřených hodnot jsou dále vypracovány DMT dle interpolační metody Spline a postup výpočtu objemu nádrže. V páté kapitole jsou zhodnoceny dosažené výsledky.

2 Cíl práce

Hlavním cílem této práce je zpracování batymetrických dat malé vodní nádrže Louňovický rybník v povodí Jevanského potoka aplikací funkcí Spline, při odlišných variantách nastavení jejích parametrů. Dále zhodnocení vlivů nastavených parametrů na výsledné digitální modely terénu dna nádrže.

Dílčím cílem je zpracování rešerše související s problematikou malých vodních nádrží, jejich zanášením, dostupnými způsoby měření batymetrie, tvorba digitálního modelu terénu dna v programu ArcGis a interpolační metody se zaměřením na funkci Spline a její dvě varianty: Regularized Spline a Spline with Tension.

3 Literární rešerše

3.1 Malé vodní nádrže

V životním prostředí mají malé vodní nádrže důležitou funkci, jsou významným prvkem vodohospodářské soustavy. Malé vodní nádrže (dále jen MVN) ve velké míře napomáhají k dosažení souladu mezi kapacitou vodních zdrojů, kvalitou vody, nároky všech uživatelů v rámci daného prostoru a k tvorbě životního prostředí (Šálek, 1996).

Vodní nádrže se rozdělují na přírodní a umělé. Přírodní nádrže vznikají nezávisle na člověku, jsou to např. plesa nebo jezera, která vznikla trvalým zahrazením údolí přirozeným způsobem (skalním zřícením, sesuvem půdy). Umělé nádrže vytváří člověk svou prací, kterou zasahuje do přirozených poměrů v přírodě. Jsou to tedy nádrže uměle vybudované, např. rybníky nebo přehrady, které vznikají přehrazením řeky uměle vybudovanou hrází. Vodu v umělé nádrži lze ovládat, tzn. že se nádrž může napouštět, vypouštět, regulovat výška hladiny apod. (Pavlica, 1964).

Za MVN je považována taková nádrž, která splňuje dle normy ČSN 75 2410 následující podmínky:

- Objem nádrže pro hladinu ovladatelného prostoru (normální hladinu) není větší než 2 mil. m³ vody,
- Největší hloubka nádrže nepřesahuje 9 m (tj. svislá vzdálenost ode dna k maximální hladině)

Norma platí pro navrhování, výstavbu, rekonstrukci a provoz vodních nádrží se sypanými hrázemi a zároveň pro rekonstrukci historických nádrží, jejichž parametry přesahují uvedená kritéria. Norma není platná pro nádrže přečerpávacích vodních elektráren, odkaliště a pro nádrže s přítokem a odtokem propustným horninovým prostředím dna a svahů nádrže (ČSN 75 2410, 2011)

3.2 Rozdělení MVN

3.2.1 Rozdělení MVN dle způsobu zásobení vodou

Je důležité, aby byl vodní zdroj pro nádrž dostatečně vydatný. Jako zdroj vody může být řeka, pramen nebo dešťová voda.

MVN dělí Pavlica (1964) podle způsobu zásobení vodou na:

- Nebeské (dešťové) – jsou umístěné v územích bez stálého přítoků vody. Nejvíce jsou zásobeny vodou na jaře, a to z tání sněhu a prvních jarních dešťů. Během roku u těchto nádrží klesá hladina o 50 cm a více v důsledku výparu z hladiny. Tyto nádrže mají mít zcela nepropustné dno a strmé svahy, aby se objem vody ve zdrži snižoval co nejméně vlivem průsaku a výparu. Průměrná hloubka by měla být minimálně 2 metry.
- Pramenné – jako zdroj vody jsou prameny které se nachází ve dně, svazích nebo z oblastí těsně nad vzduším. Voda v těchto nádržích je chladná, čistá a bez organických látek. Je tedy vhodná pro chov studenovodních ryb. Tyto nádrže mohou vznikat také v místech pískoven a lomů a plnit se podzemní vodou.
- Průtočné – jsou zásobeny vodou z řek, které přehradily hráze a celý tok jimi protéká. Nádrže mohou být zanášeny sedimenty v důsledku zpomalení rychlosti vody při průtoku nádrží. Vlivem stálého průtoku se teplota vody v nádrži snižuje a je rušen vývoj rostlinných a živočišných mikroorganismů.
- Boční (náhonové) – jsou specifické tím, že napájecí tok je veden mimo nádrž, tedy ve svém dosavadním korytě. Tyto nádrže se budují v terénu bez stálé vodoteče nebo s nedostatečným průtokem vodoteče. Velká část hráze vede souběžně s napájecí vodotečí. Údolí toku je přehrazeno a tok je přeložen podél nádrže-mluvíme pak o nádrži obtokové. Náhon u této nádrže vodu do nádrže přivádí i odvádí. Boční nádrže se vyznačují regulovatelným přiváděním vody. Voda se dostává do náhonů vzduším nebo také čerpáním, odvádět se může do napájecího toku nebo do toku jiného (Pavlica,1964)

3.2.2 Rozdělení MVN dle polohy

Situování nádrže je závislé na tvaru nádržní pánve, účelu a požadované funkci, dostupnosti stavebního materiálu, poloze vzhledem k vodnímu zdroji,

hydropedologických a hydrogeologických podmínkách. Nejekonomičtější je umístit hráz v nejužším místě údolí, kde následně čelní hráz vytvoří největší akumulací prostor. Umístění nádrže ovlivňuje kvalitu vody, životnost nádrže a zanášení nádrže z okolního prostředí (Šálek, 1996)

MVN dělí Tlapák a Herynek (2002) podle polohy na:

- Polní – jsou umístěny v obhospodařovaných polích a často se tedy zanášejí a zarůstají vegetací. Často jsou využívány jako rybochovné a umisťují se na osluněná stanoviště.
- Návesní – jsou situovány přímo v obcích nebo na jejich okrajích. Zástavbou nebo stromy jsou chráněny před studenými větry. Bývají mělké a dobře prohráté, jsou tedy vhodné pro chov ryb nebo vodní drůbeže. Dále mohou mít požární, zásobní a ochrannou funkci. Jsou znečištěny splachy ze zpevněných cest.
- Lesní – jsou zastiňovány lesem a tím mají nižší teplotu vody, zejména když jsou zásobeny lesními prameny. Zároveň jsou díky stromům chráněny před splachem, větry a prachem. Lesní nádrže mají vysokou kvalitu vody, pokud nejsou znečištěny napadaným listím.
- Luční – jsou umístěny uprostřed luk a pastvin a chráněny tak okolní vegetací. Oproti polním nádržím jsou tedy méně zanášeny splachy půdy. Mají vyrovnanější přítok vody po deštích, protože je voda akumulována vegetací a není znečištěna.
- Rašelinné – část vody je vázána rašelinou, kvalitu vody tedy ovlivňují výluhy z rašeliny (huminové kyseliny). (Tlapák a Herynek, 2002)

3.2.3 Rozdělení MVN dle funkce nádrže

Česká státní norma (2011) dělí nádrže podle funkce na:

- Zásobní – slouží k akumulaci vody v době jejího nadbytku a následné využití v období nedostatku vody. Do zásobních nádrží patří vodárenské nádrže, průmyslové, závlahové, energetické, kompenzační, aktivační apod.
- Ochranné – slouží k zachycení a transformaci povodňové vlny a k ochraně území před negativními účinky velkých vod. Do této skupiny nádrží patří poldry, protierozní nádrže, dešťové a vsakovací nádrže apod.

- Čistící – tyto nádrže slouží ke změně fyzikálních, chemických a biologických vlastností vody. Při čištění vody je využíváno zejména samočisticích procesů a přírodních způsobů úpravy vody. Do čistících nádrží jsou řazeny např. chladicí, usazovací, aerobní a anaerobní biologické nádrže a dočišťovací nádrže.
- Rybochovné – vytvářejí příznivé podmínky pro chov ryb. Rybníkem se dle ČSN 46 6800 nazývá umělá vodní nádrž, která je určena pro chov ryb s možností pravidelného vypouštění. Mezi rybochovné nádrže patří: výtěrové a třecí rybníky, sádky, komorové a karanténní rybníky apod.
- Hospodářské – jsou to speciální nádrže vybudované pro konkrétní funkce, jsou to zejména nádrže požární, pro chov vodní drůbeže, pěstování vodních rostlin, napájecí a plavící nádrže nebo výtopové zdrže.
- Speciální účelové – jsou to nádrže pro konkrétní provozní potřeby a účely, např. nádrže recirkulační, vyrovnávací, přečerpávací nebo rozdělovací.
- Asanační – používají se k zachycení a uskladnění látek, které poškozují životní prostředí. Mezi asanační nádrže patří záchytné a skladovací nádrže, umělé laguny a otevřené vyhnívací nádrže.
- Rekreační – jsou to nádrže, které jsou opatřeny speciálním vybavením a upraveným přístupem do vody. Slouží pro rekreaci, provozování vodních sportů a plavání
- Krajinotvorné a nádrže v obytné zástavbě – jsou vybudovány pro vylepšení estetické a ekologické funkce krajiny, sídliště apod. Nádrže mají různé vybavení a konstrukci. Do této kategorie patří nádrže hydromeliorační a okrasné, návesní rybníky, umělé mokřady a nádrže na ochranu biotopy (ČSN 75 2410, 2011).

3.3 Prostory MVN

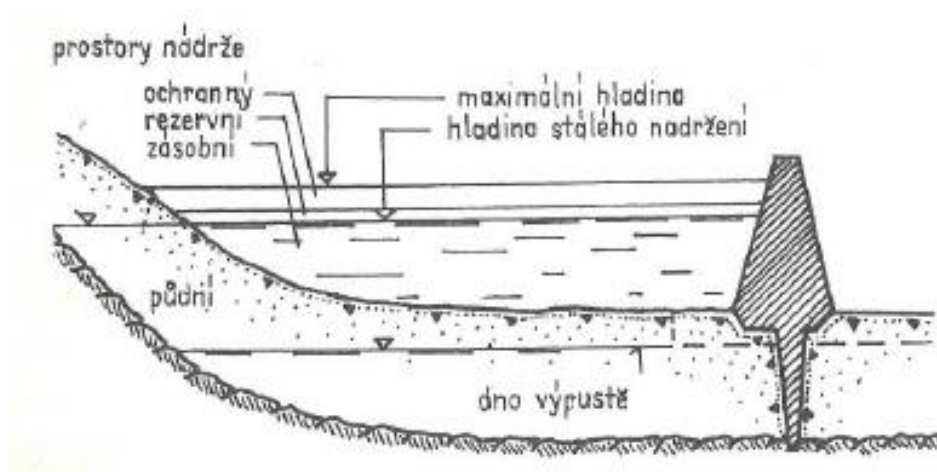
Celkový prostor v nádrži se dělí na několik částí, a to zejména na stálý, zásobní a ochranný.

- Stálý – je to prostor v nádrži, který se nevyužívá k normálnímu provozu a neúčastní se oběhu vody. Slouží pro usazování nánosů a k zabezpečování požadované jakosti vody. Většinou se tento prostor nevypouští.

