

# UNIVERZITA KARLOVA

## Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Geografie

Studijní obor: Fyzická geografie a geoinformatika



**Jindřiška Kuchynková**

### **Zanášení vodního díla Kadaň**

Siltation of the Kadaň water reservoir

Bakalářská práce

Vedoucí práce:

RNDr. Miroslav Šobr, Ph.D.

Praha, 2018

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně a uvedla jsem všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne 6. 7. 2018

.....

**Poděkování:**

Na tomto místě bych ráda poděkovala svému vedoucímu této bakalářské práce, panu RNDr. Miroslavu Šobrovi za množství nápadů, připomínek a oprav v mé práci. Dále bych ráda poděkovala řediteli závodu Chomutov, panu Ing. P. Egerovi za cenné informace. V neposlední řadě mé rodině za pravidelné vlny energie po celou dobu psaní.

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

## Téma práce

Zanášení vodního díla Kadaň

## Cíle práce

Cílem práce bude výpočet objemu zazemnění vodního díla Kadaň a posouzení jeho vývoje v čase. Dalším cílem práce bude provedení rešerše na téma zanášení přehradních nádrží, jaké jsou způsoby měření (batymetrie, geofyzikální metody), možnosti řešení problému (prevence, čištění nádrží). Dále bude provedena rešerše na téma VD Kadaň, jaké jsou hlavní funkce nádrže, hydrologický režim apod.

## Použité pracovní metody, zájmové území, datové zdroje

V první části práce bude zpracována rešerše literatury na téma obecné zanášení nádrží, jaké jsou příčiny jejich zanášení, jaká může být prevence aj. Další část se zaměřuje na batymetrické měření vodních nádrží, především na systém RiverSurveyor, pomocí kterého se uskuteční vlastní měření. Poslední teoretická část bude podávat základní informace o nádrži Kadaň.

V praktické části budou srovnávána data od podniku Povodí Ohře z roku 1984, data z měření v roce 2000 a aktuální data z vlastního terénního mapování. Na základě vlastního měření bude určen současný objem vody v nádrži a vytvořena batymetrická mapa. Tyto data, ze zařízení RiverSurveyor, budou zpracována v programu ArcMap. Díky porovnání s měřeními z let 1984 a 2000 bude zjištěno, zdali vzrostla intenzita zanášení.

Datum zadání práce: 5. 12. 2017

Podpis studenta: .....

Podpis vedoucího práce: .....

## Abstrakt

Nádrž Kadaň byla vybudována na řece Ohře v roce 1971 a spíše než o nádrž se jedná o prohloubené říční koryto. Stejně jako u jiných nádrží, i zde dochází k intenzivnímu zanášení. Tato bakalářská práce má za cíl zjistit současný stav a změnu, která proběhla za posledních 18 let a na základě získaných informací vytvořit batymetrickou mapu. Práce vychází z dat z roku 1984, 2000 a vlastního terénního mapování v roce 2018. Pro vlastní měření hloubek byl použit systém RiverSurveyor. Data byla zpracována v programech Microsoft Office Excel a ArcMap. K vytvoření batymetrické mapy byla použita interpolační metoda Kriging. Výsledky ukázaly, že oproti roku 2000 vzrostlo zanesení o 5%. K dnešnímu stavu je tedy nádrž zanesena ze 47 %, rozkládá se na ploše 545 941 m<sup>2</sup> a její objem činí 1 385 862 m<sup>3</sup>. Při napuštění v roce 1972 měla nádrž objem 2 620 000 m<sup>3</sup>. Z těchto údajů plyne, že se zde za posledních 46 let vytvořilo 1 234 138 m<sup>3</sup> sedimentů.

**Klíčová slova:** nádrž Kadaň, zanášení nádrží, batymetrické mapování

## Abstract

The Kadaň water reservoir was built on the river Ohře in 1971. It is considered as a deepened river bed rather than the water reservoir. As with other water reservoirs, there continues to be happening an intense siltation with various types of sediments. This bachelor thesis aims to identify a current state and the change that has passed over the last 18 years and based on those obtained informations create a bathymetric map. The thesis is based on data from 1984, 2000 and my own field mapping in 2018. For measuring water depths I used a system RiverSurveyor. The data were processed in programs Microsoft Office Excel and ArcMap. For creating a bathymetric map I used a Kriging interpolation method. The results showed that compared to year 2000, the siltation has increased by 5%. Currently, the reservoir is silted by 47%. It is located in an area of 545 941 m<sup>2</sup> and its volume amounts to 1 385 862 m<sup>3</sup>. In 1972, when the reservoir was filled, it had a volume of 2 620 000 m<sup>3</sup>. According to the results of measurement we can conclude that over the last 46 years there has been created 1 234 138 m<sup>3</sup> of sediments in the reservoir.

**Key words:** Kadaň water reservoir, siltation of the water reservoir, bathymetric mapping

# Obsah

1	Úvod a cíle práce .....	8
2	Rešerše literatury .....	9
2.1	Zanášení nádrží .....	9
2.1.1	Účel malých vodních nádrží .....	9
2.1.2	Příčiny zanášení .....	10
2.1.3	Konkrétní faktory ovlivňující zanášení .....	10
2.1.4	Procesy mající vliv na sedimentaci .....	11
2.1.5	Důsledek zanášení .....	12
2.1.6	Prevence .....	12
2.1.7	Čištění nádrží .....	13
2.1.7.1	Čištění .....	13
2.1.7.2	Možné potíže .....	15
2.2	Způsoby měření .....	16
2.2.1	Batymetrie nádrží .....	16
2.2.1.1	Batymetrické měření pomocí olovnice .....	16
2.2.1.2	RiverSurveyor M9 .....	16
2.2.1.3	Ecomapper AUV .....	19
2.2.1.4	Echolot (jednopaprscitý sonar) .....	20
2.2.1.5	Mnohopaprscitý sonar .....	21
2.2.1.6	Boční sonar .....	21
2.2.1.7	Určení břehové linie .....	21
2.2.2	Měření hloubek geofyzikálními metodami .....	23
2.2.2.1	Geoelektrické metody - Odporové profilování a sondování .....	23
2.2.2.2	Elektromagnetické reflexní metody - Georadar .....	23
2.2.2.3	Mělká seismika - Seismická refrakce .....	24
2.2.2.4	Gravimetrie .....	24
2.2.2.5	Geofyzikální měření ve vrtech – (Hydro)karotáž .....	24
2.3	Vodní dílo Kadaň .....	25
3	Metody .....	31
3.1	Měření hloubek .....	31
3.2	Úprava a zpracování dat .....	32
3.2.1	Podélné profily .....	33

4	Výsledky.....	34
5	Diskuze .....	40
5.1	Dosavadní výzkum .....	40
5.2	Interpolační metoda při vytváření batymetrické mapy .....	40
5.3	Měření hloubek .....	41
5.4	Zanášení nádrží .....	43
6	Závěr .....	44
7	Seznam literatury .....	45
8	Seznam obrázků .....	49
9	Seznam tabulek .....	50
10	Seznam příloh .....	51

# 1 Úvod a cíle práce

V současné době je sedimentace nádrží, především z eroze na zemědělské půdě, jedním z největších globálních vodo hospodářských problémů. Dochází ke zmenšení jejich akumulačního prostoru, čímž je snížena míra ochrany proti povodním. (Kubík 2012) Procesy, které probíhají ve vodě, jsou zrychleny. Čím menší je hloubka, tím rychleji se rozvíjí tvrdá vodní vegetace a postupně vodní nádrž zarůstá. (Benešová 2003) Čím více je nádrž zanesena, tím více je toxických látek v sedimentech, které se mohou uvolňovat do vody. (Vrána a Beran 2002) V příštích třiceti letech bude pravděpodobně více než 50 % původní zásobní kapacity světových nádrží ztraceno kvůli sedimentaci. Transport sedimentů do nádrže a rychlost sedimentace ovlivňuje množství a distribuce srážek, rozmístění a typ vegetačního pokryvu, velikost povodí, geologické a geomorfologické poměry a míra antropogenních zásahů do krajiny. (Novák et al. 2017)

Cílem této bakalářské práce je opětovně zaměřit hloubky vodní nádrže Kadaň, určit její objem a zjistit nárůst zanesení za posledních 18 let od posledního průzkumu. Dle měření bude vytvořena batymetrická mapa vodního díla, která bude přílohou této bakalářské práce. Kromě vlastní praktické části se práce obecně zabývá zanášením nádrží, příčinami či důsledky. Důraz je kladen na způsoby měření hloubek, především na přístroj RiverSurveyor, který byl použit pro vlastní měření. Okrajově jsou popsány také geofyzikální metody.

Práce bude srovnávána s předcházejícími měřeními a na jejich základě určeny změny, které proběhly od stavby tohoto vodního díla.



## 2 Rešerše literatury

### 2.1 Zanášení nádrží

Zaplavení nádrže má za následek vznik vrstvy nánosů, který se s lety zvyšuje. Toto období je děleno do tří fází a to 1 – 3 roky po napuštění, 3 – 13 let, kdy nádrž plní maximálně svojí funkci a po 13 letech, kdy už se akumulací prostor výrazně zmenšuje. (Gergel 1990)

Zanášení je proces, který současně ovlivňuje kvalitu vody i životní prostředí organismů. Díky sedimentaci se snižuje podíl fosforu, uhličitánů, železa, těžkých kovů a dalších látek. (Gergel a Husák 1997) Rychlost sedimentace závisí především na velikosti částic. Největší částice se usazují u vstupu do nádrže, vlivem snížení rychlosti proudu vody. Vytvoří se zde štěrkopískový kužel. Postupně se usazují menší částice, ty nejmenější se přesouvají až k hrázi. (Vrána a Beran 2002) Na proces sedimentace unášených částic postačuje krátká doba zdržení, minimálně 14 – 21 dnů, kterou lze určit ze sedimentačních rychlostí částic a hloubky nádrže. Funkce nádrže z pohledu hydrauliky udávají intenzitu zanášení. (Gergel 1995)

#### 2.1.1 Účel malých vodních nádrží

Malé vodní nádrže jsou důležité právě pro svoji schopnost ochrany povrchových vod před znečištěním ze zemědělské činnosti. (Gergel 1992)

Sedimenty mohou přispívat k samočištění povrchových vod, ale na druhé straně jsou díky určitým reakcím, které se v sedimentech uskutečňují, potenciálními kontaminanty. Sedimenty se usazují na dně a mohou tak poskytovat několik desítek let záznamy, ve kterých se odráží stupně kontaminace. Lze z nich vyčíst zdraví vodních ekosystémů a tím tvoří dobrý indikátor kvality vod. Pro posouzení nebezpečnosti těžkých kovů pro vodní organismy je hodnocení koncentrací kovů v sedimentu nezbytné. (Cepáková 2012)

Při krátkém zdržení, v rozpětí jednoho týdne, nádrž zachytí částice menší než 0,001 mm. Při delším zdržení se v nádrži rozvíjí biomasa a její splavené části jsou příčinou zvýšeného podílu látek nerozpuštěných na výstupu. (Gergel 1992)

Vhodně postavené nádrže dokážou zachytit až 90 % hrubších částic organického a anorganického původu. (Gergel 1986)

## 2.1.2 Příčiny zanášení

Hlavními příčinami zanášení jsou břehová abraze, vnitřní zanášení a zanášení přítokem. (Vrána a Beran 2002)

Nadbytek živin díky přitékající vodě pomalu vytváří tzv. vnitřní zanášení, což má za následek intenzivnější růst rostlin, které po vegetační sezóně odumírají a zanechávají po sobě hmotu, která se značně podílí na nárůstu sedimentů. (Gergel a Husák 1997) Důvodem eutrofizace, tedy růstu množství živin, hlavně dusíku a fosforu, je zemědělská činnost, komunální a imisní znečištění. (Vrána a Beran 2002) Roční přírůstek nových usazenin může dosahovat 2-5 cm. Skutečná životnost se tedy odhaduje podle hloubky, např. při 0,6 m činí 10 až 30 let. (Gergel a Husák 1997) Mocnost sedimentů z mikroskopických rostlin, řas a sinic může dosahovat 1-2 cm za rok. (Vrána a Beran 2002) Vzniklý organominerální kal se soustavně splavuje z celé plochy nádrže do nejhlubších částí, k výpusti.

