

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta Životního prostředí



Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

**Vliv teplotní stratifikace na batymetrické měření
pomocí zvuku na malých vodních nádržích**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Bc. Marta Kuželková

Vedoucí práce: Ing. Václav Hradilek

2020

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Marta Kuželková

Krajinné inženýrství

Krajinné inženýrství

Název práce

Vliv teplotní stratifikace na batymetrické měření pomocí zvuku na malých vodních nádržích

Název anglicky

Small water reservoirs temperature stratification influence on echosounding bathymetry measurement

Cíle práce

Cílem této diplomové práce, je provést batymetrické zaměření vybraných malých vodních nádrží (MVN) na Jevanské soustavě včetně zaměření příslušných teplotních profilů. Při měření, bude využito přístrojů vlastněných katedrou KVHEM a to konkrétně Hydro-Surveyor (batymetrické měření) a CastAway-CTD (teplotní profilování). Získaná data teplotních profilů, budou využita pro zpřesnění tvorby batymetrických map. Dále pak bude testována možnost využití dat z teplotních profilů pro korekci historických batymetrických dat naměřených na nádržích v předchozích letech. Naměřené teplotní profily budou sloužit pro korekci výpočtu rychlosti šíření zvuku ve vodě. Pomocí vybrané interpolační techniky budou ze zaměřených bodů vytvořeny nové DMT a aktualizované batymetrické mapy. Následně budou tyto výsledky porovnány s předcházejícím měřením bez aplikace teplotního profilu a stanovena odchylka těchto výsledků.

Dílčím cílem práce je vypracování literární rešerše, seznamující se základní problematikou malých vodních nádrží a procesů v nich probíhajících. Důraz bude kladen na teplotní stratifikaci malých vodních nádrží ve vztahu k jejich geomorfologickým vlastnostem a šíření zvuku ve vodním prostředí.

Metodika

V rámci teoretické části práce bude vypracována rešerše se zaměřením na procesy probíhající v malých vodních nádržích, fyzikální principy uplatněné pro výpočet hloubky nádrže pomocí echolokace a aplikace vybraných interpolačních metod pro potřeby tvorby digitálních modelů terénu.

Praktická část bude obsahovat sběr dat v rámci vybraných malých vodních nádrží ze soustavy Jevanských rybníků s využitím měřících přístrojů Hydro-Surveyor a CastAway-CTD, analýzu dat a následnou tvorbu DMT.

Doporučený rozsah práce

40

Klíčová slova

batymetrie, malá vodní nádrž, teplotní stratifikace, teplotní profil

Doporučené zdroje informací

- BERAN, J. – ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE. STAVEBNÍ FAKULTA, – VRÁNA, K. *Rybníky a účelové nádrže*. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2013. ISBN 978-80-01-04002-7.
- CIMBALA, J M. – ČENGL, Y A. *Fluid Mechanics : fundamentals and applications*. Boston . McGRAW-HILL: Boston . McGRAW-HILL, 2010. ISBN 978-0-07-352926-4.
- Colbo, K., Ross, T., Brown, C., & Weber, T. (2014). A review of oceanographic applications of water column data from multibeam echosounders. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 145, 41-56. Academic Press.
- LELLÁK, J. – KUBÍČEK, F. *Hydrobiologie*. Praha: Univerzita Karlova, 1992. ISBN 80-7066-530-0.
- Li, J., & Heap, A. D. (2014). Spatial interpolation methods applied in the environmental sciences: A review. *Environmental Modelling & Software*, 53, 173-189. Elsevier Ltd. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815213003113>
- PITTER, P. – VYSOKÁ ŠKOLA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ V PRAZE. *Hydrochemie*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2009. ISBN 978-80-7080-701-9.
- ŠÁLEK, J. *Malé vodní nádrže v zemědělské krajině : (studijní zpráva) = Small water reservoirs in agricultural landscape : (review)*. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací, 2000. ISBN 80-7271-051-6.
- ŠEDIVÝ, V. – VRÁNA, K. *Vodní hospodářství : hydraulika, malé vodní nádrže, revitalizace krajiny*. Vodňany: Střední rybářská škola a Vyšší odborná škola vodního hospodářství a ekologie, 2011. ISBN 978-80-87096-14-7.
- ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA. ELEKTROTECHNICKÁ FAKULTA, – BERAN, V. *Chvění a hluk*. V Plzni: Západočeská univerzita, 2010. ISBN 978-80-7043-916-6.
-

Předběžný termín obhajoby

2019/20 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Václav Hradílek

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 29. 3. 2020

doc. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 30. 3. 2020

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 06. 05. 2020

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci nazvanou **Vliv teplotní stratifikace na batymetrické měření pomocí zvuku na malých vodních nádržích**, vypracovala samostatně, pod vedením Ing. Václava Hradilka, a že jsem použila pouze materiály, které jsem uvedla v seznamu literatury.

V Praze dne 25. 6. 2020

.....

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá využitím přístroje CTD Cast Away, který je určen pro měření teplotních, salinitních a tlakových profilů, za účelem získání hodnot korekcí pro zpřesnění batymetrických měření, prováděných na malých vodních nádržích s využitím ultrazvukové měřicí technologie přístroje River Surveyor M9. Součástí této práce je sledování proměnlivosti těchto faktorů v průběhu roku a stanovení jejich vlivu na rychlost zvuku ve vodním prostředí. Dle naměřených dat bylo zjištěno, že pro podmínky České republiky představuje nejvýznamnější vliv na rychlost šíření zvuku teplota, která se v nádržích v průběhu roku přirozeně mění, na základě změny okolních podmínek v souvislosti se střídáním ročních období. Práce se dále zabývá průběhem teploty a vznikem teplotní stratifikace na vybraných nádržích ze soustavy ležící na Jevanském potoce. V rámci těchto měření bylo zjištěno, že ve sledovaném období od listopadu 2019 do června 2020, prošli nádrže obdobím zimní i mírné letní stratifikace, kdy nedošlo k výrazným rozdílům v teplotních profilech nádrže. V letním období bylo dosaženo mírně vyšších rozdílů v rámci absolutní změny teplot jednotlivých vrstev vody, nicméně bylo očekáváno, že tento rozdíl bude větší. V důsledku, malé hloubky do 5,5 m, obvyklé pro malé vodní nádrže, byl nejvyšší dosažený rozdíl teplot v období letní stratifikace 4,1 °C naměřený na nejhlubší z pozorovaných nádrží s maximální hloubkou 5,19 m. Další z nádrží dosahovaly nižších teplotních rozdílů, odpovídajícím převážně jejich maximální hloubce. V rámci práce bylo zjištěno, že tento teplotní rozdíl, nepředstavuje při aplikaci korekcí, významné změny v hodnotách batymetrických měření. Pro porovnání vlivu na změnu batymetrických dat, byly využity ukazatele RMSE – root mean square error a MAE – mean absolute error. Tyto hodnoty ukazují, že změna, ke které dochází při využití korekcí z měřených profilů je velmi malá a pro potřeby zpřesnění batymetrických měření na malých vodních nádržích v rámci České republiky nevýznamná.

Klíčová slova: batymetrie, rychlost zvuku, teplotní stratifikace, malá vodní nádrž

Abstract

This thesis deals with measurement of temperature, salinity and pressure profiles, using CTD CastAway device for purposes of gathering corrections of sound speed in water. These corrections can be used for improving accuracy of bathymetric measurements done by River Surveyor M9 which uses ultrasonic technology for determining the depth of a reservoir. This thesis follows the changes in these factors during measurements done in between November to June.

