



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STAVEBNÍ**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

**ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY**

INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

**VYHODNOCENÍ MORFOLOGIE DNA VODNÍ NÁDRŽE  
POMOCÍ DAT Z BATYMETRICKÉHO MĚŘENÍ**

EVALUATION OF A WATER RESERVOIR BED MORPHOLOGY USING BATHYMETRIC DATA

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

David Jílek

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

doc. Ing. DANIEL MARTON, Ph.D.

**BRNO 2021**



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

## FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodního hospodářství krajiny

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	David Jílek
Název	Vyhodnocení morfologie dna vodní nádrže pomocí dat z batymetrického měření
Vedoucí práce	doc. Ing. Daniel Marton, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2020
Datum odevzdání	28. 5. 2021

V Brně dne 30. 11. 2020

---

doc. Ing. Daniel Marton, Ph.D.  
Vedoucí ústavu

---

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.  
Děkan Fakulty stavební VUT

## PODKLADY A LITERATURA

M. Starý, Nádrže a vodohospodářské soustavy, Education Tutorial, Brno University of Technology, Faculty of Civil Engineering, Brno 2006.

M. Starý, Hydrologie, Education Tutorial, Brno University of Technology, Faculty of Civil Engineering, Brno 2006.

Atlas DMT manuál verze 20.5, dostupný online: <https://www.atlasltd.cz/dmt/podpora/manualy/>  
ArcGIS tutorials, dostupné online: [https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/main/get-started/arcgis-tutorials.htm#ESRI\\_SECTION1\\_B1F0ED9E2C994CA4BA7C7F6696496EE4](https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/main/get-started/arcgis-tutorials.htm#ESRI_SECTION1_B1F0ED9E2C994CA4BA7C7F6696496EE4)

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Jedním z nejdůležitějších provozních parametrů nádrží je její zatopený objem a zatopená plocha, které jsou popsány pomocí batygrafických křivek. Batygrafické křivky nepřímo popisují morfologii dna vodní nádrže, která se dynamicky mění v čase a podléhá tak neustálému dlouhodobému vývoji. Cílem bakalářské práce je pomocí dat batymetrického zaměření dna provést vyhodnocení batygrafických křivek nádrže. Přesněji za použití softwarů ArcGIS a Atlas vytvořit digitální model terénu a z něj následně dopočítat hodnoty objemů a ploch nádrže pro volené výšky hladiny, které tvoří základ souřadnic batygrafických křivek. Praktická aplikace bude provedena na horní nádrži Nové Mlýny v povodí řeky Dyje a dílčí výsledky práce budou sloužit pro potřeby přeshraničního projektu INTERREG AT-CZ "ATCZ28 SEDECO - Sediments, ecosystem services and interrelation with floods and droughts in the AT-CZ border region".

## STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).
2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

---

doc. Ing. Daniel Marton, Ph.D.  
Vedoucí bakalářské práce

## **ABSTRAKT**

Zanášení nádrží je jedním z aktuálních problémů v oblasti vodohospodářství. Pomocí moderní přístrojové techniky a batymetrického měření je možné zjistit současný stav morfologie dna nádrží a vymodelovat tzv. digitální modely reliéfu, resp. terénu. Tato práce se zaměřuje na vyhodnocení průběhu zanášení horní části vodního díla Nové Mlýny – horní od jeho uvedení do provozu v roce 1978 až po zaměření dna nádrže v roce 2018 pomocí posouzení změny objemu vody v nádrži. Součástí práce je i podrobný návod pro vyhodnocení v programech ArcGIS a Atlas DMT a ověření správnosti postupu. Pomocí uvedených programů jsou vymodelovány digitální modely terénu a vypočteny batygrafické křivky, které byly použity pro vyhodnocení změny objemu a následně míry zanesení nádrže. Celková ztráta objemu nádrže během čtyřiceti let provozu je odhadnuta na 500 tis. m<sup>3</sup>, což se rovná 28 % z celkového objemu nádrže. Z toho bylo zaneseno 300 tis. m<sup>3</sup> za posledních deset let. Výsledky jsou součástí projektu ATCZ28 SEDECO - Sedimenty a ekosystémové služby ve vzájemném působení s povodněmi a suchem v pohraniční oblasti AT-CZ.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Batymetrie, batygrafie, Vodní dílo Nové Mlýny, digitální model terénu, batygrafické křivky, čára zatopených ploch, čára zatopených objemů, sedimentace

## **ABSTRACT**

Sedimentation of reservoirs is one of the current problems in the field of water resource management. The actual conditions of the bed morphology can be scan by modern bathymetric sensors or measuring and then transferred to digital terrain models. This bachelor thesis evaluates the process of the sedimentation of the upper reservoir of Nové Mlýny reservoir since its first filling in 1978 to the newest measuring in 2018 using an assessment of a water volume changes in the reservoir. The thesis also describes a detailed manual of reservoir volumes evaluation in the programs ArcGIS and Atlas DMT, and verification of the method accuracy. These programs were used for creating the digital terrain models and calculating area-volume curves that were utilized for evaluation of a volume change and then for the amount of the reservoir sedimentation. The total volume of the reservoir loss during the forty years is estimated as 500 thousand m<sup>3</sup> which equals 28 % of the total reservoir volume, at least the 300 thousand m<sup>3</sup> of sedimentation was realised in the last ten years. The outcomes are part results of the project ATCZ28 SEDECO – Sediments, ecosystem services and interrelation with the floods and droughts in the AT-CZ border region.

## **KEYWORDS**

Bathymetry, Bathygraphy, Water Reservoir Nové Mlýny, digital terrain model, area-volume curves, area curve, volume curve, sedimentation

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

David Jílek *Vyhodnocení morfologie dna vodní nádrže pomocí dat z batymetrického měření*. Brno, 2021. 51 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce doc. Ing. Daniel Marton, Ph.D.

## **PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE**

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Vyhodnocení morfologie dna vodní nádrže pomocí dat z batymetrického měření* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 25. 5. 2021

---

David Jílek  
autor práce

## **PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Vyhodnocení morfologie dna vodní nádrže pomocí dat z batymetrického měření* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 25. 5. 2021

---

David Jílek  
autor práce

## **PODĚKOVÁNÍ**

Rád bych poděkoval vedoucímu práce panu doc. Ing. Danielu Martonovi, Ph.D. za jeho velkou ochotu, věnovaný čas, cenné rady a připomínky, které mi pomohly při zpracování bakalářské práce. Také mu děkuji za poskytnutou příležitost zapojit se do zajímavého projektu. Velké poděkování patří také mé rodině, přátelům a přítelkyni za jejich neúnavnou podporu.

# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>CÍL PRÁCE</b> .....	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>BATYMETRIE</b> .....	<b>3</b>
3.1	Metody sběru dat .....	3
3.1.1	Měření olovnicí .....	3
3.1.2	Měření sonarem .....	4
3.1.3	Měření polární metodou, GNSS-RTK v kombinaci se sonarem .....	4
3.1.4	Měření mini ponorkou EcoMapper AUV .....	5
3.2	Měřicí plavidla .....	5
3.2.1	CAPEREA .....	5
3.2.2	Plavidlo trimaran .....	6
3.2.3	Hydroboard II .....	6
3.3	Naměřená data .....	6
<b>4</b>	<b>BATYGRAFIE</b> .....	<b>8</b>
4.1	Výpočet batygrafických křivek početní metodou .....	8
4.2	Software pro vypočtení batygrafických křivek .....	9
4.2.1	Surfer .....	10
4.2.2	GRASS .....	10
4.3	Morfologie dna a terénní modelování .....	10
<b>5</b>	<b>VODNÍ DÍLO NOVÉ MLÝNY</b> .....	<b>12</b>
5.1	Popis lokality .....	13
5.2	Zaměření dna nádrže .....	14
<b>6</b>	<b>METODY A VERIFIKACE POSTUPU ARCGIS A ATLAS DMT</b> .....	<b>16</b>
6.1	Úprava dat .....	16
6.2	ArcGIS .....	17



6.2.1	Načtení bodů .....	18
6.2.2	Vytvoření rastru.....	18
6.2.3	Vytvoření digitálního výškového modelu.....	19
6.2.4	Výpočet objemu nádrže pomocí ArcGIS .....	20
6.3	Atlas DMT .....	22
6.3.1	Generace DMT.....	23
6.3.2	Výpočet objemu nádrže pomocí Atlas DMT .....	24
6.4	Porovnání výsledků s manipulačním řádem .....	25
<b>7</b>	<b>PRAKTICKÁ APLIKACE.....</b>	<b>29</b>
7.1	Digitální modely terénu .....	29
7.1.1	1978.....	29
7.1.2	2008.....	30
7.1.3	2018.....	30
7.2	Vývoj batygrafických křivek .....	31
<b>8</b>	<b>SHRNUTÍ VÝSLEDKŮ.....</b>	<b>36</b>
8.1	Rozdílové mapy .....	37
8.2	3D modely a znázornění zanášení nádrže .....	39
<b>9</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>42</b>
<b>10</b>	<b>SEZNAM ZDROJŮ A POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>44</b>
<b>11</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A VELIČIN.....</b>	<b>47</b>
<b>12</b>	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>49</b>
<b>13</b>	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>51</b>

# 1 ÚVOD

Vodní nádrže plní mnoho účelů a funkcí. Mezi hlavní funkce patří zásobní a ochranná (retenční). Dále to mohou být funkce energetická, rybochovná, rekreační atd. Většina nádrží plní také více účelů najednou a pro jejich správné fungování je důležitá pravidelná údržba [1].

Z pohledu hospodářské vazby na povodí nastává jeden z globálních problémů, a to je eroze zemědělské půdy a následná sedimentace ve vodních tocích a nádržích. Eroze půdy je z velké části zapříčiněna lidskou činností, ale v dnešní době tento jev ještě umocňuje klimatická změna [2], [3]. Se změnou klimatu je spojeno postupné přerozdělení srážkových úhrnů, což má za následek častější výskyt hydrologických extrémů, jako je střídání suchých období a přívalových dešťů s povodněmi [4]. Právě střídání těchto dvou extrémů napomáhá k intenzivnímu rozrušování půdy a odnosu splavenin do toků a nádrží, kde splaveniny sedimentují. Jak uvedla v roce 2011 organizace UNESCO [2, str. 13]: „více než padesát procent původních zásobních objemů všech světových nádrží bude pravděpodobně během příštích třiceti let z důvodu sedimentace ztraceno.“

Zanesení nádrže sedimenty může způsobit další problémy, kdy se sníží zásobní objem, zkrátí se doba zdržení, zvýší se rychlost průtoku vody nádrží a snižuje se také zabezpečení odběru vody [3]. Tyto faktory, umocněné změnou klimatu, mohou v budoucnu způsobit problémy s dodávkou pitné vody. Dalším problémem je, že sedimenty s sebou často nesou chemické látky ze zemědělské půdy a tím negativně ovlivňují jakost vody v nádržích.

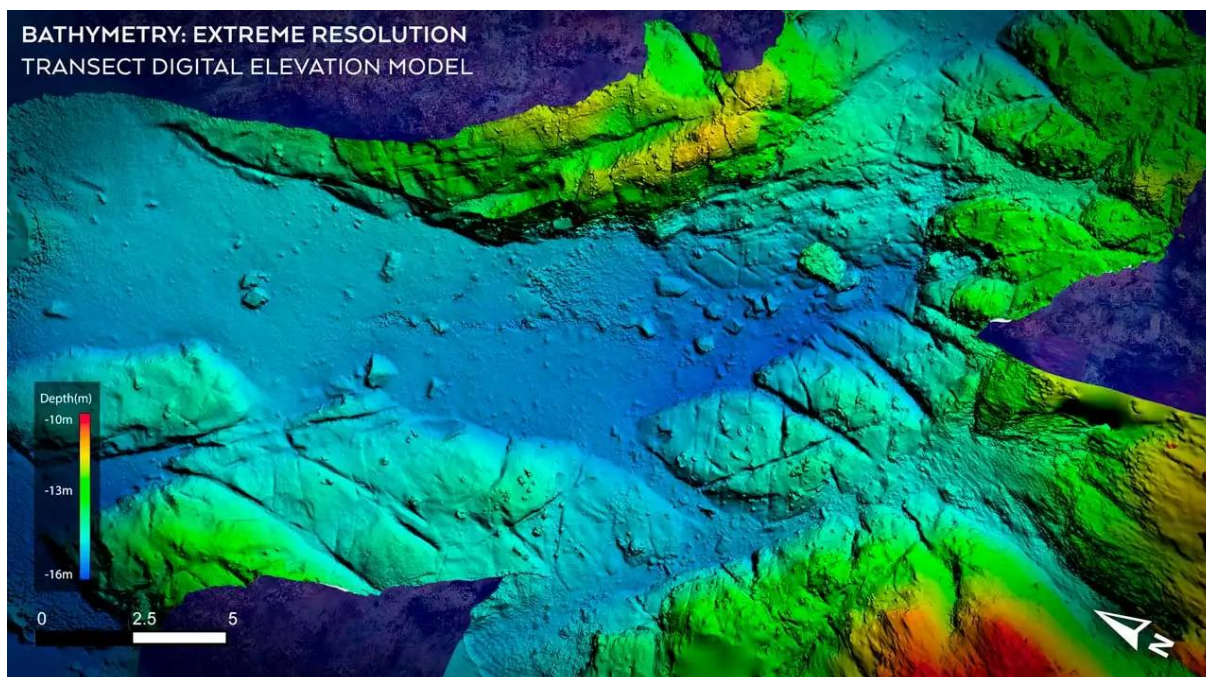
Z výše popsaných důvodů je důležité průběžně zjišťovat stav zanesení vodních nádrží, ale i vodních toků, a včas přistoupit k opatřením, která povedou k obnově jejich původních zásobních objemů a tím zvýšení doby zdržení vody v nádrži. Nástrojem ke zjištění současného stavu nádrží je zaměření batymetrie, která může být hlavním zdrojem dat o výškopisu pod vodní hladinou. Výsledkem měření a vyhodnocení batymetrie jsou přesné mapy dna, ať už nádrží, řek, anebo moří. V současné době je batymetrie primárně určena pro vytvoření map pro plavbu námořních lodí, hledání ropných polí, či při stavebních pracích na mořském dně [3].

## 2 CÍL PRÁCE

Cílem bakalářské práce je zpracovat a vyhodnotit data zaměření dna horní části vodní nádrže Nové Mlýny – horní pro rok 1978, kdy byla horní nádrž uvedena do provozu, a poté pro roky 2003, 2008 a 2018. V rámci zpracování dat bude pracováno s programy ArcGIS a Atlas DMT, kde se nejprve vymodeluje digitální model terénu a poté se vypočtou hodnoty pro vykreslení čar zatopených objemů a ploch. V rámci práce budou porovnány výstupy z obou programů s manipulačním řádem. Dále budou vyhodnoceny jednotlivé roky zaměření nádrže a bude popsán průběh zanášení nádrže.

### 3 BATYMETRIE

Na území České republiky bylo provedeno mapování výškopisu metodou leteckého laserového skenování, na jehož základě byl vytvořen digitální model reliéfu území České republiky 5. generace (tzv. DMR 5G). Stále ale chybí zaměření výškopisu pod vodní hladinou nádrží a řek. Z toho důvodu se využívá batymetrie, což je obor zabývající se měřením hloubek pod vodní hladinou, jehož výsledkem jsou přesné batymetrické mapy dna nádrží, řek či moří [3]. Ukázka výstupu batymetrického měření v podobě batymetrické mapy je zobrazena na Obr. 1.



Obr. 1 Batymetrická mapa [5]

#### 3.1 METODY SBĚRU DAT

K prvním měřením hloubek byla používána olovnice, ale s vývojem techniky se začaly využívat nové přístroje založené na akustických a vizuálních technologiích. S využitím GPS a GIS se velmi zvýšila přesnost mapování batymetrií. V současné době se využívá celé řady přístrojů a metod sběru dat. V následujících kapitolách budou některé z nich popsány.

