ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ A ENVIROMENTÁLNÍHO MODELOVÁNÍ

Batymetrie malé vodní nádrže Džbán v povodí Litovicko-Šáreckého potoka

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Matěj Linhart

Vedoucí práce: Ing. Petr Bašta

2016

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Matěj Linhart

Vodní hospodářství

Název práce

Batymetrie malé vodní nádrže Džbán v povodí Litovicko-Šáreckého potoka

Název anglicky

Bathymetry of the small pond Dzban in Litovicko-Sarecky potok river basin

---

Cíle práce

Hlavním cílem bude batymetrické zaměření malé vodní nádrže Džbán v povodí Litovicko-Šáreckého potoka, vyhodnocení hloubek formou digitálního modelu terénu jejího dna a stanovení celkové akumulace této nádrže.

Dílčím cílem bude zpracování rešerše zadané problematiky (malé vodní nádrže, batymetrie, možné způsoby jejího měření, zpracování digitálního modelu terénu v prostředí GIS), a dále sepsání stručného metodického postupu při měření batymetrie nádrže pomocí echosounderu.

Metodika

1. Rešerše na téma malé vodní nádrže, její zanášení sedimenty, batymetrie a její dostupné metody měření, prostorové interpolace, digitální model terénu

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

3. Terénní průzkum a vlastní měření – zaměření břehové linie a okolního terénu nádrže (možno využít DMR 5G), batymetrie pomocí echosounderu RiverSurveyor M9 (opakovaně v různých časových období)

4. Zpracování naměřených dat v prostředí GIS, vyhodnocení hloubek a akumulace nádrže ze všech provedených měření

5. Porovnání výsledků z měření provedených v různých časových období, diskuze

Doporučený rozsah práce

40 stran

Klíčová slova

Batymetrie, digitální model terénu, echosounder, malá vodní nádrž

Doporučené zdroje informací

Hradilek V., Bašta P., Vizina Š., Máca P., Pech P. (2015): Verification of remote sensing data for measuring bathymetry on small water reservoirs. 15th International SGEM GeoConference.

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

Lin, Y.-T., Schuettpelz, C.C., Wu, C.H., Fratta, D., 2009. A combined acoustic and electromagnetic wave-based techniques for bathymetry and subbottom profiling in shallow waters. J. Appl. Geophys. 68, 203–218. doi:10.1016/j.jappgeo.2008.11.010

Schmitt, T., Mitchell, N.C., Ramsay, a. T.S., 2008. Characterizing uncertainties for quantifying bathymetry change between time-separated multibeam echo-sounder surveys. Cont. Shelf Res. 28, 1166–1176. doi:10.1016/j.csr.2008.03.001

VRÁNA, K. – BERAN, J. – ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE. STAVEBNÍ FAKULTA. *Rybníky a účelové nádrže.* Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2013. ISBN 978-80-01-04002-7.

Předběžný termín obhajoby

2015/16 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Petr Bašta

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 12. 2. 2016

prof. Ing. Pavel Pech, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 17. 2. 2016

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 12. 04. 2016

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci s názvem ,,Batymetrie malé vodní nádrže Džbán v povodí Šárecko-Litovického potoka" vypracoval samostatně, pod vedením Ing. Petra Bašty. Veškeré použité zdroje jsou uvedeny v seznamu na konci práce.

V Praze dne 12.4.2016 .....

Poděkování

Při této příležitosti bych chtěl poděkovat svému vedoucímu Ing. Petru Baštovi za příjemné dialogy, poskytnuté obohacující informace a vstřícné jednání ve všech fázích této práce. Dále Ing. Václavu Hradílkovi za doplňující rady a koordinaci při praktickém měření, a všem ostatním, kteří mě upřímně podporují v tom, čím se zabývám.

.

Abstrakt

Tato práce pojednává o batymetrickém zaměření malé vodní nádrže Džbán v povodí Litovicko-Šáreckého potoka, za pomocí ADCP přístroje RiverSurveyor M9. Součástí je postup zpracování digitálního modelu terénu dna malé vodní nádrže a výsledný výpočet její akumulační schopnosti. V rešeršní části jsou popsány základní pojmy související s tématikou, jako je definice malých vodních nádrží, jejich dělení nebo zanášení a popis funkčních objektů nádrží. Dále teoretický základ k batymetrii, interpolaci a základním interpolačním metodám.

Součástí je popis zájmové lokality, nádrže a jejích funkčních objektů a nakonec postup metodiky, které bylo použito k dosažení veškerých výsledků.

Klíčová slova: Batymetrie, malá vodní nádrž, ADCP, echosounder, digitální model terénu

Abstract

This bachelor thesis is about bathymetry measurement of small water reservoir Džbán in Litovicko-Šárecký river basin with ADCP based instrument RiverSurveyor M9. There is included digital model terrain proceeding of bottom of reservoir and water storage cacculation. In theory it is described basic notions connected with this subject as a definition of small water reservoir, their dividing, sedimentation and functional objects. Below it is fundamentals of bathymetry and interpolation techniques. Then description of reservoir area, functional objects and methodology which was used to getting final results.

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

OBSAH

1. ÚVOD 12

2. CÍLE PRÁCE 14

3. LITERÁRNÍ REŠERŠE 15

3.1 MALÉ VODNÍ NÁDRŽE 15

3.1.1 Dělení MVN 15

3.1.2 Historie 16

3.1.3 Nádržný prostor 17

3.1.4 Bezpečnostní přeliv 18

3.1.5 Hráz 18

3.1.6 Výpustná zařízení 20

3.2 ZANÁŠENÍ MALÝCH VODNÍCH NÁDRŽÍ 21

3.3 BATYMETRIE 22

3.3.1 River Surveyor M9 23

3.4 DIGITÁLNÍ MODEL TERÉNU 24

3.5 INTERPOLACE 25

3.5.1 Dělení interpolací 25

3.5.2 Vybrané interpolační metody 25

4. MALÁ VODNÍ NÁDRŽ DŽBÁN 27

4.1 VYMEZENÍ LOKALITY 27

4.2 ZÁKLADNÍ INFORMACE 29

4.3 POPIS MVN DŽBÁN 31

4.3.1 Hráz 32

4.3.2 Sdružený funkční objekt 34

4.3.3 Nádrž 35

5. METODIKA 36

5.1 BATYMETRICKÉ ZAMĚŘENÍ MVN DŽBÁN 36

5.2 ZPRACOVÁNÍ DAT 38

5.3 STANOVENÍ OBJEMU NÁDRŽE 41

6. VÝSLEDKY 42

7. DISKUZE 44

8. ZÁVĚR 47

9. POUŽITÉ ZDROJE 48

10. PŘÍLOHY 50

Seznam obrázků

Obr.1. Dělení nádrží dle přítoku vody
Obr.2. Vertikální dělení nádržního prostoru
Obr.3. Dělení hrází podle půdorysného tvaru
Obr.4. Sontek RiverSurveyor M9
Obr.5. Lokalizace na území ČR. 1: 1 000 000
Obr.6. Výřez z vodohospodářské mapy. M 1:50 000
Obr.7. Výřez z vodohospodářské mapy. M 1:50 000
Obr.8. Výřez z mapy katastru nemovitostí + ortofoto
Obr.9. Pohled na nádrž Džbán, z místa přítoku, směrem k hrázi
Obr.10. Pohled na vzdušný svah hrázového tělesa. Vlevo ovládání výpusti.
Obr.11. Šachtový bezpečnostní přeliv nádrže Džbán.
Obr.12. Součásti měřící soustavy RiverSurveyor M9 umístěné v kajaku.
Obr.13. Body najížděné v kajaku opatřeným echosounderem + ortofoto.
Obr.14. Nastavení funkce Topo to Raster v Programu ArcGIS.
Obr.15. Různé sady dat vykreslené zvlášť do plochy nádrže. V podkladu, je z nich vytvořený DTM
Obr.16. Rozdíly mezi DTM z jednotlivých datových sad.
Obr.17. Zjištění sumy všech výšek v programu ArcGIS.
Obr.18. Digitální model terénu vytvořený metodou Natural Neighbor.
Obr.19. Digitální model terénu vytvořený metodou IDW.
Obr.20. Digitální model terénu vytvořený metodou Topo to Raster

Seznam použitých zkratek

ADCP	Acoustic Doppler Current Profiler (přístroj měřící na principu Dopllerova efektu)
ČUZK	Český úřad zeměměřičský katastrální
ČSN	Česká státní norma
DTM	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)
MPŘ	Manipulační a provozní řád
MVN	Malá vodní nádrž
RTK	Real Time Kinematic (kinematika v reálném čase)

1. ÚVOD

Měření batymetrie není v České republice běžnou záležitostí. Podnětem pro vznik této práce bylo provedení studie soustavy Litovicko-Šáreckého potoka pomocí moderního zařízení pracujícím na principu dopllerova efektu RiverSurveyor M9 a vyhodnocení jeho účinnosti. Metoda měření přístrojem ADCP (Acoustic doppler current profiler) je podle všeho oproti starším metodám mnohem rychlejší a účinější.

Přístroj měří hloubky v nádrži, ze kterých lze pomocí počítačové techniky vytvořit digitální model terénu a tím vytvořit konkrétní batymetrickou mapu řešené oblasti. Díky těmto datům je následně možné zjistit stupeň zanešení sedimenty a akumulační schopnost nádrže. V navaznosti na to lze vyhodnotit nutnost čištění nádrže, dobu zdržení povodňové vlny, nebo potřebná opatření ke zlepšení jejího stavu.

V literární rešerši jsou popsány funkční objekty malých vodních nádrží vyskytující se v České republice a samotné vymezení pojmu malá vodní nádrž, dělení MVN a dělení nádržního prostoru, zanášení nádrží a související problémy, dále něco o historických a dnešních způsobech batymetrie, a nakonec popis interpolace a objasnění vybraných interpolačních metod, díky kterým lze získat výsledný digitální model terénu.

Čtvrtá kapitola se věnuje řešené malé vodní nádrži Džbán. Vymezení lokality kde se nachází, základním údajům o vodním díle a popisu jeho funkčních objektů.

V kapitole metodika je popsán postup proběhlého batymetrického měření na nádrži Džbán, použitá metoda zpracování dat a popis stanovení objemu MVN za pomoci naměřených dat.

Všechny získané výsledky jsou uvedeny v šesté kapitole s názvem výsledky.

V kapitole diskuze probíhají úvahy nad správností a smyslu získaných výsledků. Jsou zde porovnány použité interpolační metody, vyhodnoceny výsledky měření a je porovnán objem udávaný v projektové dokumentaci a ten, který byl získán batymetrickým měřením.

V závěru jsou shrnuty výsledky celé práce a je zde uvedeno výsledné stanovisko vůči celé metodice.

Jako další je uveden seznam všech zdrojů, použitých pro tuto práci a na konci práce lze nalézt kapitolu přílohy, do které jsou zasazeny všechny důležité grafické výstupy vycházející z této práce.

2. CÍLE PRÁCE

Hlavním cílem této práce je zaměření malé vodní nádrže Džbán v povodí Litovicko-Šáreckého potoka za pomoci přístroje River Surveyor M9, vyhodnocení hloubek formou digitálního modelu terénu jejího dna a stanovení celkové akumulace této nádrže.

Dílčím cílem je zpracování rešerše související s problematikou malých vodních nádrží, jejich zanášení a různých způsobů měření batymetrie. Dále vytvoření digitálního modelu terénu dna za pomoci programu ArcGIS Desktop a v něm zabudovaným interpolačním funkcím a popis metodického postupu vlastního měření nádrže pomocí echosounderu RiverSurveyor M9.

3. LITERÁRNÍ REŠERŠE

Pro schopnost batymetrického zaměření je třeba znát teorii související s malými vodními nádržemi, poznat funkční objekty, které se na ní vyskytují a chápat jejich funkci, včetně obecných hloubkových poměrů v jejich okolí.

3.1 Malé vodní nádrže

Malé vodní nádrže (MVN) jsou z hlediska hospodaření s vodou důležitým prvkem krajiny. Dle ČSN 75 2410 je malou vodní nádrží taková nádrž, jejíž:

- objem po hladinu ovladatelného prostoru nepřesahuje 2 miliony m^3,
- největší hloubka ode dna k maximální hladině není větší než 9 m.

(ČSN 75 2410, 2011)

MVN mají různé využití. Mezi hlavní účely patří zadržení vody v krajině, zpomalení odtoku při srážkových událostech a vyrovnání průtoků během roku (Vrána a Beran, 2005).

3.1.1 Dělení MVN

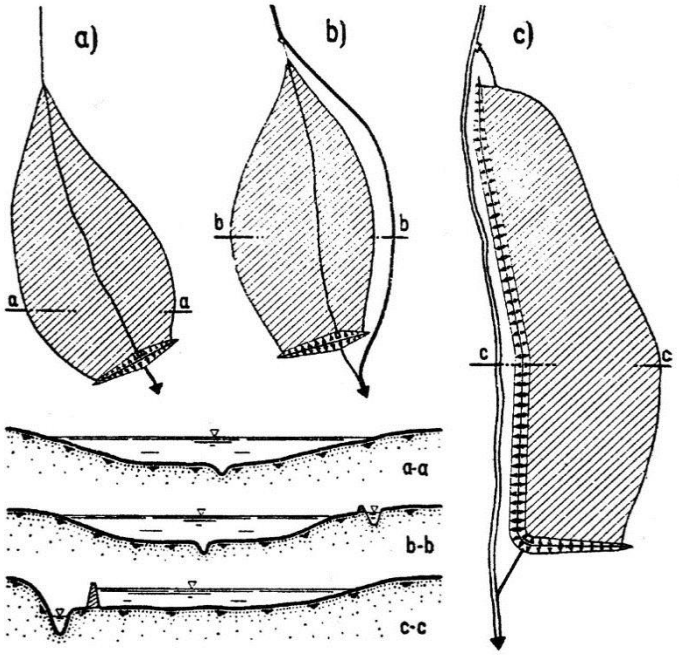
Malé vodní nádrže se dělí dle účelu na:

- zásobní nádrže
- ochranné (retenční) nádrže
- rybochovné nádrže
- nádrže upravující vlastnosti vody
- hospodářské nádrže
- speciální účelové nádrže
- asanační nádrže
- rekreační nádrže
- nádrže krajinotvorné a v obytné zástavbě (ČSN 75 2410, 2011)

V praxi se u malých vodních nádrží běžně aplikuje více než jeden účel využití. (Např. rekreační nádrž poslouží při přívalových deštích jako reteční nádrž pozdržující povodňovou vlnu; atd.)