Břehová abraze nastává díky činnosti vody a větru, které erodují břeh, čímž způsobí uvolňování částí zeminy, až dojde k posunu a poklesu do akumulativního prostoru nádrže. (Gergel a Husák 1997)

Abraze závisí na sklonu namáhaného svahu, pedologickém složení půdního profilu, na složení půdního pokryvu, kolísání hladiny v nádrži, délce břehu, antropogenní činnosti, na velikosti hladiny a délce hladiny ve směru převládajících větrů. Takto jsou nejvíce ohroženy strmé svahy, svahy bez vegetace, hlinité a písčité svahy, místy zatíženy pastvou dobytka a nádrže s častým kolísáním vody. (Vrána a Beran 2002)

Zanášení přítokem se týká průtočných nádrží, neprůtočných pouze v případě poruchy či nesprávné obsluhy. (Vrána a Beran 2002) Sedimenty se kumulují a zanáší dno díky splachům z okolních zemědělských půd. Splachy jsou způsobené nadměrnou erozí v důsledku nevhodného hospodaření. Mohou tvořit anorganické látky (prachové částičky až kameny), organické látky (rostlinné zbytky (jehličí,..)), chemické látky (zbytky hnojiv, pesticidů). (Vrána a Beran 2002)

## 2.1.3 Konkrétní faktory ovlivňující zanášení

Mezi faktory, ovlivňující zanášení, na které člověk nemá vliv, patří meteorologické podmínky či vlastnosti půdy. Z atmosféry se do vody dostávají látky převážně difúzí ve formě plynů. Vyplavování látek z půdy závisí na více podmínkách utvářejících její složení.

Faktory ovlivnitelnými jsou způsoby využití půdy a antropogenní činnost. Land use má vliv na množství vyplavených látek do vody. Pokud je půda celoročně krytá vegetací (louky, lesy), je rychlost tvorby a degradace půdy vyrovnaná. To neplatí u zemědělsky využívaných ploch, kdy eroze půdy

často převyšuje její tvorbu a dochází k výraznějšímu úbytku látek z půdy a celkově znehodnocení půdní vrstvy.

Největším negativním činitelem zanášení je lidská neboli antropogenní činnost. Ať už se jedná o bodové zdroje znečištění jako vypusti odpadních vod z průmyslových podniků, zemědělských velkochovů, komunálních odpadních vod ze sídel či plošné zdroje znečištění, kterými jsou v první řadě splachy látek ze zemědělské výroby. (Šímová 2017)

## 2.1.4 Procesy mající vliv na sedimentaci

**Přítok** přinášející sedimenty a spolu s odtokem určující objem vody v nádrži.

**Odtok** řízený, který řídí člověk tak, aby nádrž sloužila svým účelům a neřízený, který představuje odpařování a infiltraci vody. Rychlost toku a doba zadržení vody určuje, jak daleko se sedimenty dostanou do nádrže, než se začnou ukládat.

**Usazování a cirkulace** jsou důležité pro ukládání sedimentu. Podélně narůstá objem a hrubost nánosů (od hráze k horní části nádrže). V podstatě je veškerý písek uložen v ústí řeky do nádrže, jíly a kaly se přenášejí dále do nádrže. Vyšší části nádrže nejsou tak plné sedimentů, protože je zde hustší voda, která klesá a proudí u dna. Pokud jsou silné proudy u dna, sedimenty se usazují v nejnižší výšce.

**Redistribuce** neboli kolísání hladiny vody má za následek erodování a transport sedimentů v nádrži. Vysoké průtokové rychlosti mohou sedimenty strhávat dál do nádrže nebo z nádrže (týká se především úzkých nádrží, u širokých je tento účinek minimální).

Postupem času dojde ke zpevnění, **konsolidaci** uložených sedimentů, což zvětší prostor v nádrži.

**Hustoty proudů** způsobují, že zrnité frakce mají tendenci zůstat delší dobu v suspenzi, než větší frakce. Pokud se tyto částice dostanou do prostředí, kde jsou od sebe ještě více odpuzovány, tak se rychlost sedimentace dále snižuje. Jemnozrnitý materiál je zanášen k hrázi, kde jsou větší účinky ukládání sedimentů, protože zde není tak velký průtok. Především částice jílu jsou nespolehlivě usazovány, protože jsou snadno rozvířeny. Pokud se odtokové proudy nacházejí blízko dna, lze předpokládat, že celá část nebo většina této jílové frakce odteče z nádrže.

**Flokulace** je proces, kdy se jílové částice, transportované v řece, navzájem přitahují a srůstávají. Pravděpodobnost flokulace se zvyšuje, pokud je voda v nádrži slanější než přítok nebo pokud dochází k rostoucí teplotě. Účinkem flokulace je rychlejší ukládání jílových minerálů.

(Rice a Simons 2013)

### 2.1.5 Důsledek zanášení

K podstatnému snížení vodohospodářských, biologických a ekologických funkcí nádrže přispívá zanášení sedimenty, což vede k celkovému zmenšení kapacity vody v nádrži a tedy snížení míry ochrany proti povodním. (Kubík 2012)

Dochází ke zkrácení procesů probíhajících ve vodě (rychlejší oběh živin a šíření znečištění ve vodním prostředí atd.). Ovlivněny mohou být hydraulické funkce, např. zkrácení doby zdržení u ochranných rybníků. V mělkých rybníčních okrajích (litorálním pásu) dochází velmi rychle ke snížení hloubky vody pod 40 cm, což je hranice, při které je rychlost nárůstu tvrdé vodní vegetace větší než doba rozkladu takto vytvořené biomasy a rybník se zazemňuje, tzv. „vyrůstá z vody“. (Benešová 2003)

Velké mocnosti bahna působí škodlivě i kvůli obsahu toxických látek, které se mohou dostat do vody. U rybochovných nádrží se snižuje produkce ryb. Odhady ukazují, že 1/3 nádrže vhodná k akumulaci je díky usazování sedimentů zničena. (Vrána a Beran 2002)

### 2.1.6 Prevence

Aby nedocházelo ke stavům břehové eroze, je vhodné udělat různá opatření, jako např. u svahu použití plůtků či jiného zpevnění anebo přímo vysazení vhodných dřevin. Aby nedocházelo k vnitřnímu zanášení, musí se omezovat růst vodních rostlin pravidelným sečením a následným odstraněním mimo nádrž. (Vrána a Beran 2002)

Vybudování čistíren odpadních vod na více místech sníží znečištění z komunální činnosti. Při využívání půdy v zemědělství je dobré přihlížet k různému zastoupení druhů zemědělských plodin spolu s obnovením mezí, tzv. remízků pro udržení vláh v zemi. Vysazení správné vegetace zamezí vyplavování půd do nádrže. (Šímová 2017)

Dalšími ochrannými kroky by mělo být budování tůní a usazovacích prostorů na přítoku. (Cepáková 2012) Velké vody se převedou obvodovou stokou přes travní pás či jsou svedeny do sedimentačních nádržek, které jsou pravidelně udržovány. Mezi hladinou zdržení při stavu normálu a maximální hladinou vody v nádrži je účelné vytvořit travní pás, který působí jako filtr pro zachycení splavenin. Musí se však pravidelně udržovat sečením. (Vrána a Beran 2002)

## 2.1.7 Čištění nádrží

Pokud je nádrž již zanesena natolik, že jsou ohroženy její funkce, je třeba přistoupit i ke kroku odstraňování nánosů. (Cepáková 2012)

Vytěžené sedimenty z nádrže v minulosti skončily na tzv. deponiích podél okrajů nádrže. To jsou tvary, které jsou postupně zarostlé plevelely a tak zhoršují estetičnost prostředí a samotné nádrže, napomáhají rozrůstání plevelů a izolují nádrž od okolního přírodního prostředí, čímž zamezují přechod organických látek mezi okolím a nádrží. Tvorba deponií po okrajích je již nepřijatelná. (Gergel a Husák 1997)

Odstranění sedimentů zvětší akumulací prostor nádrže, prodlouží dobu zdržení, sníží vnitřní zásoby živin v nádrži a má za následek návrat k původním hydrologickým funkcím a oligotrofizaci vodního prostředí. (Gergel a Husák 1997)

### 2.1.7.1 Čištění

Obecně suchou cestou se vypustí nádrž a předpokládá se, že dojde k relativnímu vysušení bahna. Mokrou cestou se těžba provádí pomocí sacího bagru plovoucího na hladině. Těmito bagry nelze odtěžit místa porostlá tvrdými travními porosty. Kombinovanou cestou odsaje sací bagr plochy dna bez porostů a zbývající voda se vysuší suchou cestou. (Vrána a Beran 2002)

Při odpouštění vody se musí dohlédnout na rozložení živin a látek ve vertikálním profilu tak, aby nedošlo k jejich narušení. Nevhodné je odpouštění ode dna, protože tím dochází k odvedení části stratifikovaných živin (fosforu, anorganického uhlíku, amonného iontu) a dnových kalů. Odtok se provádí z horní či střední části vodního sloupce. Odpouštění závisí na průhlednosti. Pokud je hladina zarostlá, odebírá se ze střední části, pokud je průhlednost do 0,6 m, odebírá se z horní části. To platí pro všechny vodní nádrže. (Gergel 1992) Vytěžený sediment lze využít přímo k zúrodnění půd, ke kompostování či k překrytí terénních nerovností. (Gergel 1986)

Postupně se odpouští vrchní vrstvy vody, pokud je v nádrži rybí obsádka. Výlov ryb musí probíhat šetrně, aby nebyly zdviženy dnové sedimenty. Výlov je nejlépe provádět pod hrází v odlovném zařízení. Vypouštění a výlov ryb probíhá na podzim, protože v povrchové vodě je nejnižší koncentrace živin. Následné napouštění probíhá v zimě či na jaře, kdy je největší vyplavování živin. (Gergel 1992) Pokud se odbahnění protáhne až do léta, mohou se zde silně rozšířit některé rostlinné druhy, které se vysemení a po opětovném napuštění se přizpůsobí novým podmínkám a zaplevelí celou vodní plochu. Proto by stav bez vody měl být co nejkratší. (Gergel 1992)

Základním požadavkem je ploché odvoditelné dno s možností vyhrnutí sedimentů na dvě strany. Rychlé vysušení dna zjednoduší těžbu a vytěžený sediment bude mnohem kvalitnější (pro zemědělské

účely). (Gergel 1992) Po vypuštění nádrže se provádí vystokování dna, aby došlo k odvodnění a vysušení všech částí, tedy i vody zadržené v nerovnostech dna či vody půdní. (Gergel a Husák 1997) Prohlubně a nerovnosti je nutné při úpravě dna vyrovnat či odtok odvést vedlejšími odvodňovacími stokami. Sklon hlavní odvodňovací stoky nesmí klesnout pod 0,1 %. (Gergel 1995)

Provádění terénních průzkumů je možné asi po 14-21 dnech. Jejich cílem je zmapování sedimentu v nádrži, kdy se řeší jeho horizontální a vertikální uložení. (Gergel a Husák 1997) Co se týká horizontálního uložení sedimentů, rozlišuje se sedimentární část dna, jejíž vznik je nejvíce ovlivněn směrem větru, který vymývá návětrné části břehu nádrže, čímž se vyplavují jemné částice a zůstávají jen větší frakce. V nádrži voda neproudí konstantní rychlostí, tudíž jednotlivé zóny usazování se navzájem překrývají. Při každém jednotlivém měření je potřeba znát stav původní nádrže, na jaké ploše se rozkládala a z toho vycházet. Rozdíl měření katastrálního úřadu a samotné vodní plochy může být značný. (Gergel 1995) Vertikální uložení sedimentů se provádí sondovací tyčí. Hloubka odběru vzorku stačí do 0,8 m. Musí se ale počítat s tím, že se během výkopu zatopí vodou a proto veškerý výzkum (odběr z různých vrstev,..) musí probíhat souběžně s výkopem. Zjištění původního dna je velmi obtížné, protože se postupně zanášá a nepadno se odlišuje od nadložních vrstev sedimentu. (Gergel 1995)

U rybníků se techniky odbahnění dna provádí na základě různé únosnosti. K jejímu stanovení se používají přenosné ruční registrační penetrometry. Mocnost dna lze také stanovit tenkou tyčí, což ale není tak přesné.