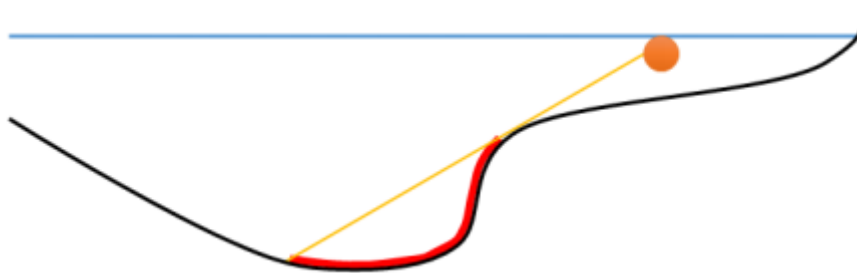
##### 3.1.1 Měření olovnicí

Jak již bylo zmíněno, tak se jedná o jednu z prvních metod měření hloubek. V současné době se tato metoda využívá pouze okrajově, když nejsou jiné

technické prostředky. V praxi to vypadá tak, že se nad hladinou vody natáhne měřické pásmo, z něhož se pak na vybraných místech spustí olovnice a změří se svislá vzdálenost mezi pásmem a dnem. Rychlost měření je několik bodů za hodinu a výstupem jsou přímky, resp. příčné profily s několika zaměřenými body [3].

### 3.1.2 Měření sonarem

Sonar je systém, který využívá akustické vlny k lokalizaci ponořených objektů, nebo k měření vzdálenosti ke dnu. Lze rozlišit několik druhů sonarů. Prvním je jednopaprskový sonar, který využívá jediného paprsku ve tvaru kuželu. Vysílá zvukové vlny ke dnu, které se od něj odrážejí. Nevýhodou je, že nesnímá velkou plochu, a hlavně se odráží od výše položeného povrchu a cokoliv pod ním zůstane nezaměřeno, viz Obr. 2. Proto není využíván pro plošnou batymetrii [3].



Obr. 2 Akustický stín vznikající při použití jednopaprskového sonaru [6]

Další modifikací je vícepaprskový sonar, který funguje stejně jako jednopaprskový, ale dovoluje mapovat více lokalit najednou. Vzniká tak souvislý obraz povrchu pod vodní hladinou. Dalším typem je boční sonar, který neměří hloubku a tvar dna, ale odhaluje složení dna. Toto měření provádí na základě schopnosti různých materiálů absorbovat a odrážet zvuk. Tato schopnost se u různých materiálů velmi liší. Např. kovy nebo některé horniny dobře odrážejí zvuk, zatímco jíly a sedimenty zvuk spíše absorbují. Díky těmto znalostem je možné určit složení povrchu dna. V kombinaci s vícepaprskovým sonarem dává dobrý pohled na tvar a složení dna [7], [3].

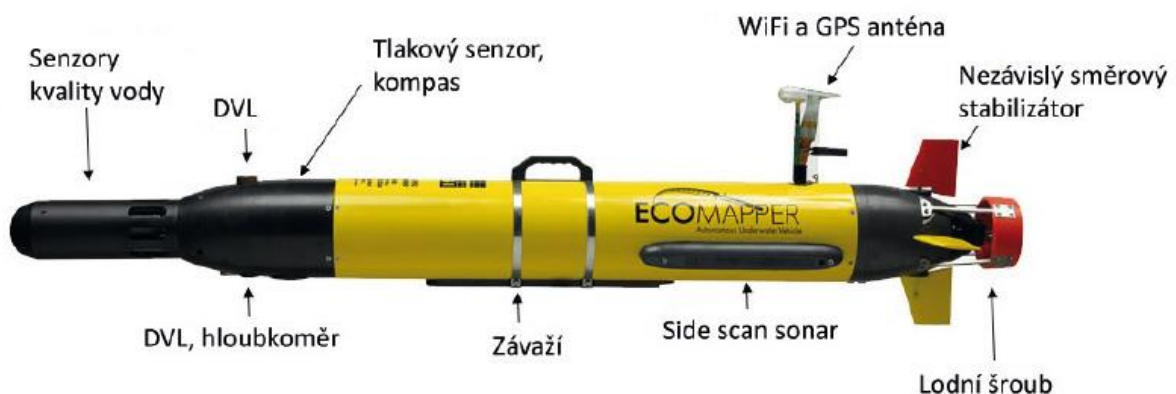
### 3.1.3 Měření polární metodou, GNSS-RTK v kombinaci se sonarem

Měření se provádí pomocí totální stanice, nebo GNSS – RTK (globální družicový polohový systém). Toto batymetrické měření se používá tam, kde se měřič

dokáže bezpečně pohybovat po dně. Při měření větších hloubek je nutné používat loď. Měření v kombinaci se sonarem, který slouží k přesnému určování hloubek, je považováno za nejefektivnější pozemní metodu měření. Vybavení pro měření je: aparatura GNSS-RTK s automatickým záznamem dat, člun a digitální sonar, který komunikuje s GNSS aparaturou, do které odesílá hodnoty hloubky. Omezení měření je průjezdnost vodní plochy, protože lze použít motorové plavidlo s ponorem max. 40 cm, a také v blízkosti vegetace ztrácí GNSS aparatura přesnost [3].

### 3.1.4 Měření mini ponorkou EcoMapper AUV

EcoMapper je přístroj, který se samostatně pohybuje po volné hladině nebo ve stanovené hloubce. Umožňuje rychlý sběr dat o hloubce a kvalitě vody v sekundových intervalech, ke kterým automaticky přidává data o poloze. Pro měření batymetrie je možné využít jedno, nebo vícepruskový sonar [8].



Obr. 3 Konstrukce EcoMapper AUV [8]

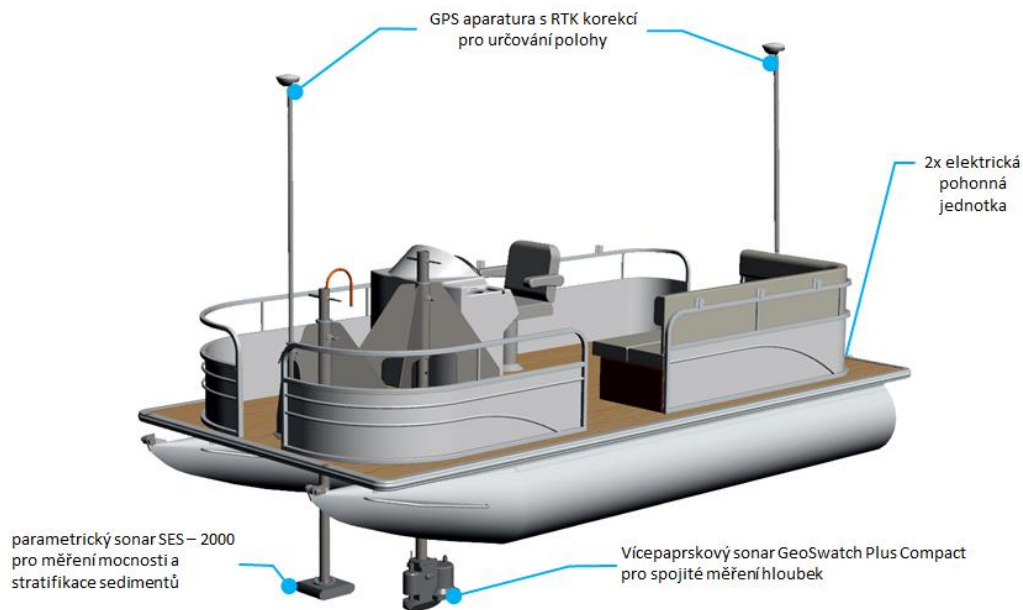
## 3.2 MĚŘICÍ PLAVIDLA

Výše zmíněné aparatury a sonary se jsou často součástí měřících plavidel. Mohou to být lodě, motorové čluny, na dálku ovládaná plavidla atd.

### 3.2.1 CAPEREA

Plavidlo CAPEREA je měřící loď od společnosti Vars Brno a. s. Slouží na zaměření spojitěho digitálního modelu dna, k monitoringu dna a k snímání podvodních konstrukcí. Na lodi se nachází GPS pro přesné určení polohy. Je také osazena vícepruskovým sonarem GeoSwatch Plus Compact, pro spojitě měření hloubek

a také sonar SES – 2000, který slouží k měření mocnosti a stratifikace sedimentů [9]. Konstrukce plavidla CAPEREA je znázorněna na Obr. 4.



Obr. 4 Konstrukce plavidla CAPEREA [9]

### 3.2.2 Plavidlo trimaran

Nosné plavidlo trimaran je poháněno elektromotory a hlavní výhodou je jeho dálkové ovládání. Je možné jej využít pro batymetrické měření vodních ploch, nebo pomalu tekoucích vodních toků [3].

### 3.2.3 Hydroboard II

Hydroboard II je nosné plavidlo dodávané firmou SonTek. Toto plavidlo nemá vlastní pohon, proto je nutné ho umístit za tažné plavidlo. Vhodné využití je pro zaměřování rychle tekoucích vodních toků [3].

## 3.3 NAMĚŘENÁ DATA

K zaměřeným hloubkám  $H$  se díky GPS automaticky přiřazují souřadnice  $X$  a  $Y$ , čímž vzniká obecný souřadnicový systém  $X$ ,  $Y$  a  $Z$ , kde  $Z$ -tová souřadnice odpovídá hloubce  $H$ . Po celém světě existuje mnoho souřadnicových systémů, ve kterých může přístroj souřadnice  $X$  a  $Y$  přiřadit. Při zpracování dat je nutné souřadnicový systém sjednotit a pracovat pouze v jednom systému. Omezené množství souřadnic je možné transformovat na požadovaný souřadnicový

system pomocí aplikace Transformace souřadnic dostupné na Geoportálu ČÚZK [10]. Softwary GIS také nabízejí jednoduchou práci se souřadnými systémy.

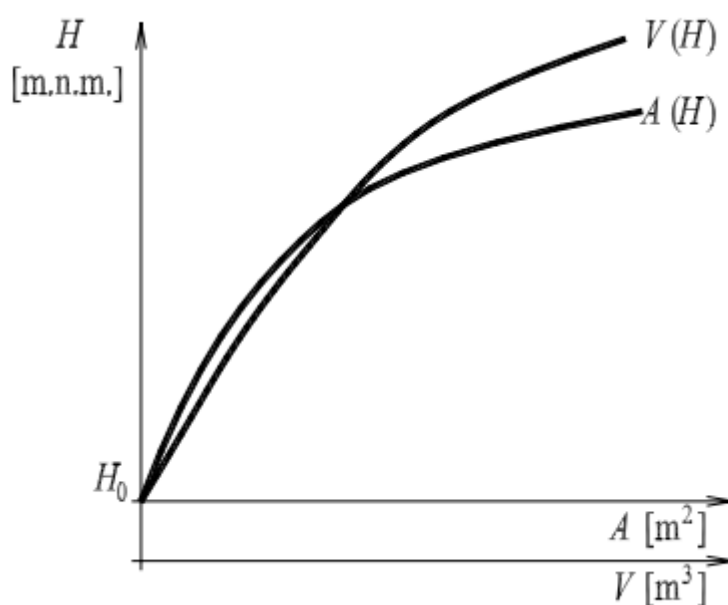
V České republice je nejčastěji používaný souřadnicový systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální (S-JTSK). Je zde použito Křovákovo zobrazení a matematické zobrazení os, což znamená, že osa X směřuje na východ a osa Y směřuje na sever. Pro ČR jsou obě souřadnice záporné. Dalšími používanými souřadnicovými systémy jsou například: Evropský terestrický referenční systém (ETRS89), nebo Světový geodetický systém 1984 (WGS 84), pro který může být také použito Mercatorovo válcové zobrazení UTM (WGS 84 / UTM 33N). Výškový systém je v ČR používaný Baltský po vyrovnání (Bpv) [11].

Zpracování dat je možné provést v programu MS Excel, který nabízí jednoduchou úpravu dat. Při hustém zaměření je občas nutné data filtrovat, nejlépe data s nízkou přesností zaměření. Poté je již možné data exportovat do textového souboru a v libovolném programu zpracovávat.



## 4 BATYGRAFIE

Batygrafie se zabývá průzkumem vodních hloubek a určováním tvaru nádrží. Jedním z nástrojů batygrafie jsou batygrafické křivky. To jsou čáry zatopených ploch a čáry zatopených objemů, které udávají závislost mezi nadmořskou výškou hladiny vody v nádrži  $H$  a její plochou  $A$  a příslušným objemem nádrže  $V$ . Čára zatopených ploch se převážně určuje z vrstevnicového plánu a čára zatopených objemů se odvozuje z čáry zatopených ploch [12]. Batygrafické křivky jsou znázorněny na Obr. 5, kde  $V(H)$  je čára zatopených objemů a  $A(H)$  je čára zatopených ploch. Batygrafické křivky lze odvodit jednoduchou početní metodou nebo za použití softwarů.



Obr. 5 Batygrafické křivky [12]

### 4.1 VÝPOČET BATYGRAFICKÝCH KŘIVEK POČETNÍ METODOU

Při konstrukci křivek je prvotní čára zatopených ploch. Podkladem pro její stanovení musí být mapy podrobné situace zátopy, které nesmějí být v měřítku menším než 1 : 5 000. Pro konstrukci křivky je nejprve nutné v nejnižším místě nádrže, které tvoří uzavřený útvar z hráze a stěn údolí, položit výšku plnění nádrže  $H_0$ . Výška plnění nádrže se udává buď v nadmořských výškách, tedy v metrech nad mořem, nebo v reálných výškách, kdy  $H_0 = 0$ . Každé výšce plnění  $H$  odpovídá plocha hladiny  $A$ , kdy výšce  $H_0$  odpovídá plocha hladina  $A_0 = 0$ . Poté se

stanoví posloupnost výšek  $H$  postupným přičítáním přírůstku výšky plnění  $\Delta H$ , až se dosáhne koncového bodu testované výšky plnění  $H_n$ . Odečtem plochy dle vrstevnic se naleznou plochy pro odpovídající výšky plnění. Průběh čáry zatopených ploch je určen jednotlivými diskrétními body  $(H_i; A_i)$ , které se vynesou do grafu a pomocí přímky nebo křivítka se spojí. Konstrukce čáry je přibližná a závisí na měřítku použitých podkladů a na volbě velikosti  $\Delta H$  [13].

Při odvození čáry zatopených objemů platí, že v diskrétním bodě výšky plnění  $H_i$  je dána zatopená plocha  $A_i$  a odpovídající objem plnění nádrže  $V_i$ . Zvětší-li se plnění nádrže na hodnotu  $H_{i+1}$ , při dané zatopené ploše  $A_{i+1}$ , tak odpovídající hodnota objemu plnění nádrže  $V_{i+1}$  se vypočte dle vztahu (1). Protože pro  $H_0 = 0$  platí  $V_0 = 0$ , tak je možné postupným výpočtem objemů, pro odpovídající výšky plnění a zatopené plochy, stanovit jednotlivé diskrétní body  $(H_i; V_i)$ . Vynesením do grafu a spojením bodů se získá čára zatopených objemů [13].

$$V_{i+1} = V_i + \frac{A_i + A_{i+1}}{2} (H_{i+1} - H_i) \quad (1)$$

kde:

$H_i$	výška plnění v diskrétním bodě $i$
$H_{i+1}$	navýšená výška plnění
$A_i$	zatopená plocha v diskrétním bodě $i$
$A_{i+1}$	zatopená plocha odpovídající výšce plnění $H_{i+1}$
$V_i$	objem plnění nádrže v diskrétním bodě $i$
$V_{i+1}$	objem plnění nádrže odpovídající výšce plnění $H_{i+1}$

## 4.2 SOFTWARE PRO VYPOČTENÍ BATYGRAFICKÝCH KŘIVEK

Hodnoty pro vykreslení čar zatopených objemů a ploch lze také získat využitím řady programů. V každém z níže uvedených programů je nejprve potřeba vymodelovat morfologii dna nádrže, kde se využijí data z batymetrického měření. V rámci projektu je pracováno s programy ArcGIS a Atlas DMT, proto budou oba podrobně popsány v pozdějších kapitolách týkajících se praktické aplikace.

### **4.2.1 Surfer**

Surfer je program, který slouží k vizualizaci povrchů z bodového měření. Je vyvinut firmou Golden Software z USA. Princip programu je na vytvoření tzv. gridu, což je matice výškových hodnot, kdy se využije volba rozměru gridu a interpolačních metod. Výsledným efektem je vizualizace dat, kdy je možné zobrazit jak 2D rastr, tak 3D povrch [14]. Objem i plochu nad vytvořeným digitálním modelem terénu v závislosti na nadmořské výšce je poté možné vypočítat a vymodelovat tak batygrafické křivky [15].