- Zásobní – nachází se nad hladinou stálého prostoru a dosahuje po přelivnou hranu bezpečnostního přepadu. Zásobní prostor slouží k odběru vody v období sucha (závlaha, nadlepšení průtoku), je ovládán výpustným zařízením. Ze všech prostorů je nejobjemnější, velikost závisí na velikosti napájecího zdroje, konfiguraci terénu a na velikosti odběru.
- Ochranný(retenční) – je umístěn mezi přelivnou hranou nehrazeného bezpečnostního přepadu a nejvyšší přechodně vzduťou hladinou. Ochráňuje nádrž před účinky povodně: zachycuje a snižuje povodně. Objem retenčního prostoru a s ním související rozměry bezpečnostního přepadu jsou navrženy v souvislosti maximálního průtoku a objemu povodňové vlny. Výška prostoru u účelových nádrží a rybníků je malá, retence má spíše charakter horizontální než vertikální (Šálek a kol., 1989)

U nádrží každoročně napouštěných se dále bere v úvahu prostor půdnl, u některých i rezervní

- Půdnl – jeho obsah je závislý na tloušťce půdnl vrstvy, která se po vypuštění nádrže odvodní. Tato vrstva dosahuje do úrovně dnové výpusti. Půdnl prostor se charakterem podobá stálému prostoru údolních nádrží, jelikož část půdnlho prostoru pod úrovní dna hrázové výpusti se nedá vypustit.
- Rezervní(zálohový) – tento prostor se nachází v horní části zásobního prostoru mezi korunou bezpečnostního přepadu a hladinou akumuláčního prostoru. Slouží k zachycování přítoku z letních dešťů, jeho hloubka je několik cm. Z tohoto prostoru se hradí ztráty výparem, nebo se tento prostor použije k trvalému nadlepšení odtoku z nádrže. (Šálek a kol., 1989)



Obrázek 1: Dělení prostoru v nádrži (Šálek a kol., 1989)

3.4 Odbahňování nádrží

Pro bentickou faunu je bahno významným živným prostředím. U rybochovných nádržích je nepostradatelné, ovšem vyšší vrstva bahna může působit negativně. Dochází k rychlému usazování vrstev a tím se zhoršují podmínky pro aerobní rozkladné procesy. Začnou tedy převládat anaerobní procesy a následná tvorba škodlivých plynů, např. metan a sirovodík (Vrána a Beran, 2013)

Pro udržení funkce nádrže je potřeba pravidelné odstraňování sedimentu. To se provádí na základě hydrogeologického průzkumu dna nádrže. Návrh způsobu těžby pro odstranění sedimentu se určuje dle složení sedimentu, charakteru nádrže a hloubce usazenin (ČSN 75 2410, 2011)

3.4.1 Zanášení nádrží

Zanášení nádrží je proces, při kterém se usazují splaveniny z důvodu snížené rychlosti toku vody v nádrži. Nejvíce se tento proces projevuje tedy u nádrží průtočných, kdy se v místě vtoku vytváří sedimentační kužel tvořený písčítými a hrubšími částicemi, navazuje pásmo usazování jemnějších částic a dále se usazuje nejjemnější organominerální kal. Tyto procesy způsobují stárnutí nádrží, jelikož se zmenšuje zásobní prostor nádrže, dále se zhoršuje kvalita vody, zarůstají břehy apod. (Šálek a kol., 1989)

Hlavními příčinami zanášení jsou zejména:

- břehová abraze
- vnitřní zanášení
- zanášení přítokem

Břehová abraze je způsobena dynamickými účinky vody na břehovou linii. Tím se uvolňuje zemina z břehů a postupně dochází k poklesu do akumulacího prostoru. Velikost břehové abraze je závislá především na sklonu svahu, pedologickém složení půdního profilu, síle vlnobití, kolísání hladiny v nádrži a druhu opevnění břehů. Jako ochrana proti tomuto zanášení se navrhuje technická opatření (např. oplůtky) nebo opevnění vegetací. Nejefektivnějším je celkové řešení celého litorálního pásma.

Dalším zdrojem zanášení je vnitřní zanášení. Jde o přirozený proces, při kterém dochází k zániku, odumírání a rozkladu rostlin a živočichů ve vodě. Zároveň je zanášení nádrže dosaženo nepřirozeným procesem, kdy pro nadbytek živin, jako je dusík a fosfor se v nádrži rozvíjí řasy a sinice. V posledních letech obsahuje většina tekoucích vod nadbytek těchto živin, je to způsobeno zejména zemědělskou činností, imisním a komunálním znečištěním. V důsledku pak u mnoho nádrží dochází k eutrofizaci. Mikroskopická flora má generační interval kratší než vyšší rostliny, zhruba jeden týden. Po odumření se usazuje jako organominerální kal, který se nazývá sapropel. Tento sediment nabývá za jeden rok hodnot 1-2 cm, což je hodnota velice podstatná. Opatření k omezení vnitřního zanášení je tedy omezení přísunu zbytků hnojiv ze zemědělských pozemků, snižování imisí nebo omezení růstu vodních rostlin především sečením a následným odstraněním hmoty mimo nádrž.

Posledním zdrojem zanášení je zanášení přítokem. Je to tedy problém pouze průtočných nádrží. Zdrojem zanášení je produkt eroze zejména ze zemědělských a lesních pozemků. Je to tedy materiál odnášený vodou z celého povodí i produkt eroze z vlastního toku. Jako opatření proti tomuto zanášení se navrhuje protierozní opatření, které je ideální realizovat v celém povodí. (Vrána a Beran,2013)

3.4.2 Těžba sedimentu

Sediment je možno vytěžit maximálně do stejné hloubky jako byla původní niveleta dna. Doporučuje se ale, aby byla zachována vrstva sedimentu 10-15 cm, která při opětovném napouštění nádrže působí jako tlumící vrstva. Tato vrstva pak snižuje počáteční výkyvy v jakosti vody a je zdrojem živin pro nově napuštěnou nádrž.

Sediment z nádrže je možno vytěžit několika způsoby a to:

- suchou cestou (při vypuštěné nádrži zemními stroji)
- mokrou cestou (za pomoci sacích bagrů)
- kombinací obou způsobů
- podvodním dozerem

Technologie těžby se volí dle místních podmínek a zrnitostního složení usazenin. (ČSN 75 2410, 2011)

Tyto způsoby odbahnování mají ale ekologické dopady, obnova ekosystému dna trvá i několik let. Odbahnění suchou cestou je prováděno razantním způsobem,

při transportu bahna jsou porušovány břehy a porosty, dále je narušen životní cyklus mnoha živočichů např. vodního ptactva. (Vrána, Beran, 2013)

V historii byly použity další způsoby odstraňování bahna a to karbování, kdy se bahno v nádrži rozvířilo a při vypouštění s vodou odteklo, čímž se bahno jen přesunulo. Dalším způsobem byl odstřel bahna za pomoci průmyslové trhaviny. I tento způsob byl z ekologického hlediska nepřijatelný. (Vrána, Beran, 2013)

Vytěžený sediment se dále využívá k výrobě kompostů (v souladu s ČSN 46 5735), pro přímou rekultivaci písčitých půd, pro hnojení zemědělských půd apod. (ČSN 75 2410, 2011)

3.5 Současné problémy MVN

MVN tvoří důležitou součást krajiny, která kladně ovlivňuje ekologickou stabilitu. Současný nepříliš dobrý stav většiny MVN v ČR je způsoben dlouhodobým nezájmem o údržbu a nízkými finančními prostředky. Při řešení problémů se nelze zabývat jen jednotlivými nádržemi, ale je nutné uvažovat jejich vazbu na celý komplex vodohospodářských problémů povodí a jejich vzájemné působení.

Problémy vodohospodářské – hlavním vodohospodářským problémem MVN je zanášení sedimenty, které je způsobováno erozními procesy, které vznikají převážně ze zemědělské půdy v povodí nádrže. Vysoký nárůst erozních procesů je výsledkem intenzifikace zemědělské výroby. Negativní dopady při transportu půdních částic na funkci nádrže a kvalitu vody jsou např.:

- Zmenšení využitelného prostoru vodní nádrže v důsledku zanášení sedimenty
- Toxické látky (těžké kovy), které sedimenty obsahují se uvolňují do vodního prostředí
- Zvýšené zarůstání nádrží vlhkomilnou vegetací s nežádoucími dopady na snížené využitelné zásoby vody, zvýšené ztráty vody výparem, estetické problémy
- Snižování kapacity funkčních objektů v důsledku zanášení sedimenty
- Snížení úrodnosti půdy v povodí, jelikož transportované částice se nikdy nevrátí na místa, odkud byly odneseny.

Problémy technické – stávající stav většiny MVN odpovídá jejich stáří, péči a finančním prostředkům, které byly vyloženy na jejich údržbu. Současný stav hrází

a funkčních objektů lze charakterizovat údaji, které jsou uvedeny v tabulce 1. Tento průzkum provedla organizace Vodní díla-TBD a.s. na téměř 500 MVN.

| Pořadí dle četnosti | Charakteristika závady | Výskyt u nádrží (%) |
|---------------------|--|---------------------|
| 1. | špatný stav výpustného zařízení | 39 |
| 2. | neudržovaná vegetace | 35 |
| 3. | zamokření pod hrází | 34 |
| 4. | nevyrovnaná koruna hráze | 30 |
| 5. | špatný stav přelivu | 26 |
| 6. | deformace povrchu hráze | 25 |
| 7. | porušené opevnění hráze | 24 |
| 8. | kaverny v tělese hráze, vývěry vody, omezená průjezdnost | 12 |

Tabulka 1: Nejčastější technické závady u MVN (Vrána a Beran, 2013)

Zároveň také bylo zjištěno, že zhruba 32 % nádrží z celkového počtu posuzovaných MVN by nevyhovělo kritériím bezpečnosti proti přelití hráze při průchodu návrhové povodně.

Problémy ekologické – mezi hlavní ekologické problémy patří zejména kvalita vody, jakost sedimentů (vzhledem k následnému zpracování) a ochrana flory, fauny a ekosystému.

Kvalitu vody v nádrži ovlivňuje zejména vlastní povodí působením plošných nebo bodových zdrojů znečištění. Mezi plošné zdroje znečištění patří zejména zemědělská výroba. Eliminace tohoto problému znamená zavést změny v organizaci aktivit v celém povodí, což je ovšem záležitost dlouhodobá a finančně náročná. Mezi bodové zdroje znečištění patří např. skládky, objekty živočišné výroby, silážní jámy nebo sídla. K omezení tohoto problému postačuje pouze technické řešení a finance.

Pro kvalitu vody v nádržích je důležitý především obsah dusíku a fosforu, který ve spojení s teplotními podmínkami způsobuje eutrofizaci nádrží. Dále pak sedimenty, které přicházejí do nádrže a mohou obsahovat toxické látky, a ty se následně mohou uvolňovat zpět do vodního prostředí a negativně tak ovlivňovat kvalitu vody. Dalším ekologickým problémem je litorální pásmo (příbřežní mělké pásmo) které má několik negativních důsledků a to: rychlé zarůstání vlhkomilnou vegetací, která zvyšuje výpar z volné hladiny. Dále zmenšuje rozlohu vodní hladiny a objem zadržené vody v nádrži.

Současně je ale litorální pásmo stanovištěm různých druhů živočichů, někdy i chráněných. Zda litorální pásmo ponechat nebo zrušit se musí kvůli těmto důvodům rozhodnout individuálně a velmi uvážlivě. (Vrána a Beran, 2013)

3.6 Batymetrie

Výraz batymetrie pochází z řeckého slova – bathos, které v překladu znamená hloubka. Batymetrie je tedy definována jako měření hloubek v oceánech, mořích anebo jiných vodních plochách (Gwinn a kol., 1987).

Pomocí batymetrie můžeme tedy sledovat velikost zanášení MVN řešenou v předchozích kapitolách a zjišťovat tak např. akumulární schopnost nádrže. Při zaměření a následném porovnání měření dokážeme tedy určit rychlost a míru zanášení nádrží v budoucnu.

V minulosti se batymetrování provádělo za pomoci olovnice a následném odečtení hloubky a ručním zakreslení, což bylo ale velmi náročné. (Kříž, 1988). V současnosti se na měření hloubek používají moderní přístroje a metody, sonary a akustické přístroje, které pracují s Dopplerovým jevem (Pokorná, 2006).

Z výškových údajů o hloubkách se vytváří batymetrické mapy, které mohou sloužit např. k návrhu plavebních cest, k hledání objektů na dně oceánu jako jsou vraky nebo k nalezení rybích společenstev (Poti a kol., 2012).

Batymetrické mapy vypadají obdobně jako mapy topografické, kde je reliéf zobrazen pomocí vrstevnic. Vrstevnice jsou křivky, které spojují body o stejné nadmořské výšce. Terén je v těchto mapách vyznačen za pomoci těchto spojnic bodů. Místa s větší a hustší koncentrací těchto spojnic se vyznačují náhlým výškovým rozdílem (Pokorná, 2006).

3.6.1 Metody měření batymetrie

Mezi moderní přístroje batymetrie patří především sonary. Jako první získal patent v roce 1913 Alexander Behm, který sonary nejdříve využíval pro sledování podmořských ledovců a včasnou lokalizaci. S tímto začal po katastrofě na Titanicu, která se stala rok předtím. Později sonar využíval pro mapování celého podmořského dna. (Salous, 2013).