Pokud je únosnost rybníka menší než 15 kPa, je těžba provedena sacím bagrem, viz Obr. 1. Tato metoda se také používá k pročištění hlavních stok na malých nádržích, které nemohou být dlouhodobě vypuštěny. Pokud se únosnost dna pohybuje od 15 – 40 kPa, používají se širokopáse zemní stroje. (Gergel 1995)

U rybníků se také provádí tzv. letnění a zimování. Letnění neboli provzdušňování dnových sedimentů, rozorání a kultivace plodin, čištění zabahněných stok, vede k celkovému ozdravení a obnově rybníků. V posledních letech se letnilo pouze v případě nutné opravy hráze. Dnes jsou problémy především u velkých plochých rybníků, vlivem nadměrných zásob usazenin na dně. Ploché rovné dno nelze dobře odvodnit, vlhkostní poměry mají vliv na rozvoj vyšší vodní vegetace, která stíní dno a zpomaluje jeho vysychání. Efekt letnění je dobře vidět u rybníků, které jdou snadno odvodnit. (Gergel a Husák 1997) Zimování neboli ozdravení dna promrznutím a provětráním, čímž se omezí zárodky rybích škůdců a chorob. Zároveň dochází k žádoucí mineralizaci organických zbytků. Negativním vlivem je vymrzání oddenků rostlin, ležících při povrchu dna (lekníny, rdesty). (Gergel a Husák 1997)



Obr. 1: Odbahnění vodní plochy pomocí plovoucího sacího bagru (zdroj: <http://www.plosab.cz/c-16-saci-bagr-vasek.html>)

### **2.1.7.2 Možné potíže**

Problémem je nakládání s vytěženým sedimentem. Dochází ke konfliktu s ochranou přírody, zejména v otázce odbahnění v litorálním pásu, kde bývá požadováno vyloučení jakéhokoliv zásahu. Nebývá dostatečně respektován fakt, že litorál je prvkem nestabilním. Charakter litorální vegetace se mění ve prospěch omezeného množství druhů eutrofních stanovišť, snižuje se diverzita a biodiverzita jako taková. Také otázka vlastnictví rybníků není jednoduchá a při jednání s vlastníky se mohou objevovat různá úskalí. (Benešová 2003)

## 2.2 Způsoby měření

### 2.2.1 Batymetrie nádrží

Batymetrie se zabývá měřením vodních hloubek. (Novák et al. 2017)

Aktuální batymetrické údaje je nutné mít stálé k dispozici. Umožňují nám sledovat dlouhodoběji životnost nádrží, jejich retenční schopnost a zachování kvality vody. Aktualizované údaje, týkající se objemu vody a nárůstu sedimentů, nám umožňují předpovídat zanášení. Z dlouhodobého hlediska jsou použitelné pro návrhy efektivních opatření pro zmírnění nárůstu sedimentů a jiných negativních vlivů. Proto mají být batymetrické mapy stále pravidelně vytvářeny. (Kubinský et al. 2013)

Batymetrie se může používat i v kombinaci s topografií a 3D modely hrází za účelem zlepšení záplavových modelů malých vodních nádrží, které jsou nejvíce ohroženy záplavovými katastrofami, jimiž může být např. i narušení hráze. (Chen et al. 2018)

Z počátku byly hloubky měřeny pomocí olovnice, dnes především sonary. Metody batymetrických měření se liší možností využití velkého rozsahu, jak měřených ploch, tak i hloubek v časovém rozpětí jednoho dne. Je potřeba vždy uvažovat, za jakým účelem se provádí a jaká přesnost výpočtu bude potřeba. (Novák et al. 2017)

#### 2.2.1.1 *Batymetrické měření pomocí olovnice*

Pro vymezení hloubek je nad hladinou nataženo měřičské pásmo, podél něhož se na předem určených místech spouští olovnice připevněná k dalšímu pásmu. Takto je změřena vzdálenost mezi pásmem a dnem.

Tato metoda se již moc nevyužívá, kvůli její neefektivnosti rychlosti měření, kdy je změřeno pouze několik bodů za hodinu. Měření nedává požadovanou představu o charakteristice dna, jelikož měřič nevidí, co měří. Nelze tedy zachytit lokální terénní odlišnosti. Data nejsou automaticky zaznamenávána. Nad hloubky větší než 1,5 m je potřeba použití lodi.

Použití olovnice je vhodné, pokud jsou mělčiny zarostlé nebo mělčí než 0,4 m. (Novák et al. 2017)

#### 2.2.1.2 *RiverSurveyor M9*

Přístroj RiverSurveyor M9 je vyráběn firmou SonTek za účelem měření hloubky, říčního průtoku a rychlostního příčného profilu proudění vody. Hloubky jsou sledovány z plavidla a je možné zaměřit rozmezí hloubek od 0,2 – 80 m. Hydroboard I/II je nosné plavidlo firmy SonTek. Jelikož nemá vlastní pohon, je umístěno za tažným plavidlem. (Novák et al. 2017)

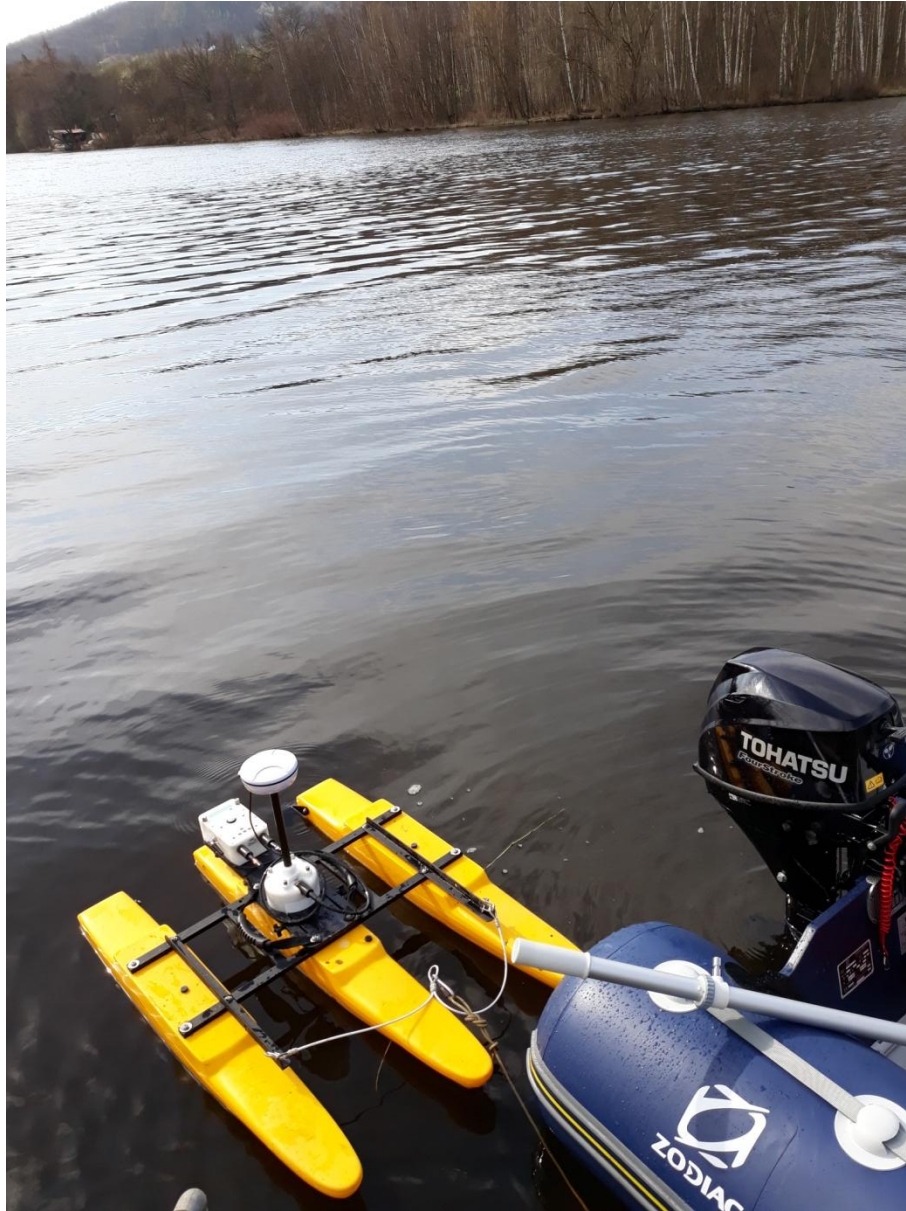


Zařízení kombinuje systém ADCP se softwarem RiverSurveyor Live pro počítače a mobilní zařízení. Akustický Dopplerův systém (ADCP) je typem sonaru zaznamenávající rychlosti proudu v různých hloubkách. (Hradilek et al. 2017) Nejpoužívanějšími typy sonarů jsou jednopapršcité (echolot), mnohapapršcité a boční. (Novák et al. 2017)

Chytrý telefon jednak ovládá zařízení a také zprostředkovává vlastní sběr batymetrických dat. Tělo M9 je propojeno s napájecím a komunikačním modulem, který zpracovává GPS signál z vlastní GPS antény, kterou má na sobě připevněnou. Tento modul zpracovává bluetooth signál, jímž komunikuje s mobilním zařízením a ovládá celý měřicí systém. Aby byla zajištěna co největší výšková a horizontální polohová přesnost, má systém rádiovou anténu, která komunikuje s referenční RTK stanicí. Tato stanice je vybavena GPS anténou pro upřesnění polohy měřícího zařízení. Je připevněna na stativu a maximální vzdálenost, kdy nebude ovlivněna kvalita signálu mezi sonarem a RTK, jsou 2 km. Celý systém napájí nabíjecí baterie, která je umístěna ve vodotěsném modulu. (Novák et al. 2017)



Obr. 2: RiverSurveyor M9 (zdroj: [http://www.aprotecmexicana.com/\\_wp/wp-content/uploads/2013/12/sontek-m9.jpg](http://www.aprotecmexicana.com/_wp/wp-content/uploads/2013/12/sontek-m9.jpg))



Obr. 3: Zařízení RiverSurveyor umístěné na plováku

Princip měření spočívá v okamžiku, kdy jsou z měřicího přístroje vyslané zvukové paprsky o všech nastavených frekvencích. Pro batymetrická měření je dostačující jeden zvukový paprsek o frekvenci 0,5 MHz. Impuls procházející skrz vodu se ode dna odráží a vrací se zpět k hladině, kde jej sonar zachytí. Výpočtem změřeného času potřebného k uražení vzdálenosti zvukového signálu mezi přístrojem a dnem se dojde k hloubce dna nádrže, podle které se následně vytvoří přesný profil dna. (Hradilek et al. 2017)

Před měřením je potřeba umístit RTK referenční stanici na vhodné místo. Dále se sestaví měřící zařízení a zadají vstupní data, např. ponor senzoru ve vodě, salinita aj. Nakonec se provede kalibrace kompasu. Naměřená data se přenesou do počítače softwarem RiverSurveyor Live. Následné filtrování dat je na uživateli, nejčastěji jsou odstraněná data s nízkou přesností měření. (Novák et al. 2017)



Obr. 4: RTK referenční stanice

### **2.2.1.3 Ecomapper AUV**

Zařízení Ecomapper AUV je vyráběn firmou YSI Incorporated. Jedná se o přístroj, který se sám pohybuje po i pod vodní hladinou. Mezi jeho výhody patří rychlý sběr dat, kvalitativních parametrů vody a detekce objektů. Je schopný zaznamenávat až 100 m hloubky.

Skládá se ze tří částí. Vpředu se nacházejí senzory, pomocí kterých se určují kvalitativní parametry vody jako teplota, konduktivita, salinita aj. Dále pak tlakový senzor a DVL senzor sloužící k navigaci zařízení, pokud se pohybuje pod vodní hladinou. Prostřední část je tvořena elektronickými komponenty, bateriemi a integrovanou palubní jednotkou. Zadní část tvoří lodní šroub, který pohání tento přístroj a GPS anténa sloužící k navigaci, pokud se přístroj pohybuje po hladině.

Ecomapper sbírá data každou vteřinu a přímo k nim přidává georeferenční data. Jeho rychlost se pohybuje kolem 2 - 7 km/hod. (Novák et al. 2017)



Obr. 5: Zařízení Ecomapper (zdroj: <http://www.ekotechnika.cz/automaticka-programovatelná-miniponorka-ecomapper?kat=prutokomery>)

#### **2.2.1.4 Echolot (jednopaprscitý sonar)**

Echolot je přístroj zobrazující informace o prostředí pod vodní hladinou na základě vysílání zvukové vlny směrem ke dnu, která se od něj odráží zpět. Využívá jediného paprsku ve tvaru kuželu, jehož úhel svírá 10° až 30°. Čím větší úhel, tím větší plochu dna snímá. (Novák et al. 2017) Pokud vysílaná vlna narazí na dno, rybu či jakýkoliv jiný objekt, je odražena a sondou přijímána zpět. (Česák a Šobr 2005) Povrch pod tímto objektem tedy zůstává nerozlišen. Z toho důvodu se tento přístroj nehodí pro plošnou batymetrii. (Novák et al. 2017)

Součástí zařízení může být GPS, tudíž daný bod obsahuje i souřadnice x, y, z. Přesnost měření závisí na měřené hloubce. Čím větší hloubka, tím klesá přesnost až na 0,3 m, záleží na použitém typu přístroje. Nepřesnost měření se u nádrží hlubokých do 50 m pohybuje kolem 10 cm. Echolot může měřit až do hloubky 200 m. Problematické je vymezení mělčin vzhledem ke zpoždění a rozsahu přístroje.