Dle přítoku vody rozlišujeme nádrže:

- průtočné
- obtokové
- boční



Obr.1. Dělení nádrží dle přítoku vody. a) průtočné; b) obtokové; c) boční
(zdroj: Vrána a Beran, 2005)

3.1.2 Historie

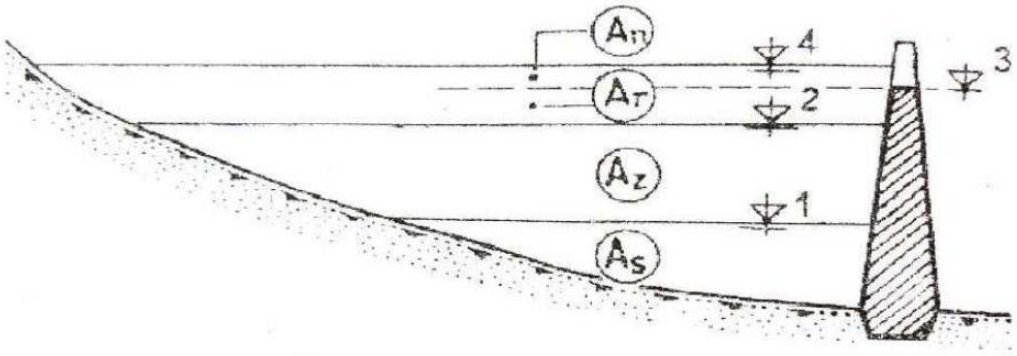
Potřeba stavět vodní nádrže byla v čechách vidět už před 12. stoletím. Velký rozkvět lze dle dokumentů pozorovat kolem 14. století, kdy byly nádrže využívany nejvíce k rybářským účelům. Dále byly využívány k provozu mlýnů, pil a nebo závlahovým účelům.

Velká vlna stavění rybníků proběhla v 16. století v jižních Čechách, kde byla vybudována celá rybniční soustava. Největší jména této doby, spojovaná s výstavbou nádrží, jsou Jakub Krčín z Jelčan a Štěpánek Netolický. Rybníky té doby slouží dodnes a evidentně zvýšily kvalitu tamního území (Tlapák a Herynek, 2002).

3.1.3 Nádržný prostor

Prostor, který limituje objem vody v nádrži. Je ohraničený dnem, hrází, břehy a hladinou největšího vzdutí vody. Může být vytvořen několika způsoby: zahrazením udolí, vytvořením hrází na jiných vhodných místech, vykopávkou, a nebo kombinací těchto možností.

Nádržný prostor se z funkčního hlediska vertikálně dělí na prostor *stálý (mrtvý), zásobní (akumulační)* a *ochranný (retenční)* (Tlapák a Herynek, 2002).



Obr.2. Vertikální dělení nádržního prostoru (A_s – prostor stálý, A_z – zásobní, A_r – prostor retenční ovladatelný, A_n – prostor retenční neovladatelný; 1 – hladina stálého nadržení; 2 – hladina zásobního prostoru, 3 – h. ovladatelného retenčního prostoru, 4 – h. neovladatelného ret. prostoru) (zdroj: Tlapák a Herynek, 2002).

Stálý neboli mrtvý prostor mezi dnem a nejnižší provozní hladinou se většinou nevypouští. Voda z tohoto prostoru není využívána a může být zanášen sedimenty, jelikož to neohrožuje funkci nádrže.

Zásobní prostor je určen k zásobě vody, ať už pro účely závlah a nebo jiným účelům. Velikost jeho objemu závisí na geomorfologických poměrech nádrže a na vydatnosti zdroje přitékající vody.

Ochranný (retenční) prostor je ohraničen maximální hladinou a nachází se nad zásobním prostorem. Slouží jako rezervoár pro velké vody. Díky tomuto prostoru může dojít k podstatné retardaci povodňových vln, což zabraní škodám v nížších polohách povodí. Odtok z tohoto prostoru zajišťuje objekt zvaný bezpečnostní přeliv (Tlapák a Herynek, 2002).

3.1.4 Bezpečnostní přeliv

Bezpečnostní přeliv je objekt zajišťující ochranu nádrže před velkými, povodňovými průtoky. Konkrétně odvádí vody, které nestíhá pojmout výpustné zařízení a tím chrání území pod hrází i vlastní hráz.

U všech vodních nádrží je nutno navrhovat bezpečnostní přeliv, který by měl být navržen na Q_{100}, což většinou spolehlivě zabrání přelití hráze (ČSN 75 2410, 2011). V praxi lze přeliv navrhnout i na menší průtoky, s ohledem na místní hydrologické podmínky a kapacity nádrže.

Návrhu vlastního bezpečnostního přelivu předchází výpočet potřebné délky přelivné hrany *b*, přez kterou bude přepadat nadbytečný průtok. Potom se podle místních poměrů, hlavně velikosti nádrže a potřebného místa pro přeliv, volí vhodný typ, který souvisí s jeho umístěním:

- čelní přelivy (umisťují se do čelní části hráze nádrže)
- boční přelivy (v boční části nádrže, přelivná hrana je v podstatě kolmá na osu hráze)
- šachtové přelivy (jsou umístěny v prostoru nádrže, voda je potrubím odváděna pryč)
- kašnové
- kombinované
- speciální (Vrána a Beran, 2005)

3.1.5 Hráz

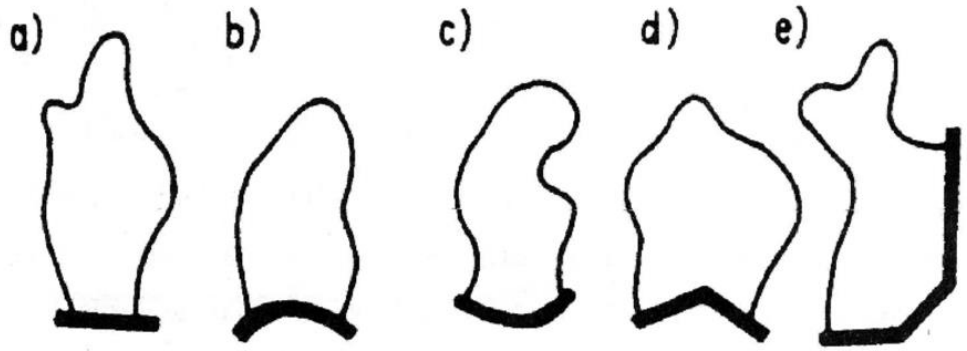
Hráz je nejnáchylnějším, nejdražším a stavebně nejnáročnějším prvkem nádrže. Při výstavbě je důležité dbát na volbu materiálu, na průsakové poměry, bezpečný odvod nadbytečných průsakových vod a zpevnění svahů hráze.

Podle tvaru údolí, funkce nádrže a typu hráze dělíme hráze na *čelní, obvodové, boční a dělící. Čelní hráz* vznikne přehrazením údolí toku. Při vybrání takového místa, kde má uvažovaná hráz pokud možno nejkratší možnou délku je tento typ hráze poměrně levným řešením. Nevýhodou je nutnost provádění veškeré vody prostorem nádrže.

Boční hraze jsou budovány ze 2 nebo 3 stran prostoru nádrže. Tyto hráze jsou kvůli větší spotřebě zeminy podstatně dražší, avšak výhodou je schopnost ovládat přítok do nádrže. Pokud je hráz postavena ze všech 4 stran nádrže, pak se nazývá hrází *obvodovou*. *Dělící hráze* rozdělují nádržní prostor na více celků (Šálek, 1996).

Hráze jsou dále rozdělovány podle půdorysného tvaru osy, na hráze:

- přímé
- zakřivené
- lomené



Obr.3. Dělení hrází podle půdorysného tvaru (a – čelní přímá; b – čelní vypouklá; c – čelní vydutá; d – čelní lomená; e – nepravidelná) (zdroj: Vrána a Beran, 2005)

Nejčastěji jsou budovány hráze přímé, které bývají nejvhodnější, avšak v některých případech je vhodnější volba jiného typu. Při velké délce hráze, by kupříkladu přímá linie vůbec esteticky nezapadla do jakékoliv členité krajiny.

U malých vodních nádrží se hráze navrhují výhradně jako zemní tělesa. Hráz je sypána z vhodného materiálu, který pochází pokud možno z blízkého okolí nádrže. Výběr zemníku je zpravidla zajišťován inženýrsko-geologickým průzkumem, kterým mají být zároveň zjištěny fyzikálně-mechanické vlastnosti vybrané zeminy, její objem, těžitelnost a způsob zpracování před ukládáním do tělesa hráze (Thoř, 1981).

Podle toho jaký je pro stavbu hráze použit materiál dělíme hráze na *homogenní* a *nehomogenní.* Základní rozdíl je v tom, že u *homogenní* hráze je těleso pouze z jednoho typu materiálu, který musí být konstrukčně stálý a dostatečně nepropustný. Nejpoužívanější jsou hlíny písčitě až hlinitojílovité písky. Jílovité materiály mají pro tuto stavbu špatné vlastnosti. Tento typ hráze je konstrukčně jednoduchý a pokud je k dispozici dostatek zeminy a výška hráze nepřesahuje 6,0 m,

tak i nejvýhodnější. *Nehomogenní* hráz navrhujeme hlavně v případě, když není k dispozici dostatečné množství materiálu pro stavbu stejnorodé hráze. Skládá se ze dvou nebo více materiálů, které jsou v hrázi uloženy odděleně. Tím vznikne několik vrstev, které mají jiné vlastnosti a společně tvoří plně funkční hrázové těleso.

Všechen sypký materiál hrázového tělesa bude dokonale zhutněn dle právě platné normy pro MVN (Vrána a Beran, 2005).

3.1.6 Výpustná zařízení

Funkční objekty, které slouží k řízenému vypouštění malých vodních nádrží a k udržování hladiny normálního nadržení. Hlavní výpustné zařízení je zkonstruováno tak, aby bylo možno provést bezpečné vypustění nádrže. Obvykle se umisťuje v blízkosti hráze, do nejhlubšího místa nádrže. Každá malá vodní nádrž musí být dle ČSN vybavena výpustným zařízením. Nádrže nad 1. mil m^3 mají mít zařízení dvě (ČSN 75 2410, 2011).

Podle vlastního způsobu odvádění vody z nádrže, můžeme dělit výpusti na *trubní* a *otevřené*.

Otevřené výpusti tvoří betonové nebo kamenné kanály odvádějící vodu od nejnižšího místa dna směrem k recipientu. Jiný název pro tento typ výpusti je stavidlová, vycházející z často používaného stavidlového hradícího prvku, který zadržuje vodu od dna koryta až po hladinu normálního nadržení (Thoř, 1981).

Tento typ výpusti se dnes už v praxi příliš nenavrhuje. Celá konstrukce je mohutná a příliž narušuje celistvost hráze. Podél stěn zde může docházet k průsakům či nežádoucím vibracím, a zároveň v krajině nepůsobí příliš esteticky.

V*ýpusti trubní* jsou oproti tomu malá a levná zařízení. Jde o troubu vedoucí od nejnižšího místa nádrže kolmo na osu hráze a odvádějící vodu pod nádrž, do odtokového kanálu opatřeného vývařištěm. Další součást zařízení je uzávěr a česlová stěna. Uzávěr se většinou umisťuje na návodní straně (Vrána a beran, 2005).

Dnes je nejčastěji používaným výpustným zařízením *požerák*. Jeho tělo tvoří krabicová konstrukce z betonu, železobetonu, oceli nebo dřeva. Uvnitř je takzvaná dlužová stěna, ze které je možno jednotlivé dluže vytahovat, a tím měnit hladinu nádrže, nebo jí vyprázdňovat. Přístup na korunu požeráku bývá zajištěn ocelovou

nebo dřevěnou lávkou. Vlastní šachta požeráku může být opatřena uzamykatelným poklopem, a nebo lze zamezit neoprávněnému přístupu použítím lávky mobilní (Vrána a beran, 2005).

3.2 Zanášení malých vodních nádrží

Zanášení je největším hospodářským problémem malých vodních nádrží. Převážné množství sedimentu vzniklo erozními procesy a pochází z okolních zemědělských pozemků. Další sedimenty se můžou dostat do nádrže některým z přítoků nebo vznikly působením břehové abraze.

Usazování transportovaného sedimentu v nádrži sebou nese několik problémů: (Tlapák a Herynek, 2002)

- sedimenty často obsahují značné množství cizorodých látek, které se mohou později uvolnit do vodního prostředí. (živiny, někdy kovy, atd.)
- množství obsažených živin mění vegetační poměry v nádrži, které později způsobují kyslíkové problémy.
- zmenšuje se objem akumulačního prostoru nádrže a to mění její hydraulickou i hydrologickou funkci.
- dochází ke zvýšení zarůstání vlhkomilnou vegetací, což způsobuje zvýšené ztráty vody výparem a estetické problémy.
- sedimenty často snižují provozuschopnost funkčních objektů nádrže.