V současné době se v České republice k batymetrickým měřením používají převážně sonary (Sound Navigation And Ranging), které měří nejen hloubku, ale také jsou

schopny lokalizovat objekty pod hladinou. Sonary vysílají a následně zachycují akustické vlny, které z naměřeného rozdílu času určí vzdálenost nebo rychlost proudu. Sonary dělíme podle počtu a frekvence vysílaných paprsků na jednopaprscitý, mnohopaprscitý a boční sonar, ADCP nebo LIDAR (Novák a kol. 2015).

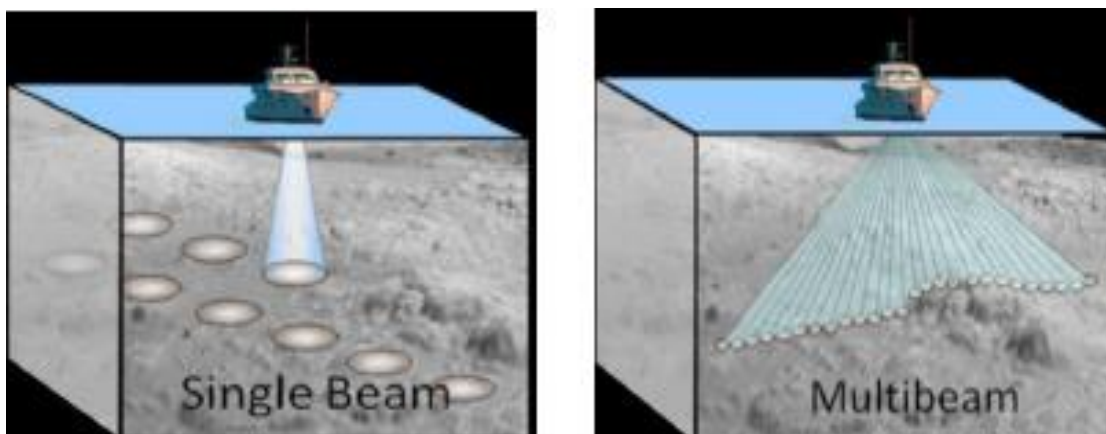
Jednopaprscitý sonar (Single beam echo sounder)

Tento sonar snímá dno díky jednomu paprsku ve tvaru kužele, který vysílá. Tento kužel má úhel záběru od 10° do 30°. Čím je šířka kužele větší, tím větší je snímaná plocha dna (Pokorná, 2007). Šířku kužele volíme také v závislosti na hloubce. Do mělkých vod se používá široký záběr a naopak. Jedno paprscitý sonar se nepoužívá pro plošnou batymetrii, protože dochází ke zkreslení obrazu dna, jelikož se zvukové vlny odrazí od první překážky, na kterou narazí. Využívají se tedy zejména v oblasti rybářství, protože dobře zobrazují, zda se nachází pod plavidlem ryby (Garmin, 2000).

Mnohopaprscitý sonar (Multibeam echo sounder)

Mnoho paprscitý sonar funguje na stejném principu jako jedno paprscitý sonar, ale s tím rozdílem, že vysílá ke dnu více paprsků, a tudíž pokryje mnohem větší plochu dna a je tedy efektivnější (SEABEAM, 2000). Úhel záběru paprsků je od 100° do 140°, hloubka dosahu bývá až několik stovek kilometrů (Kongsberg, 2014). Nejvyššího rozlišení se dosahuje u mělkých vod, ovšem na úkor prostorového rozsahu měření. U hlubokých vod je naopak prostorový rozsah sonaru velký, ale klesá rozlišení výsledných dat. Jelikož tento sonar používá různé frekvence vysílaných pulzů tak je možné získat data s vysokým rozlišením právě i ve větších hloubkách (Dierssen a Theberge, 2012).

Postup mapování dna spočívá v tom, že loď jezdí v rovnoběžných pruzích a provádí mapování dna. Ze souboru překrývajících se pruhů se pak sestavují batymetrické mapy. Tento postup se používá většinou u mapování mořského dna (Kongsberg, 2014). Nevýhodou této metody jsou vysoké náklady a časová náročnost. (Dierssen a Theberge, 2012).



Obrázek 2: porovnání jednoho a mnohopaprskového sonaru (URL 1)

Boční sonar (Side beam sounder)

Tento sonar na rozdíl od předchozích nezkoumá tvar dna, ale zjišťuje informace o složení dna. To se děje na základě absorbování a odrazu zvuku, který se mění v závislosti na materiálu. Sonar tedy vyhodnocuje sílu odrazu vyslaných zvukových pulzů. Například jíly a naplavený sediment odráží méně zvuku než např. kovy nebo sopečné horniny. Boční sonar při kombinaci s mnohopaprskovým sonarem dávají velmi dobrý přehled o tvaru a složení dna (SEABEAM, 2000).

Parasound

Tato metoda funguje na bázi parametrického principu (parametric echosounder) a zkoumá mělké vrstvy sedimentu. Využívá se dvou paprsků o různé vlnové délce. Data o odraženém signálu se zaznamenají do PC. Tento systém není vhodný pro průzkum vodního dna s příkrým povrchem, kde malý záběr paprsku umožní jen velmi slabé odrazy signálu zpět k plavidlu (Pokorná, 2007)

LIDAR (LIght Detection And Ranging)

Další metodou pro měření batymetrie je LIDAR. Tato metoda funguje na principu odrazu světla (McKEAN a kol., 2009). Tento systém se skládá z několika částí a to: vysokofrekvenční laser, GPS přijímač a inerciální měřicí jednotka (IMU) (Dolanský, 2004).

Laser je umístěn na letadle, z kterého se provádí sken terénu o vysokém rozlišení (McKEAN a kol., 2009). Vliv na kvalitu získaných dat má např. počasí nebo kvalita vody-čím lepší počasí a průzračnější voda, tím kvalitnější data získáme. Výsledkem

je přesný model zvoleného území, kde lze zobrazit např. vegetaci nebo sloupy vysokého napětí (Pokorná, 2006).

Laser obsahuje diodu, která vytváří světelný zdroj o dané frekvenci. Tento systém zaznamenává časový rozdíl mezi vysláním laserového pulsu a příjmem odraženého signálu. Z tohoto rozdílu se vypočítá vzdálenost mezi laserovým vysílačem a terénem. Dále je zapotřebí GPS a IMU pro zjištění pozice letadla a orientaci laserového skeneru. Rozlišení systému je závislé na kombinaci skenovacího úhlu a výškou letadla. To znamená, že čím je větší výška, tím je širší skenovaná oblast, ale zároveň je horší rozlišení. (Danson, 2006).

LIDAR pro batymetrii používá červený a zelený laser o rozdílných vlnových délkách. Dva typy laserů se používají z toho důvodu, že dno musí být měřeno odděleně od povrchu hladiny. (Danson, 2006). Pro batymetrii je vhodnější používat LIDAR se zeleným spektrem, protože voda infračervené záření s rostoucí hloubkou pohlcuje. Zelené spektrum měří do hloubky až 50 metrů. Lze také kombinovat obě spektra barev, protože červené spektrum dobře zaměřuje břehovou linii (Dolanský, 2004).



Obrázek 3: Systém LIDAR (URL 2)

ADCP (Acoustic doppler profiler)

Dalším přístrojem pro měření batymetrie je ADCP, který využívá Dopplerova jevu. Většinou bývá využíváný pro měření průtoku v tocích, ale lze s ním měřit také hloubky (Visbeck, 2002).

Dopplerův jev pracuje na principu šíření zvukových vln. ADCP přístroj funguje tak, že vyvolává zvukové pulzy o stejné frekvenci do vody. Ty se následně odrážejí ode dna nebo od suspendovaných látek ve vodě zpátky do přístroje. Zvukové vlny, které se odrážejí od částic pohybující se směrem od přístroje, se vrací s nižší frekvencí. Naopak zvukové vlny, které se odrazily od částic, pohybující se směrem k přístroji se vrací s vyšší frekvencí. Rozdíl mezi frekvencemi vln vyslaných a vrácených se nazývá Dopplerův posun, který se následně používá k výpočtu rychlosti proudění vody (Novák a kol., 2015)

Tento přístroj lze tady upevnit na plavidlo příčně, kde následně zjišťuje profil dna, nebo vodorovně, kde měří rychlost vody. ADCP lze také umístit na dno vodní plochy a měřit v pravidelných vzdálenostech rychlost proudící vody směrem k hladině, nebo vodorovně např. na pilíř (Erdem, 2013).

Přístroj, který funguje na principu ADCP je např. **RiverSurveyor M9** od americké firmy SonTek. Jedná se o nejmodernější přístroj, kterým lze měřit průtoky ve vodních tocích nebo batymetrii vodních toků a nádrží. (Erdem 2013).

Měřicí soustava se skládá z měřicí hlavičky, GPS RTK (Real Time Kinematic) zařízení, propojovacích kabelů a telefonu se softwarem pro probíhající sledování měření a komunikaci se systémem (SonTek, 2015).



Obrázek 4: RiverSurveyor M9 (URL 3)

Na měřícím modulu jsou umístěny dvě čtveřice senzorů, které jsou nakloněny pod úhlem 25° a snímají rychlosti. Každá čtveřice senzorů vysílá jiné frekvence ultrazvuku a to 3MHz a 1MHz, které se přepínají automaticky v závislosti na měřené hloubce. Tyto senzory měří do hloubky ž 30m, za použití RTK GPS až 80 m. Veprostřed hlavice je dále jeden velký senzor, který měří aktuální hloubku vody a vysílá frekvenci 0,5 MHz (Erdem, 2013).

Výhodou tohoto přístroje je, že s ním lze měřit i v poměrně zakalených vodách (Hradilek a kol., 2015).

3.7 Digitální model terénu

Digitální model terénu (DMT) je digitálně vytvořený model povrchu Země. Nezobrazuje stromy, stavby a další podobné objekty. DMT se využívá např. v oboru územním plánování, pro batymetrii dna vodních ploch, stavebnictví a dalších odvětvích (Oršulák a Pacina, 2010).

DMT používá k zobrazení terénu výškové informace bodů, tedy body o různé nadmořské výšce. DMT lze vytvořit několika metodami a to: metodou pravidelných sítí bodů (regular grid), trojúhelníkovou nepravidelnou sítí (TIN – triangulated irregular network), liniově strukturovanou sítí (counter-based network) nebo za pomoci rastru. (Moore a kol.1991). V praxi se nejvíce DMT zobrazuje pomocí TIN nebo pomocí rastru. Rastr se skládá nejčastěji ze čtvercových buněk, kdy každá buňka má přiřazenou souřadnici X a Y, ale také souřadnici výšky Z. Každý rastr má danou velikost buňky(rozlišení), která udává, jak velké území bude buňka reprezentovat (Oršulák a Pacina, 2010). Metoda TIN zobrazuje DMT za pomoci malých trojúhelníkových ploch, které jsou ovšem zobrazeny jako rovinné. Jedná se o spojitý model terénu. TIN je všestranným způsobem zobrazení povrchu, která se používá např. pro batymetrii (Moore a kol. 1991).

Metody pro získání dat na vytvoření DMT lze rozdělit na přímá a nepřímá. Přímé metody můžeme dále rozdělit na kontaktní a bezkontaktní.

- Přímé metody získávají data přímo v terénu z geodetického měření. Kontaktní metoda se vyznačuje tím, že měření probíhá přímo na každém bodě. Ve výstupu následně tedy můžeme mít velmi přesné určení polohy a výšky. Jedná se zejména o tachymetrii, nivelaci nebo měření za pomoci GNSS. Bezkontaktní metody používají k získání dat DPZ, jedná se tedy např. o fotogrametrii nebo laserové snímání. Přesnost u této metody je oproti kontaktní metodě menší, jedná se zhruba o desítky centimetrů.
- Nepřímé metody získávají data, z již existujících modelů terénu, které ovšem nemusí být digitální. Data se tedy získávají digitalizací výškopisu analogových map. Přesnost u této metody je závislá na měřítku a grafické přesnosti zdrojové mapy. (Oršulák a Pacina, 2010).