Echolot se používá spíše pro rozsáhlé vodní plochy s dobrým příjmem družicového signálu, tedy na většině vodních ploch v České republice je nevyužitelný. (Česák a Šobr 2005)

### **2.2.1.5 Mnohopaprscitý sonar**

Mnohopaprscitý sonar se od jednopaprscitého liší pouze tím, že umožňuje ve velkém rozlišení mapovat více lokalit najednou. Ze zařízení vychází více paprsků do několika bodů a tyto body spojením vytvoří tzv. pás, který je kolmý vůči plavidlu a zabere maximální úhel ke dnu až 120°. Tato metoda se nejvíce využívá ve zkoumání hlubokých oceánských oblastí. (Novák et al. 2017)

### **2.2.1.6 Boční sonar**

Boční sonar nezkoumá tvar dna, ale složení dna. Různé usazeniny jinak odráží a jinak přijímají zvukové vlny. Sonar vyhodnocuje sílu odrazu vyslaných zvukových vln, ze kterých lze vyvodit informaci o kompozičním složení povrchu dna.

Použití, společně s mnohopaprscitým sonarem, dává dobrý přehled o tvaru a složení oceánského dna. (Novák et al. 2017)

### **2.2.1.7 Určení břehové linie**

Smyslem batymetrického mapování je věrné zobrazení břehové linie. Základem je získat body na hladině jezera s přiřazenými souřadnicemi  $x$ ,  $y$ ,  $z$  pro vykreslení hloubnic. Nejdříve se vyberou místa, kde se zvolí základní polygonové body a na kterých bude možné snadno postavit stativ s teodolitem nebo totální stanicí s odkrytým výhledem na další body. V minulých letech se mapování břehové linie provádělo ortogonální metodou a teodolitem, v současné době se využívá především GNSS, fotogrammetrie, LIDAR či totální geodetická stanice.

Při využití ortogonální metody se používá uzavřený polygonový pořad a pravoúhlé souřadnice. Díky polygonovým pořadům se snadno určí souřadnice bodového pole. Tyto souřadnice jsou označeny jako kolmice a staničení. (Česák a Šobr 2005)

K rychlejšímu a přesnějšímu batymetrickému mapování se využívá totální geodetická stanice a počítačové programy MapInfo či ArcView a Surfer.

Elektronický teodolit tvoří spolu s elektrooptickým světelným dálkoměrem souosé spojení, které se nazývá totální stanice. Pomocí těchto přístrojů se měří a vytyčují vodorovné a svislé úhly a takto se zaznamenávají naměřená data. Výsledkem měření je síť bodů se souřadnicemi  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , kdy „ $z$ “ je rovna hloubce nádrže.

Měření se zahájí postavením stativu s totální stanicí nad bod a provede se centrace a horizontace. Dále se zadají souřadnice  $x$ ,  $y$ ,  $z$  a provede se orientace, tedy zaměření na jiný geodetický bod. Po orientaci se stanice přenese na tento bod a zaměří se na předchozí. Takto se to opakuje. Pokud

nemáme žádný zaměřitelný bod, může být použita GPS. Z GPS je potřeba v příslušném programu převést souřadnice WGS 84 na JTSK, jinak by nešly zadat do totální stanice. (Česák a Šobr 2005)

Další způsoby určení břehové linie jsou GNSS, fotogrammetrie a LIDAR.

Globální družicový polohový systém GNSS (Global Navigation Satellite System) zachycuje signály z družic, které směřují od určených míst na zemském povrchu. Tato místa jsou upřesněná GPS přijímačem. Dostačující metodou pro věrné zobrazení terénu je diferenciální GPS/GNSS. Její fungování spočívá v opravách GPS měření, kdy chyby v oblasti o poloměru cca 40 – 50 kilometrů nemají vliv na výsledek. GPS stanice měří 24 hodin denně v bodech, které jsou přesně určené a jejich umístění tvoří síť stanic. Naměřené údaje se přenesou pomocí GPS antény do referenční stanice, která spočítá rozdíl změřené a známé polohy a odešle je GPS přijímačům do terénu. (Oršulák a Pacina 2012)

Metoda obdobná se nazývá RTK (Real Time Kinematics). Využívá GPS přijímač, který na určeném bodě zpracovává proměnlivé údaje měření a zpětně komunikuje s dalším GPS přijímačem používaným v terénu. (Oršulák a Pacina 2012)

Fotogrammetrie je další možnou metodou k určení tvaru a rozměru předem dané oblasti využívající fotografické snímky. Pomocí spojení dvou fotografií dokáže zakreslit trojrozměrný objekt. Měření může probíhat buď z paluby letadla, které je tomu uzpůsobeno nebo na povrchu země, tzv. pozemní fotogrammetrie. Důležité je měřítko snímku pro zpřesnění vyhodnocení měření. (Oršulák a Pacina 2012)

Laserové skenování neboli LIDAR (Light Detection and Ranging) je základní dálkové měření, které využívá šíření laserových paprsků, odražených od určených bodů. Stejně jako předchozí metoda má i tato možnost jak pozemního, tak leteckého měření. Při pozemním je poloha a orientace skeneru je zjišťována geodézií, zatímco při leteckém je využita metoda GNSS, která je popsána výše. (Oršulák a Pacina 2012)

Přesnost této metody může být ovlivněna dalšími okolnostmi, jako je třeba zakalení vody. Laser tak nemusí proniknout vodou, jak by bylo třeba a dochází ke zkreslení odražené světelné vlny. Pro přesné měření bývá proto důležité nejprve udělat analýzu čistoty vody a to nejlépe přímo na místě. Při nedostupnosti lokality je možné si pomoci širokopásmovým satelitním snímkováním, které se ukazuje jako dobrý nástroj pro získání prvotní představy o čistotě a hloubkách ve zkoumané lokalitě. (Saylam et al. 2017)

## 2.2.2 Měření hloubek geofyzikálními metodami

Geofyzikální metody zkoumají studovanou oblast nepřímo na základě fyzikálních polí a fyzikálních parametrů horninového prostředí. Řadí se do tzv. nedestruktivních metod (kromě metod karotážních). Při využití se nepoškodí zkoumané okolí. Často jsou efektivní díky své rychlosti plošného výzkumu, čímž pomáhají k lokalizaci dalších průzkumných prací (vrtů, aj.). (Ministerstvo životního prostředí 1999) Těmito metodami lze zjistit i hloubku sedimentů vodních ploch, na což se zaměřuje společnost G IMPULS.

Tyto metody lze dělit podle podstaty fyzikálních polí. (Macháček 2002)

### 2.2.2.1 Geoelektrické metody - Odporové profilování a sondování

V těchto metodách se měří a stanovuje měrný odpor prostředí z měřených hodnot napětí a stejnosměrného elektrického proudu vháněného do země.

Při odporovém profilování se zjišťují změny měrných odporů v horizontálním směru. Elektrody jsou pravidelně rozloženy podél proměřovaných profilů.

Odporové sondování (VES – vertikální elektrické sondování) se od profilování téměř neliší, pouze se při práci sledují odporové změny vertikálním směrem pod daným bodem tak, že se postupně zvětšuje délka uspořádání jednotlivých elektrod.

(Ministerstvo životního prostředí 1999)

Obě metody se zabývají mocnostmi pokryvu. Typickými výstupy jsou profily vedené povrchovou polohou rybníčních sedimentů. Kombinace odporového profilování a sondování se používá pro detailní průzkum vertikálního řezu. (G IMPULS Praha 2013)

### 2.2.2.2 Elektromagnetické reflexní metody - Georadar

Georadar je přístroj založený na šíření elektromagnetických vln v různých prostředích. (Macháček 2002) Jeho význam pro měření podpovrchových struktur Země je značný, díky vysoké rychlosti měření bez porušení terénu. Horniny a vrstvy rozlišuje podle jejich vodivosti a permitivity. (Georadar RTG – Tengler nedatováno)

Hloubkový dosah je ovlivňován vodivostí hornin, pohybuje se do desítek metrů. (Macháček 2002) Tato metoda může být využita při průzkumu dna a nánosů pod vodní hladinou. (Georadar RTG - Tengler nedatováno)



Obr. 6: Georadar (zdroj: [http://www.giorgiodovigi.it/public/images/volta/georadar\\_gpr\\_LMX200.jpg](http://www.giorgiodovigi.it/public/images/volta/georadar_gpr_LMX200.jpg))

### **2.2.2.3 Mělká seismika - Seismická refrakce**

Metoda seismické refrakce je založena na pružné šířící se vlně podél rozhraní daných prostředí, lišících se hodnotami rychlostí. (Macháček 2002)

Díky mělké refrakční seismice se monitoruje stav horninového masívu a jeho nadloží. V hydrogeologii se tato metoda využívá pro zjištění mocností sedimentů či zvětralého skalního podloží. (G IMPULS Praha 2013)

### **2.2.2.4 Gravimetrie**

Gravimetrie vychází z měření tíhového pole a objasňuje z tíhových anomálií rozložení hustoty geologického prostředí. Používá se ke zjištění mocnosti pokryvu na základě různých hustot. (Ministerstvo životního prostředí 1999)

### **2.2.2.5 Geofyzikální měření ve vrtech – (Hydro)karotáž**

Karotáží jsou myšleny geofyzikální metody, jimiž se měřením ve vrtech zjistí stav a vlastnosti horninového prostředí, nacházející se v blízkosti vrtu. (G IMPULS Praha 2013)

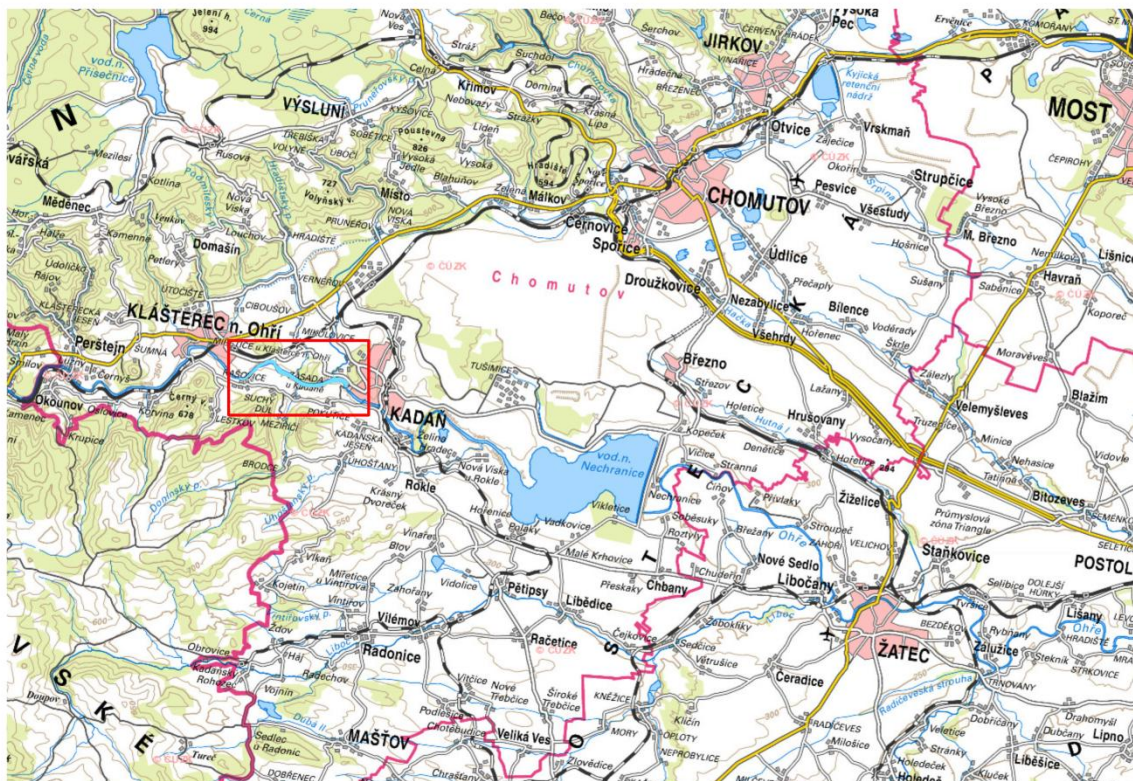
Metody hydrokarotáže měří přímo ve vrtech hloubku hladiny, rychlost a směr proudění podzemní vody. (Ministerstvo životního prostředí 1999) Sonda s indikačním zařízením je na kabelu spouštěna do vrtu pomocí vrátku se zaznamenáním hloubky zapuštění. (Macháček 2002)

Fyzikální vlastnosti souvrství sedimentů se liší velmi málo. V některých případech je proto problematické pro hlubší průzkum použití refrakční seismiky, protože refragované vlny se tvoří pouze na ostrém rozhraní u povrchu. V současnosti je nejlepší měření odporovým profilováním či sondováním. (G IMPULS Praha 2013)