According to collected data, the highest influence on changes in speed of sound has the factor of temperature at least for the conditions of the small water reservoirs in Czech Republic. The temperature of the reservoirs is variable during the year corresponding to seasonal changes. The thesis also deals with temperature changes and formation of thermal stratification. During these measurements was found that the reservoirs went through winter and mild summer stratification with no significant temperature variety. During the summer stratification there was slightly higher difference of absolute temperature change, however it was expected to observe higher difference. This fact is due to the shallow depth of small water reservoirs which is in Czech Republic usually not exceeding 5.5 m. The highest temperature difference of 4.1°C was observed at the deepest of those reservoirs with total depth of 5.19 m. The rest of the observed reservoirs had slightly lower differences mostly corresponding to their maximal depth. Within this thesis was found that these temperature differences are not significant for the purposes of bathymetric data corrections of small water reservoirs in the Czech Republic. The results were compared using the indicator RMSE – root mean square error and MAE - mean absolute error. These indicators shows that the difference between measured bathymetric data and processed data by applying the corrections from CTD CastAway is very small and for the purposes of increasing accuracy of bathymetric measurement in the conditions of small water reservoirs in Czech republic insignificant.

Keywords: bathymetry, speed of sound, thermal stratification, small water reservoir

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Cíle práce	3
3	Literární rešerše.....	4
3.1	Malé vodní nádrže	4
3.1.1	Definice a dělení dle funkce.....	4
3.1.2	Eroze a zanášení nádrží.....	5
3.1.3	Vodní prostředí nádrže.....	7
3.1.4	Přirozené a umělé prostředí.....	7
3.2	Voda a její vlastnosti.....	8
3.2.1	Tepelná stratifikace	10
3.2.2	Režim kyslíku a oxidu uhličitého.....	13
3.2.3	Režim dusíku a fosforu	15
3.2.4	Samočisticí procesy.....	16
3.2.5	Vodohospodářská činnost a údržba.....	17
3.3	Zvuk.....	18
3.3.1	Ultrazvuk.....	19
3.3.2	Šíření zvuku	20
3.4	Batymetrie	21
3.4.1	RiverSurveyor M9.....	22
3.4.2	CTD CastAway	23
4	Charakteristika zájmového území.....	29
5	Metodika	33
5.1	Sběr dat.....	33
5.2	Zpracování dat.....	36
6	Výsledky	38
7	Diskuze.....	44

8	Závěr	46
9	Seznam použité literatury.....	47
10	Přílohy	51
10.1	Přehledná mapa zájmového území:	51
10.2	Průběh teplot v nádržích v průběhu měření:	52
10.3	Porovnání teplotních, salinitních a tlakových profilů.....	56
10.4	Batymetrické mapy nádrže Požár	66
10.5	Batymetrické mapy nádrže Propast	67

1 Úvod

Diplomová práce, kterou držíte ve Vašich rukách, vznikla zejména, aby prozkoumala vliv teploty na rychlost šíření zvuku vodním prostředím, pro potřeby měření batymetrie malých vodních nádrží (dále MVN), při využití metody echosoundingu. V mém případě se jednalo o měření provedené přístrojem CastAway CTD od společnosti SonTek, který byl v loňském roce nově pořízen katedrou vodního hospodářství a environmentálního modelování (dále KVHEM) na České zemědělské univerzitě v Praze.

S pomocí tohoto zařízení je možné zaměřit hodnoty teplotních profilů, vystihujících průřez prostorem vodní nádrže. Měřicí přístroj vyhodnocuje mimo průběh teploty, také míru salinity, která je zjištěna nepřímo na základě měření konduktivity a variabilitu tlaku a jejich vliv na rychlost šíření zvuku ve vodě. Tyto naměřené hodnoty, slouží pro korekci batymetrických měření, které se na katedře realizují prostřednictvím přístroje RiverSurveyor M9, využívajícího metodu jednobodového echosoundingu.

Předpoklad této práce je, že vzhledem k periodickému opakování teplotních změn vodních nádrží, ve vazbě na změnu ročních období v našich podmínkách, je pravděpodobné, že výsledky batymetrických měření, která jsou prováděna v období letní či zimní stratifikace, budou zatížena chybou, která vznikla při výpočtu hloubky v jednotlivě měřených bodech nádrže, při zanedbání změny teploty v rámci vodního sloupce.

Pro metodu echosoundingu je klíčové znát co nejpřesnější rychlost šíření zvuku prostředím. Tato rychlost šíření je závislá na teplotě, tlaku a salinitě vodního prostředí. Při batymetrických měřeních prováděných v minulosti, byla pro výpočet hloubky využita teplota vody, která byla přístrojem RiverSurveyor změřena na vodní hladině. Skutečnost proměnlivosti teploty, salinity a tlaku ve vodním sloupci byla tedy zanedbána. Předpokládám, že chyba, která tím vzniká, bude proměnlivá v průběhu roku, odpovídající periodickým hydrobiologickým změnám, odehrávajících se v prostředí vodních nádrží.

Malé vodní nádrže v České republice jsou v současné době zasazeny nadměrným zanášením prostřednictvím usazených sedimentů přinášeným z povodí, což ve velkém měřítku vede, mimo snížení jejich zásobního prostoru, současně i

k nepříznivým ekologickým podmínkám ve vodním prostředí. Proto, abychom mohli vyhodnotit míru tohoto jevu, je třeba mít spolehlivou metodu pro měření nárůstu sedimentů v nádržích. Metoda echosoundingu se při dosažení dostatečné přesnosti měření jeví jako jedna z možností monitoringu tohoto jevu

2 Cíle práce

Závěrečná práce má za hlavní cíl prostřednictvím literární rešerše seznámit s nově pořízených přístrojem **CastAway CTD** a s jeho využitím pro účely batymetrického měření malých vodních nádrží, za využití metody echosoundingu. Dále zaměření vývoje teploty v prostředí vybraných malých vodních nádrží ze soustavy na Jevanském potoce a aplikace výsledků z těchto měření pro korekce batymetrického zaměření nádrží. Současně se nabízí možnost pro zjištění, zda by bylo možné korekce, zjištěné z měření v tomto roce, využít pro úpravu batymetrických měření provedených v uplynulých letech.

V rámci práce bude vysvětleno a ukázáno, jakým způsobem ovlivňují data z teplotního, salinitního a tlakového profilu výsledné batymetrické hodnoty. Toho bude dosaženo porovnáním výsledků dosažených bez využití korekce a výsledných hodnot při její aplikaci. Výsledkem, bude vyhodnocení chyby vstupující do měření v průběhu sledovaného období, při zanedbání vlivu proměnlivosti vodního prostředí. Dílčí část této diplomové práce provede seznámení s periodickými procesy probíhajícími v malých vodních nádržích a jejich průběhu během roku. Dále bude navržena metodika sběru dat pomocí přístroje CTD CastAway a provedeno její hodnocení na základě využitelnosti pro aplikace korekcí na současná a dříve získaná data.

3 Literární řešerše

3.1 Malé vodní nádrže

V rámci své diplomové práce se zabývám měřením teplotních profilů na malých vodních nádržích. Definice tohoto pojmu, stejně tak jako jejich účel, využití a hospodaření na MVN, budou dále přiblíženy v následujících řádcích.

3.1.1 Definice a dělení dle funkce

Dle české státní normy číslo 75 2110, se pojmem malá vodní nádrž rozumí nádrž se sypanou hrází, která splňuje následující podmínky:

- a) Hloubka nádrže nepřesahuje 9 m.
- b) Objem nádrže nepřesahuje 2 mil. m³

Tyto podmínky jsou vztaženy vzhledem k hladině normální.