V případě že je do nádrže transportováno velké množství sedimentu nebo pokud jsou přítomny třeba již zmíněné těžké kovy, může mít ukladání sedimentů i ekologický dopad a postihnout stávající biotu (Tlapák a Herynek, 2002).

Snížení množství sedimentů, které se dostávají do nádrže, lze dosáhnout funkčními protierozními opatřeními, která jsou zemědělci stále podceňováná. Nejohroženější jsou strmé svahy, takové které mají velkou délku spádnice a svahy bez vegetace.

Možností jak pozemky chránit proti erozi je několik. Nejjednoduššími opatřením jsou organizační metody, jako obdělávání po vrstevnicích nebo cílené pozemkové úpravy. Dalšími způsoby jsou opatření agrotechnická až technická, kde lze například usměrnit povrchový odtok pomocí průlehů, které jsou zatravněny a tím chráněny před

srážkami, dále vytvořením odtokových kanálů a nebo v extrémním případě záchytných nádrží, které sedimenty zachytí v předem připraveném místě (Janeček, 2008).

3.3 Batymetrie

Batymetrie neboli topografické zaměření dna se stala důležitou součástí územního plánování. Díky zaměření hloubek malé vodní nádrže můžeme sledovat míru zanášení řešenou v předchozí kapitole a také zjistit momentální akumulační schopnost měřené nádrže.

Z výškových údajů o hloubce se vytváří batymetrické mapy, které nám jako takové můžou sloužit ke správnému návrhu plavebních cest, hledání objektů na dně oceánů (vraky, stavby,..), nalezení rybích společenstev, nebo k objevení některých přírodních zdrojů (Poti, et al., 2012).

Dříve bylo měření batymetrie velmi obtížné a všechno se zakraslevalo a zaměřovalo ručně. Nejlepší metoda spočívala ve spouštění olovnice a v následném odečtení hloubek, což je časově náročné (Kříž, 1988).

Dnes existují metody a k nim vyrobené přístroje díky kterým je vlastní měření přesnější, rychlejší a jednodušší. Mezi používané technolgie patří přístroje na bázi odrazu světla a nebo sonary, fungující díky odrazům zvukových vln.

Jednou z metod užívaných pro měření batymetrie je LiDAR (Light Detection and Ranging). Metoda fungující na principu odrazu světla, kdy je možno pomocí laseru umístěném na letadle provést sken terénu o vysokém rozlišení, který dokáže zachytit různé tvary jako je koryto řeky, vlastní břehy, strukturu vegetace nebo záplavové oblasti (McKEAN, et al., 2009).

Další používanou metodou je echosounding. Přístroje jako je VBES (vertical beam echosounder), který měří vzdálenost od zdroje díky jednomu vertikálnímu ultrazvukovému paprsku, který se odráží ode dna, a nebo inovované MBES (multibeam echosounder), které mají paprsků více a dokáží měřit více parametrů (např. rychlost proudění a tedy i průtok ve vodním toku) (Poti, et al., 2012).

U nás je batymetrie důležitá hlavně kvůli přesnému zaměření hloubek vodních děl, následnému vyhodnocení jejich kapacity a schopnosti případné retardace povodňové vlny. což je několik posledních let opomíjeno a časem to může přinést nepříjemné problémy. Průběžným sledováním zanášení se dá zjistit jeho rychlost a následně zlepšit protipovodňovou funkci nádrží například odtěžením sedimentu.

3.3.1 River Surveyor M9

Zařízení River Surveyor M9 je jedním z nejmodernějších přístrojů na bázi echosounderu od firmy SonTek, který funguje na principu ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler). Umožňuje měřit rychlost proudění vody v tocích a nebo zaměřit batymetrii vodních sítí na základě vysílání a zpětného příjmu zvukového paprsku odraženého ode dna a od nečistot unášených vodním proudem.

Měřící soustava se skládá z měřící hlavice (echo-sounder), GPS RTK (Real Time Kinematic) zařízení, propojovacích kabelů a telefonu se softwarem pro okamžité sledování měření a komunikaci se systémem (SonTek, 2015).

Přímo na měřicím modulu se nachází dvě čtveřice senzorů, které jsou nakloněny pod úhlem 25° a snímají rychlost. Senzory vysílají o frekvenci 1Mhz a druhá čtveřice 3Mhz. Tyto senzory jsou schopny změřit i hloubku - až 30 m (za použití RTK GPS až 80 m).

Posledním senzorem je vertikální paprsek na spodní straně zařízení navržený přímo pro měření aktuální hloubky vody. Díky tomuto paprsku odpadají nepřesnosti vznikající při měření hloubek rychlostními senzory (ERDEM H., 2013).

Tento přístroj je možné použít i v podmínkách, kde je poměrně zakalená voda, což byla jedna z prvotních obav některých uživatelů. I přesto jsou výsledky při porovnání s jinými metodami uspokojivé (Hradilek et al., 2015).

Výstupem tohoto měření je pak prostorové bodové pole s údaji o hloubkách, z něhož lze následnou interpolací vytvořit digitální model terénu dna nádrže.

Obr.4. Sontek RiverSurveyor M9

(Dostupné z: http://www.sontek.com/media/products/SR-M9.jpg) (zdroj: SonTek, 2012).

3.4 Digitální model terénu

Digitální model terénu (DTM) představuje digitálně zpracovaný model povrchu Země. Neobsahuje stromy, stavby ani jiné podobné objekty. Takto reprezentovaný terén, může dále posloužit v inženýrské činnosti, při batymetrii pro účely záznamu a vizualizace terénu dna vodních ploch, v územním plánovaní a v různých jiných odvětvích (Oršulák a Pacina, 2010).

Nejčastěji používané reprezentace DTM jsou TIN (Trianguled Irregular Network) a rastr. U metody TIN je výsledný model terénu zobrazen pomocí malých trojúhelníkových ploch, které jsou uvažováný jako rovinné. Tento způsob vykreslení povrchu je velice všestranný a používá se i pro batymetrii.

Druhý zmíněný typ se nazývá rastr. Skládá se zpravidla ze stejně velkých buněk o zvoleném tvaru (nejčastěji čtvercového), přičemž je každé buňce přiřazena kromě souřadnic x a y také výšková souřadnice z (Moore, et al., 1991).

A pak je ještě třetí typ, kterým je liniová reprezentace povrchu terénu – to jsou klasické výškopisné vrstevnice využívané ve vojenských či turistických mapách (Moore, et al., 1991).

3.5 Interpolace

Pojmem interpolace se rozumí proces odhadu neznámé hodnoty jevu, na základě okrajových hodnot, které jsou nám známy. Takto lze prakticky odhadnout veličiny, které mají určitou spojitost, a nebo je mezi jednotlivými body určitá prostorová závislost (tzv. autokorelace) (Burian, 2008).

V této práci bylo interpolace využito právě k vytvoření modelů dna MVN z bodových měření echosounderem.

Pojmem, který blízko souvisí s pojmem interpolace, je extrapolace. Při interpolaci je odhadována hodnota uvnitř daného intervalu. Naproti tomu u extrapolace jsou zjišťované údaje mimo oblast dat, takže je zde pouze jednostranná okrajová podmínka (Urban, 1991).

3.5.1 Dělení interpolací

Interpolace můžeme dělit z několika hledisek. Jednou z možností je rozdělení intrerpolačních metod na *deterministické* a *stochastické*. Hlavním rozdílem je to, že deterministické metody využívají reálně naměřené hodnoty v terénu a při výpočtu zde není uvažována pravděpodobnost, zatímco u stochastických metod může být odhad vždy jiný, jelikož je pouze jednou hodnotou z mnoha možných (Burrough a McDonnell, 1998).

Dalším způsobem jak můžeme interpolace dělit, je na *lokální* a *globální*. Globální metody fungují na principu výpočtu odhadu ze všech naměřených bodů v řešeném území, tudíž změna hodnoty jednoho bodu ovlivní výsledek na celém území, což často zkresluje skutečnost. Lokální metody počítají pouze s body, které jsou poblíž bodu interpolovaného a díky tomu je odhad reálnější (Štych, 2008).

3.5.2 Vybrané interpolační metody

- IDW (Inverse Distance Weighted)

Jedna z jednodušších deterministických metod, u které platí předpoklad, že body které jsou k sobě blíže, mají podobnou hodnotu sledované veličiny. Principiálně

v podstatě funguje na bázi vážených průměrů, kdy je bližšímu bodu přiřazována vyšší váha než bodu vzdálenějšímu (Watson a Philip, 1985).

- Spline

Metoda, kterou jsou hodnoty interpolovány pomocí předem definovaných matematických funkcí. U této metody existují dvě základní zásady a to, že funkce má minimální křivost a že přímo prochází naměřenými body. Používá se například pro interpolaci klimatických jevů nebo pro méně členitější terén. Obecně pro interpolaci jevů, které se v prostoru mění spojitě, nikoli skokově (Sárkozy, 1998).

- Kriging

Je jednou ze složitějších interpolačních metod. Patří mezi lokální a stochastické metody, kdy je nejdříve zjištěna autokorelace pro dané veličiny a následně je podle empirického semivariogramu a různých matematických funkcí proveden vlastní odhad řešených hodnot. Vhodná kupříkladu pro geologické účely (Oliver, 1990).

- Topo to Raster

Interpolační metoda, která byla navržena přímo pro program ArcGIS firmy ESRI. Je určena přímo pro obor hydrologie, jelikož pro tyto účely zatím doposud žádná metoda nevyhovovala. Kombinuje výhody dříve vyvynutých interpolačních technik (hlavně splinu) a redukuje chyby v oblastech, které nekorespondovaly se skutečností. Dokáže předvídat náhle změny terénu způsobované kupříkladu vodními toky, nebo hřbetnicemi a dalšími singularitami terénu (Oršulák a Pacina, 2010).

Funkce Topo to Raster dokáže pojmout různé typy dat. Lze zadat informace o hranicích území, nadmořské výšce, poloze vodních ploch a toků nebo o známých topografických depresích. Vzhledem k dnešní výpočetní technice lze DTM vytvořit poměrně jednoduchým způsobem. Více v kapitole metodika.

4. MALÁ VODNÍ NÁDRŽ DŽBÁN

4.1 Vymezení lokality

Malá vodní nádrž Džbán se nachází ve středočeském kraji, v hlavním městě Praha a spadá do katastrálního území Vokovice. Nachází se vedle přírodní rezervace Divoká Šárka.

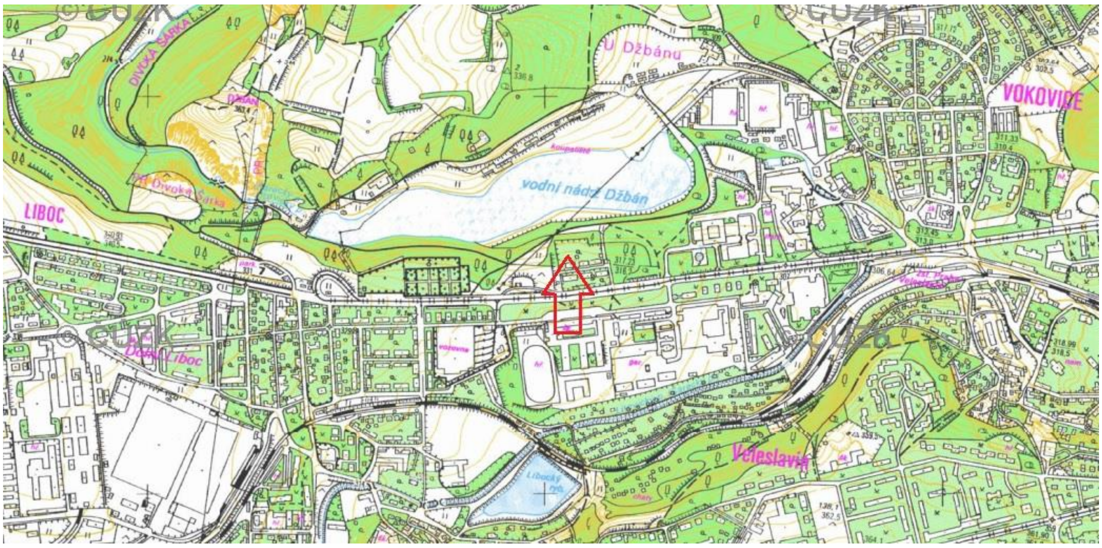
- Lokalizace na území České republiky

Obr.5. Lokalizace na území ČR. 1: 1 000 000

(Dostupné z: https://geoportal.gov.cz/web/guest/wms/ CENIA) (zdroj: Geoportal.cz,)

Obr.6. Výřez z vodohospodářské mapy. M 1:50 000

(Dostupné z: http://heis.vuv.cz/default.asp?typ=00)   (zdroj: HEIS.vuv.cz, 2016)



Obr.7. Výřez z vodohospodářské mapy. M 1:50 000

(Dostupné z: http://heis.vuv.cz/default.asp?typ=00)   (zdroj: HEIS.vuv.cz, 2016)

4.2 Základní informace

- Údaje z katastru nemovitostí (ČUZK)

Obec:	Praha [554782]
Katastrální území:	Vokovice [729418]
Parcelní číslo:	712/1
Číslo LV:	652
Výměra [m^2]:	116 799
Typ parcely:	parcela katastru nemovitostí
Mapový list:	DKM
Způsob využití:	vodní nádrž umělá
Druh pozemku:	vodní plocha
Vlastnické právo:	HLAVNÍ MĚSTO PRAHA, Mariánské náměstí 2/2, Staré Město 11000, Praha 1
Způsob ochrany nemovitosti:	ochranné pásmo vodního zdroje 2. stupně

Obr.8. Výřez z mapy katastru nemovitostí + ortofoto

zdroj: http://sgi.nahlizenidokn.cuzk.cz/marushka/ (zdroj: ČÚZK.cz, 2014)

Nádrž byla vystavěna v letech 1966 - 1971 a je součástí Litovicko-Šárecké soustavy rybníku. Účel malé vodní nádrže Džbán je rekreace. Další účely jsou zajištění minimálního zůstatkového průtoku pod hrází a částečné snížení povodní na Litovecko-Šáreckém potoce. Dnes je Džbán významným rybářským revírem hlavně pro sportovní rybolov (Manipulační a provozní řád MVN Džbán, 2003).