### **4.2.2 GRASS**

Také je možné využít software GRASS, což je program založený na principu GIS. Obsahuje celou řadu modulů a pomocných prostředků, které umožňují práci zejména s rastrovými daty. Je možné vytvářet digitální model terénu jak rastrový, tak nepravidelnou trojúhelníkovou síť TIN. Program GRASS umožňuje řadu analytických možností, jako generování vrstevnic, výpočty sklonu a také výpočet objemu [14].

## **4.3 MORFOLOGIE DNA A TERÉNNÍ MODELOVÁNÍ**

Jak již bylo zmíněno dříve, tak k výpočtu hodnot batygrafických křivek je nutné mít vrstevnicový model terénu, nebo digitálně vymodelovaný terén. Aplikace GIS a i další umožňují modelování, analýzu a zobrazení reliéfu.

Pro digitální modelování je možné rozlišit zkratky DTM a DEM. DTM je zkratka anglického digital terrain model, což se překládá jako digitální model terénu v českém jazyce označený jako DMT. DEM je zkratka pro digital elevation model, což je přeloženo jako digitální výškový model, česky značený DVM [14]. Anglické zkratky jsou uvedeny z důvodu anglické lokalizace aplikací GIS.

Obě označení se často pokládají za synonyma používaná v jiných zemích. Je mezi nimi ale rozdíl. Zatímco DVM (anglicky DEM) je model, který představuje pouze výškové body k referenčnímu povrchu a může představovat i jiné veličiny než nadmořskou výšku. Tak DMT (anglicky DTM) představuje zdigitalizovaný tvar přirozeného, nebo lidskou činností upraveného zemského povrchu [16].

Během následujících kapitol bude používáno označení DMT, jelikož se u zaměření dna nádrže jedná o zemský povrch s reálnou nadmořskou výškou. Jediná výjimka bude v kapitole popisující práci s programem ArcGIS, jelikož tento program používá zkratku DEM, tak zde byla v rámci zachování přehlednosti ponechána.

## 5 VODNÍ DÍLO NOVÉ MLÝNY

Vodní dílo Nové Mlýny leží na řece Dyji v Jihomoravském kraji v okrese Břeclav. Správcem je Povodí Moravy s. p. Vodní dílo Nové Mlýny je tvořeno kaskádou tří nádrží, které na sebe vzájemně navazují. Jeho hlavními účely je snížení povodňových průtoků a zavlažování, dále pak rybářské a energetické využití, rekreace, zlepšení hygieny a čistoty vody, a také odstranění komářích kalamin trvalým zatopením bahnitých ploch. Uvedení díla do provozu probíhalo postupně pro jednotlivé nádrže. V roce 1978 byla uvedena do provozu horní nádrž, která je rozlohou i objemem nejmenší. Střední nádrž byla uvedena do provozu v roce 1981 a dolní, která je z celé kaskády největší, v roce 1989 [17].



Obr. 6 Základní mapa VD Nové Mlýny a okolí [18]

Celkové objemy a objemy stálého nadržení jednotlivých nádrží i celého vodního díla jsou zpracované v Tab. 1. Hladina retenčního prostoru ovladatelného je u horní nádrže na kótě 171,54 m n. m., u střední je na 171,42 m n. m. a u dolní je na kótě 171, 24 m n. m.



Tab. 1 Objemy jednotlivých nádrží VD Nové Mlýny [17]

VD Nové Mlýny	Horní	Střední	Dolní	Celkem
Objem stálého nadržení [mil. m <sup>3</sup> ]	9.769	17.545	23.685	50.999
Celkový objem [mil. m <sup>3</sup> ]	14.313	32.062	83.961	130.336

## 5.1 POPIS LOKALITY

Tato práce se zaměřuje na horní nádrž, která je též zvaná jako Mušovská, a zejména pak na její horní část. Tedy na oblast mezi mostem u obce Drnholec po most u obce Brod nad Dyjí. Zde dochází ke vtoku řeky Dyje do nádrže a tím pádem i k ukládání splavenin, které sebou řeka nese. V okolí vodního díla je půda hojně využívaná pro zemědělství, což značně ovlivňuje jakost přitékající vody do nádrží. Po obvodu celého díla jsou vybudovány boční hráže a násypy, které omezují plochu nádrží. Území za těmito hrázemi je odvodňováno vybudovanými kanály, ze kterých se voda čerpá zpět do nádrží [19].



Obr. 7 Ohraničení horní nádrže a její horní části [20]

U Obr. 7 je zelenou barvou ohraničena dolní část horní nádrže, na které budou verifikovány metody vyhodnocení. Červenou barvou je ohraničena horní část

horní nádrže, kde budou vyhodnoceny digitální modely terénu pro jednotlivá zaměření a bude vyhodnoceno zanášení nádrže.

## 5.2 ZAMĚŘENÍ DNA NÁDRŽE

Zaměření dna nádrže bylo provedeno v letech 2003, 2008 a naposledy v roce 2018. Jednotlivá data byla poskytnuta k vyhodnocení v rámci projektu INTERREG ATCZ28 – SEDECO.

Dále budou zpracována data pro rok 1978, kdy byla nádrž uvedena do provozu. Data pro rok 1978 odvodil doc. Zachoval z vojenských topografických map z roku 1952, proto se zde musí počítat s určitou nepřesností vnesenou do vyhodnocení. Odvozená data jsou zaměřena na horní část horní nádrže, a proto budou sloužit jako výchozí stav při vyhodnocení průběhu zanášení nádrže.

Zaměření z roku 2003 je soustředěno na dolní část horní nádrže. Horní část je v tomto roce zaměřena velmi řídko a celkově jsou zaměřeny spíše břehy nádrže než morfologie dna, viz Obr. 8. Z toho důvodu je rok 2003 použit k verifikaci metod ArcGIS a Atlas DMT, kdy budou výsledky porovnány také s manipulačním řádem poskytnutým Povodím Moravy.



Obr. 8 Zaměřené body v roce 2003 [20]

Zbylé zaměření z let 2008 a 2018 obsahují morfologii dna horní části horní nádrže, a proto budou tyto data použity k vyhodnocení průběhu zanášení nádrže. Zaměření z let 2003 a 2008 byly poskytnuty Povodím Moravy. Zaměření z roku 2018 bylo složeno ze tří na sobě nezávislých měření. První je podrobné zaměření dna nádrže pomocí měřicí lodi společnosti Vars. Zaměření vzniklo ve spolupráci Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka (dále VÚV TGM, v. v. i.) a Ústavu vodního hospodářství krajiny fakulty stavební VUT v Brně (dále VUT FAST ÚVHK) a Povodí Moravy zde bylo jako strategický partner projektu. Druhé provedlo VUT FAST ÚVHK, kde byly pomocí GPS dodatečné zaměřené příčné profily, tam kde nebylo možné měřit lodí. A poslední částí je 5G model okolní krajiny zakoupený ze stránek ČÚZK, který zajistí přesnější vykreslení břehů nádrže. Všechny soubory dat jsou naměřeny v souřadnicovém systému JTSK. Výškový systém je baltský po vyrovnání.



## 6 METODY A VERIFIKACE POSTUPU ARCGIS A ATLAS DMT

V následujících podkapitolách bude provedena verifikace postupů úpravy dat. Následně budou vymodelovány digitální modely terénu a batygrafické křivky nádrže pomocí programů ArcGIS a Atlas DMT. Tato kapitola bude zároveň sloužit i jako podrobný návod pro práci se zmíněnými programy. Je zde použito zaměření dolní části horní nádrže Nové Mlýny z roku 2003. Vyhodnocené výsledky obou programů budou porovnány s manipulačním řádem nádrže, čímž se ověří přesnost obou metod. Určí se velikost odchylky od manipulačního řádu, případně se vybere přesnější metoda.

Tab. 2 Hodnoty zatopených objemů a ploch z manipulačního řádu nádrže [21]

H	V	A
[m n. m.]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]
167.5	0	0
168.0	112 477	619 049
168.5	724 291	1 853 894
169.0	2 012 568	3 273 114
169.5	3 913 965	4 179 025
170.0	6 172 727	4 833 328
170.5	8 704 416	5 261 162
171.0	11 409 888	5 501 761
171.5	14 132 601	5 652 224
171.54	14 313 275	5 750 000

### 6.1 ÚPRAVA DAT

Všechny části dat je nutné upravit tak, aby byly ve stejném formátu a uloženy v textovém souboru, který půjde v programech načíst (.txt). V jednotlivých souborech dat musí být body vypsány pod sebou ve třech sloupcích, kdy v prvním jsou souřadnice X, v druhém souřadnice Y a ve třetím nadmořská výška, zde značena jako Z. Jednotlivé názvy sloupců musí být nadepsány, aby bylo možné spojit jednotlivá data v ArcGISu (nadepsání sloupců není nutné pro program Atlas DMT). Dále musí být jednotlivé sloupce odděleny tabulátorem, nebo mezerou. Finální úprava dat je znázorněna na Obr. 9.

Nove_Mlyny_komplet_05xyz – Poznámkový blok				
Soubor	Úpravy	Formát	Zobrazení	Nápověda
x	y	z		
-608865.28	-1195510.81	171.12		
-608864.79	-1195510.87	171.17		
-608864.29	-1195510.93	171.22		
-608869.19	-1195509.80	170.17		
-608864.72	-1195510.37	171.12		
-608864.23	-1195510.44	171.19		
-608863.73	-1195510.50	171.23		
-608863.24	-1195510.57	171.32		
-608862.74	-1195510.63	171.42		
-608862.24	-1195510.69	171.51		
-608861.75	-1195510.76	171.58		
-608861.25	-1195510.82	171.59		
-608870.11	-1195509.17	170.19		
-608869.62	-1195509.23	170.20		

Obr. 9 Textový soubor s upravenými daty

## 6.2 ARCGIS

Program ArcGIS je software firmy ESRI. Program je členěn do několika produktových úrovní, které se liší zejména v možnostech zpracování dat. Základem je ArcMap, kde se zobrazují a upravují veškerá data. Dále obsahuje například ArcToolbox, kde jsou k dispozici nástroje ke zpracování dat. Dalším zajímavým modulem je například ArcScene, který umožňuje 3D nahlížení na zpracovaná data, což je při tvoření digitálního modelu terénu praktické [14].

Při modelování digitálního modelu terénu v programu ArcGIS je možné použít nástroj *Topo to Raster* nebo *TIN*. Nástroj *TIN* vytváří nepravidelnou trojúhelníkovou síť pomocí bodového pole. Práce s *TIN* strukturou je možná pouze v nástavbě *3D Analyst*. Nástroj *Topo to Raster* vytváří rastrový digitální model terénu. Ten je tvořen interpolační metodou, kde lze použít buď vrstevnicová data, nebo opět bodové pole. Základní předpoklad interpolace je, že hydrologické procesy jsou hlavním faktorem modelující tvar terénu. Je také možné konvertovat *TIN* na rastr a naopak, nebo odvodit z modelů vrstevnice [14].

Pro práci s programem ArcGIS byly použity návody zveřejněné na stránkách ArcGIS Desktop od společnosti ESRI [22] a také znalosti programu získané při studiu. Při práci s programem ArcGIS je důležité si nastavit výchozí souřadnicový systém JTSK Krovak EastNorth pro správné zobrazení dat a výpočet objemů. To

uděláme v nastavení *Layers*. Dalším krokem je načtení ortofotomapy České republiky pomocí tlačítka *Add Data from ArcGIS Online*. Ta slouží jako podložení modelu a zároveň jako kontrola, že se jednotlivé výstupy zobrazují na svém místě.

### 6.2.1 Načtení bodů

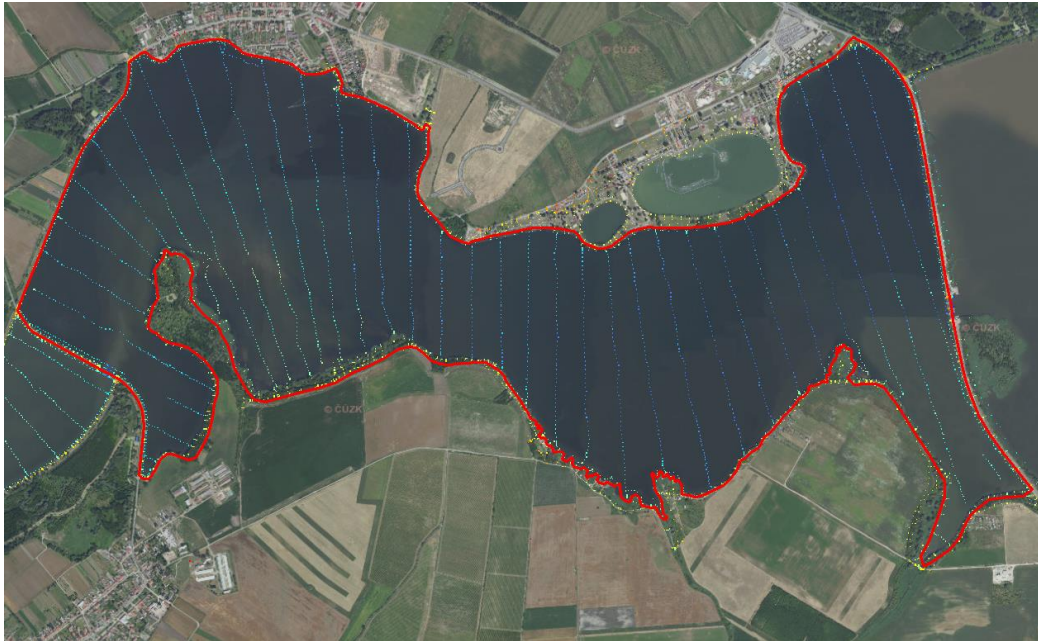
Pro načtení bodů je potřeba mít zapnutý panel nástrojů *ArcToolbox*. Zde je záložka *Conversion tools* a v té je funkce *To dBase*. Po otevření funkce je třeba vyplnit vstupní data tak, že se načtou jednotlivé textové soubory, které jsou předpřipraveny. Po odsouhlasení se do zvolené složky vytvoří pro každou část dat soubor ve formátu *.dbf*. Poté se v záložce *Add XY Data* vybere jeden z vytvořených *.dbf* souborů. Zde je také důležité správně zvolit sloupec pro souřadnice X, Y a Z, ale nadepsáním sloupců v textovém souboru je přiřazení jednoduché. Nakonec by mělo následovat nastavení souřadnicového systému, ale jelikož jsou body zaměřené v S-JTSK stejně jako je nastavený ArcGIS, tak je možné tento krok vynechat. Po správném nastavení se vykreslí první část bodů. Poté se tento postup zopakuje pro všechny *.dbf* soubory, až budou vykresleny všechny skupiny bodů.

Dalším krokem je spojení všech skupin bodů. Ve složce *Data Management Tools* je složka *General*, ve které je funkce *Merge*. Po zapnutí funkce se vyberou všechny soubory bodů a po odsouhlasení dojde k jejich spojení do jednotného celku. Tento krok je možné vynechat pro zaměření, které obsahují pouze jednu sadu dat, tedy i pro rok 2003. Spojení více skupin bodů je použito pro zaměření z roku 2018.

### 6.2.2 Vytvoření rastru

Klíčová funkce pro vytvoření rastru terénu a dna nádrže z naměřených bodů se jmenuje *Point to Raster* a nachází se v záložce *Conversion Tools* a ve složce *To Raster*. Po otevření funkce se zvolí jako vstupní soubor sloučené body a jako hlavní hodnota (*Value field*) se zvolí výška, tedy souřadnice Z. Poté se již vytvoří rastr terénu, který je možné barevně upravit v nastavení, aby byl co nejvíce přehledný. Bohužel se rastr vytvoří pouze v místě zaměřených bodů, ale mezery

mezi nimi automaticky nedopočítá. Data z roku 2003 obsahují pouze zaměření příčných profilů, proto je vytvořený rastr velmi nevýrazný viz Obr. 10.