V rámci totožné státní normy, jsou nádrže dále členěny dle jejich účelu (funkce) do kategorií, které jsou:

- a) Zásobní
- b) Ochranné
- c) Upravující čistotu vody
- d) Rybochovné
- e) Hospodářské
- f) Speciální účelové nádrže
- g) Asanační
- h) Rekreační
- i) Krajinnotvorné nádrže a nádrže v obytné zástavbě

(ČSN 75 2110)

V současnosti se nejčastěji setkáváme s nádržemi víceúčelovými, které jsou řešeny tak, aby mohli plnit několik funkcí najednou. Z historického hlediska, byly však v našich podmínkách budovány především nádrže, sloužili pro akumulaci vody a chov ryb. (Vrána a Beran, 1998)

Nádrže můžeme dále dělit i podle způsobu zásobování vodou. Velmi často jsou stavěny nádrže průtočné, které vznikají zahrazením toku v místě s příhodnými podmínkami pro výstavbu nádrže. Dále rozlišujeme nádrže obtokové, kdy se jedná o stejný způsob výstavby jako u nádrže průtočné, ale je zde rovněž vybudovaný obtokový kanál, který převádí nevyužívanou vodu mimo prostor nádrže. Rozdílný způsob představuje nádrž boční, která nevzniká přehrazením toku. Místo toho je zbudována vedle něj a oddělena boční hrází. Tato nádrž je následně napuštěna a dále napájena náhonem, což poskytuje především výhodu v tom, že množství přiváděné vody lze jednoduše regulovat. (Tománek, 2018)

Jako další možnosti rozdělení můžeme uvést dělení dle způsobu výstavby, prostředí, ve kterém se nacházejí, či zda se jedná o přírodní, nebo člověkem vystavěné. (Tománek, 2018)

Při výstavbě nádrže je třeba její návrh přizpůsobit tak, aby co nejlépe vyhovoval jejímu účelu. Jako příklad můžeme uvést hloubku nádrže. Pro účely vodárenské, jsou vhodné nádrže hluboké, kde je obecně menší objem vody vystaven slunečnímu záření a v důsledku toho dochází k menšímu zarůstání a znečištění vody. Naopak pro rybochovné účely a chov vodní drůbeže, jsou nádrže běžně mělké, čímž je podpořena biodiverzity prostředí. (Tománek, 2018)

3.1.2 Eroze a zanášení nádrží

V dynamickém prostředí povodí vodních toků se setkáváme s přirozeným jevem - vodní erozí. Tento termín označuje posloupnost vzájemně souvisejících procesů, během kterých dochází činností vody k rozrušení půdní hmoty, jejímu transportu a následně sedimentaci (a akumulaci) na jiném místě. (Ambrožová, 2003)

Vodní eroze je tvořena erozí kapkovou, kde dochází k mechanickému rozrušování půdy, prostřednictvím působení kinetické energie kapek dopadajících na půdu v době počátku srážky. Po nasycení půdy, či v případě specifických podmínek o něco dříve (sklon terénu, propustnost půdy, bez vegetačního krytu), přechází kapková eroze v erozi, tvořenou povrchovým odtokem, prostřednictvím kterého, jsou unášeny drobné částice půdy ve směru největšího spádu. (Janeček, 2008) K obdobnému procesu dochází přirozeně v okolí vodních toků, kde v důsledku kolísání vodní hladiny a působením mechanické energie vln v toku, dochází k břehové abrazi, která má, stejně jako vodní eroze, za následek smývání

organických a anorganických částic do vodního toku a jejich transport ve směru po proudu.

Zanášení nádrží je jedním z důsledků vodní eroze. V současné době se jedná o jeden z nejpálčivějších problémů MVN v České republice. V důsledku vodní eroze jsou organické a anorganické částice unášeny proudem vodního toku a následně sedimentují po proudu. V přirozeném stavu dochází k jejich rovnoměrné depozici v jeho okolí. V případě, kdy je však na toku vystavěna vodní nádrž, či dokonce jejich soustava, představují hráze překážku pro průchod splavenin a dochází k jejich akumulaci v nádrži. (Vrána a Beran, 1998) V důsledku toho, dochází k jakémusi narušení kontinuity přenosu splavenin, což může dále mít za další důsledek i zahloubení říčního koryta pod hrázi, ve smyslu chybějících sedimentů, zůstávajících v nádrži. (AOPK, 2012)

Mezi další příčiny zanášení nádrží patří také břehová abraze samotné nádrže, kdy obdobně dochází narušování břehů při kolísání vodní hladiny či vlnobití vznikajícího za silného větru, a voda, která stéká po okrajích zpět do nádrže, s sebou odnáší drobné půdní částice. Intenzita tohoto jevu je závislá na pedologických podmínkách, síle a výskytu vlnobití a obecnému kolísání vodní hladiny při manipulaci s objemem vody v nádrži. K výrazné erozi, dochází především na svazích s vyšší sklonitostí, bez vegetačního pokryvu, či kamenného opevnění. (Petrtýl, 2018)

Nádrže jsou dále zanášeny i prostřednictvím svého přítoku. K tomu dochází především u průtočného typu nádrže, která je vystavěna přímo na vodním toku. Samotné usazování splavenin v nádrži, je ovlivněno unášecí rychlostí vody. Zatímco větší splaveniny se usadí v blízkosti ústí toku do nádrže, vytvářející tzv. šterkopískový kužel, malé částice v podobě plavenin se dostávají do několikanásobné vzdálenosti a není výjimkou, že se mohou akumulovat až u paty hráze. Na dně nádrží, je tak většinou dobře patrná postupná změna charakteru sedimentů. (Vrána a Beran, 1998)

Poslední příčinou zanášení vodních nádrží, je vliv vnitřního zanášení nádrže, které je tvořeno činností vodních živočichů a zarůstání prostředí vodními rostlinami. Tento jev je v nádržích běžně přítomný a sám o sobě přirozený. Problém nastává, když v důsledku nadbytku živin – zejména fosforu a dusíku, v nádrži dochází k přemnožení organismů a dojde k narušení přirozeného stavu nádrže. (Vrána a Beran, 1998) Proces, při kterém dochází k přebytku živin v nádrži, je označován jako

eutrofizace. V důsledku přítomného vegetačního zákalu, tvořeného suspenzí organických a anorganických látek ve vodě, dochází ke snížení průhlednosti vody v nádrži. Problémy s eutrofizací postihují především mělké rybochovné nádrže. (Petrtyl, 2018)

Eutrofizace je provázena vodním zákalem, který je zastoupen v biotické i abiotické formě. V letním období, kdy je vodní hladina více vystavena slunečním paprskům, můžeme obvykle pozorovat nárůst vegetační složky zákalu. Naopak v zimě, dochází k redukci fytoplanktonu a pročištění vody. (Spurný a kol., 2015)

3.1.3 Vodní prostředí nádrže

Systém vodního bohatství na naší planetě, můžeme dělit na základě mnoha kritérií. Dle vzniku, velikosti, chemického složení, a mnoha dalších. Jedním z těchto dělení je například kategorie tekoucích (lotických) a stojatých (lentických) vod. (Petrtyl, 2018) Průtočné údolní nádrže nebo také říční jezera pak můžeme vidět jako jakýsi mezistupeň mezi těmito kategoriemi. (Štěpánek a Jiřík, 1979 ex Thiemenann, 1942) Toto rozdělení, nám ale nedává žádnou informaci o tom, zda je vodní prostředí uměle vytvořené – rybníky, požární nádrže, revitalizovaná a regulovaná koryta či přírodního původu – jezera, horské bystřiny, meandrující toky, rašeliniště a mokřady.

V následujících řádcích stručně vysvětlím základní rozdíly mezi umělým a přirozeným vodním prostředím na příkladu rybníků a jezer.