Díky zhoršující se kvalitě vody, způsobené městskou zástavbou a postupným zabahněním nádrže se v roce 2008 provedlo v rámci projektu Obnova a revitalizace pražských nádrží *odbahnění*, kdy bylo odtěženo cca 50 000 m^3 sedimentu. Zároveň byla v rámci revitalizace provedena oprava kamenného opevnění břehů a bylo zde vybudováno mělké pásmo, které zapříčinilo uchycení mokřadní vegetace a tím zlepšilo podmínky pro zasídlení vodního ptactva. Výsledkem bylo dlouhodobé zlepšení vody pro koupání i živočichy žijící v nádrži (LHMP, 2016).

- Základní údaje o vodním díle

Číslo hydrologického pořadí povodí:	1 – 12 – 02 – 004
Kraj:	hlavní město Praha
Obec:	Praha 6 – Liboc, Vokovice
Typ nádrže:	průtočná
Účel nádrže podle důležitosti:	rekreace, zajištění min. průtoku pod hrází, sportovní rybolov, zmírnění průchodu velkých vod
Tok:	Litovicko - Šárecký potok
Plocha povodí:	44 903 km^2
Typ vzdouvací stavby:	zemní hráz, homogenní, ze spraš ových hlín
Spodní výpusť:	DN 600 – uzavěry na vnější straně hráze
Bezpečnostní přeliv:	nehrazený šachtový, se samostatnou odpadní štolou, průměr nálevky na kótě přelivné hrany 5,4 m; délka přelivné hrany 16,96 m.

Průměrný dlouhodobý roční průtok:	133 $l.s^{-1}$
Minimální odtok z nádrže Q_{min}:	0,029 $m^3.s^{-1}$
Dno nádrže:	293,80 m.n.m.
Dno výpusti:	293,36 m.n.m.
Provozní hladina H_{prov}:	299,68 m.n.m.
Objem při H_{prov} :	302 000 m^3
Plocha při H_{prov} :	130 000 m^2
Neovladatelný retenční prostor:	141 000 m^3
Maximální hladina H_{max} :	300,60 m.n.m.
Objem při H_{max}:	443 000 m^3
Plocha při H_{max} :	186 000 m^2
Rezervní prostor:	62 000 m^3
Koruna hráze:	301,60 m.n.m.
Maximální bezpečná hladina:	300,90 m.n.m.
Objem při H_{mbez} :	505 000 m^3
Plocha při H_{mbez}:	199 000 m^2
Koruna vlnolamu:	302,10 m.n.m.

[Výškové údaje jsou v systému BPV]

(Manipulační a provozní řád MVN Džbán, 2003)

4.3 Popis MVN Džbán

Prostor nádrže je zasazen na hranici intravilánu a je od něj účinně oddělen stromovým parkem. Při příchodu za tuto bariéru je zde poměrně příjemné klidné prostředí koupaliště (viz obr. 9).

Obr.9. Pohled na nádrž Džbán, z místa přítoku, směrem k hrázi.
(zdroj: fotografie autora)

Břehy jsou na rozmezí největšího pohybu hladiny opatřeny kamennou dlažbou, která je spolu s místním vegetačním opevněním účinným opatřením proti břehové abrazi. Na severním břehu nádrže byla pro účely koupaliště vytvořena pláž.

4.3.1 Hráz

Hráz je zhotovena zemní homogenní, sypaná ze sprašových hlín. V příčném řezu má tvar pravidelného lichoběžníku. Upevnění hráze vůču podloží je řešeno 2 m hlubokou zavazovací ostruhou ze sprašových hlín a betonovou ostruhou zasazenou do skalního podloží. Patní drén je vytvořen štěrkovým kobercem položeným pod celou vzdušní polovinou tělesa hráze (Manipulační a provozní řád MVN Džbán, 2003).

Návodní svah je opevněn betonovou dlažbou. Vzdušný svah je ohumusován a oset trávou (viz obr. 10). Na vzdušném svahu je schodiště pro přístup ke spodní výpusti a po návodním je vedeno schodiště k lovišti, u vtokového objektu. Po koruně hráze vede betonová komunikace sloužící i pro osobní automobily a na jejím okraji je vybudován betonový vlnolam, na který je zároveň nainstalováno zábradlí a pouliční osvětlení.

Obr.10. Pohled na vzdušný svah hrázového tělesa. Vlevo ovládání výpusti.
(zdroj: fotografie autora)

- Základní parametry hráze

Délka hráze v koruně:	83,0 m
Šířka hráze v koruně:	4,0 m
Maximální výška hráze ze vzdušní sttany:	8,5 m
Minimální kóta koruny hráze:	301,60 m.n.m.
Opevnění koruny hráze:	betonová komunikace místního významu
Sklon návodního svahu.	1 : 3
Sklon vzdušního svahu:	1 : 1,75 (horní část); 1 : 2,5
Opevnění návodního svahu:	betonová dlažba
Opevnění vzdušného svahu:	zatravněn s kamennou patkou

(Manipulační a provozní řád MVN Džbán, 2003)

4.3.2 Sdružený funkční objekt

Součástí sdruženého funkčního objektu jsou *spodní výpust* a *šachtový bezpočnostní přeliv*, včetně *odpadní štoly* a *společného vývaru.*

Vtok do *spodní výpusti* je opatřen česlemi. Za vtokovým objektem je voda vedena pod štolovým objektem ocelovým potrubím DN600. Na vzušné straně směřuje doleva k manipulační šachtě, kde je umístěn klapkový uzávěr s obtokem DN100, který zajišťuje minimální zůstatkový průtok pod nádrží.

Pro převádění velkých vod je zde vybudován *šachtový bezpečnostní přeliv* opatřený ocelovými zábranami (viz obr. 11). Přelivná hrana se nachází na kótě 299,68 m.n.m.
a její délka je 16,96 m. Nálevka šachtového přelivu má v úrovni přelivné hrany průměr 5,4 m a pod nálevkou je průměr šachty 2,6 m. Tvar nálevky odpovídá volně přepadajícímu paprsku. Šachta přelivu se následně spojuje v pravoúhlém koleně s betonovou *odpadní štolou* o průměru 2,6 m. Délka štoly k okraji vývaru je 46,9 m a sklon dna 1%. Na konec štoly navazuje vývar, do kterého ústí i spodní výpusť.

Vývar má pod vyústěním štoly tvar lichoběžníku a zužuje se směrem po proudu. Jeho délka je 13,0 m a průměrná šířka koryta je 4,0 m. Do vývaru je kromě štoly vedeno také potrubí výpusti a potrubí zachycující průsaky z patní drenáže. Pod vývarem pokračuje přírodní nezpevněné koryto Šáreckého (Litovického) potoka.

Obr.11. Šachtový bezpečnostní přeliv nádrže Džbán. (zdroj: fotografie autora)

4.3.3 Nádrž

Půdorysný tvar nádrže je protáhlý ve směru západ-východ. Délka zátopy je cca 950 m a největší šířka je přibližně 140 m. Pravý břeh nádrže je využitý pro koupaliště, jako sportovní a oddychové plochy. Levý, strmější břeh je zalesněn. Dno nádrže zůstalo přírodní. Vodní nádrž Džbán má při provozní hladině na kótě 299,68 m.n.m. plochu hladiny 130 tis. m^2. Objem vody při této hladině je udáván 302 tis. m^3.

5. METODIKA

5.1 Batymetrické zaměření MVN Džbán

Konkrétní batymetrické zaměření bylo uskutečněno za pomocí echo-sounderu RiverSurveyor M9 od firmy SonTek, který je součástí vybavení Fakulty enviromentálních věd a životního prostředí na ČZU, v Praze.

Hlavice přístroje byla umístěna do dna kajaku poskytnutým jedním ze členů fakulty, který byl upraven přímo pro zaměřování hloubek vodních nádrží. Do kajaku bylo dále třeba instalovat komunikační jednotku, která přijímá a zpracovává naměřená data. Tato jednotka je součástí produktu od firmy SonTek a je kabely propojena s vlastním měřícím modulem M9.

Obr.12. Součásti měřící soustavy RiverSurveyor M9 umístěné v kajaku.
(zdroj: Petr Bašta)

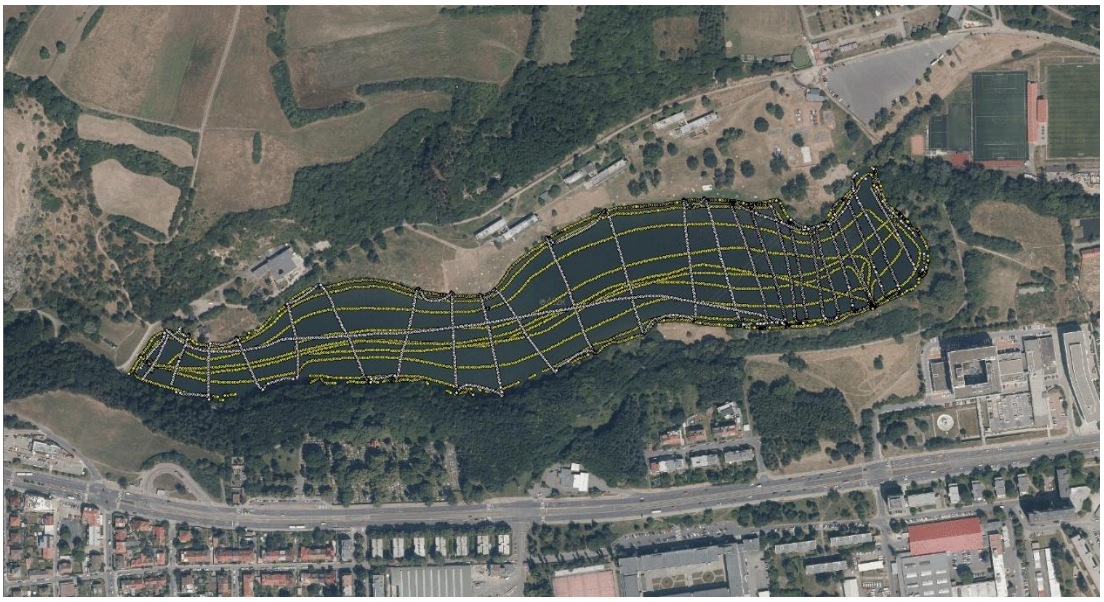
Dalším důležitým prvkem je RTK (Real Time Kinematics) GPS stanice, která pomocí radiového signálu komunikuje s komunikační jednotkou a předává jí informace o konkrétní poloze přístroje. Díky této externí stanici je možné docílit velmi vysoké přesnosti (až do 3 cm).

Pomocí mobilní sady RTK GPS byly také zaměřeny břehové linie vodního díla Džbán. Díky statické referenční stanici umístěné na břehu nádrže, bylo možno dosáhnou velmi vysokých přesností. Body měřené asi po 1 – 2 metrech v místě

hladiny vody mají nulovou hloubku a díky jejich zasazením do interpolačních modelů získáme reálnější průběh digitálního modelu terénu. Tato sada dat nakonec nebyla použita a břehová linie byla vektorizována podle map ČUZK.

Před začátkem měření je nutné kvůli zpřesnění polohy přístroj zkalibrovat a nastavit několik základních parametrů měření. Kalibrace se provádí otáčením přístroje v horizontálním i vertikálním směru, přičemž chceme dosáhnout takových poloh, které by mohly vzniknout při pohybu kánoje po hladině vody. Bez kalibrace by data mohla být zkreslená. Zmíněné parametry, které je doporučeno při začátku každého nového měření aktualizovat, se zadávají do mobilního telefonu se speciálním softwarem, který je součástí měříci sady. Patří mezi ně aktuální výška hladiny vody v nádrži, oblačnost, teplota nebo hloubka měřící jednotky pod hladinou vody. Jde o takové údaje, které mění podmínky měření a tím ovlivňují výstupní naměřená data. Díky tomu, že jsou zadány, lze docílit přesnějších výsledků měření, než kdyby byly ignorovány.

Po těchto krocích se může přistoupit k měření. Kajak není automatizovaný a vyžaduje jezdce. Ten má na krku, ve vodotěsném vaku, mobilní telefon s údaji o právě probíhaném měření, tudíž má neustálý přehled o jeho průběhu. V systému jsou údaje o rychlosti, hloubkách, síle signálu a jiné.



Obr.13. Body najížděné v kajaku opatřeným echosounderem + ortofoto. Jsou zde viditelné 2 najížděné sady. První – bíla; druhá – žlutá. (zdroj: ČUZK, 2016) (Dostupné z: http://geoportal.cuzk.cz/WMS_ORTOFOTO_PUB/WMService.aspx)

Při jízdě byla snaha v tom, aby byly zaměřeny hloubky v místech, které dokáží reprezentovat celou nádrž (viz obr. 13). To znamená podél břehů nádrže, uprostřed v místě předpokládaného koryta probíhajícího toku, dále v polovině mezi podélnou osou nádrže a břehovými liniemi a nakonec křivkou v příčném směru od jednoho břehu k druhému, pro finální zhuštění bodové sítě. Nakonec pouze dodávám, že je důležité dbát na místa, kde se nacházejí funkční objekty nádrže jako je hráz, bezpečnostní přeliv, nebo výpustné zařízení.