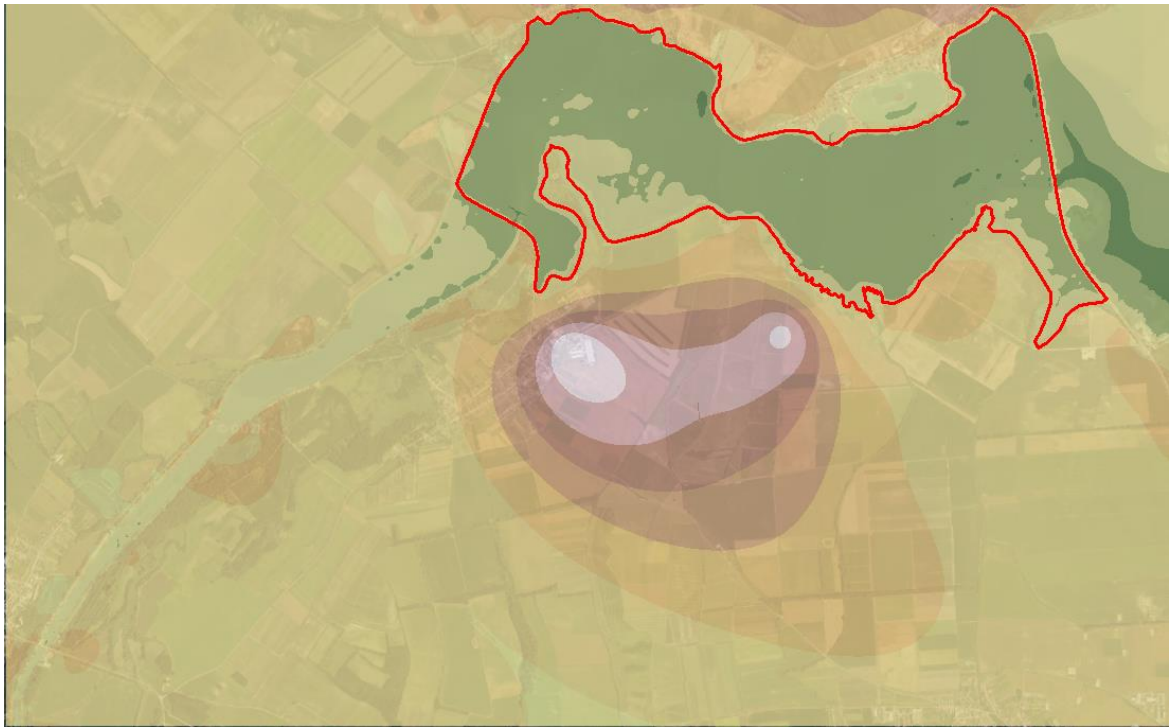


Obr. 10 Rastr dolní části horní nádrže [20]

### 6.2.3 Vytvoření digitálního výškového modelu

Pro zkompletování modelu je třeba vytvořit digitální výškový model (dále DEM), který slouží i k vykreslení vrstevnic. DEM v tuto chvíli nebude tak přesný při modelování okolní krajiny, zde jsou totiž velké mezery. Dostatečně přesný bude až při vykreslení dna nádrže mezi jednotlivými příčnými profily.

DEM se vytvoří rozkliknutím záložky *Spatial Analyst Tools* a zde se ve složce *Interpolation* nachází funkce *Topo to Raster*. Po výběru dané funkce se jako vstup zvolí soubor sloučených bodů. Dále je nutné v okně vybrat hodnoty Z a typ hodnot zvolit jako výškové body (*PointElevation*). Dále je důležité nastavit velikost buněk vytvářeného DEM (*Output cell size*) na co nejmenší hodnotu pro větší přesnost modelu. V tomto případě byla zvolena hodnota 1, což znamená velikost buňky 1 x 1 m. Poté se již DEM vymodeluje, viz Obr. 11. V nastavení modelu je opět možné jej barevně upravit a také nastavit množství výškových intervalů.



Obr. 11 Digitální výškový model [20]

#### 6.2.4 Výpočet objemu nádrže pomocí ArcGIS

Pro výpočet objemu nádrže je nejprve nutné stanovit hranice nádrže, jinak ArcGIS vypočítá objem hladiny i mimo nádrž a takové výsledky budou nicneříkající. Na 3D mapách nebo při navštívení místa lze zjistit, že kolem nádrže jsou boční hráze s cestou, které lze počítat jako břehovou hranu, viz Obr. 12.

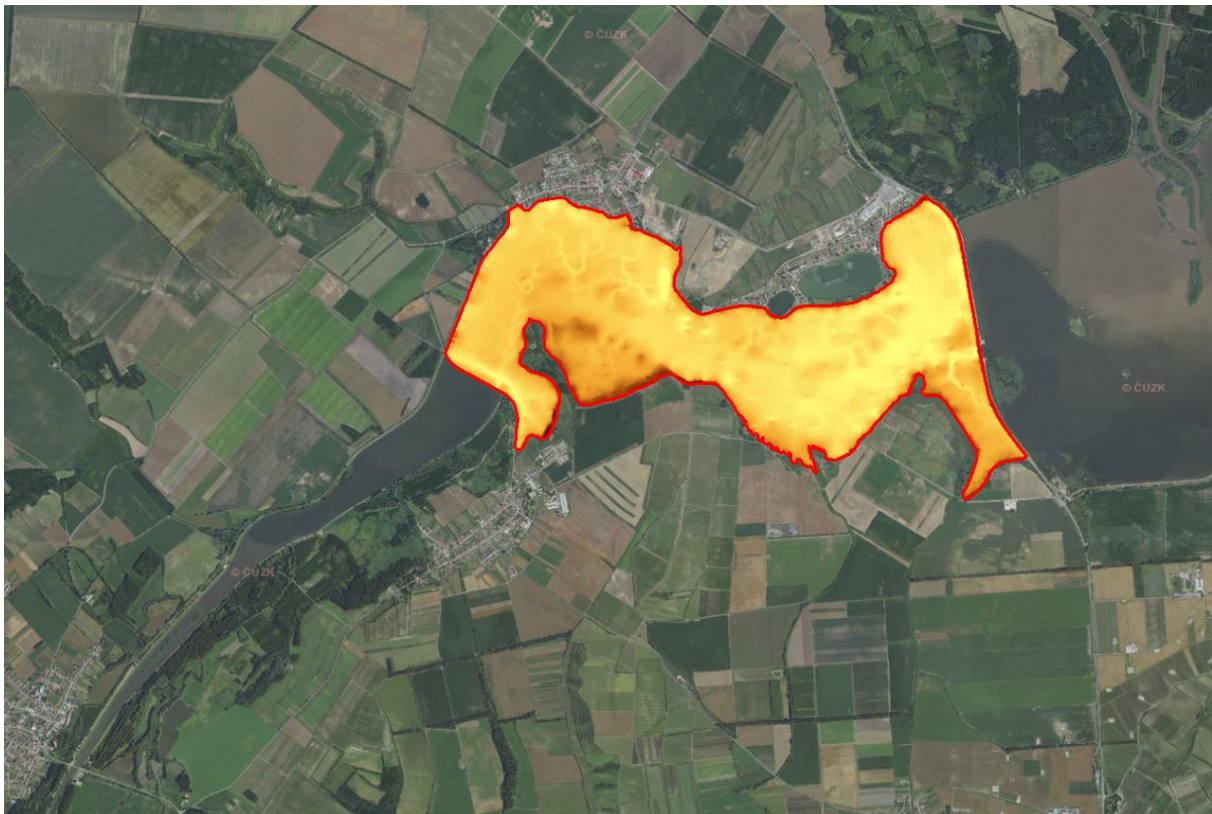


Obr. 12 Boční hráz horní části horní nádrže [23]



Proto je třeba ručně vytvořit polygon, který lze podle ortofotomapy a vrstevnic obkreslit. Tento polygon se poté vyřízne z DEM a vytvoří se přesný rastr dna nádrže, ze kterého se už snadno vypočítá objem. Tímto ručním ohraničením nádrže se do vyhodnocení vnáší určitá chyba, kterou je nutné brát v potaz. Objem je počítán od nejnižšího místa v zátopě, tedy výšky 167,5 m n. m., která se určila jak z manipulačního řádu nádrže, tak z vytvořených modelů terénu. Maximální hladina byla určena z manipulačního řádu nádrže na kótě 171,54 m n. m., což je kóta hladiny retenčního prostoru ovladatelného.

Vyříznutí z DEM se provede tak, že se do vyhledávače funkcí napíše *Extract by Mask*. Zde se jako hlavní vstup zvolí DEM a jako druhý vstup vytvořený polygon. Po odsouhlasení se vytvoří vyříznutý digitální model terénu nádrže, viz Obr. 13.



Obr. 13 Digitální model terénu dolní části horní nádrže z programu ArcGIS [20]

Objem se vypočte tak, že se do vyhledávače zadá *Surface Volume* a v této funkci se zvolí jako vstup vyříznutý rastr. Dále se zvolí výpočet pod referenční hladinou (*Reference Plane - BELOW*) a jako referenční hladina se zadá nadmořská výška hladiny, pro kterou je potřeba objem vypočítat. Rozsah nadmořských výšek je uveden v legendě vrstev u rastru nádrže. Poté se vytvoří textový soubor, kde je

objem uveden. Tento postup se zopakuje pro nadmořské výšky od 167,5 m n. m. po 171,54 m n. m. po půl, nebo jednom metru. Vypočítané objemy se zkopírují do programu MS Excel (viz Tab. 3), kde se vymodeluje čára zatopených objemů nádrže.

Tab. 3 Hodnoty zatopených objemů a ploch vypočtené programem ArcGIS

H	V	A
[m n. m.]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]
167.5	0	0
168.0	111 224	627 409
168.5	749 237	1 987 109
169.0	2 090 110	3 387 681
169.5	4 002 019	4 175 624
170.0	6 235 023	4 731 544
170.5	8 700 062	5 107 031
171.0	11 315 879	5 318 335
171.5	14 006 084	5 403 036
171.54	14 223 214	5 407 086

### 6.3 ATLAS DMT

System Atlas je vytvořen stejnojmennou českou firmou pro oblast inženýrských prací. Varianta Atlas DMT umožňuje generovat a zpracovávat digitální modely terénu. Součástí jsou i vizualizační moduly, které umožňují 3D nahlížení na vytvořený model. Program Atlas nabízí řadu možností v oblasti inženýrské činnosti, co s modelem dále dělat. Je možné modelování cest, toků, nebo tunelů, výpočet eroze, nebo výpočet kubatur [14].

Atlas DMT vytváří digitální model terénu pouze metodou TIN, ale je zde možné, narozdíl od ArcGISu, definovat spojnice jednotlivých trojúhelníků a upravovat vytvořený model. Při generaci modelu z bodového zaměření vznikne tzv. hladká varianta digitálního modelu terénu, kdy plocha prochází všemi body trojúhelníkové sítě, a přitom je hladká a spojitá [14].

Vyhodnocení bylo provedeno na základě znalostí nabytých ze semináře k programu Atlas DMT pod vedením Ing. Šoula na VUT FAST ÚVHK uskutečněným

ve dnech 14. a 15. září 2020 [24]. K základní práci s programem také posloužila videa s návodem zveřejněná Ing. Šoulem na internetovém serveru YouTube [25]. V programu Atlas DMT se předem nemusí nastavovat žádný souřadnicový systém jako u ArcGIS. Proto je možné ihned po otevření začít modelovat DMT.

### 6.3.1 Generace DMT

V panelu nástrojů se rozklikne záložka *DMT* a v možnostech *Operace s modelem* se vybere *Generace modelu terénu*. Zde se jako vstupní data vyberou všechny textové soubory s daty a formát se u všech nastaví jako *DMR*. Dále je potřeba změnit *Předpis volného formátu* na *X, Y, Z*. Poté se provede výpočet DMT, ale ještě se nezobrazí.

Pro zobrazení se opět najede do panelu *DMT* a v záložce *Vložit model terénu* se vybere *Vložit i s půdorysem*. Poté se jako souřadnicová soustava vybere *JTSK*. DMT se vloží na svoji pozici a vykreslí se. Nyní je možné ho podložit ortofotomapou. Mapu lze najít pod tlačítkem *Webové mapové služby*.

Ve vlastnostech modelu terénu je vhodné nastavit výplň na hypsometrii ostrou s intervaly, které lze nastavit dle libosti, pouze je nutné zachovat minimum a maximum. Výsledný digitální model terénu je zobrazen na Obr. 14.





Obr. 14 Digitální model terénu dolní části horní nádrže z programu Atlas DMT [20]

### 6.3.2 Výpočet objemu nádrže pomocí Atlas DMT

Nejprve je nutné opět ohraničit nádrž polygonem pro přesnější výpočet objemu. To je možné udělat dvěma způsoby. Za prvé je možné nahrát .shp soubor polygonu narýsovaném v ArcGISu, zde je výhodou minimalizace odchylky ručního rýsování, zvláště při porovnání výsledků obou programů. V záložce *Soubory* se vybere *Import SHP*, dále se objeví okno, zda se má založit nový půdorys. Zde je nutné dát *Ne*, aby se polygon vložil na své souřadnice. Nakonec se vybere ve složce .shp soubor a potvrdí se. Druhou možností je ruční vymodelování polygonu břehové hrany nádrže. Polygon se vymodeluje pomocí tlačítka *Vložit polygon*, kde se nastaví jako hlavní objekt půdorys a zvolí se modelové vložení objektu. Poté už je možné obkreslit břehovou hranu nádrže.

Do nastavení výpočtu objemu se lze dostat stisknutím tlačítka *Výpočet objemu modelu terénu*. Ale ještě před tím, než se do nastavení vjede, je nutné klikem označit nakreslený polygon. Poté se už v nastavení jako *Hlavní model terénu* vybere *DMT* a jako *Srovnávací* se vybere *Rovina* s nadmořskou výškou hladiny, pro kterou se objem počítá. Po vypočtení se výsledky zapíší do protokolu a také vyskočí okno s výsledky. Objeví se více vypočtených objemů. Ten správný se

pozná podle znaménka minus, které značí, že objem byl vypočten pod srovnávací rovinou. Tento postup se opět zopakuje pro všechny nadmořské výšky hladin, které jsou potřeba k vymodelování batygrafické křivky, tedy od 167,5 m n. m. po 171,54 m n. m. Výsledky jednotlivých výpočtů se opišou do MS Excel, kde se čára zatopených objemů vymodeluje.

Tab. 4 Hodnoty zatopených objemů a ploch vypočtené programem Atlas DMT

H	V	A
[m n. m.]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]
167.5	0	0
168	109 273	602 393
168.5	708 274	1 814 003
169	1 950 397	3 172 903
169.5	3 802 413	4 113 897
170	6 041 914	4 817 510
170.5	8 564 252	5 249 064
171	11 259 547	5 476 713
171.5	14 019 700	5 557 778
171.54	14 242 126	5 563 522

#### 6.4 POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ S MANIPULAČNÍM ŘÁDEM

Jak již bylo psáno dříve, tak výsledky získané z programů ArcGIS a Atlas DMT jsou porovnány s manipulačním řádem nádrže (viz Tab. 5) poskytnutým Povodím Moravy, s. p. Maximální objem na kótě 171,54 m n. m. byl dle manipulačního řádu stanoven na 14,31 mil. m<sup>3</sup>. Obě metody se této hodnotě velmi přiblížily. Pomocí programu ArcGIS byl vypočten objem 14,22 mil. m<sup>3</sup>, což je výsledek lišící se od manipulačního řádu o 0,6 %. Objem stanovený programem Atlas DMT se rovná 14,24 mil. m<sup>3</sup>, což je výsledek s odchylkou 0,5 %. Odchyly objemů od manipulačního řádu jsou tedy minimální a lze je prohlásit za vyhovující pro další vyhodnocení.