## 2.3 Vodní dílo Kadaň

Vodní nádrž se nachází u obce Kadaň v okrese Chomutov, v Ústeckém kraji. Byla postavena na řece Ohře, v místě, které se nachází cca 126 km od ústí této řeky. Její výstavba probíhala v letech 1966 – 1971 a do provozu byla uvedena v roce 1972. Výška hladiny se pohybuje v rozmezí 275,4 – 286,2 m n. m. Maximální hloubka díla činí 11 m. Spíše než o jezero se jedná o rozšířené a prohloubené říční koryto. (Povodí Ohře 2006)



Obr. 7: Mapa okolí vodní nádrže Kadaň (zdroj: [http://geoportal.cuzk.cz/WMS\\_ZM10\\_PUB/WMSservice.aspx](http://geoportal.cuzk.cz/WMS_ZM10_PUB/WMSservice.aspx), vlastní úprava)

Betonová hráz nádrže je dlouhá 104,3 m, široká 4,9 m a vysoká 14,15 m. Nachází se v nadmořské výšce 289,55 m n. m. Stavbu navrhla firma Hydroprojekt Praha a provedly Vodní stavby závod Chomutov. (Povodí Ohře 2017) Platí zde zákaz plavidel se spalovacím motorem z důvodu ohrožení vodního prostředí. (Povodí Ohře 2006)



Obr. 8: Pohled na hráz nádrže Kadaň a nejhlubší místa



Obr. 9: Hráz nádrže Kadaň





Obr. 10: Pohled směrem od hráze

Nádrž Kadaň spadá pod region krušnohorský – smrčinský krystalinikum a soustavu Českého masivu – krystalinikum a prevariské paleozoikum. (Geologická mapa 1:50 000, 2015) Oblasti krystalinika jsou typické vysokým povrchovým smyvem a transportem látek. (Česák 1997) Nejčastější horninou vyskytující se v okolí nádrže je ortorula. Dalšími horninami jsou pyroklastika, pararula, tufy a kamenitý až hlinito – kamenitý sediment. (Geologická mapa 1:50 000, 2015) Geologické poměry ovlivňují jak odtokový režim, tak základní chemismus vody. (Česák 1997)

Nádrž Kadaň je geomorfologicky zařazena pod Krušnohorskou soustavu, podsoustavu Podkrušnohorská soustava a celek Doupovské hory. V tomto celku se nádrž nachází v nejsevernější části, téměř na hranici, sousedící s celkem Mostecká pánev. Doupovské hory jsou charakteristické strukturními plošinami, které vznikly z lávových proudů, příkrými svahy ze sypkých sopečných materiálů a na okrajích oddělenými tabulovými horami se stupňovými svahy. Mostecká pánev je tektonickou sníženinou s jezerními sedimenty třetihorní severočeské pánve. Tvoří jí pahorkatiny a plošiny s erozně – denudačním a akumulačním reliéfem zarovnaných povrchů, říčních teras a údolí vodních toků. (Česák 1997)

Geologicko-geomorfologické projevy se výrazně odráží v půdním profilu, stejně jako klimatické podmínky. Stav biocenózy a antropogenní aktivity jsou taktéž významným činitelem. V celé délce patří povodí Ohře z hlediska eroze půdy k nejvíce postiženým oblastem v České republice, zejména díky povrchové těžbě hnědého uhlí. (Česák 1997)

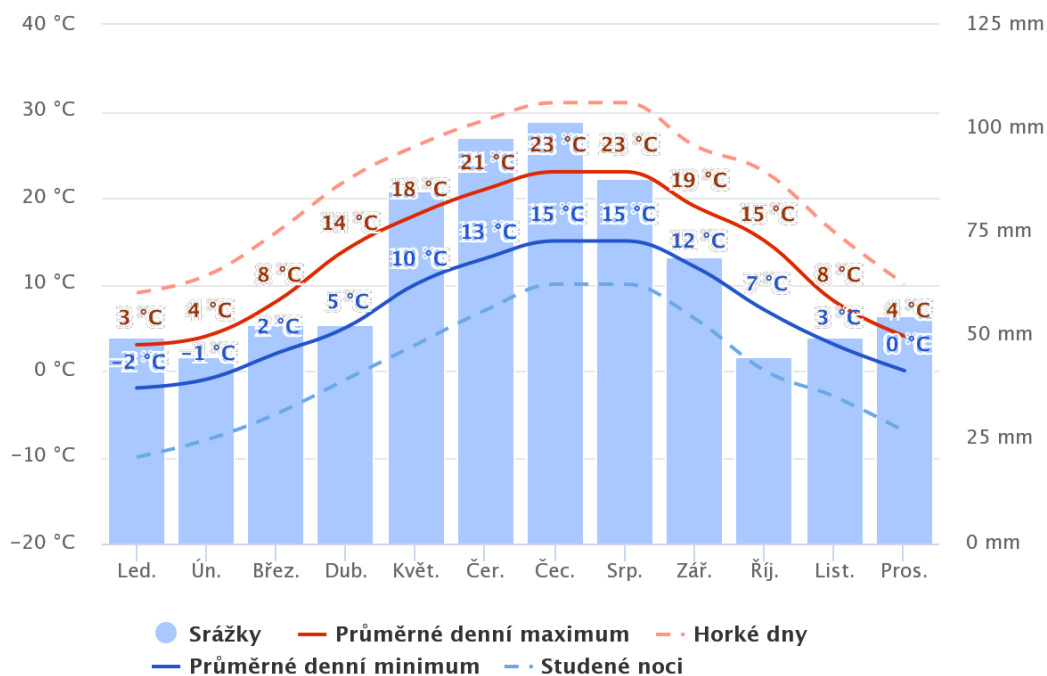
Z typů půd v přímé blízkosti nádrže nalezneme fluvizemě, subtyp modální. V celém povodí Ohře dominují kambizemě, jejichž nejrozšířenějším subtypem v okolí nádrže je kambizem modální a psefitická. (Půdní mapa 1:50 000, 2012)

Z hlediska vegetace převládají zemědělské oblasti s přirozenou vegetací, louky a pastviny. Mimo jiné se zde vyskytují rekreační plochy a smíšené lesy. (ArcGIS 2018)

Klimatické poměry jsou významným činitelem ovlivňujícím látkový odnos z povodí. Oblasti s častými a intenzivními dešti se vyznačují vysokou erozí a odnosem látek z půdy. Teplota vody významně působí na rozpustnost látek a eutrofizaci vod. (Česák 1997)

Okolí Kadaně se vyznačuje dlouhým teplým létem, krátkým přechodným obdobím s mírně teplým jarem a podzimem a krátkou, mírně teplou a velmi suchou zimou s krátkým trváním sněhové pokrývky. (Česák 1997) Průměrná roční teplota činí 9,96°C. Asi jen 150 dní v roce se naměří teplota vyšší než 10°C. (Česák 1997) Průměrné denní maximum, tedy maximální teplota průměrného dne v daném měsíci, je největší v červenci a srpnu (23°C). Nejvyšší teploty můžeme očekávat nad 30 °C. Průměrné denní minimum je v lednu (-2°C). Nejchladnější dny mohou dosáhnout až -10 °C.

Srážky dosahují 734 mm/rok, v průměru 188 dní v roce prší. Nejvíce dešťových srážek spadne v červenci, nejméně v říjnu. (Meteoblue ©2006-2018) Přibližně 370 mm činí úhrn srážek ve vegetačním období. Dnů se sněhovou pokrývkou je cca 50 – 60. (Česák 1997)



Obr. 11: Graf průměrných teplot a srážek z meteorologické stanice ležící na 50,38° s. š. 13,27° v. d. (zdroj:

[https://www.meteoblue.com/cs/po%C4%8Das%C3%AD/p%C5%99edpov%C4%9B%C4%8F/modelclimate/kada%C5%88\\_%C4%8Cesko\\_3074020](https://www.meteoblue.com/cs/po%C4%8Das%C3%AD/p%C5%99edpov%C4%9B%C4%8F/modelclimate/kada%C5%88_%C4%8Cesko_3074020))

Dlouhodobá průměrná roční hodnota průtoku se rovná 30,7 m<sup>3</sup>/s. V Tab. 1 jsou zobrazeny průměrné denní průtoky a N-leté maximální průtoky, které jsou dosaženy či překročeny jednou za N let. Minimální zůstatkový průtok nádrže musí být 3 m<sup>3</sup>/s. Kulminační průtok 100leté povodňové vlny při průchodu nádrží dosáhne kóty 285,95 m n. m., tj. 5 cm pod úroveň hladiny zásobního prostoru. (Povodí Ohře 2006)

Tab. 1: Průměrné denní průtoky a N-leté průtoky (Povodí Ohře 2006)

M-denní průtoky [m <sup>3</sup> /s]													
M	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364
Q <sub>Md</sub>	68	47,7	37,2	30,3	25,2	21,0	17,7	14,8	12,2	9,7	7,1	4,5	2,6
N-leté průtoky [m <sup>3</sup> /s]													
N	1	2	5	10	20	50	100						
Q <sub>N</sub>	195	264	364	445	529	646	740						

Hlavní funkcí nádrže je udržení hodnoty minimálního zůstatkového průtoku pod nádrží, aby byly zajištěny odběry vody pro tepelné elektrárny Tušimice I., II. a Prunéřov I., II. a v čerpací stanici Rašovice pro Podkrušnohorský přivaděč. Vedlejším účelem je energetické využití odtoku malé vodní elektrárny Kadaň a provozování vodních sportů a rekreace, především rybaření. (Povodí Ohře 2006)

Součástí nádrže je malá vodní elektrárna Kadaň, která slouží k výrobě elektrické energie dodávané do veřejné rozvodné sítě. Tvoří jí přímoproudová turbína 4-K-69 s průměrem oběžného kola 2,36 m a maximálním výkonem 2,34 MW. Maximální hltnost turbíny je 31 m<sup>3</sup>/s. Maximální výkon této elektrárny činí 1990 kW. Pro provoz je nutná minimální hladina 282,7 m n. m. (Povodí Ohře 2006)

## 3 Metody

Tato kapitola se zabývá vlastním měřením, tvorbou batymetrické mapy a podélného profilu s výpočtem ploch a objemů jednotlivých hloubkových stupňů. Pro porovnání jsou vybrány roky 1984 a 2000.

### 3.1 Měření hloubek

Místem průzkumu se stala vodní nádrž Kadaň v okrese Chomutov. Měření proběhlo na žádost Povodí Ohře za účelem zpřesnění současného zazemnění vodního reservoáru. Průzkum byl proveden v dubnu 2018 s použitím břehové linie od Povodí Ohře.

Měření současného stavu hloubek proběhlo pomocí zařízení RiverSurveyor, viz kapitola 2.2.1.2 RiverSurveyor M9. Přístroj byl připevněn na nosném plavidle se dvěma stabilizačními plováky, které bylo taženo za motorovým člunem. Trasování probíhalo od jednoho břehu k druhému, v podstatě po příčných profilech nádrže, viz Obr. 13. Po sečtení profilů na celkové délce trasy dojdeme k číslu 203.

Body byly zaznamenávány každou sekundu, přibližně každé dva metry. Měření proběhlo při stálé provozní hladině 286 m n. m.

V roce 2000 doktor J. Česák a profesor B. Janský zaměřovali hloubky po 30 letech provozu vodního díla Kadaň. Jejich cílem bylo stanovení objemů sedimentů a vytvoření batymetrické mapy. Pro vyměření hloubek použili echolot. Díky těmto hodnotám získali data pro výpočet plochy příčného profilu. Celkový objem nádrže, při stálé provozní hladině 286 m n. m., spočítali vynásobením střední vzdálenosti dvou vzájemně sousedících profilů. Celkový počet příčných profilů byl 51. (Česák a Janský nedatováno)

Podnik Povodí Ohře poskytl podélný profil z roku 1984, taktéž měřený při stejné hladině.