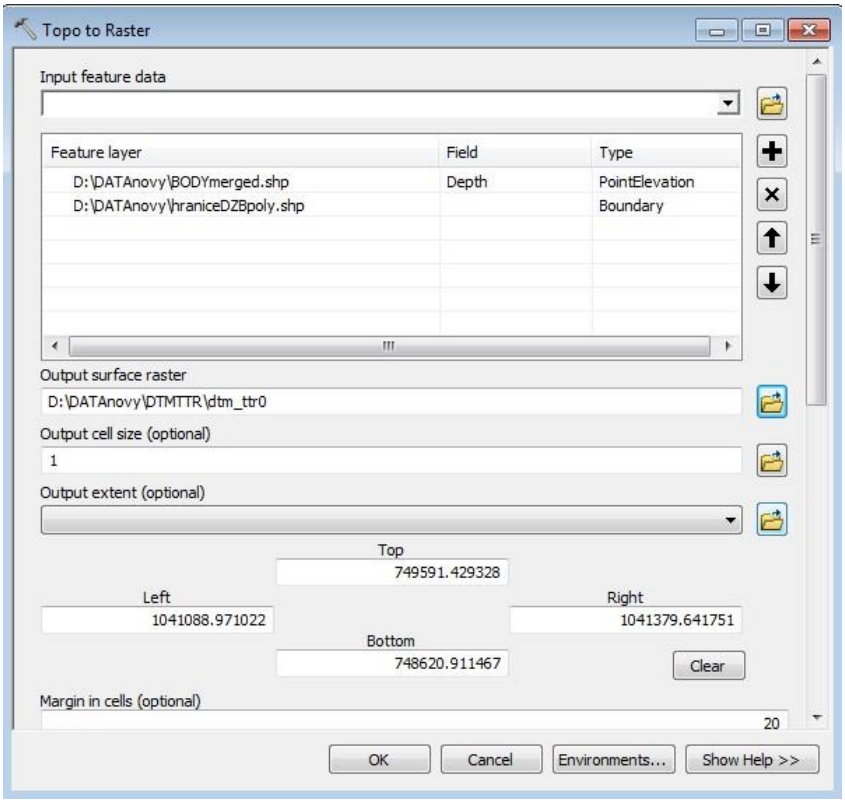
5.2 Zpracování dat

Údaje o naměřených bodech byly z textového dokumentu převedeny do programu Microsoft Exel. Pro vlastní vytvoření digitálních modelů terénu bylo použito programu ArcGIS, konkrétně interpolační funkce Topo to Raster, která dokáže eliminovat takzvané vany, což jsou prohlubně které v terénu nejsou, avšak při nevhodném výpočtu se v DTM objevují (Hutchinson, 1988). Dále byla použita metoda přirozených sousedů (Natural Neighbor) a nakonec za třetí metoda IDW (Inverse Distance Weighted). Díky tomu, že byly vybrány tři interpolační metody není výsledek tak jednostranný. Výsledné mapové výstupy lze porovnat a diskutovat nad správností jejich výsledků.

Z dat, které obsahují prostorové souřadnice x, y a z byla vytvořena bodová vrstva, kterou bylo pro jednodušší práci s ostatními vrstvami nutno převést ze souřadnicového systému WGS 1984 do systému jednotné trigonometrické sítě katastrální (S-JTSK).

Pro použití funkce *Topo to Raster* je v ArcGIS nutno zapnout rozšíření s názvem 3D Analysis (Záložka Customize, zde Exstensions a 3D Analysis). Po spuštění Topo to Raster je třeba vložit vstupní data. Za ty byla dosazena bodová vrstva vytvořená spojením jednotlivých bodových vrstev naměřených hloubek v nádrži s vrstvou získanou měřením břehové linie nádrže, a liniová vrstva břehů sloužící jako hranice (viz obr. 14). Ta byla pro tvorbu DTM, kvůli ověření, vektorizována programem ArcGIS podle podkladové mapy z balíku CENIA. Jako

primární typ vstupních dat byly zvoleny body (*spot*). Výsledný DTM lze pozorovat v kapitole výsledky na obrázku č.20 (Příloha 3).

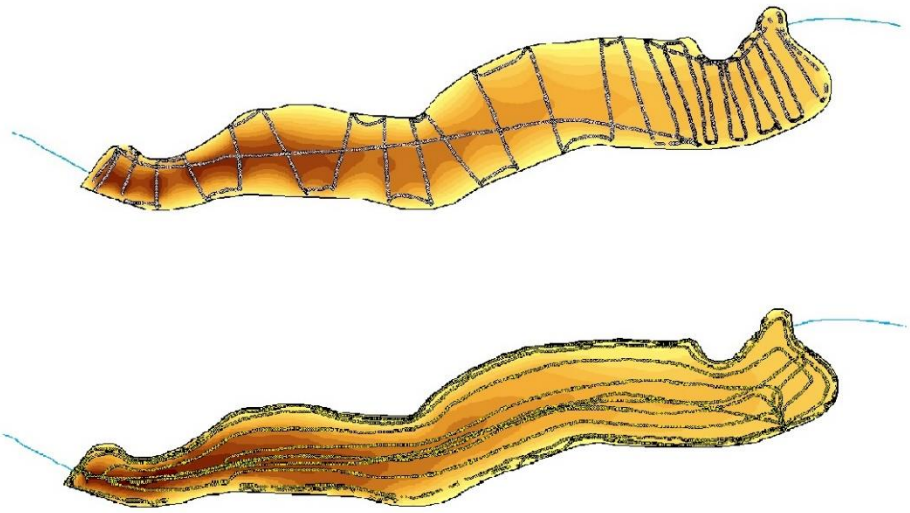


Obr.14. Nastavení funkce Topo to Raster v Programu ArcGIS. (zdroj: autor)

Další použitou metodou byla *metoda přirozených sousedů (Natural Neighbor).* Oproti funkci Topo to Raster, lze do této funkce po spuštění vložit pouze jednu bodovou vrstvu, případně nezávsilou vrstvu, která určí hranici, podle které má být DTM vytvořen. To je důvod proč byla vrstva s břehovými body a vrstva naměřených hloubek v nádrži spojena funkcí *Merge* do jedné a využita už při provádění Topo to Raster. DTM, který je výstupem této metody je na obrázku číslo 18 (Příloha 1).

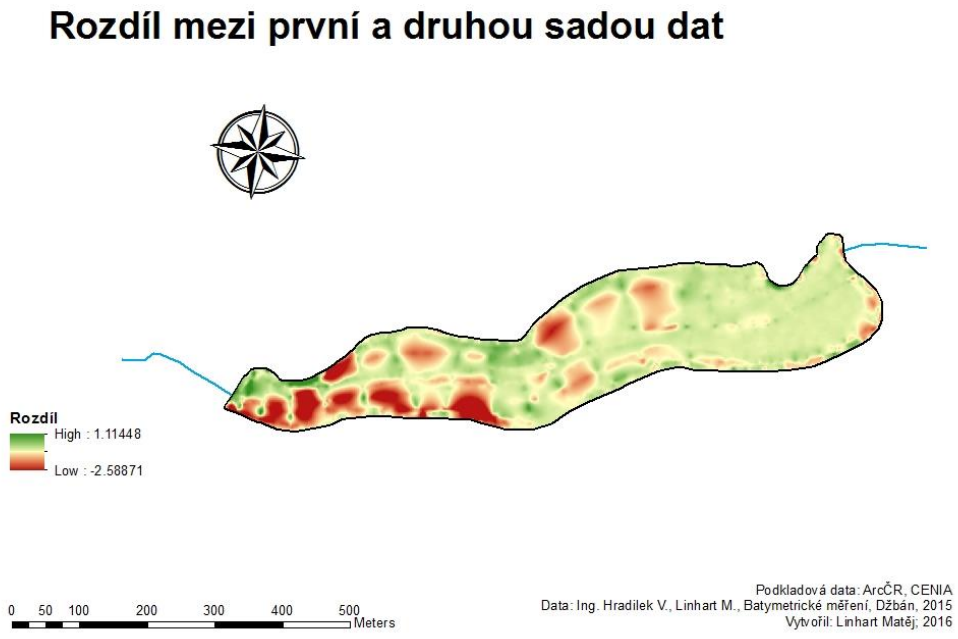
Poslední metodou, která měla udat obraz o terénu dna je metoda IDW (Inverse Distance Weighted). Vstupem do této funkce byla stejná bodová vrstva, která byla použita pro metodu přirozených sousedů o krok výše. DTM vytvořený touto metodou je na obrázku číslo 19 v kapitole metodika (Příloha 2).

V rámci práce bylo také provedeno porovnání digitálních modelů terénu vytvořených z jednotlivých datových sad, aniž by byly spojeny. Tyto DTM byly vytvořeny stejnou funkcí a slouží pro porovnání výsledných digitálních modelů terénu v důsledku zvoleného způsobu najíždění nádrže (viz obr. 15).



Obr.15. Různé sady dat vykreslené zvlášť do plochy nádrže. V podkladu je z nich vytvořený DTM. (zdroj: autor)

Zároveň byla provedena funkce *Minus*, kterou je možno odečíst jeden rastr od druhého, a tím získat rozdíl jejich hodnot, který je zobrazen v podobě rastru (viz obr. 16). Díky tomu lze dobře pozorovat, kde je model přesný a v jakých místech se vyskytují největší rozdíly.



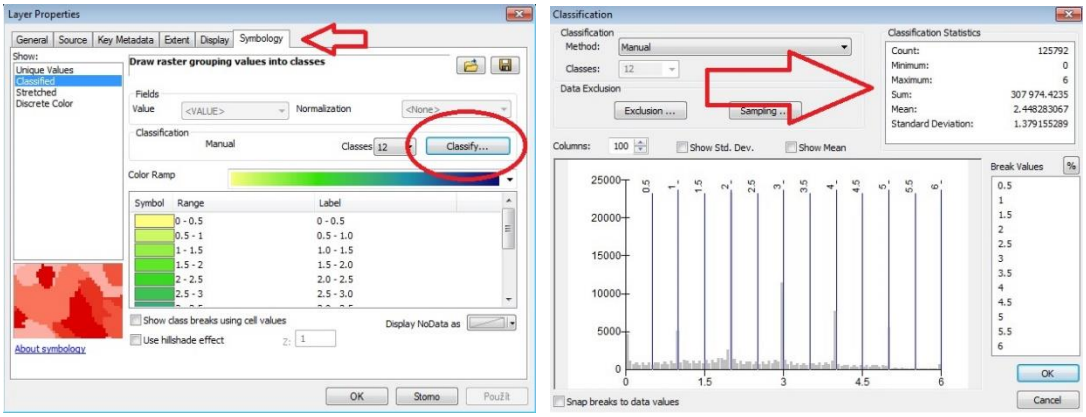
Obr.16. Rozdíly mezi DTM z jednotlivých datových sad. (zdroj: autor)

Pro všechny vytvořené DTM byla zvolena totožná grafická klasifikace výškových bodů, aby bylo možno porovnat rozdíly, které vznikly použitím jiných výpočetních algoritmů jednotlivých funkcí. Porovnání jednotlivých digitálních modelů terénu je uvedeno v kapitole 7. s názvem Diskuze.

5.3 Stanovení objemu nádrže

Výpočet objemu nádrže byl proveden tak, že se vynásobila suma všech výškových údajů, použitých při tvorbě digitálního modelu terénu, s velikostí plochy jedné každé buňky, která tvoří rastr DTM. Tato velikost byla nastavena jako 1 x 1 m. Obsah plochy jedné buňky je tedy roven 1 m^2.

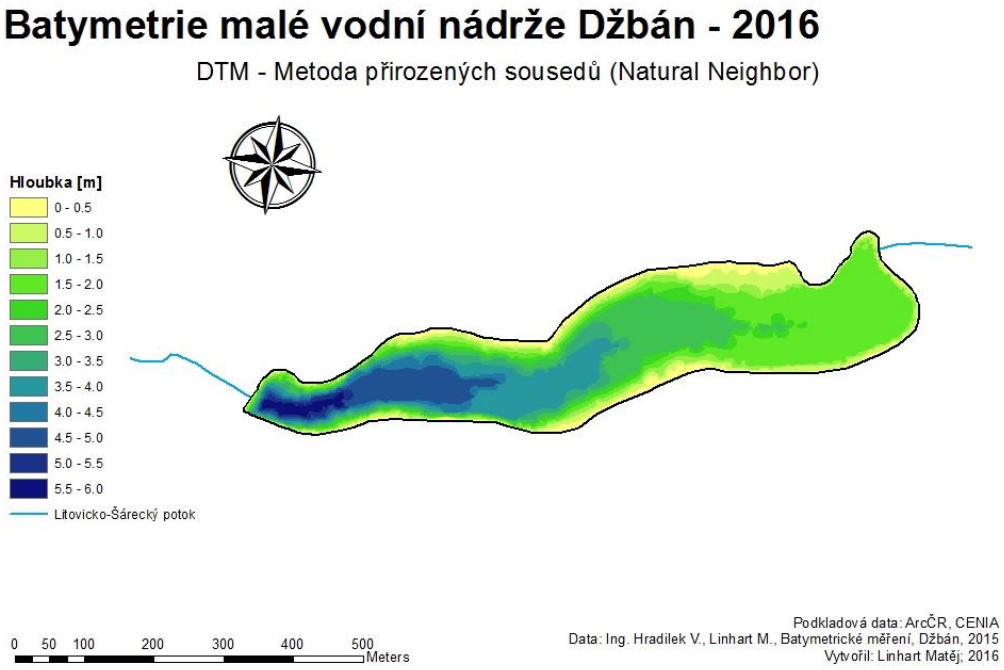
Pro zjištění sumy všech výšek bylo využito programu ArcGIS, který tuto hodnotu automaticky zobrazuje v záložce nastavení symbologie vrstvy, při rozkliknutí možnosti *Classify.* Zde je okno *Classification Statistics* a tam řádek *Sum* (viz obr. 17).