3.8 Prostorová interpolace bodových dat

Interpolací se rozumí proces, při kterém se vypočítávají neznámé hodnoty určitého jevu (např. nadmořská výška nebo teplota) ze známých hodnot, které jsou v okolí daného místa (Peralvo, 2002). V největší míře se interpolace používá k výpočtu výškových souřadnic neznámého bodu. Dalším příkladem použití může být interpolace vrstevnic na základě okolních známých. Prostorovou interpolaci můžeme použít k vytvoření spojitého povrchu na základě pouze malého množství bodů, avšak čím více naměřených bodů máme, tím detailnější povrch můžeme získat (Klimánek, 2006).

Je velmi mnoho druhů metod pro interpolaci bodových dat, které využívají různá kritéria. Některé metody jsou založené na racionálním úsudku, některé na prvcích náhodných veličin a další na jiných požadavcích (Ježek, 2008). Interpolační metody můžeme ale rozdělit dle Křikavové (2009) do dvou skupin, a to globální a lokální. Globální metody mají výhodu v tom, že do výpočtu zahrnují všechny body, které byly naměřené. Když se tedy změní jen jeden vstupní bod, ovlivní se tím celý výsledek. Oproti tomu lokální metoda počítá jen menší území, a tedy při změně vstupních dat je ovlivněna menší oblast. (Křikavová, 2009)

3.8.1 Vybrané interpolační metody

Interpolační metoda se volí dle sledovaného jevu a rozložení vstupních bodů (jejich pravidelnost a hustota). Pro výběr nejefektivnější interpolační metody je potřeba provést porovnání několika jednotlivých metod, za použití stejných vstupních dat. Metoda s nejnižší odchylkou v údajích je pak ta nejvhodnější pro další použití (Burian, 2008).

Thiessenovy polygony

Thiessenovy polygony, nebo také Voroného diagramy, se používají v meteorologii nebo také pro analýzu prostorových dat. Fungují na jednoduchém principu a to, že sousední známé body jsou propojeny přímkami, a tyto spojnice jsou následně ve své polovině protnuty kolmicemi na tyto spojnice. Následně vzniklé linie jsou hranicemi jednotlivých Thiessenových polygonů. Ke každému polygonu se vztahuje pouze jeden naměřený bod. Body neznámé, které jsou uvnitř vzniklého polygonu, mají hodnotu naměřeného bodu tohoto polygonu (Kumler, 1990).

Natural Neighbor

Natural Neighbor, v překladu jako metoda přirozeného souseda vychází z principu Thiessenových polygonů. Hodnoty se tedy určují od nejbližší naměřené hodnoty. Je tedy vhodné naměřené hodnoty rovnoměrně rozmístit (Burian, 2008).

Při vložení interpolovaného bodu do sítě polygonů dojde k přebudování kolem daného bodu, čímž vzniká nová síť. Polygon s novým bodem překrývá některé části polygonů známých bodů, které byli původní. Tyto body jsou označovány jako přirození sousedé a budou zahrnuty do interpolace bodu nového (Křikavová, 2009).

IDW

Inverse distance weighting, neboli také vážené průměrování metodou inverzních vzdáleností patří mezi nejjednodušší a nejpoužívanější metody interpolací (Ježek 2015). Tato metoda pracuje na principu, že hodnota bodů v neznámém místě je ovlivněna více body o známé hodnotě, které jsou blíže, než body o známé hodnotě, které jsou vzdálenější. Čím blíže se tedy naměřené body nachází, tím budou mít větší váhu na výsledek. (Watson, Philip 1985). Nevýhoda této metody spočívá v tom,

že nelze odhadnout hodnoty mimo interval vstupních bodů, tedy hodnoty vyšší nebo nižší, než jsou hodnoty vstupních dat (Ježek 2015).

Topo to raster

Tato metoda byla navržena přímo pro program ArcGIS od firmy Esri. Zároveň je určena přímo pro hydrologii, zatím pro tento obor žádná metoda nevyhovovala. Dokáže modelovat změny v terénu, např. tvary vodních toků nebo jejich linie (Oršulák a Pacina, 2010). Při použití metody Topo to raster se předchází nerovnoměrnému vykreslení digitálního modelu terénu díky kombinaci globální a lokální metody (ESRI, 2012).

Spline

Spline, neboli metoda minimální křivosti, pracuje s matematicky určenými křivkami, které interpolují po částech hodnotu výchozího jevu. Díky dané funkci má výsledný povrch co nejmenší křivost (Ježek, 2008). Metoda Spline dokáže předpovídat vyšší i nižší hodnoty, než jsou extrémní hodnoty vstupních bodů. Tato metoda se používá např. při interpolaci klimatických jevů nebo při tvorbě DMT v málo členitém území. Je tedy vhodná i při tvorbě batymetrických map malých vodních nádrží. Naopak pro interpolaci nespojitých jevů je tato interpolační technika nevhodná. Metodu Spline si lze velmi jednoduše představit jako proložení známých bodů elastickou membránou (Sárkozy, 1998).

Metoda pracuje hůře, když jsou vstupní body blíže u sebe a hodnoty jsou odlišné. To je způsobeno tím, že ve výpočtu tvaru povrchu je usuzována změna v závislosti na vzdálenosti. Proto pro znázornění výrazných změn je lepší použít metodu IDW (Křikavová, 2009).

V programu ArcGIS jsou při použití této funkce na výběr dva typy: Regularized Spline nebo Tension Spline. Regularized spline vytváří hladký, postupně se měnící povrch s hodnotami, které se mohou nacházet mimo rozsah vstupních dat. Tension Spline modeluje povrch dle charakteru vstupního jevu. Tension spline vytváří méně hladký povrch, než Regularized Spline který je více omezen hodnotami vstupních dat. (URL4)

Při interpolaci lze nastavením určitých kritérií váha a počet bodů ovlivnit výsledek

- **Váha (weight)**-tímto kritériem se ovlivňuje křivost, čím je hodnota kritéria váhy vyšší, tím je menší křivost a výsledná struktura je tedy hladší. Při metodě

regularized spline – se hodnota váhy volí větší nebo rovna nule. Většinou se volí hodnoty 0; 0,001; 0,01; 0,1 a 0,5. Standardním nastavením (default) je hodnota 0,1.

Metoda tension spline – při této metodě váha reprezentuje tenzi. Čím je vyšší hodnota váhy, tím je hrubší výsledná struktura a odhadované hodnoty se více přibližují intervalu vstupních dat. Hodnota váhy se opět volí větší nebo rovna nule. Většinou se volí hodnoty 0, 1, 5 a 10.

- **Počet bodů (number of points)** - Tímto kritériem volíme množství bodů, které se použije pro výpočet odhadu určených bodů. Čím více bodů se do interpolace zahrne, tím vzdálenější body budou mít větší vliv na body interpolované a tím tedy bude hladší výsledná struktura (Křikavová, 2009).

4 Metodika

Kapitola metodika v této práci popisuje zájmovou lokalitu Louňovického rybníka a dále postup při batymetrickém měření této nádrže. V následující části se bakalářská práce zaměřuje na zpracování naměřených dat v programu ArcGis pomocí metody Spline a následné vyhodnocení výsledků.

4.1 Popis Zájmové lokality

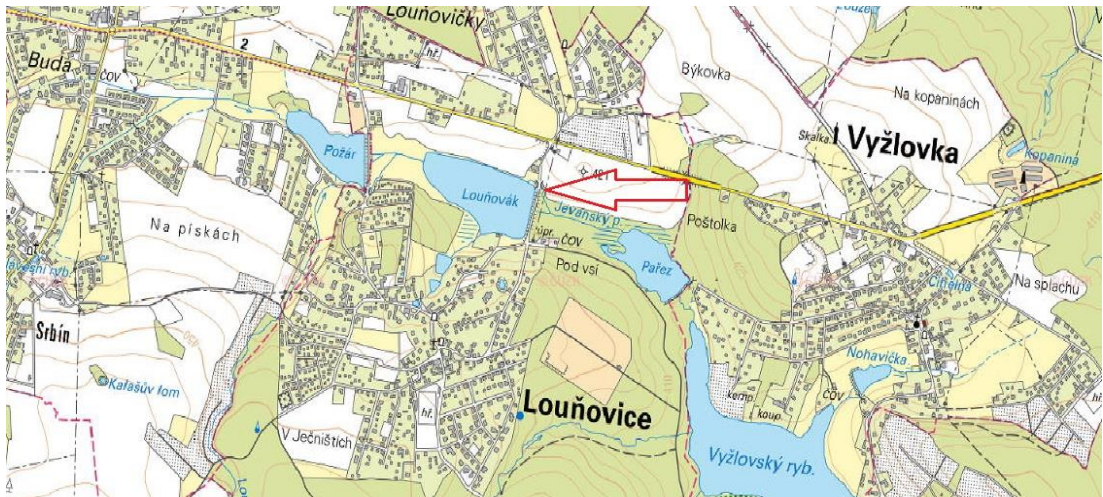
Zájmovou lokalitou této práce je Louňovický rybník. Při popisu této lokality se vycházelo z manipulačního a provozního řádu. Louňovický rybník se nachází ve Středočeském kraji-Praha východ v obci Louňovice. Nádrž je součástí soustavy malých vodních nádrží nacházejících se na Jevanském potoce, viz obr. 6.

Nádrž byla vybudována za účelem akumulace, vzdouvání povrchových vod a pro chov ryb. Vodní dílo svým retenčním účinkem neovlivňuje povodňové průtoky.

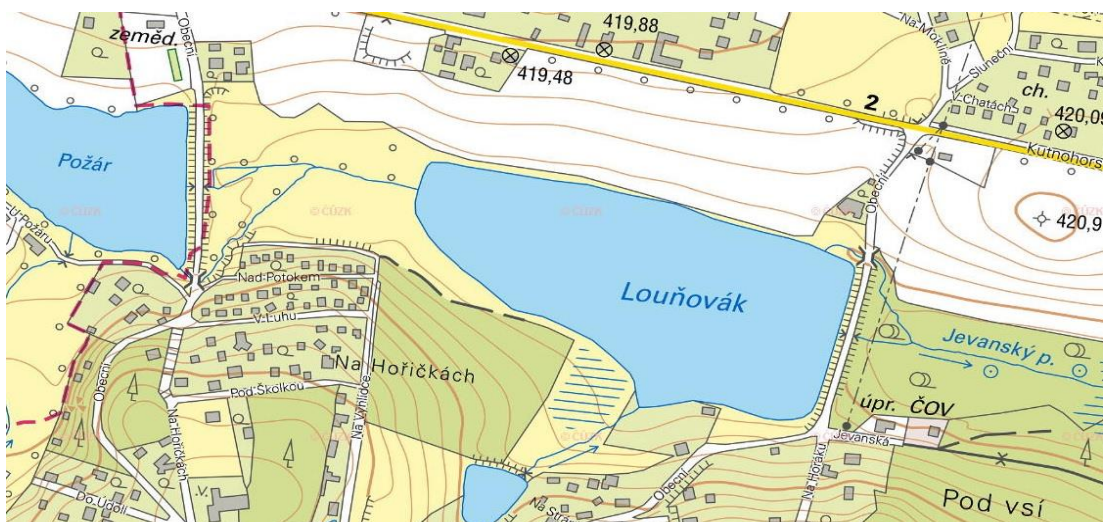
4.1.1 Vymezení lokality



Obrázek 5: Lokalizace nádrže na území ČR (URL 5)



Obrázek 6: Detail lokality (URL 5)



Obrázek 7: Detail lokality (URL 5)



Obrázek 8: Výřez z mapy katastru nemovitostí + ortofoto (URL 6)

4.1.2 Identifikace MVN

Základní údaje o vodním díle

- Číslo hydrologického povodí: 1-09-03-106
- Kraj: Středočeský
- Katastrální území: Louňovice
- Obec: Louňovice
- Typ nádrže: průtočný
- Tok: Jevanský potok
- Plocha povodí po profil pod hází: 7,00 km²
- ř.km : 18,00-18,45
- Výměra [m²]: 78237
- Kultura: vodní plocha
- Vlastnické právo: ČZU ŠLP, Nám. Smiřických 1, Kostelec nad Č. lesy
- minimální zůstatkový průtok $Q_{330d}=4,2$ l/s

Výškové parametry

- Koruna hráze: 412,70 m.n.m.
- Maximální hladina: 412,20 m.n.m.
- hrana bezpečnostního přelivu 411,10 m.n.m.
- provozní hladina (normální nadrženi) 411,10 m.n.m.
- nejnižší místo zátopy: 408,70 m.n.m.
- dno výpusti pod hrází 407,90 m.n.m.