Obr. 12: Průběh měření – zařízení RiverSurveyor na plováku tažené motorovým člunem

## 3.2 Úprava a zpracování dat

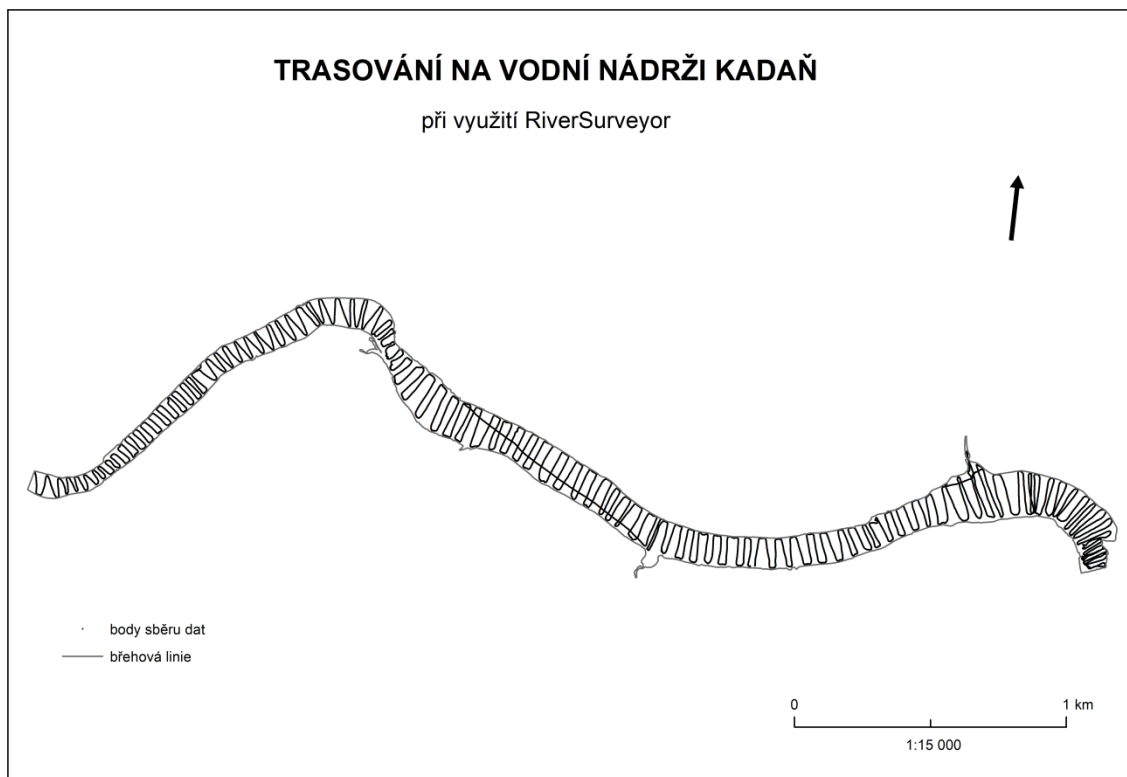
Data byla nejprve zpracována v programu Microsoft Office Excel 2007, ve kterém proběhlo jejich protřídění, odstranění dat s nízkou přesností vlivem špatného signálu GPS a oprava o hloubku 0,1 m. Přepočítání o 0,1 m bylo stanoveno na základě rozdílu stálé provozní hladiny a výšky vodní hladiny v den měření. Za běžného stavu činí hladina 286 m n. m., v den měření byla 285,9 m n. m. Tento údaj poskytl zodpovědný pracovník povodí.

Následně byla data zpracována v programu ArcMap verze 10.4.1. Poloha šířky a délky bodů byla převedena do souřadnicového systému S- JTSK (Křovákovo zobrazení). Na vytvoření batymetrické mapy byla použita geostatická interpolační metoda Kriging. Tato metoda byla použita na základě práce Kuchařové (2009), Kubinského a Weise (2013), Nováka (2017) a Hulce (2017). Metoda Kriging je nejvhodnější metodou pro batymetrické mapování (Novák et al. 2017). Interpolování pomocí metody Kriging je nejpřesnější interpolační metodou a nejvhodnějším způsobem pro vykreslování



batymetrických profilů. (Kuchařová 2009) Vstupními daty byly naměřené hloubky, rozměr buňky byl zvolen 1x1 m.

Z batymetrické mapy byly vypočítány morfometrické charakteristiky nádrže. Ty byly uspořádány do tabulek ploch a objemů jednotlivých hloubkových stupňů a hloubnic.



Obr. 13: Naměřené body ukazují průběh měření

### 3.2.1 Podélné profily

K dispozici byl poskytnut podélný profil z r. 1984. Hloubky zde nebyly zapisovány po stejném intervalu. Ze současných dat byl vytvořený podélný profil pomocí programu Microsoft Office Excel 2007. Hloubky byly uváděny po intervalu 100 m.

Tyto profily byly následně srovnány.

## 4 Výsledky

V průběhu hloubkových měření bylo celkem zaznamenáno a pro výpočty využito 16 949 změřených bodů, u kterých byla známá poloha a hloubka. Polohová přesnost bodů se pohybovala do 1 m, v některých případech byla až centimetrová. Kvalita GPS signálu se odvíjela od vzdálenosti mezi přístrojem RiverSurveyor umístěným na plováku a RTK referenční stanicí umístěnou na břehu.

Tato vzdálenost nesměla přesáhnout 2 km. Kvalita zaměření polohy bodů byla ztížena v záhybech vodní plochy a hustou vegetací. Jeden úsek musel být přeměřen dvakrát právě z důvodu nízké kvality měření GPS. Příčinou byly zřejmě blízko přilehlé stromy.

V Tab. 2 jsou znázorněné plochy a objemy hloubnic. Objem hloubnic představuje objem nádrže, který zbude po hypotetickém poklesu hladiny na úroveň příslušné hloubnice. Tedy např. hloubnice 1 představuje objem nádrže, když hladina klesne o 1 m.

V Tab. 3 jsou zobrazeny plochy a objemy příslušných pásů hloubek. Tabulka znázorňuje objem vody mezi danými hloubnicemi. Např. pás hloubek 0 – 1 m představuje objem upuštěné vody, pokud hladina klesne o 1 m.

Tab. 2: Plocha a objem hloubnic

hloubnice [m]	plocha [m <sup>2</sup> ]	objem [m <sup>3</sup> ]
0	545941	1385862
1	498128	863827
2	338275	445625
3	164533	194221
4	69856	77026
5	24202	29997
6	7648	14072
7	4679	7908
8	2994	4071
9	1724	1712
10	849	425

Tab. 3: Plocha a objem hloubkových stupňů

hloubky [m]	plocha [m <sup>2</sup> ]	objem [m <sup>3</sup> ]
0 – 1	47 813	522035
1 – 2	159 853	418202
2 – 3	173 742	251404
3 – 4	94 677	117195
4 – 5	45 654	47029
5 – 6	16 554	15925
6 – 7	2969	6164
7 – 8	1685	3837
8 – 9	1270	2359
9 - 10	875	1287
10 - 11	849	425

Nádrž Kadaň tedy zabírá plochu 545 941m<sup>2</sup>. Celkový objem činí 1 385 862 m<sup>3</sup>. Celkový objem sedimentů je 1 234 138 m<sup>3</sup>. Z těchto výsledků vyplývá, že v roce 2018 je nádrž zanesena ze 47 %.

Z dosavadních průzkumů vychází, že v roce 1972 měla nádrž při napuštění objem 2 620 000 m<sup>3</sup>, při hladině 286 m n. m. Při stejné hladině proběhlo v roce 2000 měření, kdy byl celkový objem nádrže 1 517 413 m<sup>3</sup>. V tomto roce tedy nádrž obsahovala 1 102 587 m<sup>3</sup> sedimentů. Zanesena byla ze 42 %. (Česák a Janský nedatováno)

Z těchto údajů tedy můžeme vyčíst, že od napuštění nádrže k prvnímu měření, kdy uběhla doba 28 let, se sedimentací snížil objem nádrže o téměř polovinu, zatímco při druhém měření za dalších 18 let se zvýšil objem sedimentů jen o téměř desetinu, takže objem vody v nádrži klesl také jen o cca 10 %, což je příznivý trend. Pokud by zanášení zůstávalo v těchto hodnotách, tak by k celkovému zanesení celé nádrže došlo během několika desítek let. Z těchto závěrů plyne, že oproti roku 2000 došlo ke zvýšení sedimentů o 131 551 m<sup>3</sup>. Zanesení nádrže se zvýšilo o 5 %.

Morfometrické charakteristiky nádrže jsou shrnuty v Tab. 3 a Tab. 4. Stupeň členitosti břehové linie udává míru kruhovosti jezera. Hodnotu 1 má jezero, které má tvar kruhu. (Šobr 2007)

Nádrž Kadaň má hodnotu 4, což znamená, že se jedná o značně protáhlou vodní plochu s členitou břehovou linií. Fakt, že se nádrž Kadaň vyznačuje malou hloubkou, dokazuje i hloubkový koeficient, jehož hodnota je 0,23. Hodnoty jezer se nejčastěji pohybují mezi 0,3 – 0,5. (Šobr 2007) I když maximální hloubka nádrže dosahuje 10,96 m, průměrná hloubka je pouze 2,4 m. Průměrná hloubka byla spočítána jako aritmetický průměr všech hloubek. Relativní hloubka 1,31 % zase dokazuje, že je vodní nádrž málo zahlobená. Hluboké vodní plochy se pohybují nad 4 % relativní hloubky. (Šobr 2007)

Tab. 4: Morfometrické charakteristiky, 1. část

Vodní nádrž Kadaň	
plocha [m <sup>2</sup> ]	545 941
délka [m]	4011
obvod [m]	10 655
maximální šířka [m]	303
průměrná šířka [m]	136
stupeň členitosti břehové linie	4
kóta hladiny nádrže [m n. m.]	275,4 – 286,2 (Povodí Ohře 2006)

Tab. 5: Morfometrické charakteristiky, 2. část

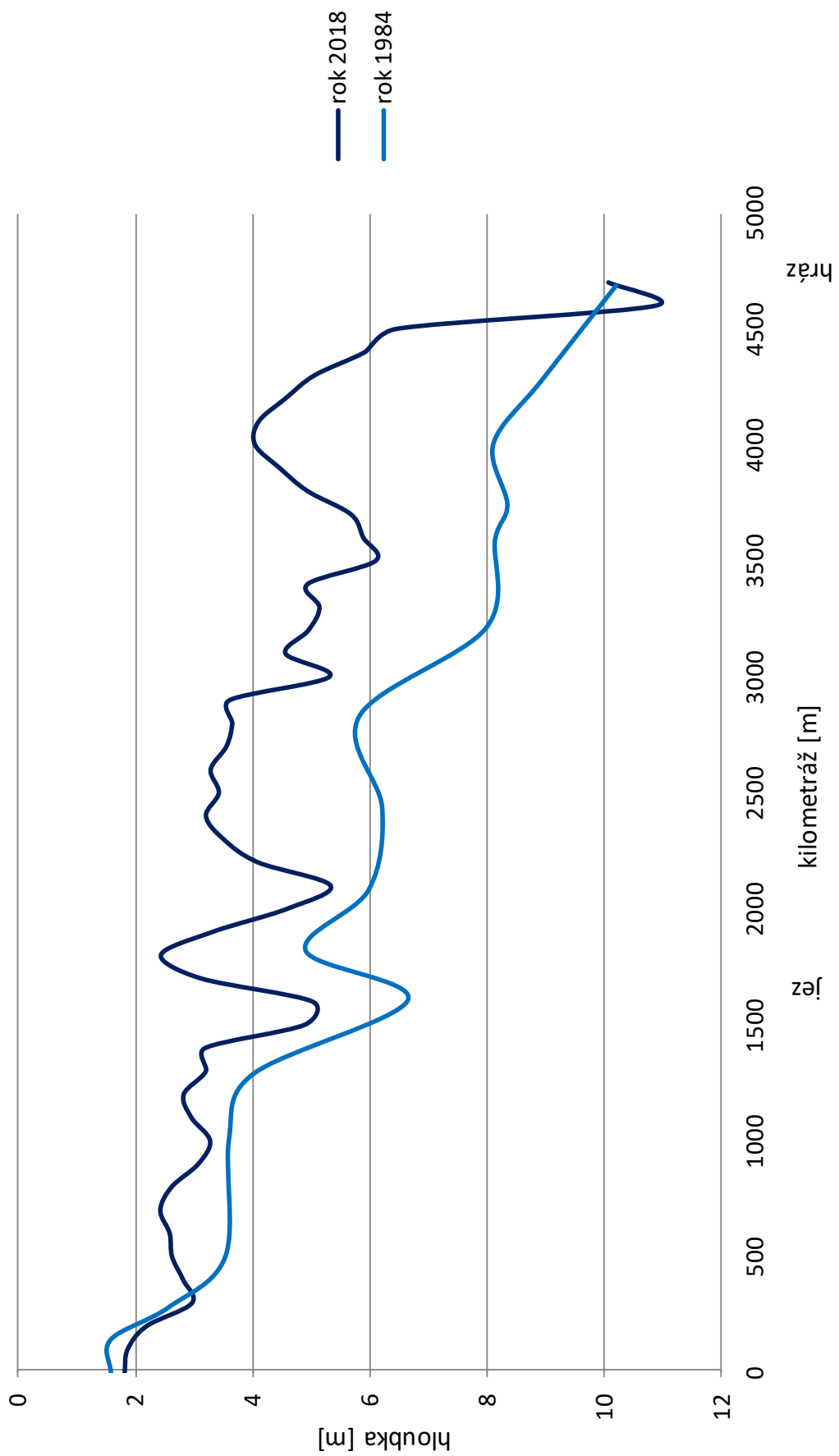
Vodní nádrž Kadaň	
objem [m <sup>3</sup> ]	1 385 862
maximální hloubka [m]	10,96
průměrná hloubka [m]	2,54
hloubkový koeficient	0,23
relativní hloubka [%]	1,31
povodí	Ohře
plocha povodí na území ČR [m <sup>2</sup> ]	4601 (Ohře 2018)
podíl plochy nádrže na ploše povodí [%]	0,012

Dále byly vzájemně porovnávány podélné profily z r. 1984 a 2018, znázorněné na Obr. 11.