Obr.17. Zjištění sumy všech výšek v programu ArcGIS. (zdroj: autor)

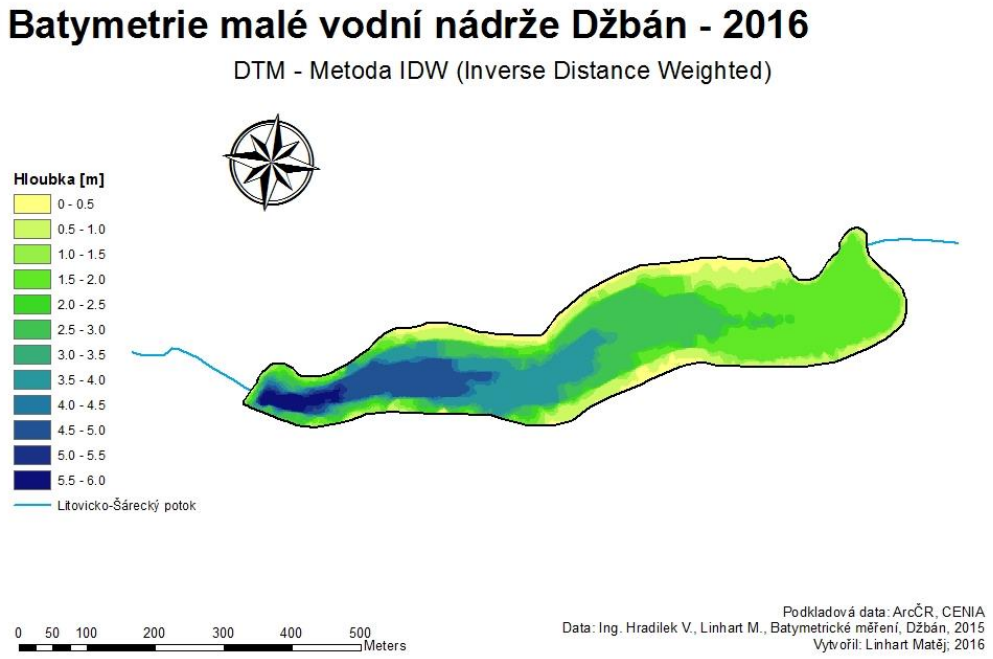
6. VÝSLEDKY

Digitální model terénu, vytvořený interpolační metodou *přirozených sousedů* (Natural Neighbor) je na obrázku číslo 18 a v příloze 1.



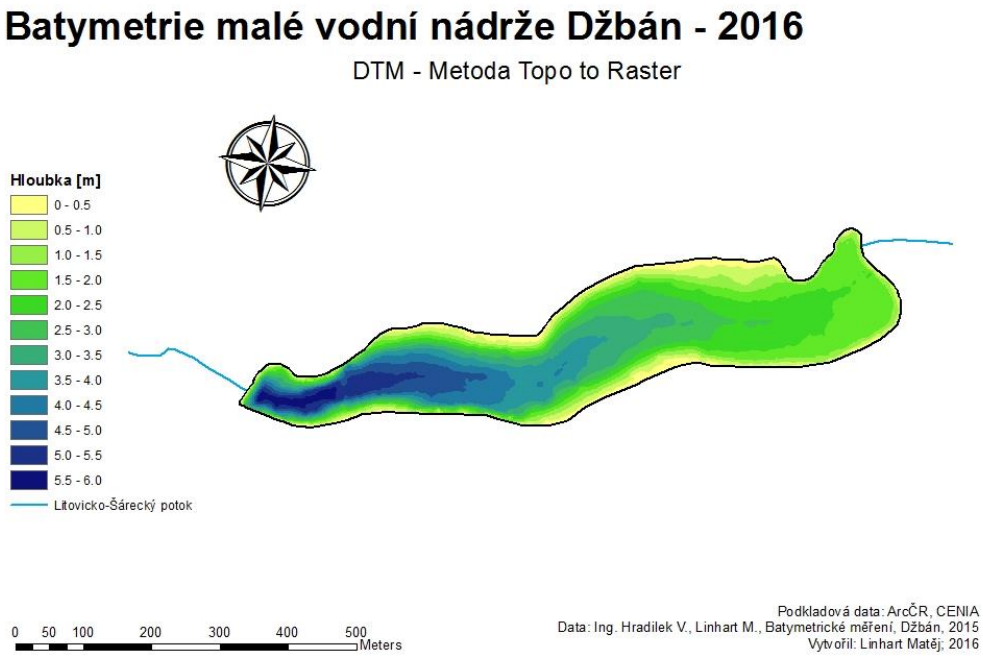
Obr.18. Digitální model terénu vytvořený metodou Natural Neighbor (zdroj: autor).

Jako další byla použita metoda *IDW* (Inverse Distance Weighted). Oproti předchozí metodě sou zde patrné změny ve vykreslení terénu. Viz obrázek 19.



Obr.19. Digitální model terénu vytvořený metodou IDW (zdroj: autor).

Poslední použitou metodou byla funkce *Topo to Raster*. Výsledný digitální model je možno pozorovat na obrázku číslo 20 (Příloha 3).



Obr.20. Digitální model terénu vytvořený metodou Topo to Raster (zdroj: autor).

Akumulační schopnost vypočtená z naměřených dat je rovna 307 974 m^3. Což přibližně odpovídá údaji z manipulačního a provozního řádu, s rozdílem cca 2%.

7. DISKUZE

Práce se věnuje především batymetrickému zaměření vodního díla Džbán přístrojem RiverSurveyor M9 a vyhodnocení jeho akumulační schopnosti pomocí výpočetní techniky.

Vyrobením kajaku s nainstalovaným měřicím přístrojem, byla originálním způsobem vytvořena metoda, pro zaměření jakékoliv malé vodní nádrže, v poměrně malém časovém úseku. Oproti větším lodím, které jsou pro měření používány, má kajak výhodu v malém ponoru. Díky tomu lze zaměřit i dosti malé hloubky, aniž by došlo k poškození lodě nebo přístroje. Nevýhodou je potřeba jezdce a tudíž i potřeba manuálně vykonané práce, která je pří větší ploše nádrže nevýhodou.

Měření pomocí přístroje RiverSurveyor M9 bylo ověřeno porovnáním s jinou metodou, při které bylo na jednom zvoleném příčném profilu provedeno měření pomocí soutyčí opatřeného GPS příjmačem, díky kterému bylo možno zjistit hloubku jejího ponoření. V místě profilu byly body naměřeny metodou tyče s GPS a zároveň i RiverSurveyorem a po porovnání výsledných hloubek nedosahují rozdílů větších než několik centimetrů (Hradilek, et al., 2015).

Ze všech vytvořených digitálních modelů terénu dna vodního díla Džbán lze pozorovat, že největší hloubky se nacházejí na západní straně nádrže, v blízkosti hráze, přibližně v místě výpustného zařízení nádrže. Dle naměřených dat dosahuje maximální hloubka hodnoty 6 m. Směrem na východ, k přítoku od Litovického potoka, se hloubky postupně snižují. Objem při hladině 299,68 m n.m., který byl vypočtený dle daného postupu v kapitole metodika, odpovídá 307 974 m^3.

Manipulační a provozní řád udává maximální hloubku v místě spodní výpusti také 6 m, to znamená, že hloubka v místě spodní výpusti je stejná a pravděpodobně zatím nedošlo k žádnému zanešení. Objem nádrže při normální hladině, která je 299,68 m n.m. je podle MPŘ roven 302 000 m^3. Pokud uvažujeme správnost údajů z manipulačního a provozního řádu, tak je při porovnání těchto dvou objemů zřejmé, že objem vypočtený z naměřených dat vyšel větší, než se do nádrže při této hladině vejde. Teoreticky to mohlo být způsobeno špatnou vektorizací břehů v programu ArcGIS, kde se mohla vyskytnout nepřesnost, která by zvětšila plochu nádrže, a tím

by se zvětšil i interpolovaný prostor, díky čemu by vznikly nadbytečné výškové údaje, ze kterých byl vypočítán vlastní objem.

Dalším aspektem by mohla být špatně zvolená interpolační metoda, díky které je vypočítaná převážná většina bodů, použitých pro výpočet akumulace. Při pohledu na výsledné digitální modely terénu provedené různými funkcemi lze pozorovat určité rozdíly. Modely se v zásadě shodují (viz. Příloha 1,2 a 3). Na všech třech je patrná údolnice, probíhající přibližně prostředkem nádrže a největší hloubky se nachází u hrázového tělesa, avšak pokud se zaměříme na detaily, tak ty jsou odlišné. Zejména je třeba posoudit reálnost vymodelovaného terénu, při porovnání s předpokládanou skutečností. Při pohledu na DTM vytvořený metodou Natural Neighbor (Příloha 1) a Topo to Raster (Příloha 3) se zdá metoda Natural Neighbor méně reálná. Zatímco DTM provedený funkcí Topo to Raster se pomalu mění a je zde vidět postupný trend ve změnách hloubek (protože tato metoda minimalizuje křivost interpolovaného povrchu), rastr vytvořený metodou Natural Neighbor vytváří až kulovité shluky (tzv. bull eyes) o podobných hloubkách, což není pravděpodobné. Podobně se chová i model vytvořený metodou IDW (Příloha 2). Jsou zde pozorovatelné jasné hranice, které udávají skokovou změnu výšek a nebo naznačují náhlou prudkou změnu sklonu dna.

Modely vytvořené metodou IDW nebo Natural Neighbor vypadají oproti Topo to Raster dosti mechanicky, což neodpovídá procesům probíhajícím v přírodě, a tudíž považuji za nejspolehlivější model vytvořený metodou Topo to Raster, která byla vytvořena právě proto, aby tyto nepřesnosti redukovala. Je důležité zmínit, že validace modelu nebyla ověřena, tudíž je zde teoretická možnost, že není zcela spolehlivý a při jeho použití mohly vzniknout nežádoucí nepřesnosti.

Dalším prvkem způsobujícím nepřesnost by mohlo být nedostatečné množství naměřených bodů, které podstatně mění podobu výsledného DTM. V praxi se ukázalo, že mnohem důležitějším faktorem než je zvolený způsob interpolace, je způsob, kterým se z ptačí perspektivy pohybujeme po nádrži, a s tím související rozmístění, struktura a množství dat. Toto lze pozorovat v příloze 4 a 5, kde byly vytvořeny modely z různě polohově naměřených dat. Pokud jsou data nedostatečně zhuštěna, mohou vzniknout takové nepřesností, které DTM naprosto zkreslí a vznikají v něm deprese, které zde ve skutečnosti nejsou. To samé je patrné ve výstupu z funkce minus, který to výborně ukazuje. V místech, kde v jedné datové sadě byly body naměřeny a ve druhé ne, jsou rozdíly větší a naopak (Příloha 6).

Obecně vychází najevo základní pravidlo, že v místech kde je dostatečné množství naměřených bodů, se údaje z různých interpolačních metod, nebo datových sad zpravidla schodují a pokud je bodových dat nedostatek, tak je interpolace nepřesná a to, jak byla provedena, nemá až tak velkou váhu.

Celková akumulace vyšla přibližně o 2% větší než bylo předpokládáno. Vypočtený objem sice přesně neodpovídá údajům v MPŘ, avšak při zohlednění veškerých chyb lze metodu považovat za funkční.

8. ZÁVĚR

Cílem této práce bylo batymetrické zaměření dna malé vodní nádrže Džbán v povodí Litovicko-Šáreckého potoka v Praze-Vokovice za využití echosouderu RiverSurveyor M9 vyrobeného firmou SonTek. Následně byl za pomocí počítačového rozhraní ArcGIS a v něm obsažené funkce Topo to Raster vytvořen digitálního model terénu, díky němuž bylo možno stanovit akumulační schopnost nádrže v roce 2016, která je 307 974 m^3. Mapové výstupy jsou uvedeny v kapitole přílohy.

V textu je uveden teoretický základ pro pochopení účelu a součástí malých vodních nádrží v České republice, osvětlení oboru batymetrie a zanášení sedimenty, definice interpolace a popis některých nejpoužívanějších interpolačních metod.

Dále je zde uvedena celková metodika praktického zaměření nádrže, včetně pohybu lodi v prostoru nádrže a postupu vytvoření digitálního modelu terénu v prostředí ArcGIS.

Zvolená metoda použití echosounderu se ukázala jako rychlá možnost jak zaměřit dno malé vodní nádrže, avšak je třeba dbát na chyby a zásady měření, které mohou razantně ovlivnit výsledný digitální model terénu a tím pádem i řešenou akumulaci nádrže. Pomocí výpočetní techniky se s naměřenými daty pracovalo příjemně a výsledné DTM jsou z vizuální a faktické stránky použitelné. Pro zpřesnění výsledků je zásadní hlubší prozkoumání metod praktického měření, které je silně ovlivňují.

9. POUŽITÉ ZDROJE

[1] BURIAN J., 2008: *Vyznáte se v interpolacích?* Geobusiness 7/11 40-42 s.