3.1.4 Přirozené a umělé prostředí

Jezera jsou přirozeně vzniklé nádrže, které mohou mít různý původ. Jedná se například o deštěm vyplněnou terénní prohlubeň bez dalšího přítoku nebo jezera ledovcová, která jsou pozůstatkem po pevninském ledovci. Mezi další druhy řadíme jezera krasová, karová, sopečná, či říční, přehrazená přírodní cestou, bez zásahu člověka. Každá z těchto nádrží vznikla za specifických podmínek, které ovlivňují jejich současnou podobu, chemické složení či teplotní režim. (Reichholf, 1998) Jezera můžeme popsat jako stálé přírodní nádrže, často izolované a nezarostlé s nejhlubším místem přibližně uprostřed vodní plochy. (Štěpánek a Jiřík, 1979) Jezera se řadí mezi eustatické vody, kde během roku dochází k minimálnímu kolísání vodní hladiny. (Spurný, 2015)

Jako rybníky, označujeme malé vodní nádrže, které jsou určeny pro chov ryb či vodní drůbeže. V dnešní době, plní většina z nich další doprovodné funkce, například rekreační, retenční a protipožární. (Sukop, 2006) Tyto nádrže jsou většinou mělké, tvořené přehrazením vodního toku. U rybníků také dochází k časté manipulaci s vodní hladinou, což zásadním způsobem ovlivňuje život v nádrži. Takové vody označujeme jako astatické. (Spurný, 2015)

V průběhu vývoje naší planety, vznikly v návaznosti na chemicko-fyzikální vlastnosti vody a vodou tvořeného prostředí, mezi jednotlivými organismy vazby, které následně dali vznik rozsáhlým společenstvům, existenčně vázaným na přítomnost vody na Zemi. (Štěpánek a Jiřík, 1979)

Je zřejmé, že oba tyto systémy – přírodní jezera a člověkem vystavěné nádrže jsou si navzájem příbuzné. Čím se však mohou lišit, je to, že u rybníků dochází častěji k manipulaci s vodní hladinou a obvykle je také třeba zajistit stálý minimální zůstatkový průtok, který může způsobovat promíchávání jednotlivých vrstev vody a ovlivnit tak procesy probíhající ve vodní nádrži. Například na teplotní stratifikaci, která bude dále vysvětlena v samostatné kapitole, mohou mít odběry z různých hloubek vliv, ve smyslu promísení vody o různých teplotách. (Kittrel, 1963)

Nádrž, přírodní či uměle vytvořená je komplikovaný systém, který je proměnlivý na základě rozdílných vnějších a vnitřních podmínek. Pro vysvětlení cyklických procesů nastávajících ve vodní nádrži bude další část rešerše věnována nejprve vodě a jejím klíčovým vlastnostem, které jsou zásadní pro procesy probíhající ve vodním prostředí.

3.2 Voda a její vlastnosti

Pro pochopení procesů probíhajících ve vodním prostředí, je důležité zaměřit se nejprve na fyzikálně-chemickou podobu vody a její vlastnosti.

Na začátek je třeba popsat vodu po chemické stránce. Molekula vody se skládá ze dvou atomů vodíku, které jsou kovalentními vazbami připoutány z obou stran k atomu kyslíku. Tvoří tedy vzájemně jakýsi rovnostranný trojúhelník. Vazby svírají tupý úhel, který je přibližně 105° . Díky tomuto uspořádání dochází k polarizaci molekuly, kde je jedna její část nabitá kladně a zbývající část je nabitá záporně. To je klíčové pro další vlastnosti vody, pro které je tato sloučenina vodíku a kyslíku unikátní. (Komínková a kol., 2014)

Díky tomu, že má molekula vody dipólový charakter, dochází k vazbě s dalšími molekulami, prostřednictvím tzv. vodíkových můstků. (Lellák a Kubíček, 1992) Jedná se o vazby, vznikající mezi kladně nabitým vodíkem a záporně nabitou částicí. Voda má tendenci vázat jednotlivé molekuly do shluků, právě díky tomuto principu. Vodíkové můstky jsou také příčinou hustotní anomálie vody, kdy k největší hustotě nedochází při pevném skupenství, ale u tekuté vody, o teplotě 3,98 °C. Jiní autoři uvádí, že voda dosahuje nejvyšší hustoty při 3,94°C (Sukop, 2006), (Petrtýl, 2018). Tato vlastnost má zásadní vliv na ekologii vodních systémů. (Pitter, 2015) Voda je polární rozpouštědlo. Je tomu tak právě proto, že je schopná na své molekuly za pomoci vodíkových vazeb navázat částice prostřednictvím elektrostatických interakcí opačných nábojů. (Petrtýl, 2018)

Voda je známá pro svou vysokou měrnou tepelnou kapacitu, což je v podstatě schopnost udržovat si svoji teplotu. Oproti jiným látkám, má větší tepelnou stabilitu, která je schopna významně ovlivnit mikroklima v okolí vodních útvarů. Můžeme to pozorovat například na podzim, kdy je teplota v nádržích vyšší než teplota okolního vzduchu, protože si udržuje teplo získané v letním období. Teplota této soustavy voda-vzduch se s přicházejícími chladnými dny začne pomalu vyrovnávat, až dojde vytvoření ledu na hladině, který dále plní funkci izolantu a udržuje tak stálou teplotu v nádrži. Pokud vodu ohříváme, dodáváme jednotlivým molekulám energii, která se projevuje jejich pohybem. Následně tak dochází k přerušování vodíkových vazeb mezi jednotlivými molekulami. (Petrtýl, 2018) Teplota vody výrazně ovlivňuje její hustotu. Průběh této závislosti však není lineární. (Ambrožová, 2003) Tato skutečnost má zásadní vliv na environmentální prostředí. V jejím důsledku je každoročně možné, aby vodní plochy zamrzali od hladiny a tuhne voda, která v důsledku prodloužení vodíkových vazeb mění tvar svých molekul a zvětšuje svůj objem, zároveň také snižuje svou hustotu. Tato vodní anomálie má za následek to, že voda v pevném skupenství má hustotu menší, než její kapalná fáze při přibližně 4 °C. Led tedy může plavat na hladině a tvořit izolační vrstvu mezi studeným vzduchem a vodou. (Komínková a kol., 2014) Teplotou prostředí je dále ovlivněna také rozpustnost plynů ve vodním prostředí. (Spurný, 2015).

Mimo teplotu, je hustota vody ovlivněna také obsahem rozpuštěných látek. Čím více jich voda obsahuje, tím se její hustota zvyšuje. Je tedy zřejmé, že pokud bychom porovnali vzorek sladké a mořské vody o stejné teplotě, bude hustota

mořské vody vyšší, právě kvůli rozpuštěným minerálům. Díky nim, se voda také stává vodivou pro elektrický proud. Při porovnání s vodou destilovanou nebo demineralizovanou, která byla upravena tak, aby neobsahovala rozpuštěné soli, zjistíme, že se tato voda stala téměř nevodivou. Celkový obsah rozpuštěných látek ve vodě odpovídá její elektrické vodivosti. (Lellák a Kubiček, 1992)

Vliv tlaku na hustotu vody, je při porovnání s vlivem teploty a obsahem rozpuštěných látek velmi malý. Voda je považována za nestlačitelnou kapalinu. Téměř. K tomu abychom mohli pozorovat změnu hustoty vody v závislosti na změně tlaku v přirozeném prostředí, je třeba provést měření v hlubokých vodách. Typicky se to týká měření v mořích a oceánech, velkých nádrží nebo velmi hlubokých jezer. Působením hydrostatického tlaku vody, se mírně mění hodnota teploty vody, při které dosahuje tato látka své nejvyšší hustoty. Je to přibližně o 0,1°C méně na každých 100 m hloubky. (Petrtyl, 2018)

Pro široký ekosystém vodního společenstva má velký význam povrchové napětí vody. Je to důsledek vazebních sil mezi jednotlivými molekulami vody, prostřednictvím vodíkových můstků. Poslední vrstva molekul nacházející se na hladině vody je vodíkovými můstky vázána pouze v jednom směru a tím silněji je tímto směrem přitahována. Projevuje se tedy jako soudržnost molekul vody při sobě. Povrchové napětí vody lze i přímo vidět. Na hladině vodního prostředí se projevuje vznikem pružné, elastické blány, která je klíčová pro život mnoha vodních organismů, využívajících tuto mezní vrstvu mezi vodou a vzduchem z obou stran oddělených prostředí. (Ambrožová, 2003)

V následujícím textu, bude blíže představen jev teplotní stratifikace, k němuž v našich podmínkách dochází ve vazbě na změny hustoty vody, v závislosti na změnách teploty vzduchu v průběhu roku. Předpokládám, že právě tato skutečnost může ovlivňovat výsledky batymetrických měření.