Podélný profil nádrže je v r. 1984 hlubší oproti dnešnímu stavu téměř po celé délce, kromě prvních 300 m a nejhlubšího místa nádrže. Nejhlubší bod se nachází v blízkosti hráze, v r. 1984 byla 10,08 m, dnes činí 10,96 m. To by znamenalo, že se maximální hloubka zvětšila o 0,74 m. Toto by mohl být důsledek podemílání dna díky víření vody u paty hráze nebo měření v roce 1984 neproběhlo nad nejhlubším místem.

V roce 1984 je více jak polovina nádrže hlubší než 6 m, o 34 let později je tato hloubka naměřena jen ve vzdálenosti 1 km a v posledních 500 m od hráze. Mocnost sedimentů narostla nejvíce v blízkosti hráze a činí 4 m.

## Podélný profil nádrže Kadaň



Obr. 14: Srovnání podélných profilů z let 1984 a 2018

## 5 Diskuze

### 5.1 Dosavadní výzkum

Doposud zde proběhl pouze výzkum, jenž byl součástí projektu Dynamika erozních procesů ve středním Poohří a zanášení vodního díla Kadaň, jež řešili doktor Julius Česák a profesor Bohumír Janský v letech 1998 – 2000. Právě v roce 2000 vyměřili hloubky pomocí akustického hloubkoměru. Z naměřených dat se spočítala plocha příčného profilu a objem nádrže. Byla zachována pouze Závěrečná zpráva o tomto projektu s výsledným objemem, jiné informace k dispozici nejsou. Poukazováno je na fakt, že na příčných profilech jsou zřetelně viditelná místa, kde dochází k intenzivní sedimentaci plavenin vlivem snížení rychlosti proudění v bývalém hlavním korytě řeky Ohře. (Česák a Janský nedatováno) Tyto místa jsou zřetelná i dnes.

Výsledek této práce je porovnáván s daty, které poskytl podnik Povodí Ohře. Jedná se o ručně vytvořený podélný profil nádrže z roku 1984. Údaje při napuštění nádrže v roce 1972 byly použity ze závěrečné zprávy Česáka a Janského. Nejsou k dispozici jiné hodnoty či mapa zobrazující stav ihned po napuštění.

Povodí Ohře v roce 1997 provedlo ještě další měření. (Česák a Janský nedatováno) Jelikož při tomto měření nebyla vymezena celá nádrž, nemohou být tyto výsledky do této práce zahrnuty, neboť by údaje byly zkreslené. Není k dispozici ani plán původního dna před napuštěním a nelze jej na Povodí Ohře dohledat.

### 5.2 Interpolační metoda při vytváření batymetrické mapy

Při vytváření batymetrické mapy se nechají použít různé interpolační metody. Dle prací Kuchařové (2009), Kubinského a Weise (2013), Hulce (2017) a Nováka et al. (2017) byla zvolena metoda Kriging. Práce Kuchařové (2009) řeší tyto metody pro různé typy šumavských jezer a píše, že ač jsou tyto jezerní pánve rozdílné, je Kriging univerzální metodou. Podobně je na tom interpolace metodou IDW, která je vzhledově lepší, ale ne tak přesná. Nevýhodou IDW je časová náročnost výpočtu a nedostatečné vymezení okrajů jezer. (Kuchařová 2009)



Naopak Kučera (2014) prohlašuje, že nelze určit nejlepší interpolační metodu. Ve své práci podrobně popisuje jednotlivé metody, princip fungování a jejich použitelnost pro účely batymetrie. Každá metoda je ovlivněna různými faktory, především hustotou a rozmístěním vstupních bodů. (Kučera 2014) Na příkladu batymetrického mapování Čertova jezera je však s metodou Kriging spokojen a předpokládá, že by to mohla být metoda vhodná i pro jiné genetické typy jezer.

## 5.3 Měření hloubek

Při měření hloubek systémem RiverSurveyor se nabízí otázka, jaké jiné zařízení by se mohlo pro tento účel použít. Právě Novák et al. (2017) se zabýval porovnáním RiverSurveyor a přístrojem Ecomapper při batymetrickém mapování vodní nádrže Nýrsko. Výhoda přístroje RiverSurveyor spočívá především ve schopnosti zmapování mělčin, ale také ve snadné manipulaci, rychlém sestavení měřicí aparatury a mobilitě měření. Nevýhodou je časová náročnost při pořizování dat. Naproti tomu je zařízení Ecomapper zcela nezávislé a vhodné k sledování kvality vody či rozložení rychlostí. Je navrženo tak, aby umožnilo rychlý sběr dat v sekundových intervalech a samostatně se pohybovalo po předem určené trase. Rovněž je vhodné k měření na místech, kde je zakázáno motorové plavidlo. Více o tomto přístroji v kapitole 2.2.1.3 Ecomapper AUV.

Při porovnávání výsledku obou metod nedochází k výrazné odlišnosti. Ta nastává až v případě častých změn členitosti dna, kdy Ecomapper nepodchytí prudší výkyvy z důvodu menší hustoty bodů a z nich pořízených dat. Přes tyto menší odlišnosti se výsledky z obou zařízení mohou hodně shodovat. (Novák et al. 2017)

Jedním ze zásadních a možná určujícím důvodem k využívání RiverSurveyor bude menší cenová náročnost. Oproti Ecomapper je RiverSurveyor 3,5x levnější. (Novák et al. 2017)

Jiný přístroj/pohled byl použit pro vymezení hloubek jezera Mission v Kansasu. Sonar DT-X od společnosti BioSonics je speciálním echolotem používaným zejména pro výzkum v oblasti rybolovu. (DT-X Extreme Autonomous Portable Scientific Echosounder 2017) Sonar je propojen s počítačem, kterým je navigovaný a podle něhož se řídí i obsluha člunu. S její pomocí a signálem vysílaným z GPS se pohybuje po předem určené trase tak, že nejprve mapuje celé pobřeží a poté, ve skoro uzavřených křivkách, se postupně dostává do středu jezera. (Kansas Biological Survey 2007)

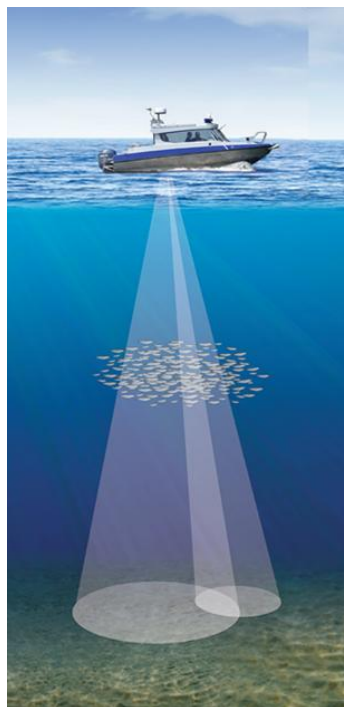
Po celou dobu měření se nacházel senzor v hloubce 0,5 m. V mělkých vodách však není použitelný. Zde je potřeba ručního měření, neboť v hloubkách blízkých ponoru senzoru nelze měřit. (Kansas Biological Survey 2007)

Výhodou je automatická detekce dna a zároveň sledování ryb či jiných vodních organismů, jejich chování, stavu a velikosti populací, směru a rychlosti plavání, migraci, celkové odhady biomasy aj. (DT-X Extreme Autonomous Portable Scientific Echosounder 2017)

V jihozápadní Číně vymezovali hloubky nádrže Zipingpu v povodí Min nejdříve jednopaprscitým sonarem (echolot) a poté i mnohopaprscitým. Měření mnohopaprscitým sonarem proběhlo z důvodu zemětřesení v roce 2008, které dosáhlo síly 8 stupňů Richterovy škály. Důsledkem bylo, že se nádrž začala intenzivně zanášet a už v roce 2012 ztratila cca 10 % ze své zásobní kapacity. I takovéto katastrofické nenadálé události mohou být příčinou silného zanášení. (Yan et al. 2018)

Při měření s použitím mnohopaprscitého sonaru byl konkrétně použit akustický systém R2Sonic 2022, který odráží paprsky a přijímá zpět a pomocný systém Minos-X, který měří rychlost zvuku a jeho rozložení ve vodě. Tyto parametry jsou základní složkou měření, neboť rychlost zvuku ve vodě má zásadní vliv na přesné měření hloubky (Yan et al. 2018)

Použití mnohopaprscitého sonaru k měření je v mnoha ohledech lepší oproti echolotu, neboť jeho působením se naměří větší část dna a ještě pomáhá zjistit topografické údaje v dané oblasti. Stále je však používán i echolot, především z důvodu relativně cenově nízkým nákladům přístroje tak také na pracovní sílu, potřebnou k manipulaci. (Yan et al. 2018)



Obr. 15: Měření sonarem DT-X

Další možností, jak lze získat batymetrická data vodní plochy, je využití dálkového snímání. V severovýchodní Brazílii byl k určení hloubek v povodí Madalena využit TanDEM-X satelit mapující nadmořské výšky. Následně z nich byl vytvořen digitální model terénu (DEM). Tato metoda má jisté specifické vlastnosti. Pro nasbírání dat je potřeba, aby příslušné vodní plochy byly v době snímání co nejvíce vyschlé, aby satelit zmapoval reálné dno. V důsledku toho je tento způsob získání batymetrických dat limitován jen na určité oblasti, kde dochází během roku k rapidním změnám vodních hladin, tedy například právě v Brazílii v období sucha. (Zhang et al. 2016)

Avšak v těchto lokalitách má metoda nesporné výhody oproti běžným terénním průzkumům. Jednou z hlavních výhod dálkového snímání je, že lze takto jednoduše získat rovnoměrně pokrytá data z celé zkoumané oblasti nezáleže na její velikosti. Další důležitou výhodou je, že získaná data nejsou ovlivněna běžnými faktory snižujícími přesnost měření u standardních terénních metod, jako jsou například kvalita vody, hloubka vody, povětrnostní podmínky a jiné. K dalším přednostem patří také snadnější a přesné určení tvaru nádrže a v zejména těžko dostupných lokalitách je využití dálkového měření časově a finančně méně náročné. (Zhang et al. 2016)

## 5.4 Zanášení nádrží

Většina dnešních vodních nádrží, včetně nádrže Kadaň, slouží nejen ke své hlavní funkci, ale ve velké míře k rekreaci a k chovu ryb. Tyto aktivity s sebou přináší zvýšení negativní lidské činnosti na samotné vodní plochy a jejich bezprostřední okolí. Především tvorba odpadu a splašky z obydlí a rekreačních objektů jsou výrazným zdrojem znečištění. (Weis et al. 2017) Autoři udávají, že stavba v blízkosti nádrží v období se zvýšenými srážkami narušuje povrch a zvyšuje riziko eroze břehů. Nemalý tlak na břehové zóny způsobují rybáři a rekreanti zašlapáváním travního porostu, snižováním počtu ploch s břehovou vegetací a postupnému rozrušování břehů, které jsou tím náchylnější k vodní erozi. (Weis et al. 2017)

Právě i díky těmto příčinám bylo na několika místech znemožněno mapovat těsně u břehu. Okraje nádrže byly zaneseny odpadky, spadányými větvemi apod.

Aby bylo možné včas reagovat, předvídat budoucí vývoj zanášení a navrhnout efektivní ochranné opatření v povodí, je důležité pravidelně aktualizovat údaje o množství sedimentů a vytvářet batymetrické mapy a modely reliéfu dna nádrží. Účinná opatření povedou jednak ke zmírnění negativních důsledků, ale především ke snížení nákladů na údržbu nádrží. (Weis et al. 2017)

## 6 Závěr

Hlavním cílem této práce bylo zjištění současného zazemnění vodní nádrže Kadaň a vytvoření batymetrické mapy. Součástí práce je rešerše. Ta se obecně zabývá zanášením vodních nádrží a následně způsoby měření.

Domnívám se, že v tomto místě by mohlo být zanášení způsobeno důsledkem antropogenní činnosti, jako jsou terénní úpravy, budování chatových oblastí a s nimi spojených změn kategorií krajinné pokrývky (zpevněné cesty, upravené plochy v blízkosti nádrže), spolu s erozně sedimentačními procesy. Velký vliv na zazemnění nádrže má jistě i řeka Ohře, která přináší značné množství sedimentů.