Tab. 5 Porovnání výsledků s manipulačním řádem [21]

MANIPULAČNÍ ŘÁD			ARCGIS		ATLAS DMT	
H	V	A	V	A	V	A
[m n. m.]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]
167.5	0	0	0	0	0	0
168.0	112 477	619 049	111 224	627 409	109 273	602 393
168.5	724 291	1 853 894	749 237	1 987 109	708 274	1 814 003
169.0	2 012 568	3 273 114	2 090 110	3 387 681	1 950 397	3 172 903
169.5	3 913 965	4 179 025	4 002 019	4 175 624	3 802 413	4 113 897
170.0	6 172 727	4 833 328	6 235 023	4 731 544	6 041 914	4 817 510
170.5	8 704 416	5 261 162	8 700 062	5 107 031	8 564 252	5 249 064
171.0	11 409 888	5 501 761	11 315 879	5 318 335	11 259 547	5 476 713
171.5	14 132 601	5 652 224	14 006 084	5 403 036	14 019 700	5 557 778
171.54	14 313 275	5 750 000	14 223 214	5 407 086	14 242 126	5 563 522

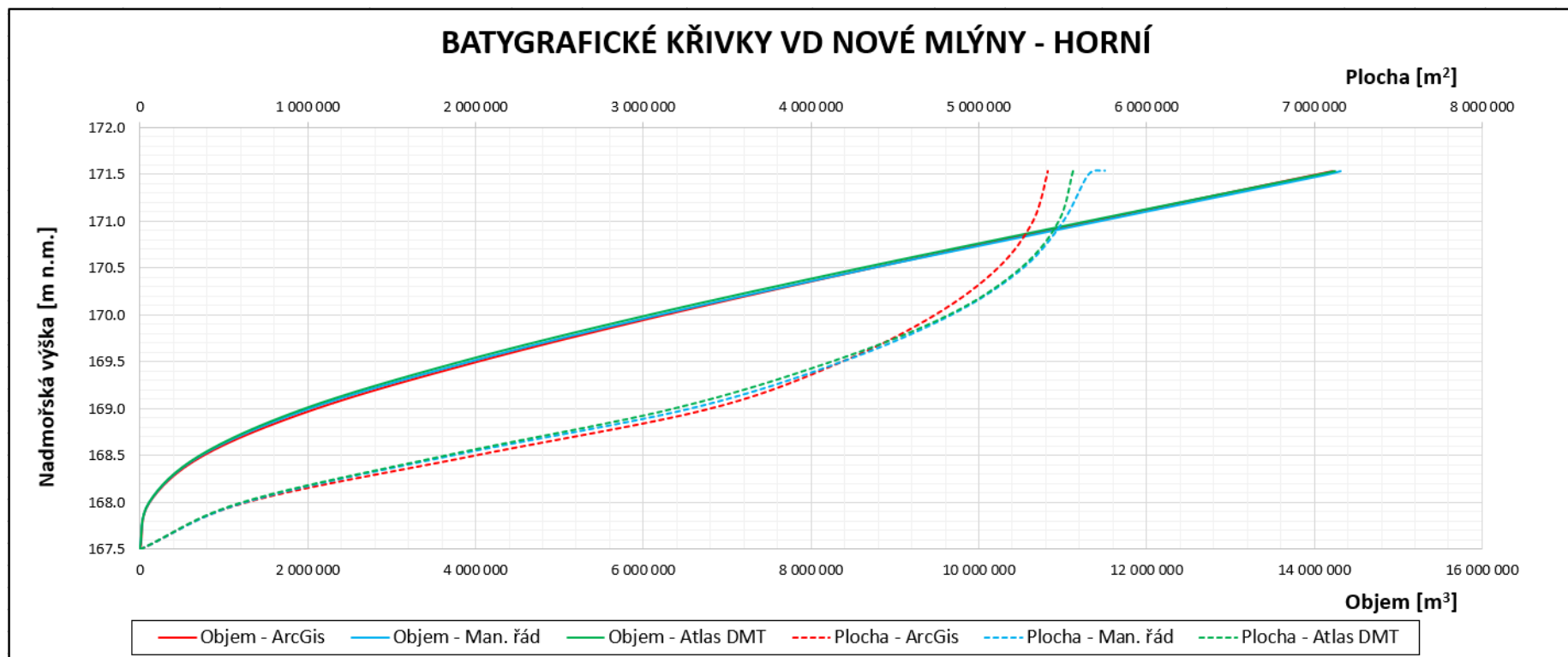
O něco větší odchylky lze pozorovat u vypočtených zatopených ploch. Zde byla manipulačním řádem stanovena maximální zatopená plocha na 5,75 mil. m<sup>2</sup>. Programem ArcGIS byla vypočtena plocha na kótě 171,54 m n. m. s hodnotou 5,41 mil. m<sup>2</sup>, což je výsledek s lišící se o 6,0 %. U programu Atlas DMT je odchylka menší, a to 3,2 % s hodnotou zatopené plochy 5,56 mil. m<sup>2</sup>. Tyto odchylky plochy jsou patrné až při vyšších hladinách. To může být způsobeno ručním ohraničením nádrže pro výpočet objemu a plochy, a tím pádem vnesením chyby do výpočtu.

Batygrafické křivky, nebo také čáry zatopených objemů a ploch, popisují závislost mezi hloubkou vody v nádrži a zatopeným objemem či plochou. Jedná se tak o nástroj, který nepřímo popisuje tvar zátopy nádrže.

V tomto případě jsou křivky ploch i objemů z programu ArcGIS, Atlas DMT a manipulačního řádu vloženy do jednoho grafu, aby byly patrné jejich rozdíly, viz Obr. 15. Čáry zatopených objemů jsou značeny plnými čarami a čáry zatopených ploch zase čárkovanými čarami. Manipulační řád je značený modrou barvou, Atlas DMT barvou zelenou a ArcGIS barvou červenou.

Celkové výsledky obou programů jsou vyhovující, a také se navzájem velmi podobají. Odchylky od manipulačního řádu jsou minimální, což je vidět v Obr. 15,

kde se křivky zatopených objemů téměř překrývají. Z těchto výsledků je možné vyvodit, že obě metody jsou přesné a dobře nastavené pro následující vyhodnocení zanášení horní části VD Nové Mlýny – Horní. Postup při modelování digitálních modelů terénu a vykreslení batygrafických křivek bude u let 1978, 2008 a 2018 stejný, jak bylo v předchozích kapitolách popsáno pro rok 2003, proto tento postup již nebude znovu popisován.



Obr. 15 Porovnání batygrafických křivek získaných z manipulačního řádu nádrže a programů ArcGIS a Atlas DMT [21]

## 7 PRAKTICKÁ APLIKACE

Vyhodnocení dat z let 1978, 2008 a 2018 bylo provedeno v programech ArcGIS a Atlas DMT. Program Atlas byl použit zejména pro porovnání výsledků s ArcGISem. Program ArcGIS byl mnohem názornější v oblasti vizualizace digitálního modelu terénu a také umožňoval další práci při porovnání jednotlivých let. Také zde bylo možné nastavit velikost rastrového kroku, proto byl i z hlediska výpočtu o něco přesnější. Byly také vytvořeny rozdílové mapy, kde jsou znázorněny oblasti největšího zanášení v nádrži. Více bude popsáno v následujících kapitolách.

### 7.1 DIGITÁLNÍ MODELY TERÉNU

Digitální modely terénu byly vymodelovány pro data v souřadnicovém systému JTSK a výškovém systému Balt po vyrovnání. Vyhodnocená horní část horní nádrže je od mostu u obce Drnholec až po most u obce Brod nad Dyjí.

#### 7.1.1 1978

U digitálního modelu terénu z roku 1978 je jasně patrné původní koryto řeky Dyje. Koryto se drží u pravého břehu nádrže, je spíše přímé, nejsou patrné výrazné meandry a není v žádném místě přerušeno například sedimenty.

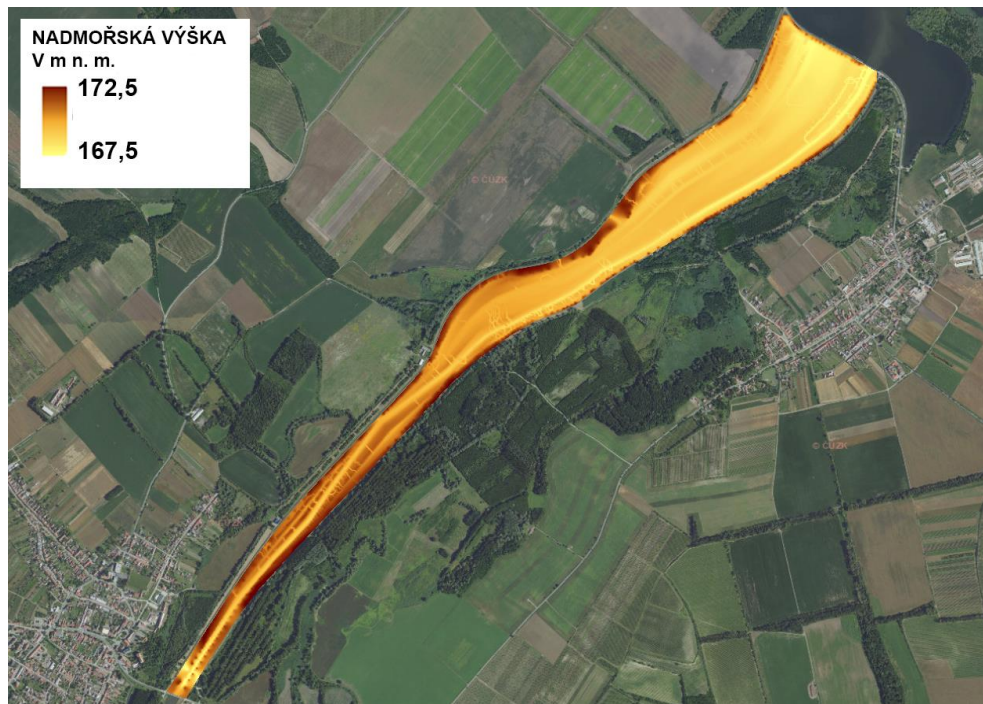


Obr. 16 Digitální model terénu nádrže z roku 1978 [20]



## 7.1.2 2008

Při vyhodnocení morfologie dna v roce 2008 je již možné pozorovat značné nánosy sedimentů v horní části u obce Drnholec. To značí tmavší barva na Obr. 17. Došlo zde k zanesení původního koryta, které se odklonilo a přimklo se k levému břehu. Ve střední části se koryto stáčí opět k pravému břehu nádrže, kde se drží ve své původní trase od roku 1978, až po most u obce Brod nad Dyjí. V místě zanesení původního koryta se začínají tvořit ostrovy z nánosů sedimentu.



Obr. 17 Digitální model terénu nádrže z roku 2008 [20]

## 7.1.3 2018

U morfologie dna z roku 2018 již není patrné původní koryto u obce Drnholec. Došlo zde k jeho zanesení, až ke střední části nádrže, kde je u pravého břehu opět patrné, ale už ne tak výrazně, jako v předcházejících letech. V místě zanesení koryta se vytvořily velké ostrovy z nánosů, které již vystupují nad hladinu vody a obrůstají vegetací. Tyto ostrovy je možné vidět i na leteckých snímcích nad vodním dílem.



Obr. 18 Digitální model terénu nádrže z roku 2018 [20]

## 7.2 VÝVOJ BATYGRAFICKÝCH KŘIVEK

V tomto případě jsou křivky ploch i objemů z let 1978, 2008 a 2018 vloženy do jednoho grafu, aby byl patrný jejich vývoj, a také změny, které se mezi jednotlivými roky dějí. Čáry zatopených objemů jsou značeny plnými čarami a čáry zatopených ploch zase čárkovanými čarami. Rok 1978 je značený modrou barvou, rok 2008 barvou zelenou a rok 2018 barvou červenou.

Tab. 6 Vývoj hodnot zatopených objemů a ploch získaných pomocí programu ArcGIS

1978			2008		2018	
H	V	A	V	A	V	A
[m n. m.]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]
167.5	0	0	0	0	0	0
168	2 330	10 382	0	0	355	760
168.5	12 621	37 415	53	296	857	1 306
169	43 878	87 429	407	1 985	1 737	2 448
169.5	104 910	276 382	14 160	142 865	5 350	17 436
170	366 121	704 614	179 443	552 788	49 712	223 282
170.5	766 243	889 203	537 914	848 072	305 668	772 260
171	1 242 811	1 011 813	1 017 295	1 049 092	758 743	980 351
171.5	1 775 445	1 122 883	1 572 277	1 166 573	1 263 945	1 048 232
171.54	1 820 529	1 131 105	1 619 067	1 172 513	1 306 089	1 059 236

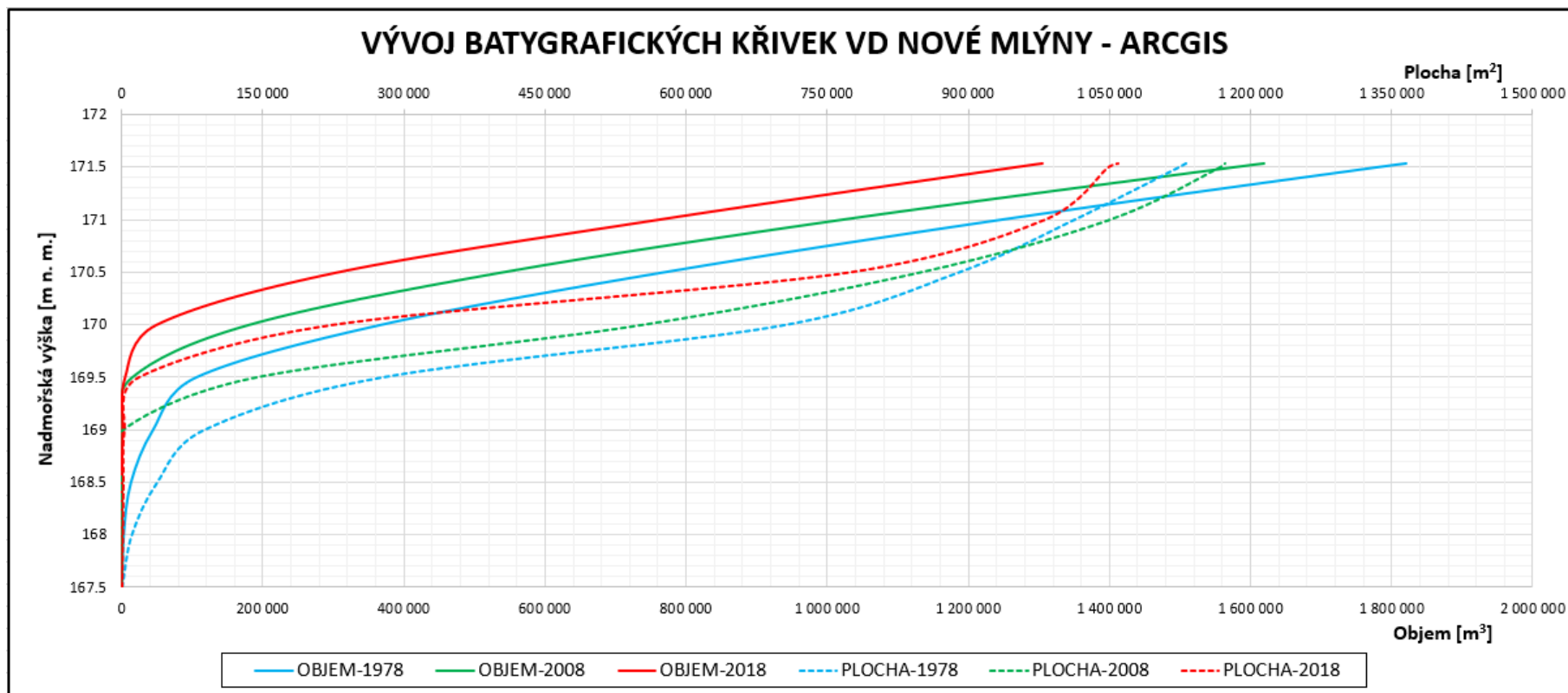


Tab. 7 Vývoj hodnot zatopených objemů a ploch získaných pomocí programu Atlas DMT