Výšky a sklony

- maximální výška hráze 4,8 m
- šířka koruny hráze Celkem 10 m, z toho 6,0 m asphalt. Komunikace
- délka hráze 183 m
- sklon vzdušného svahu 1:2, opevněno trávou a náletem
- sklon návodního svahu 1:1 opevněno kamenným pohozen
- typ hráze: čelní zemní

Plochy a objemy

- plocha při provozní hladině 72 680 m²

- objem při provozní hladině 98100m³
- plocha při max. hladině 91 800 m²
- objem při max. hladině 188 835 m³
- objem retenčního prostoru 90 725 m³
- objem po korunu hráze 236 460 m³

Výpustné zařízení

- Typ manipulačního objektu: uzavřený ocelový požerák
- Délka přepadové hrany 0.60 m
- Potrubí ocel DN 700 mm-délka 23 m
- Spád výpustného potrubí 3,5 %

Bezpečnostní přeliv

- Tvoří otevřený kamenný přeliv
- Délka přepadové hrany 6,8m
- Kota pevného prahu 411,10 m.n.m.
- Odpad od BP otevřené koryto
- Maximální kapacita $Q_{max} (412,20) = Q_{100} 13,3m^3/s$
- Maximální kapacita $Q_{max} (415,70)$ po korunu hráze 22,95 m³/s

[Výškové údaje jsou v systému BpV]

4.1.3 Popis MVN

Hráz nádrže

Hráz byla provedena jako sypaná homogenní hráz. Materiál pro násyp hráze byl pravděpodobně použit z místních zdrojů. Po koruně hráze vede místní asfaltová komunikace. Návodní strana hráze byla opevněna kamenným pohozením a je ve sklonu 1:1. Na vzdušné straně hráze se nachází stromy a náletové dřeviny. Vzdušný svah byl vysvahován ve sklonu 1:2. Pod hrází nebyly zaznamenány průsaky vody z rybníka.

Bezpečnostní přeliv

U levého břehu je umístěn bezpečnostní přeliv. Celková délka přelivné hrany je 6,8 m., přelivná hrana stávajícího přelivu je tvořena dřevěným prahem. Prostor pod bezpečnostním je mni koryto, které navazuje na betonovou propust pod silnicí vedoucí po hrázi. Hrana přelivu je na kotě 411,10 Maximální kapacita přelivu po nejnižší úroveň hráze (412,70 m n.m) je 22,95 m³/s.

Výpustné zařízení

Jako výpustné zařízení slouží uzavřený ocelový požerák se spodním vtokem, na který je osazeno ocelové základové potrubí průměru 700 mm o celkové délce 23 m. Potrubí je pod hrázi ukončeno zděným čelem a potrubní jámou. Kapacita požeráku při výšce přepadového paprsku 1,10 m je 1,23 m³/s. Maximální kapacita výpustného potrubí je při plném vyhrazení a při hloubce vody 3,226 m 2,335 m³/s

4.2 Batymetrické zaměření MVN

Pro batymetrické měření zájmové lokality byl vybrán přístroj od firmy SonTek, konkrétně se jedná o echosounder RiverSurveyor M9. Tento přístroj se skládá z měřicí hlavice, komunikačního modulu a základní stanice RTK. Popis a fungování tohoto přístroje je popsán v předešlé podkapitole 3.6.1 Metody měření batymetrie.

Při zaměřování rybníka byla hlavice vložena do dna kajaku, který je speciálně upraven pro účely tohoto měření. Kajaky se pro zaměřování menších nádrží používají, jelikož není vhodné, aby docházelo k příliš velkému ponoru plavidla, čímž je díky jeho stavbě zamezeno. S hlavicí byla do kajaku zároveň vložena komunikační jednotka, která přijímá a zároveň zpracovává naměřené hodnoty. Komunikační jednotka byla propojena s hlavicí M9 přes kabely. Na břehu nádrže byla postavena RTK stanice (Real Time Kinematic), která během celého měření vysílala signály do komunikační jednotky, a tím předávala informace o konkrétní poloze přístroje.

Po sestavení přístroje bylo dalším krokem kalibrace přístroje, bez které by docházelo k nepřesnostem v měření a data by byla následně zkreslená. Kalibrace se u tohoto přístroje provádí tak, že se celý kajak vyzvedne do vzduchu a po dobu minimálně 90 sekund se s ním otáčí po vodorovné ose, a zároveň se s kajakem naklání. Tímto chceme napodobit polohy, které vznikají při pohybu kajaku po hladině. Dalším krokem po kalibraci bylo nastavení ponoru kajaku dle váhy kajakáře. Součástí měřicí

sady je také mobilní telefon se speciálním softwarem RiverSurveyor Live, do kterého se po kalibraci zaznamenaly aktuální parametry, jako např. oblačnost, výška vody v nádrži nebo teplota vody. Nejdůležitějším parametrem, který je potřeba zaznamenat je hloubka, ve které se nachází měřící hlavice. Přístroj pak bude tuto hloubku automaticky odečítat. Tyto parametry se musí před začátkem každého měření aktualizovat, jelikož ovlivňují naměřená data, a tím by mohlo dojít ke zkreslení naměřených hodnot.

Po těchto krocích se mohlo přejít k samotnému měření, tzv. najíždění nádrže. S kajakářem se musí domluvit projížděná trasa, aby došlo k zaměření charakteristických míst nádrže. Kajakář má u sebe již zmiňovaný mobilní telefon, a tak může kontrolovat aktuální průběh měření. Komunikace mezi komunikační jednotkou a mobilním telefonem je pomocí Bluetooth.

Pro zaměření Louňovického rybníka byla zvolena tzv. metoda hada (viz obr 9), při které se v nádrži najíždí pouze v podélných nebo příčných trasách. Během tohoto měření nedošlo k půdorysnému zaměření břehové linie.



Obrázek 9: Trajektorie při měření MVN Louňovický rybník (Autor, 2017), Podklad ortofoto-mapa (URL 5)

4.3 Interpolace DMT

Ze získaných dat byla v programu ArcGis vytvořena bodová vrstva, která se následně převedla ze souřadnicového systému World Geodetic System (WGS 84) do souřadnicového systému jednotné trigonometrické sítě katastrální (S-JTSK). Následně bylo z této bodové vrstvy odebráno namátkou 10 % bodů, které se ale následně uložily do nové vrstvy. Pro interpolaci bylo tedy použito zbylých 90 % bodů. Záměrem je vyhodnotit interpolační metodu na základě porovnání interpolovaných hodnot a hodnot měřených, jedná se o tzv. cross-validaci.

Jako podklad byla nahrána ortofoto mapa z geoportálu ČUZK, podle které byl vektorizací břehové linie nádrže vytvořen polygon, který nám vymezil zájmové interpolované území.

K vytvoření DMT dna nádrže tohoto rybníka byla použita již zmiňovaná interpolační metoda Spline s použitím dvou variant, a to Regularized Spline a Spline with Tension. Pro použití funkce Spline je v ArcGIS nutno zapnout rozšíření s názvem 3D Analyst, Geostatistical Analyst a Spatial Analyst (záložka Customize, zde Exstensions).

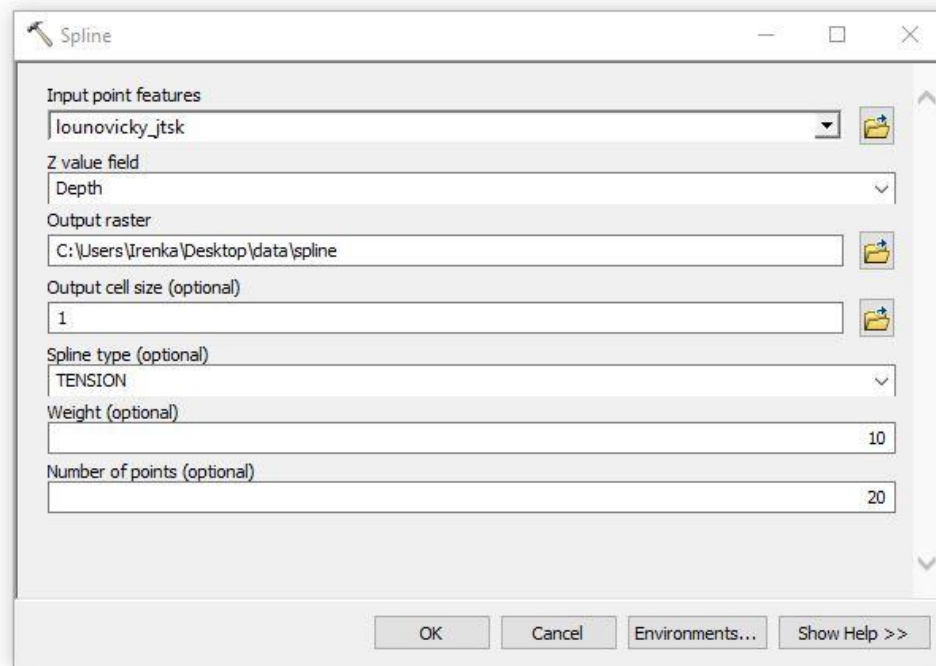
Po spuštění funkce Spline je potřeba vložit vstupní data, kterými v tomto případě byla bodová vrstva s 90- ti procentem bodů. Dále se zvolí rozlišení výsledné buňky rastru, který byl zvolen 1x1m. Následně se zvolí, z jaké vrstvy se mají čerpat data pro výpočet, tedy Depth (hloubky). Dále se vybere typ funkce Spline, tedy Regularized nebo Tension. V posledním kroku se zvolí parametry funkce, jako jsou váha a počet bodů.

Pro variantu Regularized Spline byly kombinovány následující parametry:

- Rozlišení rastru: 1x1 m
- Váha: 0,001; 0,01; 0,1; 0,5
- Počet bodů: 12, 20, 50

Pro variantu Spline with Tension byly kombinovány následující parametry:

- Rozlišení rastru: 1x1 m
- Váha: 0,1; 1; 5; 10
- Počet bodů: 12, 20, 50



Obrázek 10: Nastavení parametrů Spline v ArcGIS (autor)

Po vytvoření funkce Spline bylo potřeba vzniklý raster oříznout na zvolené zájmové území již vytvořeným polygonem. Toho se docílilo pomocí nástroje Extract by Mask, kde se dále zvolila barevná škála a počet tříd rozlišení, v tomto případě po 0,2 m. Dalším použitým nástrojem byl Extract Values to Points, který slouží k porovnání rozdílů vytvořených rastrů (s 90 % body) s kontrolní bodovou vrstvou. Do tohoto nástroje se tedy vložily jako vstupní hodnoty bodová vrstva s vyčleněnými 10 % bodů a dále výstup z předešlého nástroje, tedy Extract by Mask. Výstupní data z tohoto nástroje obsahují hodnotu měřených hloubek kontrolní vrstvy a dále hodnotu interpolovaných hloubek z rastrů. Tyto rozdíly jsou vstupem pro výpočet hodnotícího kritéria RMSE .

4.3.1 Vyhodnocení chyb

Chyby byly vyhodnocovány na základě cross-validace, kde je výstupem určitá chyba metody v daném místě. Vyhodnocování probíhalo na základě RMSE (root mean square error), neboli střední kvadratické chyby. RMSE tedy určuje odchylky, a to mezi naměřenými daty a daty interpolovaného DMT. Čím je číslo RMSE bližší nule, tím je přesnější metoda interpolace.