Jsou zde popsány různé postupy ochrany vodní plochy, kde bych ráda zdůraznila především znečištění z komunální a zemědělské činnosti. Pokud je již zanesení nádrže příliš značné, může být odstraňováno pomocí sacích bagrů nebo zemních strojů.

V kapitole 2.2.1 Batymetrie nádrží jsou popsány základní způsoby měření hloubky, důraz je kladen na využití přístroje RiverSurveyor, který byl použit pro vlastní terénní mapování. Okrajově jsou charakterizovány geofyzikální metody. Další část práce je věnována vodní nádrži Kadaň, její charakteristice a funkci, pro kterou především byla postavená a tím je zajištění vody pro tepelné elektrárny Tušimice a Prunéřov.

Praktická část se zabývá vlastním měřením, dle kterého byla vytvořena batymetrická mapa a podélný profil. Data byla srovnána s podélným profilem z roku 1984 a s údaji z měření z roku 2000. Ukázalo se, že za 46 let provozu je nádrž téměř z půlky zanesena, přesněji ze 47 %, přičemž za posledních 18 let vzrostlo její zanesení o 5 %. Průměrná hloubka nádrže klesla z 5,8 m na 4,2 m, hloubky pod 6 m téměř vymizely. Stále je patrné původní koryto řeky Ohře.

Výsledkem tohoto měření bylo zjistit stav zanesení vodní nádrže po uplynutí 18 let od posledního průzkumu. Vzhledem k negativním výsledkům navrhuji pravidelný monitoring a případně odstraňování usazenin a spolupráci se správou chatových oblastí na nápravě tak, aby mohla vodní nádrž splňovat požadovanou funkci další desítky let.

## 7 Seznam literatury

*ArcGIS Desktop* [online]. 2018 [cit. 2018-07-06]. Dostupné z: <https://www.arcdata.cz/produkty/arcgis>

BENEŠOVÁ, Jana, 2003. Okolnosti a souvislosti zemědělského využití rybníčních sedimentů. *Odpadové fórum*. (9), 14–16.

CEPÁKOVÁ, Šárka, 2012. *Posouzení možnosti využití sedimentů z nádrže Vůznice (CHKO Křivoklátsko) pro zemědělské účely*. 77 s. Diplomová práce. Ústav pro životní prostředí. PŘF UK, Praha

ČESÁK, Julius, 1997. *Jakost povrchových vod v povodí řeky Ohře v období let 1963 - 1996*. 122 s. Diplomová práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie. PŘF UK, Praha.

ČESÁK, J. a JANSKÝ B., nedatová no. *Závěrečná zpráva grantu 125/1998/B-GEO/PŘF*.

ČESÁK, J. a ŠOBR M., 2005. Metody bathymetrického mapování Českých jezer. *Geografie: Sborník ČGS*, 110(3), 141–151.

*DT-X Extreme Autonomous Portable Scientific Echosounder* [online]. ©2017. BioSonics [cit. 2018-07-05]. Dostupné z: <http://biosonics.wpengine.com/products/dt-x-extreme/>

*Geologická mapa 1:50 000* [online]. Česká geologická služba, poslední revize 2015 [cit. 2018-07-05].

Dostupné z:

<https://geoportal.gov.cz/web/guest/map?wms=http://mapy.geology.cz/arcgis/services/Geologie/geocr50/MapServer/WMServer>

*Georadar RTG - Tengler* [online]. [cit. 2018-07-05]. Dostupné z: <http://www.georadar.rtg-tengler.cz/>

GERGEL, Jiří. *Těžba a využití sedimentů z malých vodních nádrží: metodika*. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 1995.

GERGEL, Jiří. *Ochrana krajinného prostředí pomocí malých vodních nádrží: metodika*. 10/1992. Praha: VÚMOP, 1992.

GERGEL, Jiří. *Ochrana krajinného prostredí pomocí malých vodních nádrží a zásady pro jejich zřizování a provoz*. Praha: Ústav vědeckotechnických informací pro zemědělství, 1986.

GERGEL, Jiří. *Úloha malých vodních nádrží v zemědělské krajině*. Praha: ÚVTIZ, 1990.

GERGEL, Jiří a Štěpán HUSÁK. *Revitalizace vodních nádrží: metodika*. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 1997.

G IMPULS PRAHA, 2013. Použití geofyzikálních metod pro účely ochrany malých vodních zdrojů a jímacích objektů. 46 s.

HLAVÁČEK a Luděk BUREŠ, 2017. Technologie připevnění a stabilizace měřicí aparatury RiverSurveyor M9 na kajaku za účelem měření batymetrie malých vodních nádrží. *Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy*. 47 s.

HRADILEK, Václav, Radek ROUB, Pavel NOVÁK, Tomáš VYBÍRAL, Štěpán MARVAL, Tomáš HEJDUK, Jiří

CHEN, Wenjun, Daniel NOVER, Bin HE, Huili YUAN, Kaimeng DING, Jun YANG a Suozhong CHEN, 2018. Analyzing inundation extent in small reservoirs: A combined use of topography, bathymetry and a 3D dam model. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*. 118, 12 s.

KANSAS BIOLOGICAL SURVEY, 2007. *Bathymetric and Sedimentation Surveys of Mission Lake, Brown County, Kansas*. 31 s.

KUBINSKÝ, Daniel, Jakub FUSKA, Karol WEIS, Milan LEHOTSKÝ a Jozefína POKRÝVKOVÁ, 2013. Zmeny reliéfu dna a akumuláčného objemu umelej vodnej nádrže a intenzita jej zanášania za ostatných 125 rokov - príklad veľkej Richňavskej. *Geomorphologia Slovaca et Bohemica*. (2), 10 s.

KUBINSKÝ, Daniel a Karol WEIS, 2013. Zmeny retenčného objemu v priestore vodnej nádrže Evička. *Acta Environmentalica Universitatis Comeniana (Bratislava)*. 21, 18–26.

KUBÍK, Ladislav, 2012. Vhodnost sedimentů pro zemědělství. *Zemědělec*. (15), 18–20.

KUČERA, Michal, 2014. *Kartografické a geoinformatické zhodnocení současných batymetrických map*. 71 s. Bakalářská práce. Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie. PŘF UK, Praha.

KUCHAŘOVÁ, Jana, 2009. *Možnosti interpolace jezerních pánví různých genetických typů*. 61 s. Bakalářská práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie. PŘF UK, Praha.

MACHÁČEK, J. *Geofyzikální průzkumné metody* [online]. 2002 [cit. 2018-7-5]. Dostupné z: <http://departments.fsv.cvut.cz/k135/wwwold/ge10/gfvskript.pdf>

*Meteoblue* [online]. ©2006-2018. Podnebí Kadaň [cit. 2018-07-05]. Dostupné z: [https://www.meteoblue.com/cs/po%C4%8Das%C3%AD/p%C5%99edpov%C4%9B%C4%8F/modelcli/mate/kada%C5%88\\_%C4%8Cesko\\_3074020](https://www.meteoblue.com/cs/po%C4%8Das%C3%AD/p%C5%99edpov%C4%9B%C4%8F/modelcli/mate/kada%C5%88_%C4%8Cesko_3074020)

MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ, 1999. Možnosti použití geofyzikálních metod. *Planeta '99*. 7(1), 39 s.

NOVÁK, Pavel, Štěpán MARVAL, Tomáš HEJDUK, Yvetta VELÍSKOVÁ, Valentín SOČUVKA, Petr DUŠEK, Jiří HLAVÁČEK, Radek ROUB, Tomáš VYBÍRAL a Luděk BUREŠ, 2017. Automatizované monitorování dna vodních nádrží - pilotní studie vodárenská nádrž Nýrsko. *Sborník z konference Vodní toky 2017*. 8 s.

NOVÁK, Pavel, Radek ROUB, Jiří HLAVÁČEK, Štěpán MARVAL, Tomáš HEJDUK, Luděk BUREŠ, Václav HRADÍLEK, Petr MÁČA, Jana MAXOVÁ, Lucie PTÁČNÍKOVÁ, Pavel ČUBA a Martin VACEK, 2017. Nové technologie batymetrie vodních toků a nádrží pro stanovení jejich zásobních kapacit a sledování množství a dynamiky sedimentů. *Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy*. 62 s.

*Ohře* [online]. Wikipedia: The Free Encyclopedia, 2018 [cit. 2018-07-05]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Oh%C5%99e>

ORŠULÁK, Tomáš a Jan PACINA, 2012. *3D Modelování a virtuální realita*. 64 s.

POVODÍ OHŘE, 2006. *2. Manipulační řád vodního díla Kadaň*. 50 s.

*Povodí Ohře* [online]. 2017 [cit. 2018-07-05]. Dostupné z: <http://www.poh.cz/vd/kadan.htm>

*Půdní mapa 1:50 000* [online]. Česká geologická služba, 2012 [cit. 2018-07-05]. Dostupné z: [https://geoportal.gov.cz/web/guest/map?wms=http://mapy.geology.cz/arcgis/services/Pudy/pudni\\_tpy50/MapServer/WmsServer](https://geoportal.gov.cz/web/guest/map?wms=http://mapy.geology.cz/arcgis/services/Pudy/pudni_tpy50/MapServer/WmsServer)

RICE, Terry L. a Daryl B. SIMONS, 2013. Sediment Deposition Model for Reservoirs Based on the Dominant Physical Processes. *Canadian Water Resources Journal*. 7(2), 45–62.

SAYLAM, Kutalmis, Rebecca A. BROWN a John R. HUPP, 2017. Assessment of depth and turbidity with airborne Lidar bathymetry and multiband satellite imagery in shallow water bodies of the Alaskan North Slope. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 58, 10 s.

ŠÍMOVÁ, Barbora, 2017. *Vliv antropogenní činnosti na znečištění vybraných vodních nádrží v povodí Jordánu*. 71 s. Diplomová práce. Katedra krajinného managementu. Zemědělská fakulta JU, České Budějovice.

ŠOBR, Miroslav, 2007. *Jezera České Republiky - Fyzickogeografické a fyzikálně-limnologické poměry*. 232 s. Disertační práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie. PŘF UK, Praha.

VRÁNA, Karel a Jan BERAN, 2002. *Rybníky a účelové nádrže*. Praha: ČVÚT. 81 s.

WEIS, Karol, Karel FUSKA, Daniel KUBINSKÝ a Frantisek PETROVIC, 2017. Analýza zmeny akumuláčnej kapacity vybraných umelých vodných nádrží Banskštiavnického vodohospodárskeho systému. *Edicia Prírodovedec*. 654, 122 s.

YAN, Zhong-Luan, Lei-Lei QIN, Rui WANG, Jia LI, Xiao-Ming WANG, Xi-Liang TANG a Rui-Dong AN, 2018. The Application of a Multi-Beam Echo-Sounder in the Analysis of the Sedimentation Situation of a Large Reservoir after an Earthquake. *Water*. 10(5), 16 s.

ZHANG, Shuping, Saskia FOERSTER, Pedro MEDEIROS, José Carlos DE ARAÚJO, Mahdi MOTAGH a Bjoern WASKE, 2016. Bathymetric survey of water reservoirs in north-eastern Brazil based on TanDEM-X satellite data. *Science of the Total Environment*. 571, 19 s.



## 8 Seznam obrázků

- Obr. 1: Odbahnění vodní plochy pomocí plovoucího sacího bagru
- Obr. 2: RiverSurveyor M9
- Obr. 3: Zařízení RiverSurveyor umístěné na plováku
- Obr. 4: RTK referenční stanice
- Obr. 5: Zařízení Ecomapper
- Obr. 6: Georadar
- Obr. 7: Mapa okolí vodní nádrže Kadaň
- Obr. 8: Pohled na hráz nádrže Kadaň a nejhlubší místa
- Obr. 9: Hráz nádrže Kadaň
- Obr. 10: Pohled směrem od hráze
- Obr. 11: Graf průměrných teplot a srážek z meteorologické stanice ležící na 50,38° s. š. 13,27° v. d.
- Obr. 12: Průběh měření – zařízení RiverSurveyor na plováku tažené motorovým člunem
- Obr. 13: Naměřené body ukazují průběh měření
- Obr. 14: Srovnání podélných profilů z let 1984 a 2018
- Obr. 15: Měření sonarem DT-X

## 9 Seznam tabulek

Tab. 1: Průměrné denní průtoky a N-leté průtoky

Tab. 2: Plocha a objem hloubnic

Tab. 4: Plocha a objem hloubkových stupňů

Tab. 4: Morfometrické charakteristiky, 1. část

Tab. 5: Morfometrické charakteristiky, 2. část

## **10 Seznam příloh**

Příloha 1: Batymetrická mapa vodního díla Kadaň podle měření z roku 2018