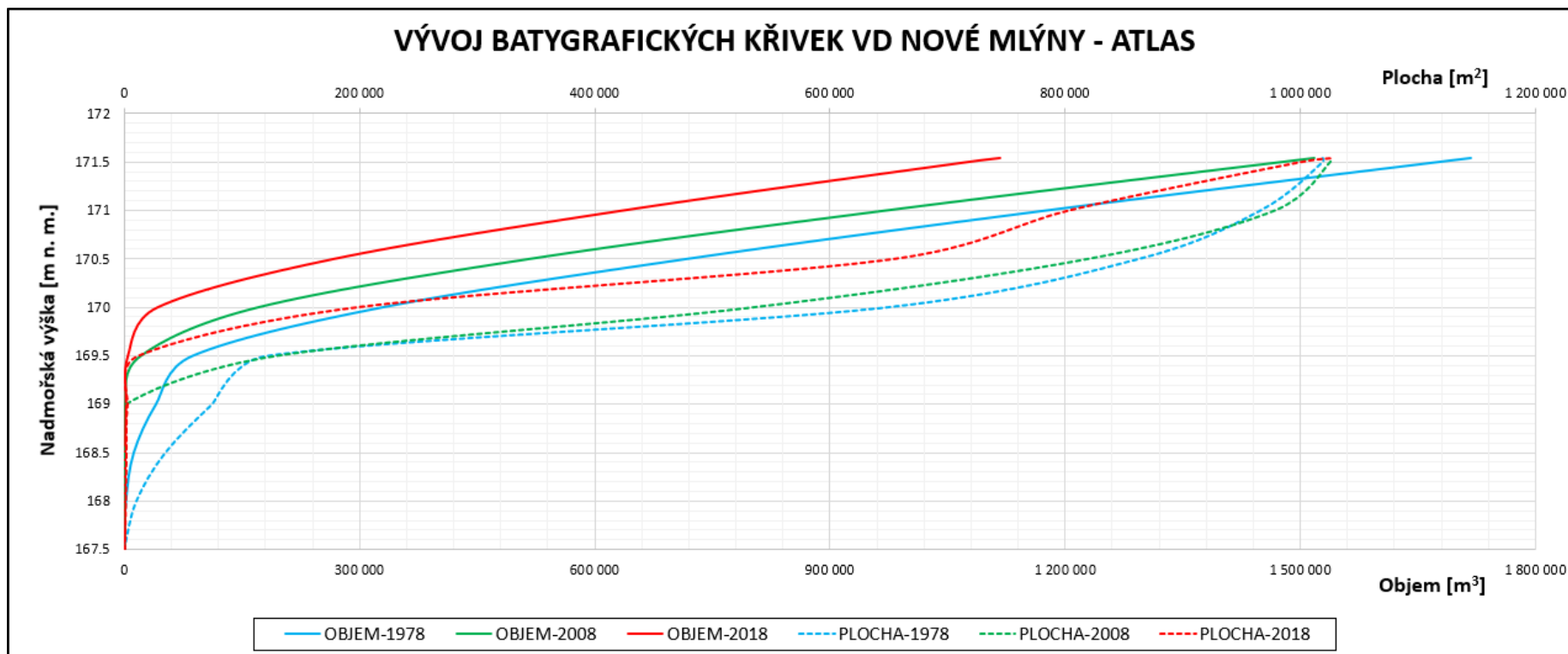
1978			2008		2018	
H	V	A	V	A	V	A
[m n. m.]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]
167.5	0	0	0	0	0	0
168	2 569	10 418	0	3	385	804
168.5	12 459	35 012	38	204	913	1 367
169	40 758	74 793	312	1 624	1 822	2 339
169.5	87 408	121 515	20 406	129 185	4 210	11 323
170	329 256	648 181	169 793	534 094	41 956	196 598
170.5	717 898	862 805	516 551	819 255	267 223	654 098
171	1 176 671	966 374	971 987	978 352	636 707	802 705
171.5	1 676 847	1 019 308	1 477 054	1 025 412	1 076 945	1 000 464
171.54	1 717 620	1 019 308	1 518 070	1 025 412	1 117 510	1 027 346

Z Tab. 6 a 7 a Obr. 19 a 20 je jasně patrný vývoj křivek. Dochází ke snižování objemů i ploch od roku 1978, což je způsobené zejména již zmíněným zanášením nádrže. Program ArcGIS stanovil maximální objem v roce 1978 horní části horní nádrže na 1,82 mil. m<sup>3</sup> a maximální plochu na 1,13 mil. m<sup>2</sup>. Maximální objem stanovený Atlasem se rovná 1,72 mil. m<sup>3</sup> a maximální plocha je 1,02 mil. m<sup>2</sup>. Jsou zde tedy patrné rozdíly mezi jednotlivými metodami, které mohou být způsobeny zvýšením přesnosti rastrového kroku u programu ArcGIS a také vyhlazením terénu při modelování nepravidelné trojúhelníkové sítě programem Atlas DMT.

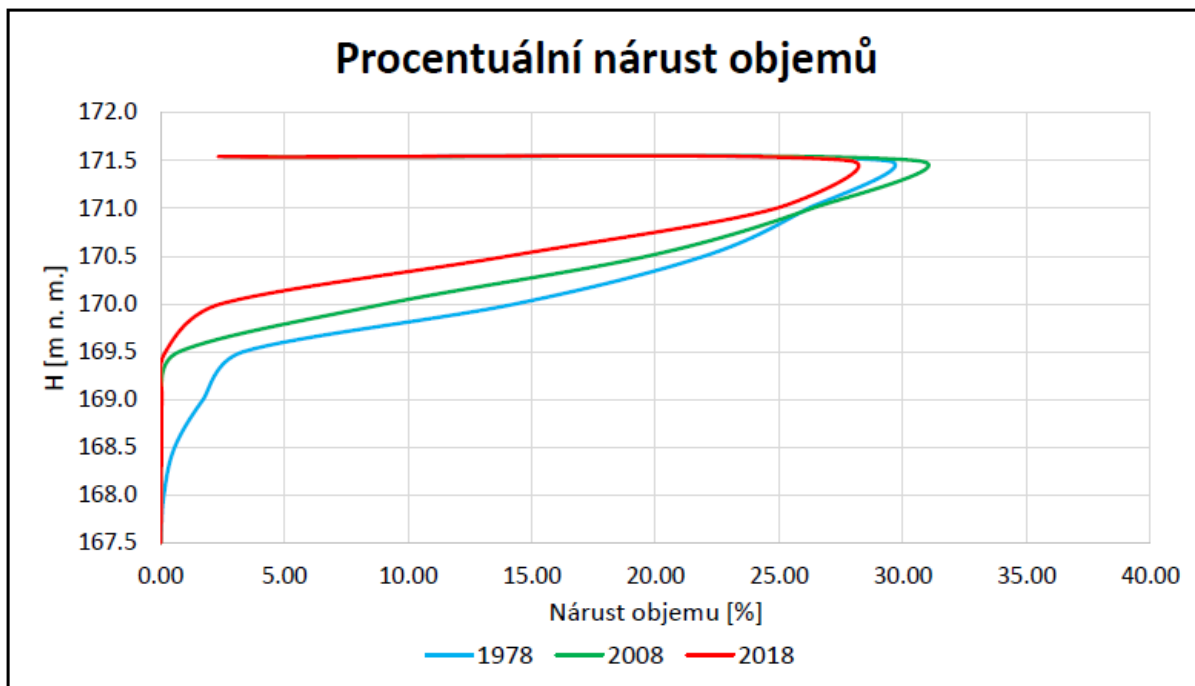
Dalším problémem, kterého je možné si všimnout u obou grafů, je že při porovnání čar zatopených ploch z let 1978 a 2008 dochází k navýšení celkové plochy oproti původnímu stavu. Tento údaj může být zkreslený rozdílem zaměření v jednotlivých letech. Jak již bylo psáno dříve, tak zaměření z roku 1978 je vypočítané z topografických vojenských map, a proto lze o jeho přesnosti diskutovat.



Obr. 19 Vývoj batygrafických křivek vypočtených programem ArcMap



Obr. 20 Vývoj batygrafických křivek vypočtených programem Atlas DMT

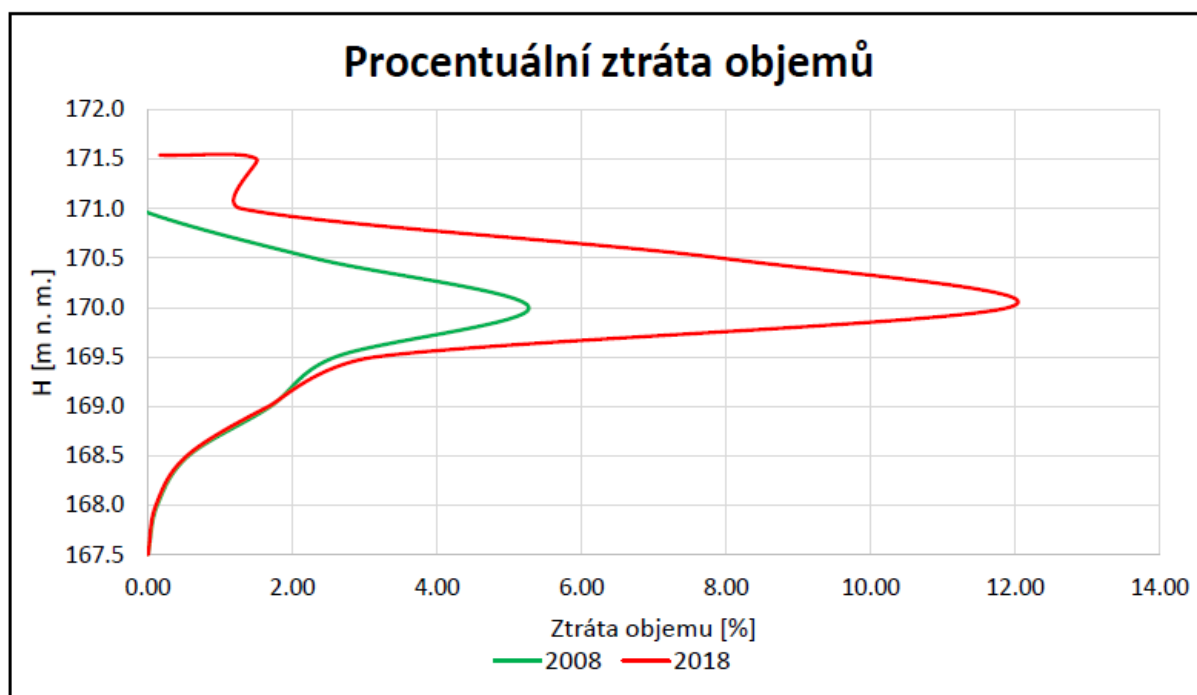


Obr. 21 Procentuální nárůst objemů

Na Obr. 21 je vykreslen graf procentuálního nárůstu objemů v závislosti na výšce hladiny pro jednotlivé roky. Je vidět, že u roku 1978 objem procentuálně roste již od kóty 168,0 m n. m., ale u let 2008 a 2018 začíná nárůst objemů až na kótě 169,5 m n. m. To může být způsobené zanesením dna nádrže. Další důležitá část grafu je na kótě 170,0 m n. m., zde dochází k největšímu procentuálnímu rozdílu objemu mezi lety 1978 a 2018, což značí, že na této kótě dochází k největšímu zanášení. Kóta 170,0 m n. m. odpovídá místu vzniku ostrovů ze sedimentu. Jak již bylo vysvětleno, tak je možné pozorovat nárůst maximálního objemu v roce 2008 oproti roku 1978, což může být způsobeno nepřesnostmi vnesenými do výpočtu.

## 8 SHRNU TÍ VÝSLEDKŮ

V předchozích kapitolách byl popsán vývoj objemů, zatopených ploch a morfologie dna horní části horní nádrže VD Nové Mlýny. Z výsledků je jasně patrné, že dochází k postupnému zanášení nádrže. Nejvíce je to viditelné v části nádrže u obce Drnholec. Zde se vytváří velké nánosy sedimentů, které tvoří ostrovy, a ty velmi snižují objem nádrže a narušují původní koryto. V Tab. 6 a 7 a Obr. 19 a 20 je také vidět, že se rychlost zanášení v průběhu let zvyšuje. Během prvních třiceti let, od uvedení nádrže do provozu, se objem snížil o 200 tis. m<sup>3</sup> a v následujících deseti letech byl pokles objemu až o 300 tis. m<sup>3</sup>. Celkem během čtyřiceti let užívání nádrže došlo ke ztrátě více než 500 tis. m<sup>3</sup> objemu, což odpovídá více než jedné čtvrtině z původního zásobního objemu nádrže.



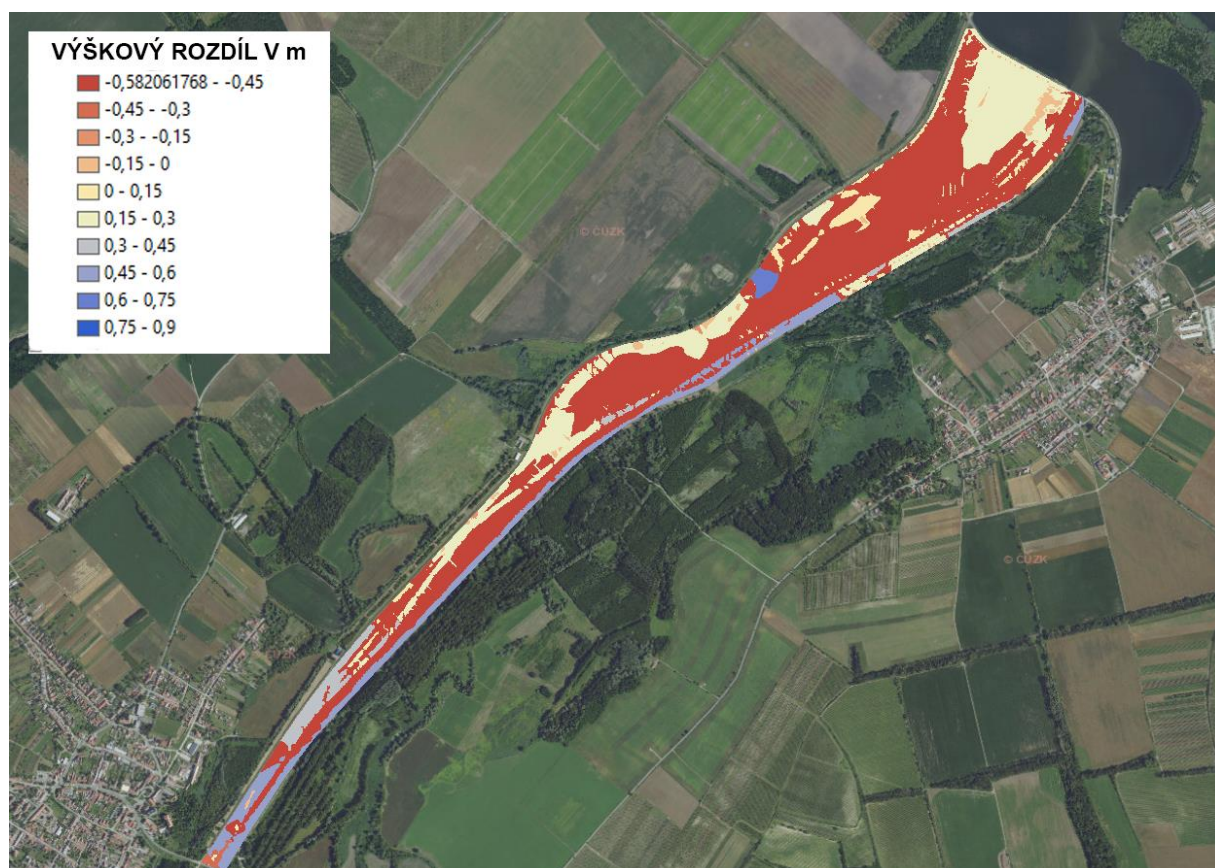
Obr. 22 Procentuální ztráta objemu od roku 1978

Na Obr. 22 je vykreslen graf ztráty objemu pro roky 2008 a 2018. Rok 1978 je brán jako nulová hodnota, ke které se ztráty pro jednotlivé roky počítají. Jak již bylo zmíněno dříve, tak hladina s maximální ztrátou, která činí 12 %, je na kótě 170,0 m n. m., což odpovídá vzniklým ostrovům.

## 8.1 ROZDÍLOVÉ MAPY

V rámci shrnutí a popsání výsledků byly zpracovány rozdílové mapy. Tyto mapy zobrazují porovnání morfologií dna mezi dvěma zaměřenými. Červené plochy zobrazují místa, kde dochází k většímu zanášení. Světlé plochy značí místa, kde dochází k malému zanášení a modrá místa jsou ta, kde nedochází k zanášení, ale dochází zde k vymílání dna. Modré plochy je možné vidět hlavně kolem břehů, to může být způsobené nedostatečným zaměřením dna v oblasti břehů, nebo také odnosem splavenin proudem řeky Dyje do nižších částí nádrže.