Hodnota RMSE je matematicky vyjádřena jako:

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2}{N}}$$

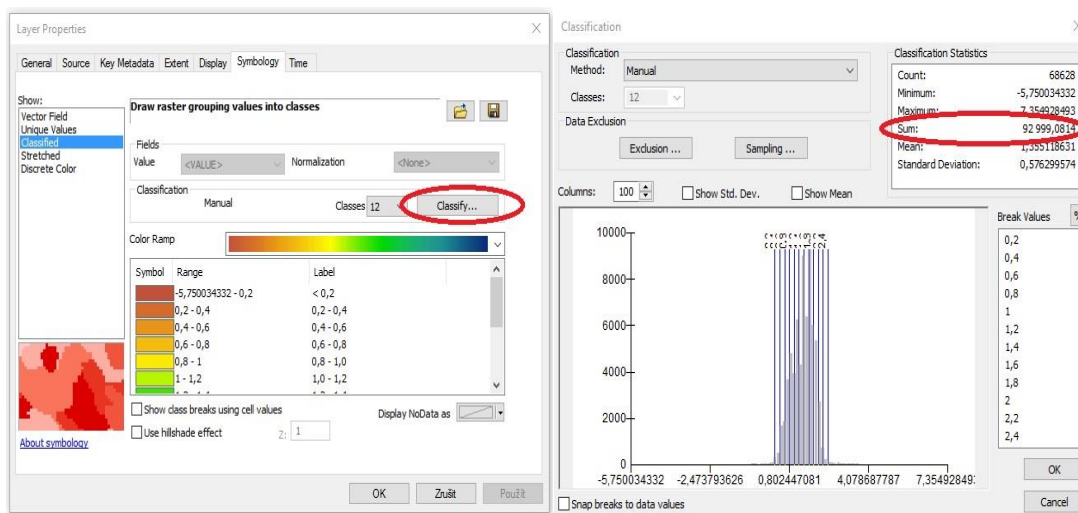
kde: x_i pozorovaná hodnota v bodě i (X,Y)

y_i interpolovaná hodnota v bodě i (X,Y)

N počet kontrolních dat

4.3.2 Stanovení objemu nádrže

Zjištění objemu nádrže se provedlo z DMT dna nádrže, za předpokladu že známe velikost plochy každé buňky, která tvoří rastr DMT. Tato velikost se nastavila 1x1 m. Obsah plochy jedné buňky se tedy rovná 1 m². Součet těchto hodnot byl zjištěn v záložce Symbology, dále Classify (viz obr. 11).



Obrázek 11: Zjištění objemu nádrže(autor):

5 Výsledky

Tato kapitola popisuje výsledky zvolené interpolace Spline a zobrazuje je pomocí mapových výstupů, tabulek a grafů. Ve výsledku je vyobrazen současný stav hloubek MVN Louňovický rybník z batymetrického měření a vyhodnocení akumulace nádrže pomocí zonální a popisné statistiky, která byla použita pro všechny vyhotovené digitální modely terénu dna nádrže. Pro zhodnocení výsledků se vycházelo z 23 vytvořených mapových výstupů.

5.1 DMT dna nádrže

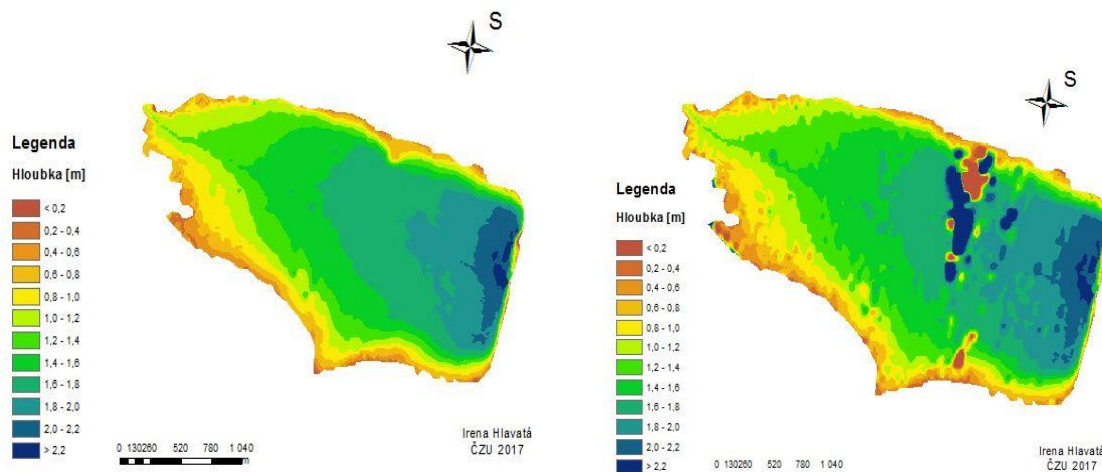
Ze získaných naměřených bodů byl v programu ArcGIS vytvořen DMT. Pomocí interpolační funkce Spline byla převedena data přímo do rastru s rozlišením 1 m. Následně byla v klasifikaci modelu nastavena barevná hypsometrie, která názorně zobrazuje hloubky. Barevná škála byla zvolena ve dvanácti třídách rozlišení, v odstínech od červené po modrou. Červená barva reprezentuje hloubky menší jak 0,2 m (mělčiny) a tmavě modrá barva reprezentuje hloubky nad 2 m. Jak je zřejmé z obrázků v podkapitole 5.1.1 Porovnání mapových výstupů DMT, nejmenší hloubka je kolem mělčin u břehů a největší hloubka je v blízkosti hráze, tedy v blízkosti spodní výpusti do Jevanského potoka.

Velikost akumulačního prostoru nádrže byla pomocí funkce Zonal Statistic vyhodnocena na 95 786 m³, při porovnání s manipulačním a provozním řádem (2013), kde je udávána hodnota 98 100 m³. (tj. o 2,2 % více) lze usoudit, že se akumulační objem nezměřil, resp. rozdíl je způsoben spíše chybou interpolace, případně byla nádrž za uplynulé 4 roky zanášena sedimenty z okolního pole. Podrobné výsledky jsou uvedeny v tabulce č.2.

5.1.1 Porovnání mapových výstupů DMT

DMT dna byl vytvořený v programu ArcGIS pomocí interpolační funkce Spline. Rozlišení rastru bylo vždy zvoleno 1x1 m. K porovnání mapových výstupů DMT na obr. 12 až 15 byla vybrána vždy dvojice DMT s největší a nejmenší hodnotou RMSE při kombinaci funkce Spline s odlišnými vstupními parametry z celkové sady mapových výstupů. Na obrázku č. 12 je zobrazen model Spline with Tension s nejmenší hodnotou RMSE a to 0,049 m. Jako vstupní parametry byly zvoleny: váha

10 a počet bodů: 50. Na obrázku č.13 je zobrazen model Regularized Spline, s nejmenší hodnotou RMSE 0,069 m se vstupními parametry: váha: 0,5 a počet bodů 20.

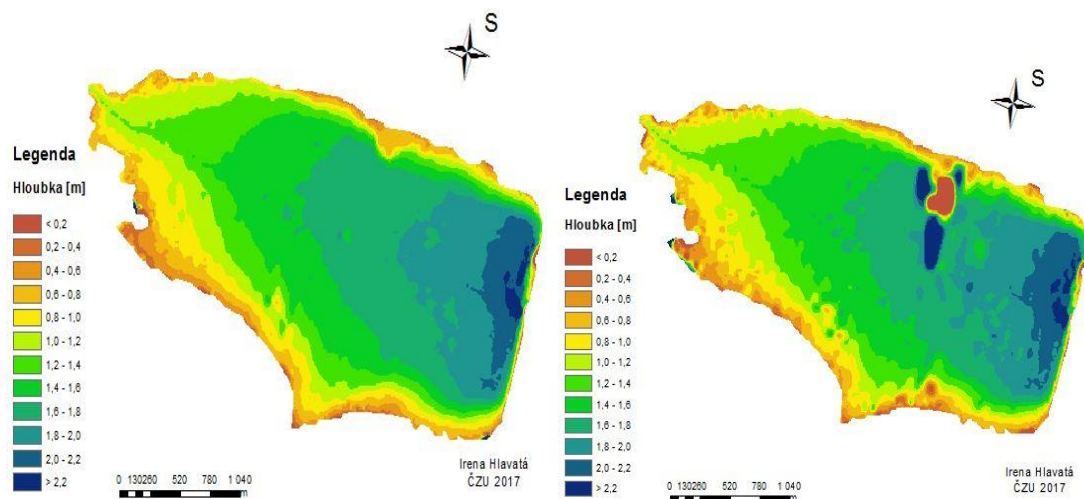


Obrázek 12: Spline with Tension při RMSE 0,049 (autor)

Obrázek 13: Regularized Spline při RMSE 0,069 m (autor)

Jak je patrné z výsledných rastrů, nejmenší hodnota RMSE nemusí ukazovat na nejlépe zvolenou metodu, jak je tomu např. u Regularized Spline. Na obrázku č.13 můžeme vidět tvorbu lokálních extrémů, které svým umístěním odpovídají dostatečně neproměřenému místu nádrže. Tato chyba ovšem není zohledněna v kritériu RMSE, protože v tomto místě je rovněž absence kontrolních bodů, na nichž bylo toto kritérium počítáno. Oproti tomu můžeme pozorovat na obrázku č.12 model Spline with Tension, který je vůči těmto lokálním extrémům odolnější.

Na obrázku č. 14 je zobrazen model Spline with Tension s nejvyšší hodnotou RMSE a to 0,215 m. Jako vstupní parametry byly zvoleny: váha 0,1 a počet bodů: 20. Na obrázku č. 15 je zobrazen model Regularized Spline, s nejvyšší hodnotou RMSE 0,120 m se vstupními parametry: váha: 0,1 a počet bodů 50.



Obrázek 14: Spline with Tension při RMSE 0,215(autor)

Obrázek 15: Regularized Spline při RMSE 0,120(autor)

Jak je z obrázků patrné, tak i při relativně vyšší hodnotě RMSE zaručuje použití funkce Spline with Tension příznivější výsledky. Oproti tomu funkce Regularized Spline i při velmi nízkých hodnotách RMSE se projevila jako nevhodná pro tvorbu DMT dna nádrže.

5.1.2 Porovnání DMT pomocí popisné statistiky

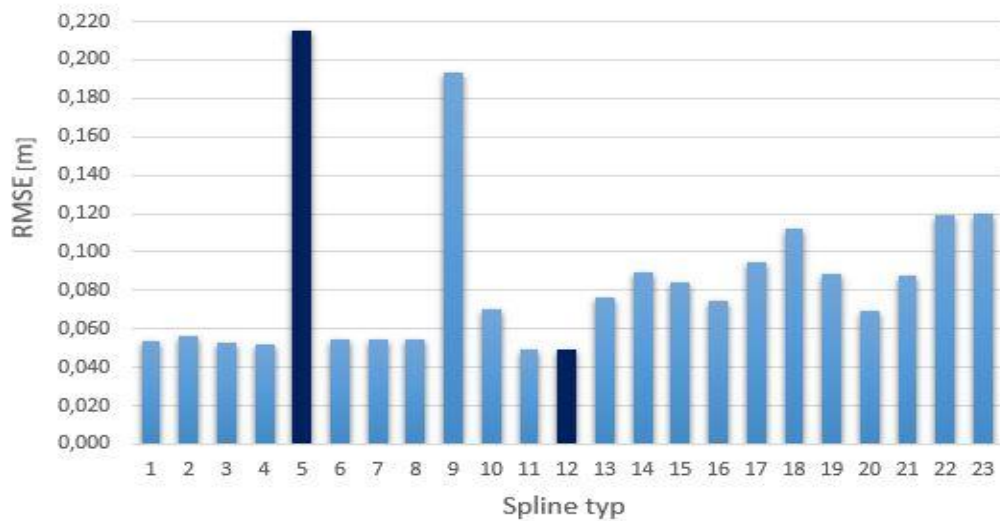
Na následujícím obrázku č.16 je zobrazen souhrn použité metody Spline with Tension a Regularized Spline při odlišných nastaveních parametrů. V následujících grafech jsou vyobrazeny hodnoty RMSE, neboli střední kvadratická chyba. Dále je vyobrazen graf s hodnotou směrodatné odchylky (SD) a graf s hodnotami objemu nádrže.