[2] BURROUGH P. A., MCDONNELL R. A., 1998: *Principles of geographical information system*, Oxford University Press, Oxford, 333 s.

[3] *ČSN 75 2410, 2011: Malé vodní nádrže*

[4] ČÚZK.cz, *Nahlížení do katastru nemovitostí*, [online]. Vystaveno 2014 [citováno 12.3.2016]. Dostupné z: www.cuzk.cz

[5] ERDEM H., 2013: *RiverSurveyor S5/M9 System Manual*, SonTek YSI

[6] Geoportal.cz, *CENIA*, [online]. Vystaveno 2015 [citováno 12.3.2016]. Dostupné z: www.geoportal.gov.cz ,

[7] 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.

[8] HUTCHINSON M. F., 1988: *Calculation of hydrologically sound digital elevation models. Paper presented at Third international Symposium on Spatial Data Handling at Sydney,* Australia

[9] JANEČEK M., 2008: *Základy erodologie,* Česká zemědělská univerzita, Praha 2008, první vydání, ISBN 978-80-213-1842-7

[10] KŘÍŽ V., 1988: *Hydrometrie*, Státní pedagogické nakladatelství, Praha. 174 s.

[11] KŘIVKA P., 2003: *Manipulační a provozní řád vodního díla Džbán*, Vodní díla – TBD a.s., Praha

[12] Lesy hlavního města Prahy, *Vodní dílo Džbán*, [online]. Vystaveno 2016 [citováno 19.3.2016]. Dostupné z: http://www.lhmp.cz/vt/prazske-nadrze-2/vodni-dila/vodni-dilo-dzban/

[13] 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.

[14] 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.

[15] OLIVER M. A., 1990: *Kriging: A Method of Interpolation for Geographical Information Systems.* International Journal of Geographic Information Systems 4. 313 – 332 s.

[16] ORŠULÁK T., PACINA J., 2010: *3D modelování a virtuální realita*, Centrum digitálních služeb MINO, Ústí nad Labem 7-16 s.

[17] 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.

[18] SÁRKOZY, Ferenc. GIS functions - interpolation [online]. TU Budapest, 1998 [citováno 3.4.2016].
Dostupný z WWW: <http://www.agt.bme.hu/public_e/funcint/funcint.html>.

[19] SonTek HydroSurveyor™, 2012: *A new Hydrographic tool for Surveying Applications.*

[20] ŠÁLEK J., 1996: *Malé vodní nádrže v životním prostředí*. MŽP, Praha, 141 s.

[21] ŠTYCH P., 2008: *Vybrané funkce geoinformačních systémů,* Akademie kosmických technologií, Praha. 135 s.

[22] THOŘ Z., 1981: *Vodohospodářské stavby*. Nakladatelství techn. lit., Praha.

[23] TLAPÁK V., HERYNEK J., 2002: *Malé vodní nádrže.* Vydáno v Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2002, 198 s.

[24] URBAN J., 1991: *Digitální model terénu*, ČVUT, Praha, 60 s.

[25] VRÁNA K., BERAN J., 1997: *Rybníky a účelové nádrže*, ČVUT, Praha

[26] WATSON D. F., PHILIP J. M., 1985: *A refinement of Inverse Distance Weighted Interpolation*, Geoprocessing 2: 315 – 327 s.

10. PŘÍLOHY

Seznam příloh

Příloha 1: DTM dna vodního díla Džbán – Metoda Natural Neighbor

Příloha 2: DTM dna vodního díla Džbán – Metoda IDW

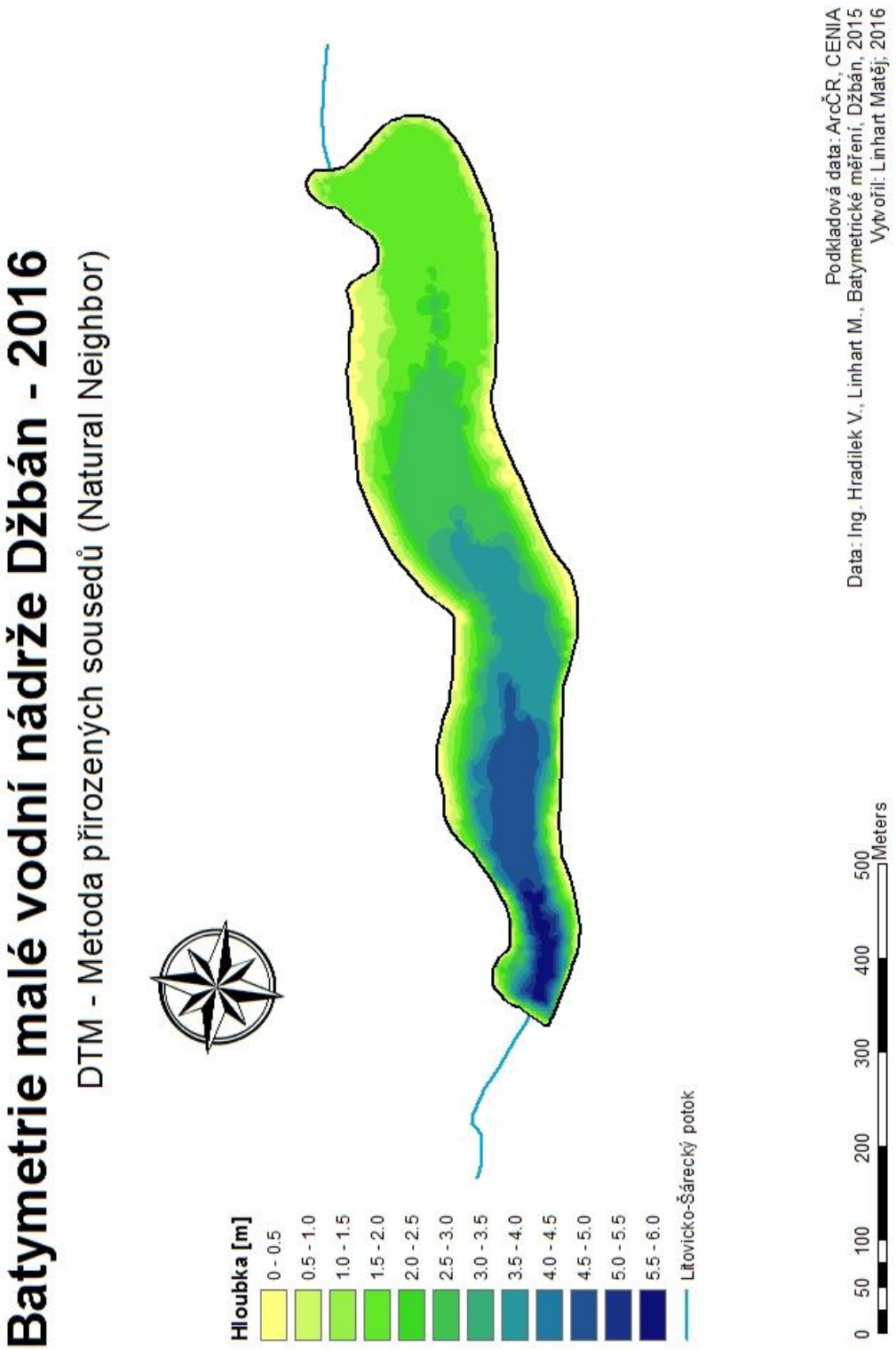
Příloha 3: DTM dna vodního díla Džbán – Metoda Topo to Raster

Příloha 4: DTM dna vodního díla Džbán vytvořený pouze z první sady dat

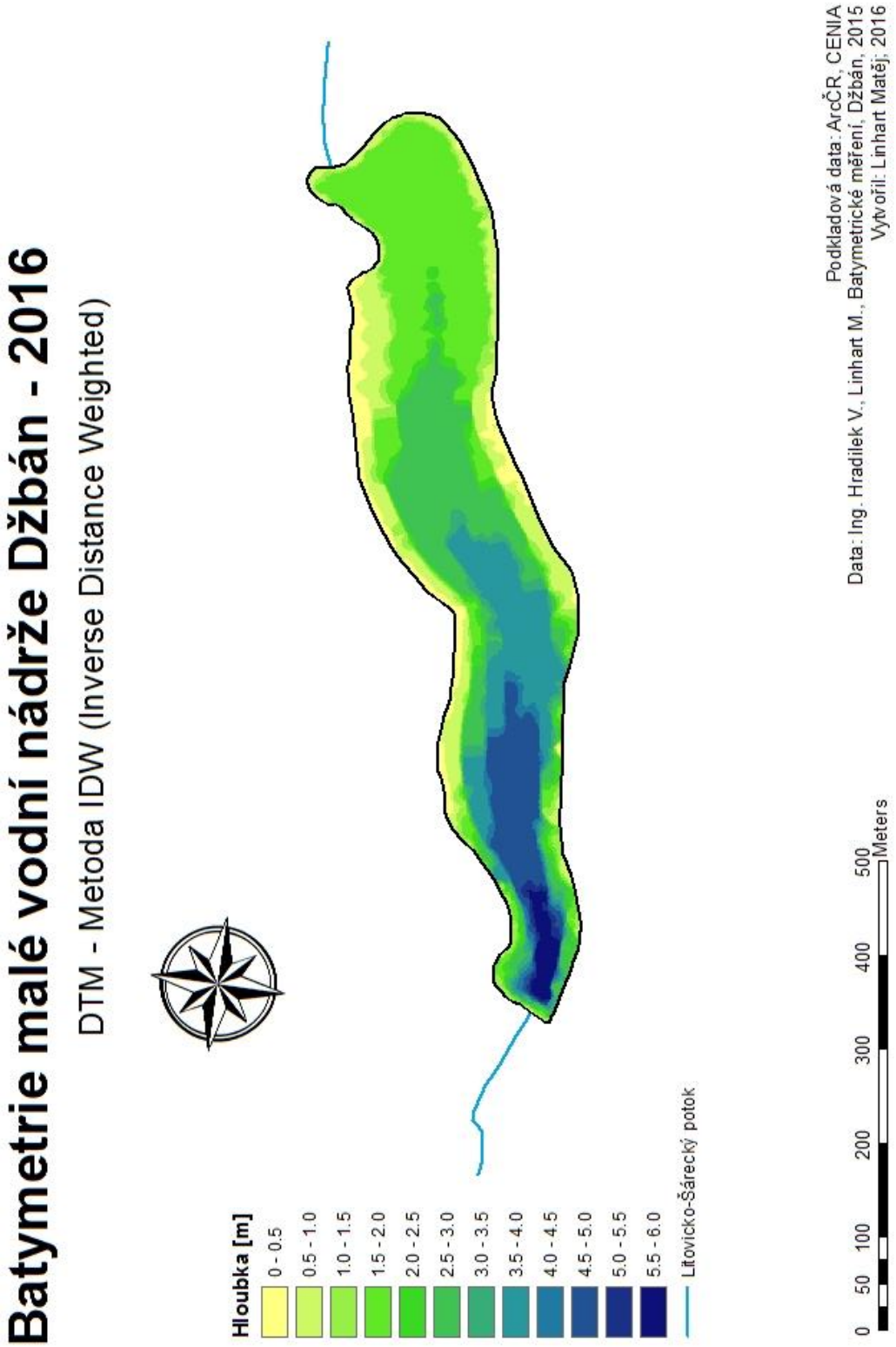
Příloha 5: DTM dna vodního díla Džbán vytvořený pouze z druhé sady dat

Příloha 6: Porovnání DTM z jednotlivých sadových dat (Příloha 4 a 5) pomocí funkce MINUS

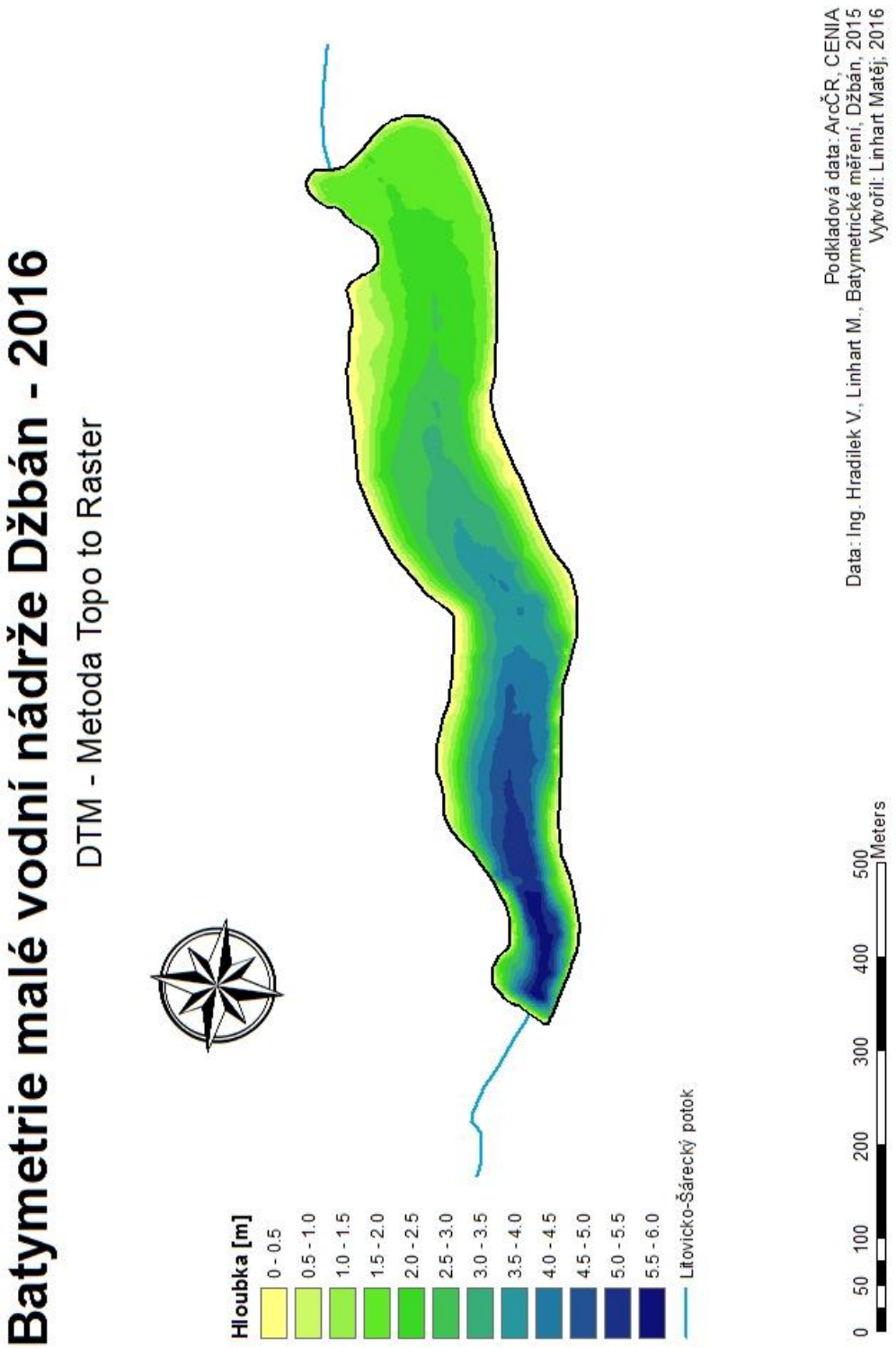
Příloha 1: DTM dna vodního díla Džbán vytvořený metodou Natural Neighbor (metoda přirozených sousedů)