3.2.1 Tepelná stratifikace

Jak již bylo výše zmíněno, na hustotu vody mají vliv tři faktory. Jsou jimi: teplota, obsah rozpuštěných látek a tlak. Právě teplota se v našich podmínkách nejvíce mění a její vliv je pro tuto diplomovou práci nejdůležitější.

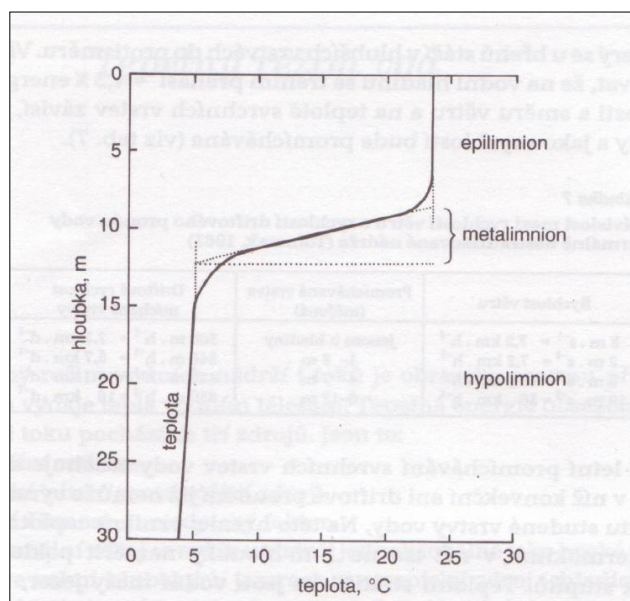
Při změnách teploty dochází běžně k největší proměnlivosti hustoty vody v nádrží. Především pak u našich nádrží, kde nejsou časté výrazné změny v salinitě

ani velmi hluboké vody. (Petrtýl, 2018) Rozložení teploty vody se v nádrži mění několikrát do roka. Zdrojem tepla pro nádrž je převážně sluneční radiace, kde dochází k absorpci záření ve vodě. Míra absorpce záření, závisí na stupni trofie nádrže a obsahu rozpuštěných látek. (Lellák a Kubíček, 1992) Dalšími zdroji, může být například podzemní pramen, kdy dochází k ohřevu vody prostřednictvím geotermálních jevů probíhajících v nitru Země. Voda může být také zahřívána v důsledku antropogenní činnosti, při průmyslovém či hospodářském využívání vodního zdroje. Nejčastěji je však ohřívání vody podmíněno intenzitou slunečního záření na základě ročního období. (Ambrožová, 2003)

Přirozená jezera a podle jejich vzoru i umělé nádrže prochází během roku celkem čtyřmi teplotními fázemi, které se periodicky střídají v závislosti na změnách vnějších podmínek. (Spurný a kol., 2015) Během období jarní cirkulace dochází k promíchávání vodní masy a vyrovnání teploty v celém prostoru nádrže. Proudění, které způsobuje mísení vod, vzniká na základě konvektivního oteplování svrchní vrstvy vody, čímž je roztaven led a voda, při přechodu do kapalné fáze, zvyšuje svou hustotu, a proto také klesá do spodních vrstev. Od vzduchu se začne ohřívat další část vody, která obdobným způsobem cirkuluje v prostoru nádrže. K promísení vody přispívá také činnost větru. V průběhu období cirkulace, dochází k promísení vody v celém objemu nádrže. Během nástupu léta dochází v nádrži k vytvoření teplotně rozdílných vrstev – stratifikaci. V nádrži ustane cirkulace v celém objemu a nastoupí promíchávání v rámci jednotlivých vrstev. Nejteplejší vrstva u sluncem ohříváné hladiny se nazývá epilimnion (obr. 1). Tato voda, má v důsledku vyšší teploty menší hustotu a proto se drží u hladiny. K jejímu částečnému promísení může docházet v noci, kdy vodní hladina neabsorbuje sluneční záření a ochladí se. (Pitter, 2015) Následuje takzvaná skočná vrstva – metalimnion (také termoklina), kde dochází k výrazné změně teploty, přibližně o 1 °C na 1 m hloubky. Termín termoklina v roce 1897 poprvé použil Birge, který tuto skočnou vrstvu charakterizuje jako poměrně úzkou vrstvu vody v jezeře, v rámci které teplota klesá znatelně rychleji, než v okolních vrstvách o podobné šířce. (Birge, 1904)

U hlubokých nádrží je v létě u dna přítomna spodní vrstva hypolimnion, která má obvykle teplotu kolem 4 °C a tím pádem také největší hustotu, což tuto vodu drží u dna nádrže. (Ambrožová, 2003) Leopold (2000) ve svém výzkumu týkající se průběhu teploty ve vysoko položených jezerech uvádí, že tato jezera jsou v hloubce

vyšší než 30m vždy isothermická s teplotou vody kolem 5°C, bez ohledu na celkovou hloubku a výškovou polohu jezera. (Leopold, 2000)



Obr. 1: Vertikální rozdělení prostoru nádrže na základě průběhu teploty. (Lellák a Kubíček, 1992)

S příchodem podzimu dochází k ochlazování vzduchu, což vede i k ochlazování svrchní části vody. Následně dochází k podzimní cirkulaci, kdy je opět postupně promíchán celý objem nádrže. Jak se teplota vzduchu dále snižuje a voda v nádrži dále ochlazuje, dochází znovu ke stratifikaci. V zimě se jedná o inverzní případ, kdy se nejteplejší voda blížící se k 4 °C drží u dna nádrže a směrem k hladině se teplota dále snižuje. Na hladině se, v případě že je teplota vzduchu menší než 0 °C, vytvoří led, který dále plní funkci izolantu a zajišťuje, aby život v nádrži mohl přečkat zimní období u dna nádrže. (Lellák a Kubíček, 1992)

V našich klimatických podmínkách nádrže zřídka zamrzají silnější vrstvou ledu, než je 20 - 30 cm. U průtočných údolních nádrží je teplotní schéma často ovlivněno teplotou a hustotou přitékající vody, která může způsobit promísení nádrže. Hustota této vody může být také rozdílná vlivem rozpuštěných látek, unášených proudem toku. Odběry vody z nádrže mohou také významně ovlivnit termální stratifikaci, především pokud se jedná o odběry z větších hloubek. (Lellák a Kubíček, 1992 ex Hrbáček a Straškraba, 1966)

Nádrže, u kterých dochází k promíchání dvakrát do roka, tedy nádrže ležící v podmínkách mírného pásu, jsou označovány jako dimiktické. (Ambrožová, 2003) V některých případech nemusí však k teplotní stratifikaci nádrže dojít. Je to závislé

například na hloubce nádrže. U mělkých nádrží či při silné větrné činnosti dochází k promíchávání celého objemu nádrže a tudíž nedochází k tvorbě vrstev na základě rozdílných teplot a hustoty. Stratifikace může být dále ovlivněna i průtočností nádrže, či jinými vlivy způsobující promíchávání vody a vyrovnání teploty (Pitter, 2015)

K tomu, aby v letních měsících vznikla dlouhodobá teplotní stratifikace, je tedy třeba, aby byla nádrž dostatečně hluboká. V případě našich rybníků, jejichž maximální hloubka se průměrně pohybuje kolem 3 – 5 m, k tvorbě termokliny dochází jen na několik hodin během horkého letního dne, výjimečně po dobu několika dnů. (Hartman, 1998)

U některých vod dochází rovněž k chemické stratifikaci, kdy nastává oddělení jednotlivých vrstev vody, na základě odlišných koncentrací solí ve vodě. Tato stratifikace není v našich podmínkách běžná. Střední skočná vrstva je v tomto případě označovaná jako chemoklina.