| | Spline typ | Parametry | | MAX | MIN | MEAN | SUM | SD | RMSE |
|----|-------------|------------------|------|-------|--------|----------|----------|-------|--------------|
| | | váha, počet bodů | | | | | | | |
| 1 | Tension | 1 | 12 | 2,89 | -2,01 | 1,40 | 95698,36 | 0,42 | 0,053 |
| 2 | | 0,1 | 12 | 2,89 | -0,60 | 1,40 | 95776,95 | 0,42 | 0,057 |
| 3 | | 5 | 12 | 2,89 | -0,86 | 1,40 | 95705,90 | 0,42 | 0,053 |
| 4 | | 10 | 12 | 2,88 | -0,62 | 1,40 | 95709,23 | 0,42 | 0,052 |
| 5 | | 0,1 | 20 | 9,08 | -0,92 | 1,40 | 95818,46 | 0,43 | 0,215 |
| 6 | | 1 | 20 | 2,89 | -3,29 | 1,40 | 95651,34 | 0,42 | 0,055 |
| 7 | | 5 | 20 | 2,89 | -0,62 | 1,40 | 95685,19 | 0,42 | 0,055 |
| 8 | | 10 | 20 | 2,88 | -0,48 | 1,40 | 95683,07 | 0,42 | 0,054 |
| 9 | | 0,1 | 50 | 2,90 | -6,96 | 1,40 | 95649,52 | 0,43 | 0,193 |
| 10 | | 1 | 50 | 2,90 | -0,69 | 1,40 | 95712,39 | 0,42 | 0,070 |
| 11 | | 5 | 50 | 2,90 | -1,05 | 1,40 | 95657,08 | 0,42 | 0,050 |
| 12 | | 10 | 50 | 2,90 | -0,66 | 1,40 | 95664,55 | 0,42 | 0,049 |
| 13 | Regularized | 0,001 | 12 | 11,32 | -17,43 | 1,42 | 96839,10 | 0,65 | 0,077 |
| 14 | | 0,01 | 12 | 11,23 | -12,91 | 1,41 | 96581,84 | 0,67 | 0,090 |
| 15 | | 0,1 | 12 | 15,62 | -11,70 | 1,40 | 95712,66 | 0,77 | 0,084 |
| 16 | | 0,5 | 12 | 17,28 | -11,76 | 1,40 | 95291,79 | 0,80 | 0,075 |
| 17 | | 0,001 | 20 | 6,56 | -17,89 | 1,41 | 96402,41 | 0,61 | 0,094 |
| 18 | | 0,01 | 20 | 9,11 | -11,45 | 1,41 | 96504,41 | 0,66 | 0,113 |
| 19 | | 0,1 | 20 | 10,60 | -10,96 | 1,40 | 96023,99 | 0,77 | 0,089 |
| 20 | | 0,5 | 20 | 9,23 | -12,89 | 1,40 | 95757,99 | 0,79 | 0,069 |
| 21 | | 0,001 | 50 | 6,25 | -14,36 | 1,40 | 95588,10 | 0,50 | 0,088 |
| 22 | | 0,01 | 50 | 14,14 | -4,51 | 1,40 | 95283,19 | 0,54 | 0,119 |
| 23 | 0,1 | 50 | 7,35 | -5,75 | 1,40 | 94683,53 | 0,57 | 0,120 | |

Tabulka 2: Výstup metody Spline při zvolených parametrech (autor)

Následující graf zobrazuje jednotlivé střední kvadratické chyby (RMSE). Nejvyšší hodnota RMSE vyšla u metody Spline with Tension s parametry váhy 0,1 a počtem bodů 20. Nejnižší hodnota RMSE vyšla také u metody Tension Spline s parametry váhy 10 a počtem bodů 50. Střední kvadratická chyba vyšla do 10 cm, což je velmi příznivé číslo. Je to zapříčiněné tím, že u MVN Louňovický rybník byly data hustě naměřeny a dno nádrže je celkem ploché-při členitěm dnu probíhá interpolace bodů hůře.

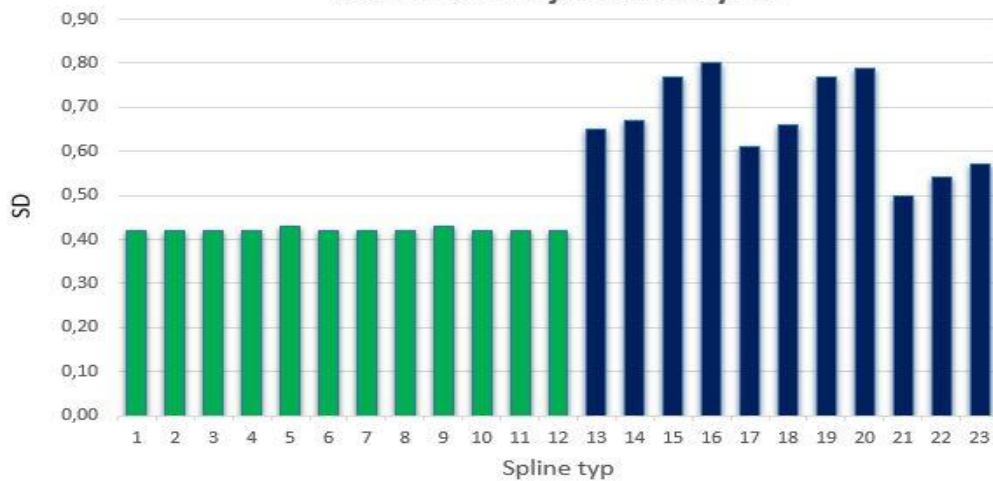
Graf znázorňující hodnotu RMSE s vyznačením max. a min. hodnoty



Obrázek 16: Graf znázorňující hodnotu RMSE (autor)

V tomto grafu je zelenou barvou zobrazena metoda Spline with Tension a modrou barvou je znázorněna metoda Regularized Spline. Z grafu je patrné, že metoda Regularized Spline vyšší lokální extrémy dokazuje vyšší směrodatnou odchylkou.

Graf znázorňující hodnoty SD



Obrázek 17: Graf znázorňující hodnoty SD (autor)

Z následujícího grafu je patrné, že výpočet akumulčního objemu nádrže, není téměř vůbec ovlivněn volbou metody. I při vyšších lokálních extrémech u metody Regularized Spline vychází objemy nádrže ze všech zpracovaných variant DMT v rozmezí 94 683 - 96 839 m³.



Obrázek 18: Graf znázorňující hodnotu objemu nádrže (autor)

6 Diskuze

Tato bakalářská práce se věnuje především zpracováním dat naměřených v rámci předešlého měření soustavy MVN na Jevanském potoce. Výsledkem měření a zároveň vstupní vrstvou pro tvorbu digitálního modelu terénu dna nádrže byly souřadnice bodů. Data byla získána pomocí batymetrie na malé vodní nádrži Louňovický rybník a následně byly vyhotoveny digitální modely terénu.

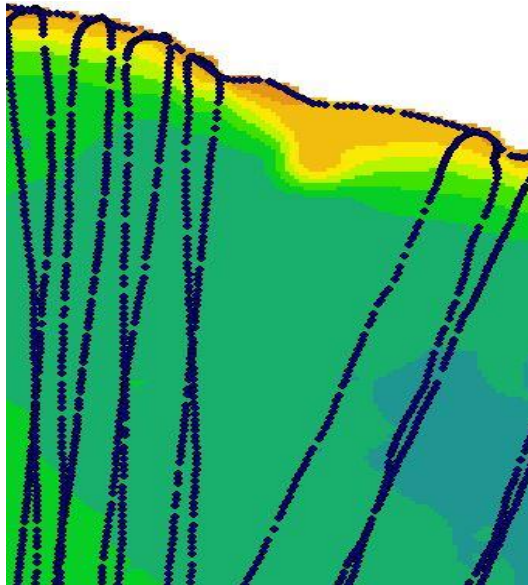
Celkem bylo vytvořeno 23 DMT, ze kterých je patrné, že největší hloubka nádrže se nachází při hrázi, v místě výpustného zařízení nádrže. Podle DMT dosahuje maximální hloubka nádrže v tomto místě okolo 2,90 m. Hloubka se pozvolna snižuje směrem k přítoku na západ.

Ve výsledných DMT je potřeba počítat s chybami, které mohou být způsobeny např. tím, že v místech, která nebyla při měření zaměřena, jsou zahrnuty do interpolace body, které jsou vzdálenější. Výsledný digitální model terénu tedy nezáleží jen na zvolené interpolační metodě, ale záleží také na metodě způsobu nájezdu nádrže. Pro tuto nádrž byla zvolena metoda hada, kdy se na nádrž najíždí pouze v podélných nebo příčných směrech. Při dostatečně podrobném zaměření nádrže vliv metody nájezdu klesá. V našem případě došlo k nedostatečnému zaměření při severním břehu (viz obrázek 19 a 20)

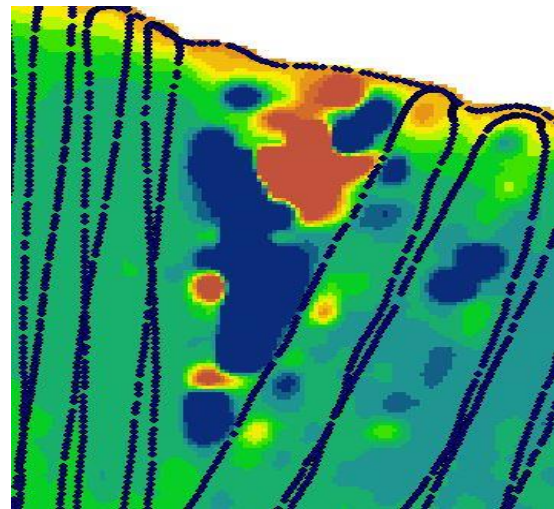
Při porovnání interpolační metody Spline s jejími dvěma variantami Spline with Tension a Regularized Spline se došlo k závěru, že varianta Regularized Spline je pro tvorbu DMT dna nádrže méně vhodná, jelikož vykazuje nereálné a příliš velké rozdíly mezi maximální a minimální hloubkou dna v nádrži. Docházelo k nim právě v místě s nedostatečným proměřením dna nádrže (viz obrázek 20), což poukazuje na její větší citlivost vůči absenci zaměřených bodů. Metoda Spline with Tension se naopak ukázala pro tyto případy univerzálnější a dovedla si s nimi poradit (viz. obrázek 19).

Dále byl vypočítán objem nádrže pomocí funkce Zonal Statistics – viz tabulka č.2, sloupec SUM. Na vypočteném objemu lze vidět, že výsledek téměř není ovlivněn volbou vstupních parametrů interpolační metody Spline. Objemy odvozené ze všech variant DMT se totiž pohybují v rozmezí 94 683 - 96 839 m³. Dokonce ani extrémní hloubky interpolované metodou Spline with Tension celkový objem nádrže neovlivnily, protože se vyskytují na relativně malé ploše ve srovnání s celkovou

plochou nádrže, a navíc se minima a maxima vzájemně „vyruší“. Po zprůměrování objemů odvozených ze všech modelů vyšel objem nádrže 95 786 m³. Pro porovnání byla z manipulačního a provozního řádu převzata hodnota objemu nádrže z roku 2013, která činila 98 100 m³. Rozdíl může být způsoben chybou interpolace, nebo nádrž byla za uplynulé roky zanášena sedimenty z okolního pole.



Obrázek 19: Detail rastru Spline with Tension (autor)



Obrázek 20: Detail rastru Regularized Spline (autor)

7 Závěr

Hlavním cílem této práce bylo zpracování batymetrických dat zadané lokality MVN Louňovický rybník v povodí Jevanského potoka interpolační metodou Spline a vytvoření digitálního modelu terénu dna nádrže. Dalším cílem bylo zhodnotit zadanou funkci Regularized Spline a Spline with Tension v odlišných nastaveních vstupních parametrů a zhodnotit výsledky pomocí zonální a popisné statistiky.

První část bakalářské práce je věnována teoretické rešerši, která se zabývá problematikou malých vodních nádrží, jejich zanášením a následným odbahňováním. V další části teoretické rešerše jsou popsány současné metody měření batymetrie a dostupné interpolační metody, v neposlední řadě také digitální model terénu.