První rozdílová mapa (viz Obr. 23) je mezi lety 1978 a 2008. Zde je možné vidět velkou část červených ploch, ale také světlých ploch, kde dochází pouze k mírné sedimentaci. I zde je patrný odklon původního koryta k levému břehu a ve stejném místě tvorba ostrovů z nánosů. Velké zanášení probíhá také v dolní části nádrže.

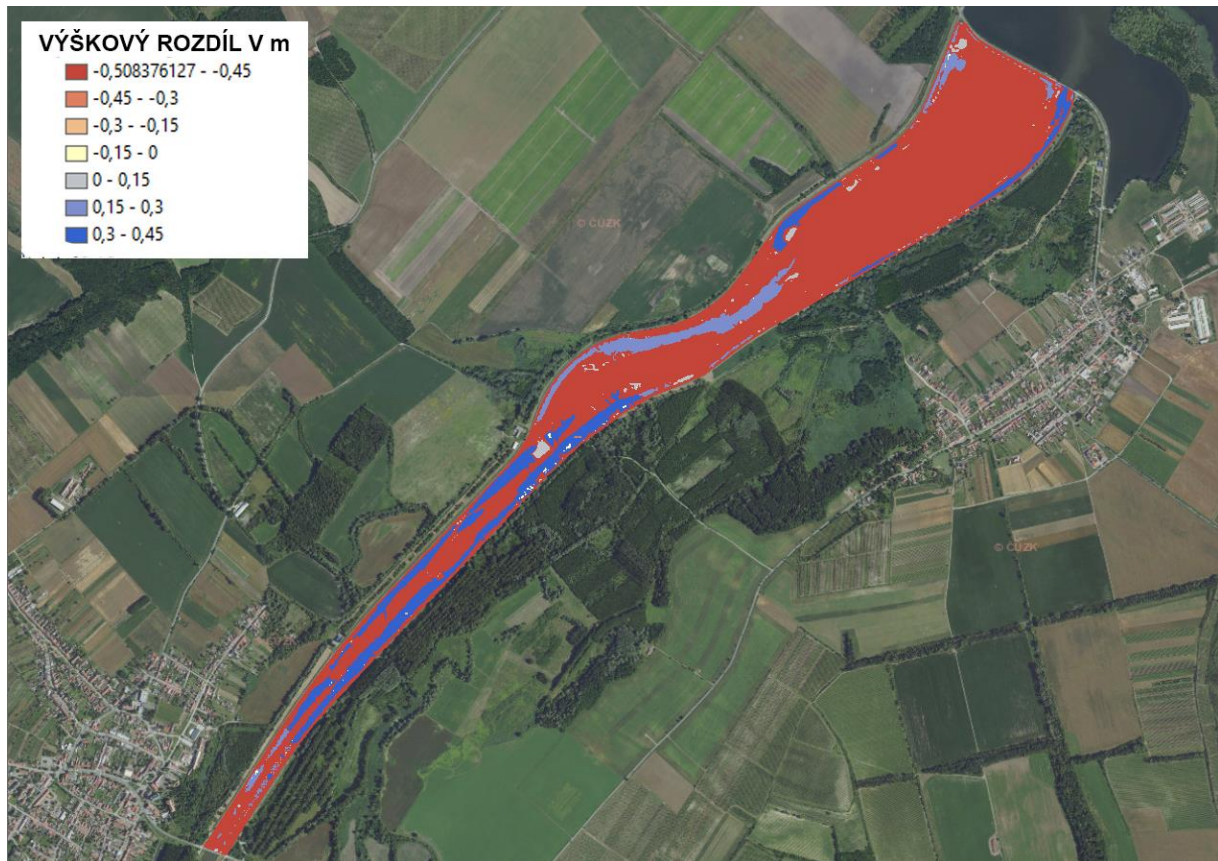


Obr. 23 Rozdílová mapa mezi lety 1978 a 2008 [20]

Druhá rozdílová mapa (viz Obr. 24) je mezi lety 2008 a 2018. Zde je na první pohled vidět, že značnou část nádrže tvoří červené plochy symbolizující zanesení

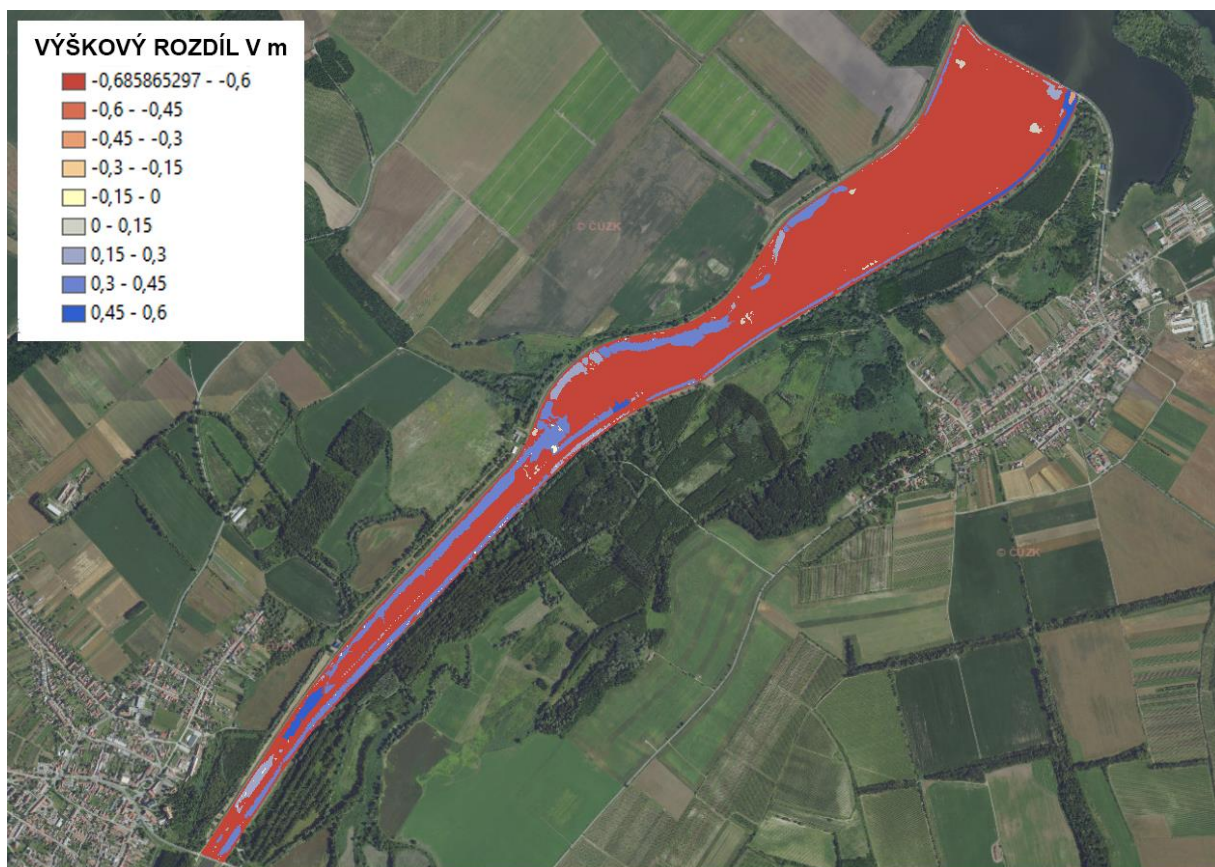


nádrže. Světlé plochy se zde téměř nevyskytují a modré plochy jsou opět kolem břehů a u odkloněného koryta. Zajímavé je, že v místě, kde se tvoří zmíněné ostrovy, dochází k velké ztrátě objemu, ale zároveň v blízkém okolí ostrovů dochází k vymílání dna. To nasvědčuje k akumulaci sedimentů právě na ostrovech.



Obr. 24 Rozdílová mapa mezi lety 2008 a 2018 [20]

Třetí a poslední rozdílová mapa značí vývoj zanesení mezi lety 1978 a 2018 (viz Obr. 25). Je velmi podobná s předchozí mapou, což značí, že hlavní vývoj morfologie dna zanesením proběhl v posledních deseti letech. Přibylo zde červených ploch, což je vzhledem k vývoji logické.



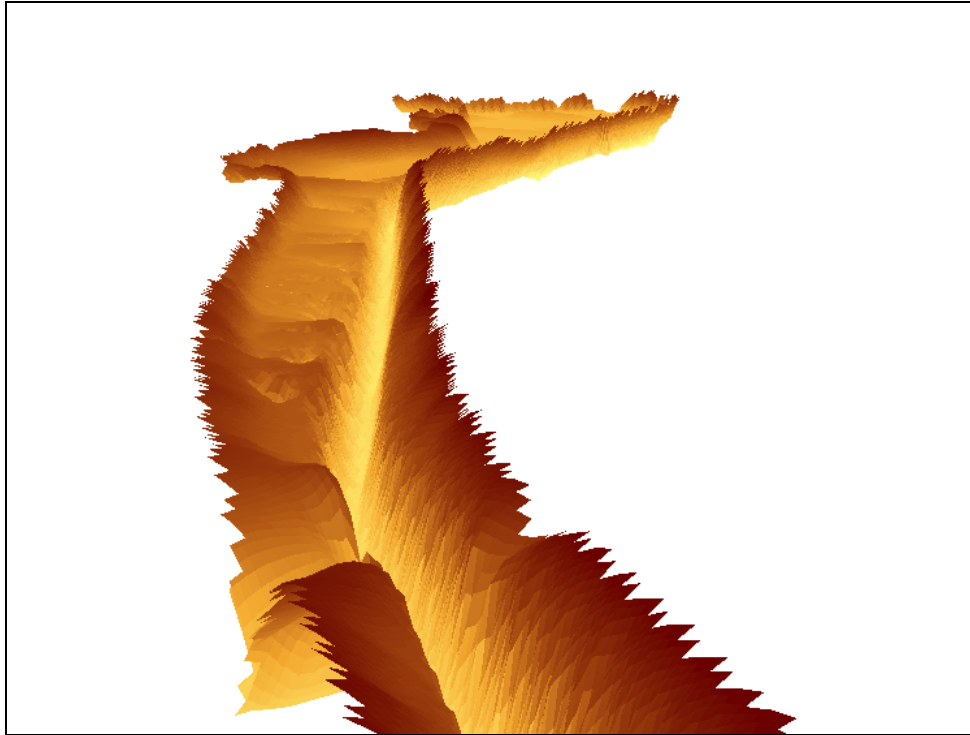
Obr. 25 Rozdílová mapa mezi lety 1978 a 2018 [20]

## 8.2 3D MODELY A ZNÁZORNĚNÍ ZANÁŠENÍ NÁDRŽE

Dalším znázorněním výsledků mohou být 3D modely terénu, které byly vytvořeny pomocí modulu ArcScene. Pohled na 3D modelech je od mostu u obce Drnholec směrem do nádrže, tedy pohled na místo tvořících se ostrovů z nánosů. Na těchto 3D snímcích jsou zobrazené vždy dva modely terénu přes sebe, každý značený jinou barvou, tak aby bylo rozeznatelné, v jakém místě došlo k zanesení původního dna zátopy. Pro názornější ukázkou byly modely dvacet pětkrát převýšeny.

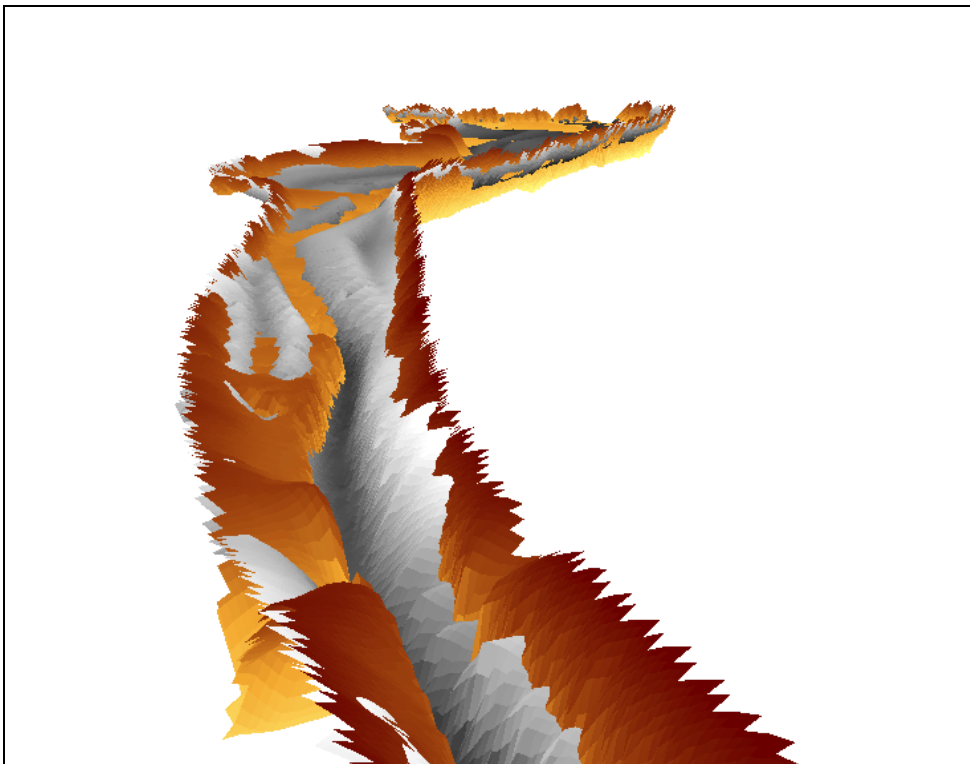
Obr. 26 zobrazuje 3D model dna z roku 1978, model je plynulý a je zde dobře viditelné původní koryto u pravého břehu nádrže.





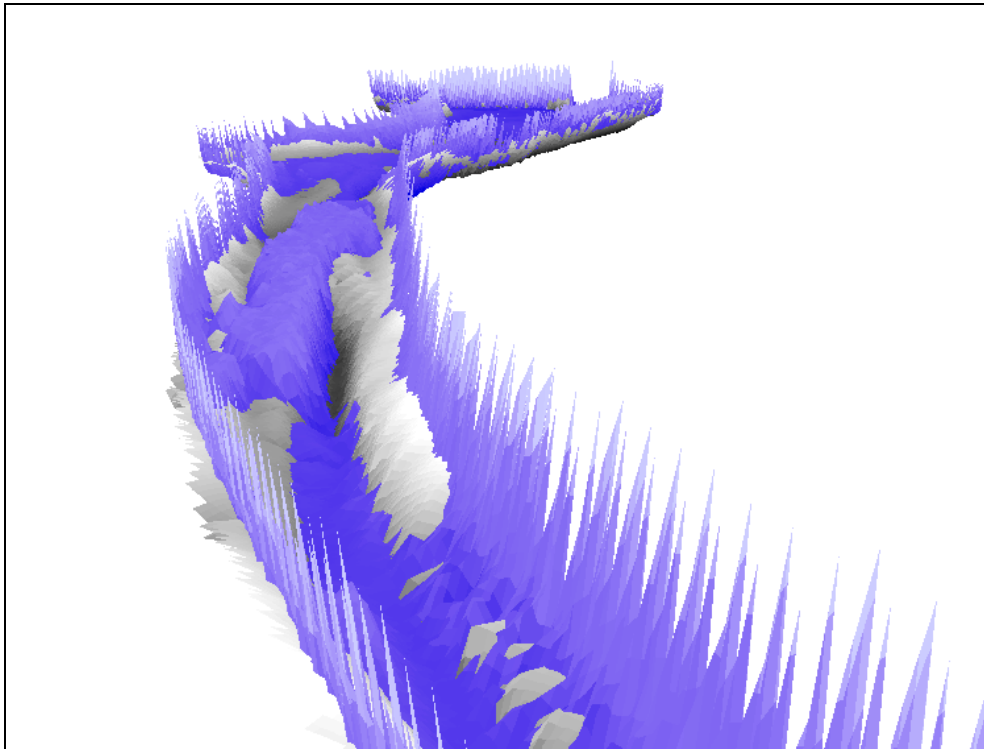
Obr. 26 3D model dna nádrže v roce 1978

V Obr. 27 je oproti předchozímu obrázku přidán 3D model dna z roku 2008, který má šedou barvu. Zde je velice názorně zobrazeno, jak dochází k zanášení původního koryta oproti roku 1978, a také jak se koryto odklání k levému břehu.