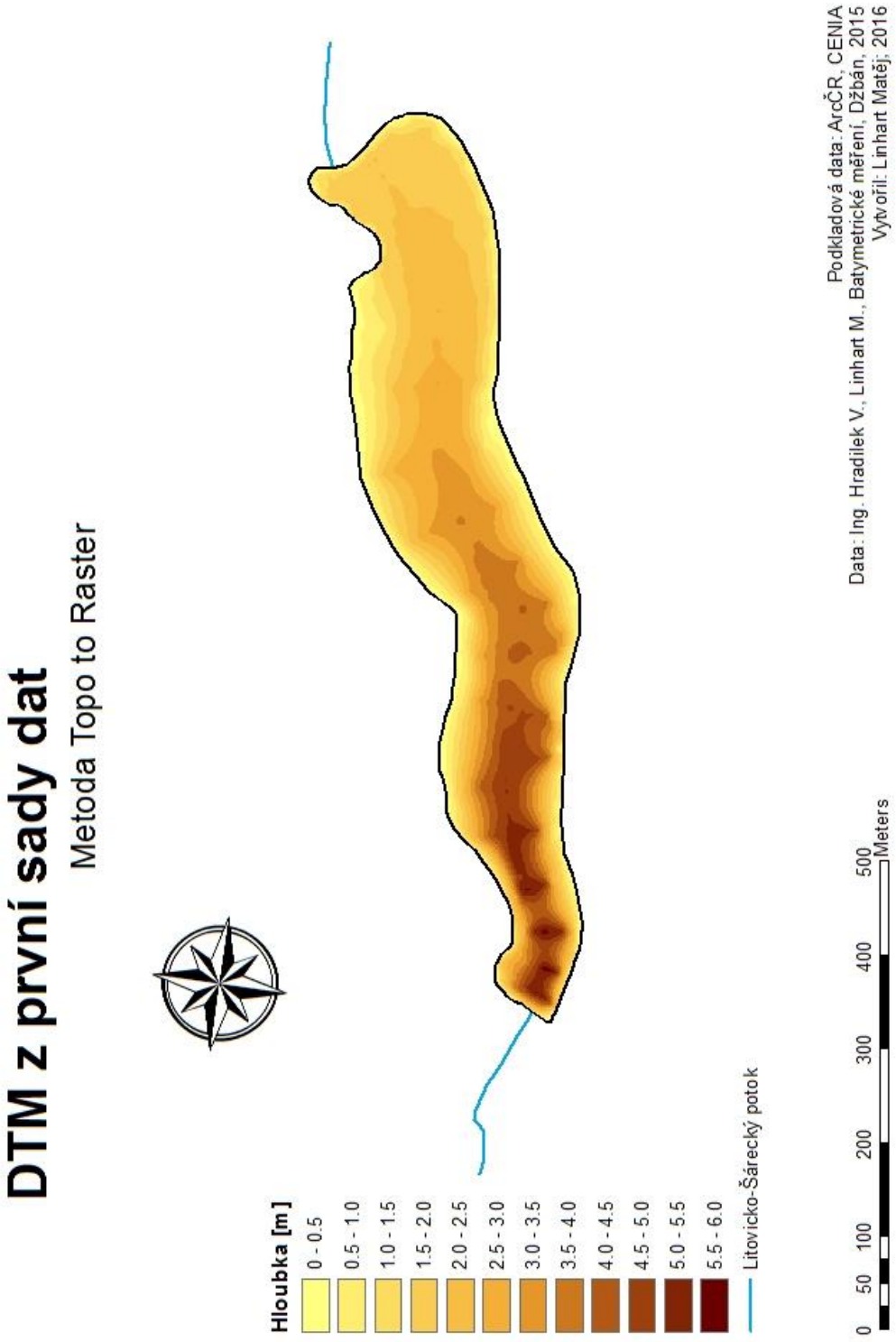
Příloha 2: DTM dna vodního díla Džbán vytvořený metodou IDW (Inverse Distance Weighted)



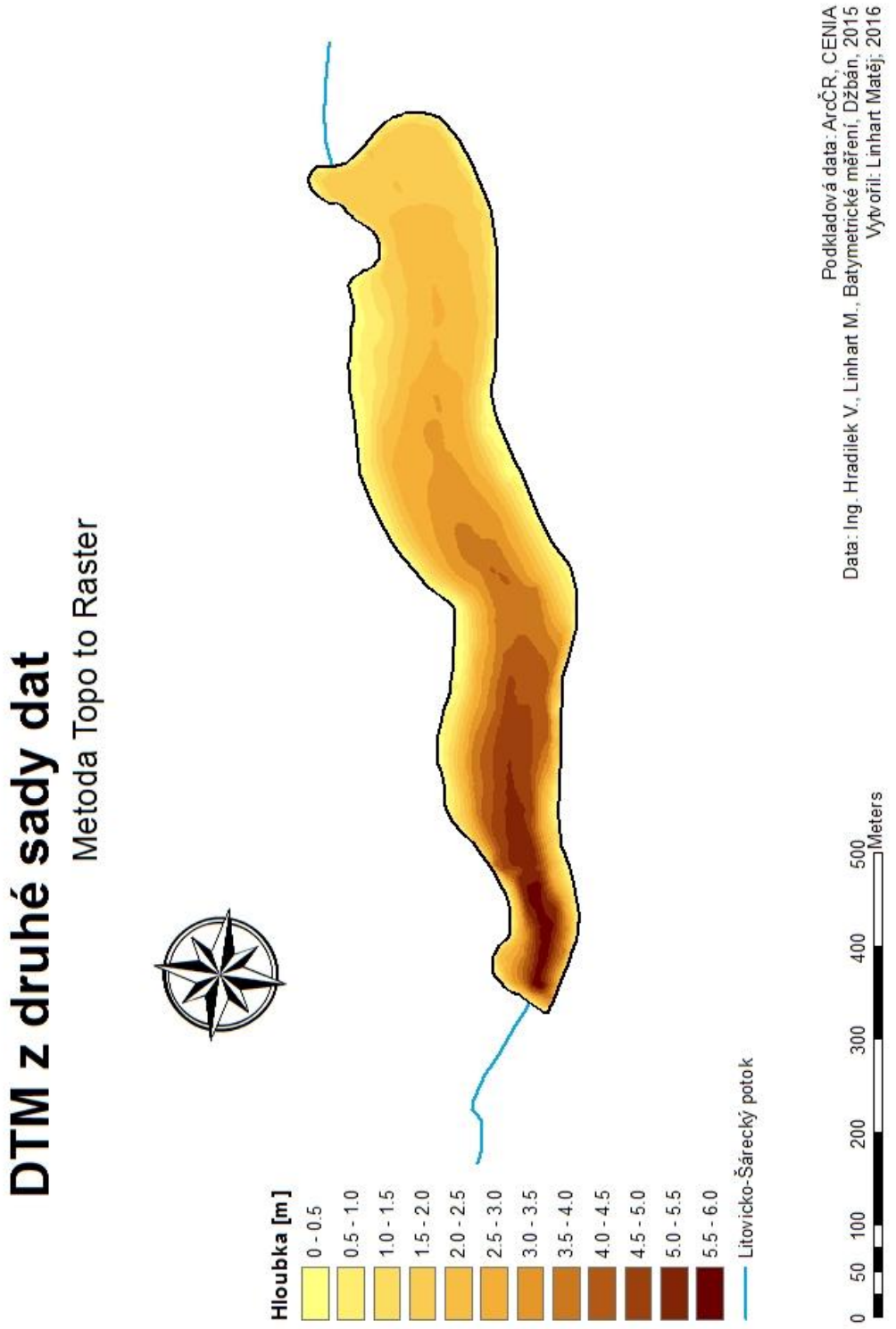
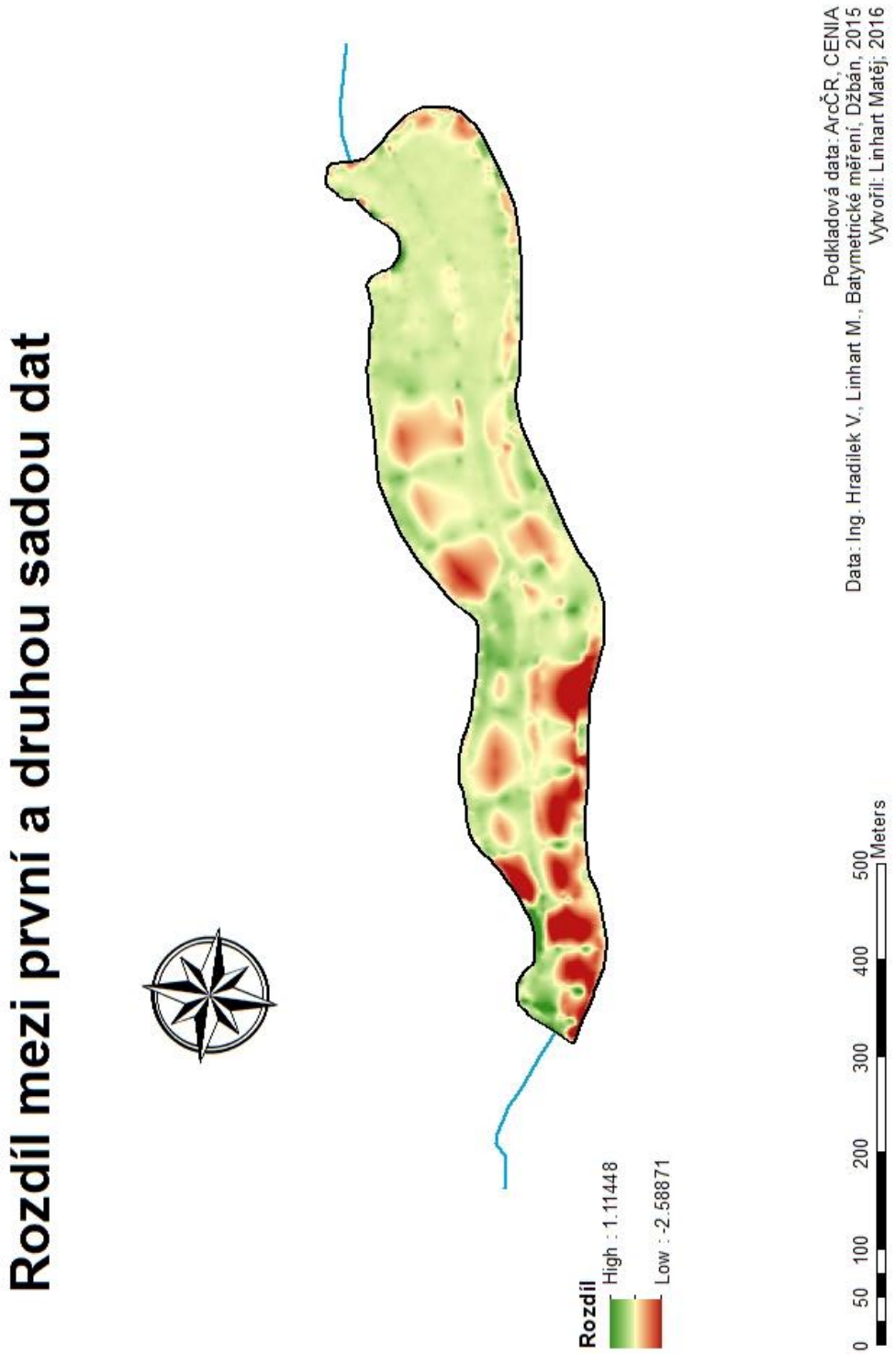
Příloha 3: DTM dna vodního díla Džbán vytvořený metodou Topo to Raster



Příloha 4: DTM dna vodního díla Džbán vytvořený pouze z první sady dat



Příloha 5: DTM dna vodního díla Džbán vytvořený pouze z druhé sady dat



Příloha 6: Porovnání DTM z jednotlivých sadových dat (Příloha 4 a 5) pomocí funkce MINUS