Praktická část práce se věnuje popisu měření hloubek na malé vodní nádrži pomocí ADCP přístroje echosounderu RiverSurveyor M9 a vyhodnocení získaných dat v programu ESRI ArcGIS Desktop. Kromě vyhotovení digitálních modelů terénu byly také vypočten objem nádrže a základní popisná statistika naměřených hloubek pomocí funkce Zonal Statistic. Objem nádrže byl vypočítán na 95 786 m³.

Do budoucna by bylo vhodné vyhotovit nové batymetrické měření a DMT pro MVN Louňovický rybník, aby se zjistilo, k jak velkému zanášení nádrže došlo od minulého měření.

Seznam použité literatury

1. BERAN J.; VRÁNA K.;2013: Rybníky a účelové nádrže. ČVUT, Praha, 150s.
2. BURIAN J., 2008: Vyznáte se v interpolacích?, GeoBusiness, str. 40-41.
3. ČSN 75 2410, 2011: Malé vodní nádrže. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 48 s.
4. DANSON E., 2006: Understanding lidar bathymetry shallow waters and coastal mapping. XXIII. International congress TS19 Hydrography. <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Understanding+LiDAR+Bathymetry+for+Shallow+Waters+and+Coastal+Mapping#0>
5. DIERSSEN H. M., THEBERGE A. E., 2011: Bathymetry: Assessing Methods. Encyclopædia of natural resources, 25s.
6. DOLANSKÝ T., 2004. Lidary a letecké laserové skenování ,Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem, 100s.
7. ESRI. 2012. An overview of the Interpolation toolset. ArcGIS Resources. ESRI
http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/An_overview_of_the_Interpolation_tools/009z00000069000000/.
8. ERDEM H., 2013: RiverSurveyor S5/ M9 System Manual, SonTek YSI, 115s.
9. GARMIN, 2000: Fishfinder 240 owner's manual, 40s.
10. GWINN, et. al. 1987. Encyclopædia Britannica. The New Encyclopædia Britannica, MICROPAEDIA and MACROPAEDIA, Chicago.
11. HERYNEK J.; TLAPÁK V.; 2002: Malé vodní nádrže. Vydavatelství 1, Brno, 198 s.
12. HRADILEK V., BAŠTA P., VIZINA Š., MÁCA P., PECH P., 2015: Verification of remote sensing data for measuring bathymetry on small water reservoirs, Czech university of Life Sciences Prague
13. JEŽEK J., 2008. Geostatistika – úvod do geostatistiky. 1. vyd. Praha: Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze. 63 s.

14. JEŽEK, J., 2015. Geostatistika a prostorová interpolace. 1. vyd. Praha:Univerzita Karlova v Praze. 2015. 200s.
15. KLIMANEK, M., 2006: Digitální modely terénu. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno.
16. KONGSBERG MARITIME. 2014
<http://www.km.kongsberg.com>
17. KUMLER, M. P., 1990: Thiessen's Remarkable Polygons. California Geographer 1999, roč. 39, s. 71-80
18. KŘIKAVOVÁ L., 2009. Interpolace bodových dat v GIS, BP na Fakultě stavební Českého vysokého učení technického v Praze.
http://maps.fsv.cvut.cz/diplomky/2009_BP_Krikavova_Interpolace_bodovyc_h_dat_v_GIS.pdf
19. KRÍŽ V., 1988: Hydrometrie, Státní pedagogické nakladatelství, Praha. 174 s.
20. McKEAN J., NAGEL D., TONINA D., et al., 2009: Remote sensing of channels and riparian zones with a narrow-beam aquatic-terrestrial LIDAR. Remote sensing, vol.1 1065 – 1096 s.
21. MOORE I., GRAYSON R. B., LADSON A. R., 1991: Digital terrain modeling: A review of hydrological, geomorphological and ecological applications. Hydrological processes, Vol. 5, 3 – 28 s.
22. NOVÁK P.; REIL A.; ROUB R.; VYBÍRAL T.; 2015: Nové technologie batymetrie vodních toků a nádrží. Vodní hospodářství, 1-5 s.
23. ORŠULÁK T.; PACINA J., 2010. 3D modelování a virtuální realita, 1. vyd. Ústí nad Labem : Centrum pro virtuální realitu a modelování krajiny 63 s.
<http://gis.fzp.ujep.cz/DTM/3d.pdf>
24. PAVLICA J.; 1964: Malé vodní nádrže a rybníky. Státní nakladatelství technické literatury, Praha, 196 s.
25. PERALVO M., 2002: Influence of DEM interpolation methods in Drainage Analysis. GIS in Water Resources.
26. POKORNÁ M., 2006. Za hranice batymetrie. 10 s.
http://www.fce.vutbr.cz/veda/JUNIORSTAV2007/pdf/Sekce_6.2/Pokorna_M_a_rketa_CL.pdf

27. POTI M., KINLAN B., MENZA C., 2012: A Biogeographic Assessment of Seabirds, Deep Sea Corals and Ocean Habitats of the New York Bight, Science to Support Offshore Spatial Planning, 9 s.
28. SALOUS S., 2013. Radio propagation measurement and channel modelling. Chichester, England: Wiley, 422s.
29. SÁRKOZY, Ferenc. GIS functions - interpolation [online]. TU Budapest, 1998
30. SEABEAM, 2000: Multibeam sonar - Theory of operation L-3 Communications SeaBeam Instruments, East Walpole.
31. SonTek HydroSurveyor, 2012: A new Hydrographic tool for Surveying Applications.
32. Šálek J., Mika Z., Tresová, 1989: Rybníky a účelové nádrže, SNTL Praha
33. ŠÁLEK J., 1996: Malé vodní nádrže v životním prostředí. VŠB-Technická univerzita, Ostrava, 141 s. ISBN 80-7078-370-2.
34. VISBECK M., 2002: Deep Velocity Profiling Using Lowered Acoustic Doppler Current Profilers: Bottom Track and Inverse Solutions, Journal of Atmospheric and Oceanic Technology 19s.
35. WATSON D. F., PHILIP J. M., 1985: A refinement of Inverse Distance Weighted Interpolation, Geoprocessing 2: 315 – 327 s.

Internetové odkazy

URL 1: Sonary [cit. 10.02.2017]

http://oceanexplorer.noaa.gov/oceanos/explorations/ex1105/media/ex1105_4.html

URL 2: Lidar [cit. 16.02.2017]

<http://blog.aurorasolar.com/how-lidar-is-transforming-remote-solar-system-design/>

URL 3: RiverSurveyor M9 [cit. 22.02.2017]

<http://www.sontek.com/media/products/SR-M9.jpg>

URL 4 : ArcGis [cit. 2.03.2017]

<http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/3d-analyst/spline.htm>

URL 5: Geoportal ČÚZK, CENIA [cit. 10.04.2017]

<http://geoportal.cuzk.cz/>

URL 6: Nahlížení do katastru nemovitostí [cit.10.04.2017]

<http://nahlizeniidokn.cuzk.cz/>

Seznam obrázků

| | |
|--|----|
| Obrázek 1: Dělení prostoru v nádrži (Šálek a kol., 1989)..... | 15 |
| Obrázek 2: porovnání jednoho a mnohopaprscitého sonaru (URL 1) | 22 |
| Obrázek 3: Systém LIDAR (URL 2) | 23 |
| Obrázek 4: RiverSurveyor M9 (URL 3) | 25 |
| Obrázek 5: Lokalizace nádrže na území ČR (URL 5) | 30 |
| Obrázek 6: Detail lokality (URL 5) | 31 |
| Obrázek 7: Detail lokality (URL 5) | 31 |
| Obrázek 8: Výřez z mapy katastru nemovitostí + ortofoto (URL 6) | 31 |
| Obrázek 9: Trajektorie při měření MVN Louňovický rybník (Autor, 2017), Podklad ortofoto- mapa (URL 5) | 35 |
| Obrázek 10: Nastavení parametrů Spline v ArcGIS (autor) | 37 |
| Obrázek 11: Zjištění objemu nádrže(autor): | 38 |
| Obrázek 12: Spline with Tension při RMSE 0,049 (autor)..... | 40 |
| Obrázek 13:Regularized Spline při RMSE 0,069 m (autor) | 40 |
| Obrázek 14:Spline with Tension při RMSE 0,215(autor)..... | 41 |
| Obrázek 15:Regularized Spline při RMSE 0,120(autor) | 41 |
| Obrázek 16:Graf znázorňující hodnotu RMSE (autor) | 43 |
| Obrázek 17:Graf znázorňující hodnoty SD (autor)..... | 43 |
| Obrázek 18: Graf znázorňující hodnotu objemu nádrže (autor) | 44 |
| Obrázek 19: Detail rastru Spline with Tension (autor) | 46 |
| Obrázek 20:Detail rastru Regularized Spline (autor)..... | 46 |

Seznam tabulek

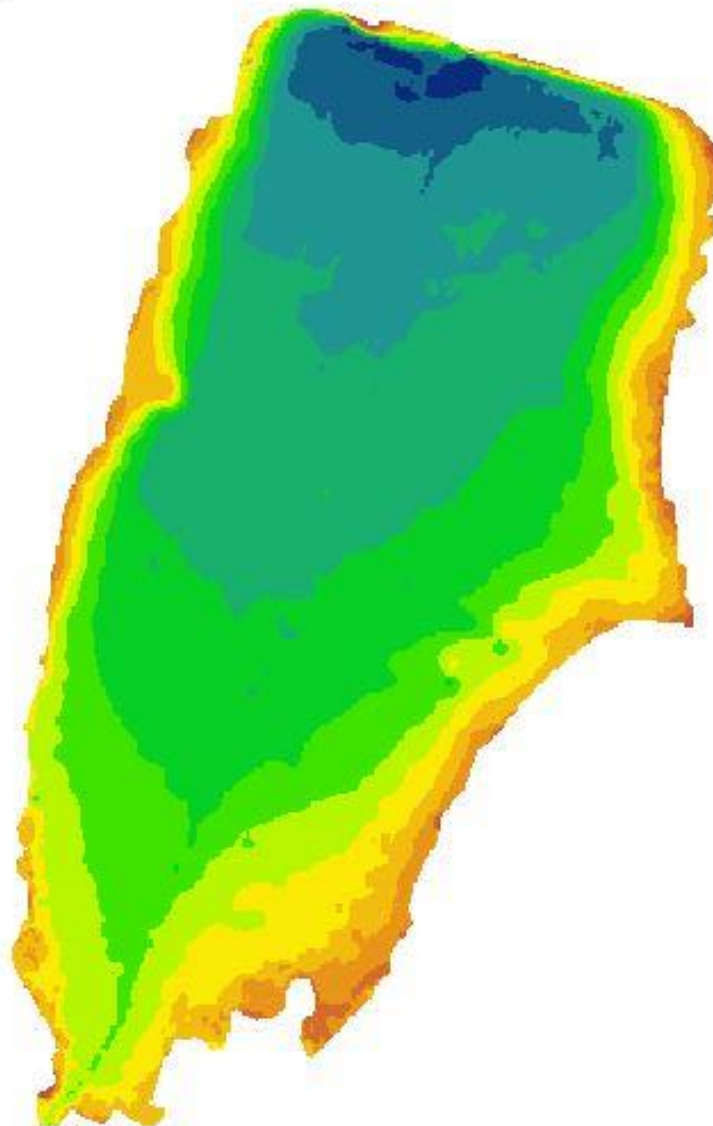
| | |
|---|----|
| Tabulka 1: Nejčastější technické závady u MVN (Vrána a Beran, 2013) | 19 |
| Tabulka 2: Výstup metody Spline při zvolených parametrech (autor) | 42 |

Seznam příloh

| | |
|--|--|
| Příloha 1:DMT - metoda Spline with Tension | |
| Příloha 2: Pohled na MVN Louňovický rybník (autor) | |
| Příloha 3: Pohled na hráz MVN (autor) | |

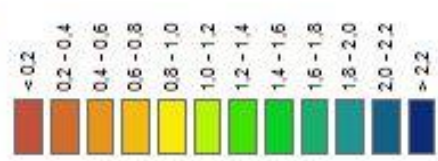
Batymetrie malé vodní nádrže Louňovický rybník

DMT-metoda Spline with Tension



Legenda

Hloubka [m]



Irena Hlavatá
ČZU 2017



Příloha 2: Pohled na MVN Louňovický rybník (autor)



Příloha 3: Pohled na hráz MVN (autor)