3.2.2 Režim kyslíku a oxidu uhličitého

Pro správné pochopení dynamiky vodních systému stojatých vod, je třeba nezanedbat cyklus důležitých látek, které řídí základní biologicko-chemické procesy v nádrži. Ruttner, v roce 1962 uvedl, že nemůžeme správně rozumět chemismu vodního prostředí, aniž bychom do něj zahrnuli poznatky z jeho ekologicko-biologické podstaty. (Štěpánek a Jiřík, 1979)

V prostředí stratifikované nádrže dochází v produkčním období k rozdělení na trofogenní (živnou) a trofolytickou (odbourávací) vrstvu. Živná vrstva je většinou shodná s epilimniem nádrže, částečně může být dále rozšířena i do mezolimnia. Jedná se o část nádrže, kam dostatečně proniká sluneční světlo. Na druhé straně odbourávání, probíhá ve spodní hypolimnické vrstvě, kde je sedimentující organický materiál dále zpracováván destruenty. (Ambrožová, 2003)

Mezi základní prvky vodního prostředí patří kyslík. Primárním zdrojem kyslíku v nádrži je především fotosyntetická aktivita vodních rostlin, která činí přibližně 89% zdroje kyslíku. Podstatně menší část, se do nádrže dostává přítokem a prostřednictvím difúze z atmosféry. (Petrtýl, 2018) Množství kyslíku získávané difúzí, je ovlivněno teplotou vody (rozpuštěností kyslíku), barometrickým tlakem a

rozsáhlosti vodní hladiny působící jako styčná plocha pro difúzi. (Lellák a Kubíček, 1992)

Kyslík je nádrži využíván převážně pro přímou spotřebu vodních organismů, ale jeho značná část, je také využita pro dekompozici organického materiálu na dně nádrže. Celkový obsah kyslíku v nádrži je silně limitován jeho rozpustností ve vodě, která je s teplotou proměnlivá. V teplé vodě je jeho rozpustnost nízká, s klesající teplotou se rozpustnost kyslíku ve vodě zvyšuje. Tlak a salinita také ovlivňují kyslíkovou rozpustnost, s klesajícím tlakem a rostoucí salinitou se jeho rozpustnost ve vodě snižuje. (Sukop, 2006) Je tedy zřejmé, že teplotní stratifikace nádrže ovlivňuje i množství kyslíku v jednotlivých vrstvách nádrže. S teplotní stratifikací vzniká tedy také stratifikace kyslíková. (Petrtýl, 2018) Obsah rozpuštěného kyslíku v nádrži je proměnlivý i v rámci jediného dne. Během dne, vytvoří fotosynteticky aktivní organismy dostatek kyslíku, který je pak následně dále spotřebováván i během noci, kdy už nedochází k další tvorbě. (Lellák a Kubíček, 1992) Pokud dojde k přesycení vody kyslíkem, což může nastat ke konci odpoledne v letním období, můžeme pozorovat uvolňování kyslíku ve formě drobných bublin, unikajících z prostoru nádrže. (Sukop, 2006)

V případě, že dojde k nadměrné produkci biomasy v nádrži v důsledku nadbytku živin, může docházet k vyčerpání kyslíku. Pokud k tomu dojde, rozkladné aerobní procesy vystřídají anaerobní procesy kvašení a hnití, při kterých se na dně nádrže tvoří z uhlíkatých sloučenin silně zapáchající metan, který se následně uvolňuje prostřednictvím bahenních bublin. Tato voda je zcela nevhodná pro vodárenské a rekreační využití. (Reichholf, 1998) Ke kyslíkovému deficitu může také dojít v případě náhlého uhynutí vodních rostlin při aplikaci herbicidů či přemnožení zooplanktonu. (Sukop, 2006)

Během léta vodní nádrž přichází do produkčního období, kdy dochází k nárůstu fotosynteticky aktivních organismů v nádrži. Následující období podzimní cirkulace, pak pomáhá v nádrži rovnoměrně distribuovat kyslík do spodních vrstev a vytvořená biomasa sedimentuje ke dnu. V průběhu zimy dále dochází ke zpracování tohoto materiálu a následné remineralizaci nádrže během vyrovnání obsahu živin a kyslíku při jarní cirkulaci (Reichholf, 1998)

Oxid uhličitý funguje ve vodě vůči kyslíku v obráceném cirkadiálním režimu. Do prostředí se dostává difuzí z atmosféry, dýcháním rostlin a živočichů a během

bakteriálního rozkladu organické hmoty. Rozpustnost CO_2 ve vodě je velmi vysoká, až 200x větší než kyslíku. Tento rozpuštěný CO_2 je označován jako volný. Malá část rozpuštěného oxidu se přemění na kyselinu uhličitou, která zásadně ovlivňuje pH nádrže. (Lellák a Kubíček, 1992) Ta dále podléhá dalším reakcím za vzniku hydrogenuhličitanů. Tato forma představuje vázaný oxid uhličitý. Pokud je v prostředí nedostatek volného oxidu uhličitého, mohou ho rostliny využít v jeho vázané formě, která se v podobě nerozpustných uhličitanů usazuje na vegetaci a dně. Při tomto procesu dochází ke zvýšení pH vody až na hodnotu 11. (Sukop, 2006)

Oxid uhličitý je ve vodě spotřebováván při fotosyntéze, kde je prostřednictvím vodních rostlin přeměněn na další látky. Část CO_2 uniká ze systému opět difúzí a část se hromadí u dna při mikrobiálním rozkladu organické hmoty. V měkkých vodách, kde je nedostatek volných iontů, může být hydrogenuhličitanů nedostatek. V tomto případě ztrácí voda svou pufrací schopnost a její pH může značně kolísat. (Lellák a Kubíček, 1992) Pokud k tomu dojde, je vhodné pH nádrže upravit tak, aby voda znovu získala svou samoregulační schopnost.

3.2.3 Režim dusíku a fosforu

Pro rostlinnou produkci jsou důležité především sloučeniny dusíku a fosforu. K jejich uvolňování dochází při dekompozici organických látek na dně nádrže. Na základě pravidelné jarní a podzimní cirkulace v nádrži, dojde k jejich distribuci v celém objemu, kde jsou potřeba pro nadcházející produkční období. (Reichholf, 1998) Z hlediska obsahu živin ve vodě, určíme charakteristiku nádrže zvanou úživnost, nebo také stupeň trofie. Jak bylo již zmíněno v kapitole s názvem **Eroze a zanášení nádrží**, dochází v současné době k umělému přísunu živin. Je to způsobeno převážně splachem hnojiv ze zemědělských ploch v povodí nádrže a následnou akumulací živin, která má za následek zvýšené zarůstání a zanášení nádrží. (Petrtýl, 2018)

Fosfor, je v prostředí vodní nádrže limitujícím prvkem v otázce produkce biomasy. V přírodě se vyskytuje především uložen do sedimentů či bazických hornin z geologické minulosti Země. Do vodního prostředí vstupuje prostřednictvím zvětrávání a rozpouštění těchto hornin, ve formě ortofosforečnanů. Tak je připraven pro využití vodními organismy. Po jejich uhynutí, jsou organismy zpracovány destruenty a fosfor je uvolněn zpět do prostředí. K tomu dochází u dna nádrže během

letního a zimního období stagnace. Následně při cirkulaci dochází k redistribuci živin do celého objemu. (Lellák a Kubíček, 1992) Naopak dusík bývá většinou přítomen v dostatečném množství. (Reichholf, 1998) I přesto, že je v atmosféře dusíku značná část, tato forma není pro většinu organismů přístupná. Pro jeho využití, potřebují organismy jeho sloučeniny v organické či anorganické podobě. (Lellák a Kubíček, 1992) V maximálních hodnotách bývá dusík přítomen v nádržích s vodním květem. Dusík v organické podobě, je v nádrži prostřednictvím procesu amonifikace přeměněn na amoniak, kterou dále využívají bakterie v procesu aerobní nitrifikace či anaerobní denitrifikace. (Ambrožová, 2003)

Do celkového životního cyklu nádrže patří mnoho dalších důležitých prvků, které ovšem nejsou pro účely této diplomové práce klíčové a proto si je dovoluji vynechat.