Obr. 27 3D modely dna nádrže v letech 1978 a 2008

Obr. 28 zobrazuje šedý model z roku 2008 a modrý z roku 2018. Zde je možné pozorovat, jak v místě odkloněného koryta vznikly velké ostrovy z nánosů, které musí řeka Dyje obtékat zleva i zprava. U modelu z roku 2018 je možné vidět velké převýšení břehových hran. To je způsobené spojením zaměření dna s 5G modelem okolní krajiny, který zobrazuje hlavně břehové násypy. Ty jsou stejně jako celý 3D model dvacet pětkrát převýšeny.



Obr. 28 3D modely dna nádrže v letech 2008 a 2018

## 9 ZÁVĚR

Jedním z cílů práce bylo seznámení se s problematikou zaměření dna nádrží a koryt řek pomocí batymetrického měření, a také jejich zanášením sedimenty. Tento jev je v posledních letech umocňován intenzivní zemědělskou činností a klimatickou změnou.

V rámci projektu INTERREG ATCZ28 – SEDECO byla poskytnuta data pro vymodelování morfologie dna horní části nádrže Nové Mlýny – horní z let 1978, 2003, 2008 a 2018. Dílčím cílem práce bylo data zpracovat a upravit do požadovaného formátu, aby mohla být dále zpracována v programech ArcGIS a Atlas DMT. Zpracováním dat vznikly digitální modely terénu a batygrafické křivky nádrže, které sloužily jako vhodný materiál k posouzení míry zanesení nádrže.

Dalším dílčím cílem bylo stanovit postup zpracování dat zmíněnými programy tak, aby vyhodnocení bylo přesné a odpovídalo skutečnému stavu nádrže a obě metody verifikovat. Tento cíl byl splněn pomocí zaměření dolní části horní nádrže z roku 2003. Byl vymodelován digitální model terénu pomocí ArcGISu a Atlasu DMT, ze kterého se vypočítaly hodnoty pro vykreslení batygrafických křivek nádrže. Získané křivky byly porovnány s batygrafickými křivkami z manipulačního řádu nádrže, který představoval skutečný stav nádrže pro dané období. Batygrafické křivky v manipulačním řádu totiž vycházejí z měření z roku 2003. Odchyly čar zatopených objemů od čar z manipulačního řádu se pohybovaly u obou programů kolem 0,5 %, což je vyhovující vzhledem k řadě nejistot vnesených do výpočtu. Ty vycházející hlavně z ručního ohraničení nádrže, a také z řídkého proměření dna nádrže.

Vzhledem k ověření správnosti postupu se dále pokračovalo vyhodnocením zanášení horní části horní nádrže mezi lety 1978, 2008 a 2018, kde byly nejprve vymodelovány digitální modely terénu v programu ArcGIS a Atlas DMT a vypočteny hodnoty batygrafických křivek. Výsledky z jednotlivých let byly porovnány v tabulkách a grafech, kde byl jasně patrný vývoj zanášení nádrže. V průběhu čtyřiceti let od uvedení nádrže do provozu došlo dle programu ArcGIS ke ztrátě 500 tis. m<sup>3</sup>, což odpovídá 28 % celkového zásobního objemu nádrže. Program Atlas DMT stanovil ztrátu objemu až 600 tis. m<sup>3</sup>, což se rovná 35 % celkového zásobního objemu nádrže. Tento rozdíl mezi oběma metodami může

být způsoben zvýšením přesnosti rastrového kroku u programu ArcGIS a také vyhlazením terénu při modelování nepravidelné trojúhelníkové sítě programem Atlas DMT.

V rámci vyhodnocení zanášení byla stanovena místa, kde dochází k největšímu ovlivnění morfologie dna sedimenty. Prvním místem je původní koryto, které bylo v horní části zaneseno a došlo k jeho částečnému odklonění. V těchto místech došlo také ke vzniku ostrovů z nánosů, což je další z problematických míst. Dochází zde ke ztrátě velké části zásobního objemu a vzhledem k problematickému obtékání ostrovů také k vymílání dna kolem. Posledním místem, kde dochází ke značné sedimentaci, je dolní část nádrže před mostem u obce Brod nad Dyjí. Zde dochází k zanášení před vtokem vody do dolní části horní nádrže.

Závěrem je důležité zmínit, že problematika zanášení nádrží by měla být jedním z témat, které je nutné řešit. Vzhledem k nastávající klimatické změně může dojít k řadě problémů, mezi které může patřit i nedostatek pitné vody. Zjištěním současného stavu nádrží a obnovením jejich původních zásobních objemů se může alespoň částečně těmto problémům předejít, resp. zmírnit dopady klimatické změny.

## 10 SEZNAM ZDROJŮ A POUŽITÉ LITERATURY

- [1] STARÝ, Miloš. *Nádrže a vodohospodářské soustavy*. Přednáška. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta stavební, 13.2.2020
- [2] UNESCO. *The Impact of global change on water resources: the response of UNESCO's International Hydrological Programme* [online]. 2011 [cit. 2021-5-24]. Dostupné z: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000192216>
- [3] NOVÁK, Pavel. *Nové technologie batymetrie vodních toků a nádrží pro stanovení jejich zásobních kapacit a sledování množství a dynamiky sedimentů: certifikovaná metodika výsledků výzkumu, vývoje a inovací*. Praha: VÚMOP, 2017. ISBN 978-80-87361-81-8.
- [4] MARTON, Daniel. *Nejistoty zatěžující vodohospodářské řešení zásobního objemu údolní nádrže: Uncertainty impact on water management analysis of open water reservoir storage capacity : zkrácená verze habilitační práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, nakladatelství VUTIUM, 2018. ISBN 978-80-214-5689-1.
- [5] Coral Reef Bathymetry Survey. *BLUENOMADS.ORG, INC.* [online]. 2016 [cit. 2021-5-24]. Dostupné z: <https://www.bluenomads.org/survey-philippines/bathymetry-survey-multibeam-sonar-sidescan-3d-single-beam/>
- [6] KNAP, Robert a kol. *Porovnání diskrétních a spojitých metod měření dna vodních útvarů: Akustický stín vznikající při použití sonaru*. VARS BRNO, 2015.
- [7] SEABEAM. *Multibeam Sonar: Theory of Operation*. East Walpole: L-3 Communications SeaBeam Instruments, 2000.
- [8] MARVAL, Štěpán a kol. *Batymetrické měření pro stanovení morfologie dna vodní nádrže. Vodohospodářské technicko-ekonomické informace* [online]. 2018, 12.12.2018, 60(6), 7 [cit. 2021-5-24]. ISSN 1805-6555. Dostupné z: <https://www.vtei.cz/2018/12/batymetricke-mereni-pro-stanoveni-morfologie-dna-vodni-nadrze/>
- [9] VARS BRNO A.S. *CAPEREA – měřicí plavidlo*. VARS [online]. [cit. 2021-5-24]. Dostupné z: <http://www.vars.cz/caperea-merici-plavidlo>

- [10] ČÚZK. Transformace souřadnic. ČÚZK: *Geoportál* [online]. 2010 [cit. 2021-5-24]. Dostupné z: [https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(atw4pu1hdyq22xyfqdumor1\)\)/Default.aspx?head\\_tab=sekce-01-gp&mode=TextMeta&text=wcts&menu=19](https://geoportal.cuzk.cz/(S(atw4pu1hdyq22xyfqdumor1))/Default.aspx?head_tab=sekce-01-gp&mode=TextMeta&text=wcts&menu=19)
- [11] ČÚZK. Souřadnicové systémy. ČÚZK: *Geoportál* [online]. 2010 [cit. 2021-5-24]. Dostupné z: [https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(0wg5wko52ubuomrkghy5n2q0\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&side=sit.trans&text=souradsystemy](https://geoportal.cuzk.cz/(S(0wg5wko52ubuomrkghy5n2q0))/Default.aspx?mode=TextMeta&side=sit.trans&text=souradsystemy)
- [12] STARÝ, Miloš. *Hydrologie (Modul 01)*. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta stavební, 2005.
- [13] STARÝ, Miloš. *Nádrže a vodohospodářské soustavy (Modul 01)*. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta stavební, 2006.
- [14] KLIMÁNEK, Martin. *Digitální modely terénu*. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2006. ISBN 80-7157-982-3.
- [15] GOLDEN SOFTWARE. Calculate the volume or area between contours in Surfer. *GoldenSoftware* [online]. 2018 [cit. 2021-5-24]. Dostupné z: <https://support.goldensoftware.com/hc/en-us/articles/226661868-How-can-I-calculate-the-volume-or-area-between-contours-in-Surfer->
- [16] LI, Zhilin, Christopher ZHU a Chris GOLD. *Digital Terrain Modeling: Principles and Methodology* [online]. CRC Press, 2004 [cit. 2021-5-24]. ISBN 9780203486740. Dostupné z: <https://books.google.cz/books?id=JvEo41LqjtUC>
- [17] POVODÍ MORAVY S. P. Vodní díla: Nové Mlýny - horní, Nové Mlýny - střední, Nové Mlýny - dolní. *Povodí Moravy* [online]. 2010 [cit. 2021-5-24]. Dostupné z: <http://www.pmo.cz/cz/o-podniku/vodni-dila/>
- [18] ČÚZK. Prohlížečcí služby - WMS: WMS - ZM10. ČÚZK: *Geoportál* [online]. [cit. 2021-5-24]. Dostupné z: [https://geoportal.cuzk.cz/WMS\\_ZM10\\_PUB/WMSservice.aspx](https://geoportal.cuzk.cz/WMS_ZM10_PUB/WMSservice.aspx)

- [19] MLEJNKOVÁ, Hana. *Zatopené kulturní a přírodní dědictví jižní Moravy*. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka, veřejná výzkumná instituce, 2016. ISBN 978-80-87402-52-8.
- [20] ČÚZK. Prohlížeč služby - WMS: WMS - Ortofoto. ČÚZK: *Geoportál* [online]. [cit. 2021-5-24]. Dostupné z: [https://geoportal.cuzk.cz/WMS\\_ORTOFOTO\\_PUB/WMSservice.aspx](https://geoportal.cuzk.cz/WMS_ORTOFOTO_PUB/WMSservice.aspx)
- [21] POVODÍ MORAVY, S.P. *MANIPULAČNÍ ŘÁD pro vodní dílo Nové Mlýny HORNÍ NÁDRŽ: Číselná křivka objemů a ploch VDNM\_Horní nádrž*. Okresní úřad Břeclav: referát životního prostředí, 2001.
- [22] ESRI. ArcGIS tutorials. *ArcGIS Desktop* [online]. [cit. 2021-5-24]. Dostupné z: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/get-started/introduction/arcgis-tutorials.htm>
- [23] *Google Maps* [online]. [cit. 2021-5-24]. Dostupné z: <https://www.google.cz/maps/@48.8865514,16.5349456,3a,41.4y,200.2h,88.45t/data=!3m6!1e1!3m4!1sNS8w6u-TQLxXUKg2c74qkQ!2e0!7i16384!8i8192>
- [24] ŠOUL, Miroslav. *Atlas DMT*. Seminář. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta stavební, 14.9.2020, 15.9.2020
- [25] ŠOUL, Miroslav, 2017, *Atlas DMT - základy*, YouTube video. [[cit. 2021-5-24]. Dostupné z: [https://www.youtube.com/playlist?list=PLzb87P\\_TwYm1NVtlriBdnrSquMjnn80W3](https://www.youtube.com/playlist?list=PLzb87P_TwYm1NVtlriBdnrSquMjnn80W3).



## 11 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A VELIČIN

DMR 5G	digitální model reliéfu České republiky 5. generace
GPS	Global Positioning System
GIS	geografický informační systém
SONAR	SOund Navigation And Ranging
GNSS-RTK	Global Navigation Satellite System – Real Time Kinematic
AUV	Autonomous Under Water Vehicle
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
S-JTSK	Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
ETRS	European Terrestrial Reference System
WGS	World Geodetic System
UTM	Universal Transverse Mercator
BPV	Balt po vyrovnání
2D	dvojměrný
3D	trojměrný
TIN	Triangulated Irregular Network
DMT	digitální model terénu (angl. DTM)
DTM	Digital Terrain Model
DVM	digitální výškový model (angl. DEM)
DEM	Digital Elevation Model
VD	vodní dílo
SEDECO	Sedimenty a ekosystémové služby ve vzájemném působení s povodněmi a suchem v pohraniční oblasti AT-CZ
VÚV TGM	Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka
FAST VUT	Fakulta stavební Vysoké učení technické v Brně
ÚVHK	Ústav vodního hospodářství krajiny

$\Delta H$	přírůstek výšky plnění nádrže	[m]
$H_n$	koncový bod testované výšky plnění	[m]
$H_i$	výška plnění v diskrétním bodě $i$	[m]
$H_{i+1}$	navýšená výška plnění	[m]
$A_i$	zatopená plocha v diskrétním bodě $i$	[m <sup>2</sup> ]
$A_{i+1}$	zatopená plocha odpovídající výšce plnění $H_{i+1}$	[m <sup>2</sup> ]
$V_i$	objem plnění nádrže v diskrétním bodě $i$	[m <sup>3</sup> ]
$V_{i+1}$	objem plnění nádrže odpovídající výšce plnění $H_{i+1}$	[m <sup>3</sup> ]

## 12 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Batymetrická mapa [5] .....	3
Obr. 2 Akustický stín vznikající při použití jednopaprskového sonaru [6] .....	4
Obr. 3 Konstrukce EcoMapper AUV [8] .....	5
Obr. 4 Konstrukce plavidla CAPEREA [9] .....	6
Obr. 5 Bathygrafické křivky [12] .....	8
Obr. 6 Základní mapa VD Nové Mlýny a okolí [18].....	12
Obr. 7 Ohraničení horní nádrže a její horní části [20] .....	13
Obr. 8 Zaměřené body v roce 2003 [20] .....	14
Obr. 9 Textový soubor s upravenými daty.....	17
Obr. 10 Rastr dolní části horní nádrže [20].....	19
Obr. 11 Digitální výškový model [20].....	20
Obr. 12 Boční hráz horní části horní nádrže [23] .....	20
Obr. 13 Digitální model terénu dolní části horní nádrže z programu ArcGIS [20] 21	
Obr. 14 Digitální model terénu dolní části horní nádrže z programu Atlas DMT [20] .....	24
Obr. 15 Porovnání bathygrafických křivek získaných z manipulačního řádu nádrže a programů ArcGIS a Atlas DMT [21] .....	28
Obr. 16 Digitální model terénu nádrže z roku 1978 [20].....	29
Obr. 17 Digitální model terénu nádrže z roku 2008 [20].....	30
Obr. 18 Digitální model terénu nádrže z roku 2018 [20].....	31
Obr. 19 Vývoj bathygrafických křivek vypočtených programem ArcMap .....	33
Obr. 20 Vývoj bathygrafických křivek vypočtených programem Atlas DMT .....	34
Obr. 21 Procentuální nárůst objemů.....	35
Obr. 22 Procentuální ztráta objemu od roku 1978 .....	36
Obr. 23 Rozdílová mapa mezi lety 1978 a 2008 [20].....	37

Obr. 24 Rozdílová mapa mezi lety 2008 a 2018 [20].....	38
Obr. 25 Rozdílová mapa mezi lety 1978 a 2018 [20].....	39
Obr. 26 3D model dna nádrže v roce 1978.....	40
Obr. 27 3D modely dna nádrže v letech 1978 a 2008.....	40
Obr. 28 3D modely dna nádrže v letech 2008 a 2018.....	41

### 13 SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Objemy jednotlivých nádrží VD Nové Mlýny [17].....	13
Tab. 2 Hodnoty zatopených objemů a ploch z manipulačního řádu nádrže [21].	16
Tab. 3 Hodnoty zatopených objemů a ploch vypočtené programem ArcGIS .....	22
Tab. 4 Hodnoty zatopených objemů a ploch vypočtené programem Atlas DMT .	25
Tab. 5 Porovnání výsledků s manipulačním řádem [21] .....	26
Tab. 6 Vývoj hodnot zatopených objemů a ploch získaných pomocí programu ArcGIS .....	31
Tab. 7 Vývoj hodnot zatopených objemů a ploch získaných pomocí programu Atlas DMT .....	32