3.2.4 Samočisticí procesy

Samočištění je souhrnný proces chemických, fyzikálních a biologických pochodů, pomocí kterých se příroda zbavuje nežádoucích znečišťujících látek. (Hlavínek a Říha, 2004) Aby mohli v nádrži efektivně probíhat tyto samočisticí procesy, je třeba, aby bylo vodní prostředí dostatečně okysličené. (Lellák a Kubíček, 1992) Za fyzikální samočisticí procesy je považována například prostá sedimentace nerozpuštěných látek, dále také sorpce a koagulace. U chemických čistících procesů pak hovoříme převážně o neutralizačních či srážecích reakcích a oxidačně-redukčních procesech. (Hlavínek a Říha, 2004) Biologické procesy samočištění jsou v systému těmi nejdůležitějšími. Jejich prostřednictvím je možné odbourat organické znečištění. K tomu dochází procesem mineralizace, jež probíhá za činnosti destruentů u dna nádrže. (Ambrožová, 2003 ex Máchová, 1992)

Ekosystém se tak vlastně snaží obnovit svou rovnováhu, navrácením do původního stavu. Procesy samočištění probíhají efektivně v tekoucích vodách, díky vyššímu obsahu kyslíku a kontaktu s přisedlou polykulturou v peřejnatých úsecích. Zdá se, že vliv na samočisticí schopnost vodního prostředí má také jeho ekologický stav. Pro tyto procesy jsou vhodné přirozené morfologie útvarů povrchových vod. I tato skutečnost je důvodem, proč je vhodné snažit se zachovat či obnovit podobnost s přirozeným ekosystémem. (Petrtýl, 2018)

Zdrojem znečištění ve vodě mohou být například odpadní vody z průmyslu, měst, nahodilé havárie, ale také zbytky odumřelých organismů. V rámci systému může docházet k akumulaci toxických nebo znečišťujících látek a možnosti jejich následného dalšího uvolnění. (Ambrožová, 2003), (Petrtyl, 2018) Sedimenty jsou však většinou tvořeny především vysráženými minerály, hrubozrnným pískem, jílem a dalšími půdními částicemi přinášenými přítokem. (Lellák a Kubíček, 1992)

3.2.5 Vodohospodářská činnost a údržba

Každá nádrž, ovlivňuje okolí, ve kterém se nachází. Úkolem vodohospodářů je co možná nejvíce podpořit pozitivní vlivy nádrže a naopak se snažit omezit ty negativní. (Votruba a Broža, 1980) To, zda je nádrž přínosem pro přírodu a krajinu, je otázka jejího provedení, ale také údržby. (Just a Moravec, 2017) Opatření, které jsou v rybníkářské praxi zařazována, pro účely zvýšení primární přirozené produkce či obnově vodního ekosystému a optimalizaci rybochovu, označujeme souhrnným pojmem meliorace, kdy dochází k manipulaci s vodou v nádrži. K těmto opatřením patří také hnojení, při které jsou do nádrže přidávány potřebné živiny, odbahňování a vápnění, prostřednictvím kterého dojde ke stabilizaci pH, alkalizaci prostředí a doplnění živin. (Spurný a kol., 2015) V průběhu snižování produkce rybníku, hovoříme o jeho stárnutí. (Jůva a kol., 1980)

V rámci péče o malou vodní nádrž se jednou za několik let provádí těžba usazených sedimentů. V krajních případech, mohou tyto sedimenty snižovat akumulační objem nádrže až o jednu třetinu. Samotné těžbě sedimentu nejprve předchází jeho průzkum, na jehož základě je zvolena vhodná metoda odstranění. Sedimenty je možné odstranit takzvanou mokrou cestou, za pomoci plovoucího sacího bagru. Pro tuto metodu je nezbytné, aby byl sediment rozpuštěn ve vodě, a není ji možné využít v místech, kde vodní vegetace zpevňuje dno nádrže. Suchá cesta pak znamená nejprve vypuštění celé nádrže a následné mechanické odstranění bagrováním či hnutím usazeného sedimentu. (Vrána a Beran, 1998) Je zřejmé, že tato cesta je pro stávající ekosystém nádrže likvidační.

Principem meliorací je omlazení nádrže a zamezení stavu vyčerpání kyslíku, který vede k započatí anaerobních rozkladných procesů, během kterých vznikají nežádoucí látky jako například bahenní plyn – metan. (Hartman a kol., 1998) V důsledku nedostatku kyslíku dochází ke zpomalení rozkladných procesů a do

vodního prostředí se dále neuvolňují potřebné živiny. Proto, aby se předešlo kyslíkovému deficitu, využívá rybníkářská praxe metod zimování a letnění. (Adámek, 2010), (Spurný a kol., 2015) Jde o procesy, které napomáhají zvýšit obsah kyslíku v sedimentech a obnovují aerobní rozkladné procesy, které jsou důležité pro zachování samočisticích procesů a kvality vody. Sedimenty dna jsou po určitou dobu ponechány na vzduchu, kde dochází k jejich prokysličení. Při zimování je dále využito efektu promrznutí, kde zbylá voda při přeměně na led zvětší svůj objem a bahno rozpraská. Tím je umožněno kyslíku dostat se do hlubších vrstev sedimentu. (Ambrožová, 2003) V rámci letnění je využíván obdobný princip, kde dochází k vysychání zbylé vody a popraskání dna nádrže s obdobným efektem jako při zimování. (Spurný a kol., 2015) V době letnění, dochází k zarůstání rybníku rostlinami, které po opětovném napuštění plní funkci tzv. zeleného hnojení, které znovu postupně obohacuje obsah živin ve vodě. (Adámek, 2010) V současné době se potýkáme spíše s nadbytkem živin v rybnících a také proto se letnění už příliš nevyužívá. (Adámek, 2010)

Z ekonomických důvodů je výhodnější zimování, kdy je nádrž vypuštěna mimo produkční období. Alternativou může být tzv. částečné letnění, kdy je rybník ponechán vypuštěný po dobu několika týdnů (Spurný a kol., 2015) Tyto postupy jsou vhodné i pro prevenci před šířením chorob. Během letnění, dochází k zneškodnění choroboplodných zárodků prostřednictvím UV záření ze slunečního svitu. Letnění se také častěji pojí s technickou údržbou nádrže. (Adámek, 2010)

3.3 Zvuk

Je mechanické vlnění, při kterém dochází k přenosu energie skrz pružné prostředí. Vědecký obor zabývající se studiem zvuku se nazývá akustika. (Slavík, 1962) Mezi základní vlastnosti zvuku, pomocí kterých jej můžeme charakterizovat, řadíme jeho intenzitu - I . Tímto pojmem, rozumíme hodnotu akustického výkonu, vztaženého na m^2 . Jeho jednotku tedy představuje $[W \cdot m^{-2}]$. Často se setkáváme s vyjádřením akustické intenzity pomocí logaritmického měřítka – decibelové stupnice, vztažené k mezní hodnotě slyšitelnosti, kterou představuje intenzita o velikosti $10^{-12} [W \cdot m^{-2}]$. V tomto případě pak hovoříme o hladině akustické intenzity L . (Kaňka, 2007).

Mezi další důležité charakteristiky pro zvuk patří jeho frekvence, zvaná také kmitočet, který představuje počet změn akustického tlaku za 1 vteřinu. Rozsah zvuku, který je slyšitelný pro člověka, je většinou v hodnotách 20 – 20 000 kmitů za vteřinu. (Nový, 2009) Další autoři, například Kaňka (2007) zmínili, že toto rozmezí je 16 – 16 000 Hz. Jak je vidět, tyto hodnoty mohou být lehce proměnlivé, ale jejich rozsah se řádově podobá.

Člověk přijímá zvuk prostřednictvím sluchového orgánu, který je tvořen vnější částí – ušním boltcem a zvukovodem a vnitřním systémem, kde je signál přijat a přeposlán sluchovým nervem do mozku k vyhodnocení. (Kaňka, 2007)

Mimo frekvenční pásmo slyšitelné pro člověka, rozlišujeme déle infrazvuk, který se pohybuje ve frekvencích pod 20 Hz. Na druhé straně slyšitelného spektra se nachází ultrazvuk a hyperzvuk, kterým označujeme frekvenci přesahující 1GHz. Vzhledem k tomu že, slyšitelné pásmo nabývá u zvířat rozdílných hodnot, jedná se jen o jistou konvenci a toto rozdělení není stanoveno na základě fyzikálních změn podstaty zvuku. Je pouze odvozeno od sluchu člověka. (Bajer, 2012)

3.3.1 Ultrazvuk

Část zvuku, který svou frekvencí převyšuje hranici 20 KHz, označujeme jako ultrazvuk. Šíří se přímočaře a řídí se zákony odrazu a lomu. V praxi se využívá pro metody zobrazování, jako je například echolokace. Ta využívá odrazu ultrazvukového vlnění a navrácení jeho ozvěny. Na tomto principu funguje SONAR, což je anglická zkratka pro SOund NAVigation and Ranging, představující technologii vynalezenou v souvislosti s tragickým potopením Titaniku, pro detekci plujících ledovců. (Bajer, 2012), (Saracin a Calin, 2014)

Mimo vodu se využívá technologie RADARu, která využívá rádiových vln. U sonaru, se jedná o vlny akustické, které se svými vlastnostmi hodí pro využití zejména ve vodním prostředí, naopak při průchodu zvuku vrstvou vzduchu dochází k jeho rychlému tlumení, a proto akustické sonary nejsou vhodné pro použití na souši. (Bajer, 2012) Princip echolokace pomocí ultrazvuku je v přírodě využíván netopýry, delfiny a dalšími živočichy, slouží jim k lepší orientaci za účelem detekce potravy a nebezpečí. (Bajer, 2012) Ultrazvukové zobrazovací metody se často využívá v medicíně, kde je s pomocí této technologie možné získat neinvazivní zobrazení vnitřních tkání. Mezi další aplikace pro využití patří analýza vlastností

kapalin, geofyzikální průzkumy lokalizující defekty materiálu a měřicí techniky pro stanovení tloušťky a mechanických vlastností materiálů. (Obraz, 1984)

3.3.2 Šíření zvuku

Podmínkou pro vznik zvuku je jeho zdroj a také přenosové médium. Částice vázané v pružném prostředí si postupně předávají vzruch ve směru od zdroje. To označujeme jako šíření zvuku. Jeho rychlost je závislá na fyzikálních vlastnostech prostředí. Pokud k šíření dochází v izotropním prostředí, zvuk se bude dále šířit všemi směry se stejnou rychlostí. Toto šíření probíhá ve vlnoplochách. Je to geometrické vyjádření místa, kam v průběhu stejného času dospělo akustické vlnění. (Slavík, 1962) V rámci jedné vlnoplochy je v každém jejím bodě shodný akustický stav. (Nový, 2009) Pokud můžeme zdroj zvuku považovat za bodový, zvuk se bude od tohoto bodu šířit v soustředných kulových vlnoplochách. Ve velké vzdálenosti od zdroje, kde je zakřivení vlnoploch minimální, můžeme uvažovat o vlnoplochách rovinných, ty se však ve skutečnosti v přírodě nevyskytují. (Slavík, 1962)

Při šíření zvuku prostředím o různých skupenstvích, neprobíhá přenos mechanického vlnění stejným způsobem. Zatímco v pevných látkách, se zvuk může šířit pomocí podélného i příčného vlnění, či jejich kombinací, v kapalinách a plynech nastává pouze vlnění podélné, kdy je směr šíření totožný, se směrem kmitajících částic. (Kaňka, 2007) Vlnění se ve volném prostoru šíří přímočaře, a pokud dojde ke střetu s překážkou, může dojít ke vzniku stínu, kde se vlnění za překážku nedostane. Vzhledem k tomu, že při akustickém vlnění dochází k jeho ohybu, u malých překážek ke vzniku stínu zpravidla nedochází. Při šíření zvuku prostředím, dochází ke změnám na základě reakcí, způsobených nehomogenitou prostředí. Dochází tak k ohybu, odrazu, tlumení či soustředění vlnění. (Slavík, 1962)

Rychlost šíření zvuku v prostředí je závislá na vlastnostech prostředí. V rozdílných podmínkách se tedy zvuk šíří odlišnou rychlostí. Hustota a stlačitelnost prostředí jsou pro rychlost šíření klíčové. (Tole, 2005) Stejně jako hustota je tedy i rychlost šíření akustických vln závislá na teplotě. (Nový, 2009) S rostoucí teplotou klesá hustota vody, zatímco rychlost zvuku se zvyšuje.

3.4 Batymetrie

V rámci mapování zemského povrchu vzniklo historicky mnoho postupů, které se snažili, o co možná nejpřesnější zobrazení reálného světa. Vzhledem k tomu, že je naše planeta Země tvořena převážně zatopeným územím, je jisté, že jsme se v určitou chvíli setkali s potřebou mapování terénu pod vodní hladinou. Vědecký obor, zabývající se touto problematikou se nazývá batymetrie. (Marval, 2018)

Historické batymetrické měřicí metody, se spoléhali na měření hloubky pomocí lan, které byly společně s připevněným závažím spouštěny do vody. Po dosažení dna, bylo lano vytaženo a hloubka odvozena změřením ponořené části. (Mayer, 2016)

V současnosti, jsou využívány moderní měřicí metody, fungující na principu echosoundingu, během kterého dochází k vyslání ultrazvukového signálu skrz vodní prostředí až ke dnu, kde dojde k odražení signálu a jeho navrácení v podobě ozvěny zpět do vysílače. V průběhu toho je měřena doba, za kterou dojde k vyslání a navrácení. Pomocí známé rychlosti šíření zvuku ve vodě, je následně vypočítána vzdálenost, kterou ultrazvukový paprsek urazil. Polovina z této vzdálenosti představuje cílovou hloubku v daném bodě nádrže. Tento vztah je zapsán následující rovnicí č. 1. (Saracin a Calin, 2014)

$$R = \frac{C \cdot T}{2}$$

Rovnice č. 1: R – angl. range – vertikální vzdálenost (hloubka), C – rychlost zvuku ve vodě, T – čas během kterého došlo k vyslání a navrácení paprsku (Saracin a Calin, 2014)

Rychlost šíření zvuku je závislá na vlastnostech prostředí. (Slavík, 1962) Autor Urick (1979) uvádí že, pokud chceme určit hloubku za pomoci měření doby návratu odraženého paprsku, musíme vždy znát přesné rychlosti šíření paprsku v prostředí. Pro přesné batymetrické měření je tedy nezbytné současně měřit i teplotu, tlak a salinitu v celém vertikálním profilu nádrže a z těchto hodnot odvodit rychlosti šíření zvuku vodním prostředím v konkrétních podmínkách.

V následujících kapitolách budou blíže představeny přístroje v současnosti využívané katedrou pro batymetrické průzkumy. RiverSurveyor M9, fungující na

principu jednobodového echosoundingu a nově pořízený přístroj CastAway CTD, který zajišťuje doplňující měření teploty, tlaku a salinity v rámci vertikálního profilu nádrže.

3.4.1 RiverSurveyor M9

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování, má v současné době k dispozici, přístroj RiverSurveyor M9, od společnosti SonTek. Tento přístroj je současně určený pro měření průtoků v řece, kde prostřednictvím měření času potřebného k vyslání a přijmutí akustických paprsků odražených od volně plujících částic unášených vodou, slouží k vypočítání rychlosti proudění vodního toku. RiverSurveyor je multifunkční přístroj sloužící k získávání dat v mělkých i hlubokých vodách poskytující příležitost pro využití při měření v extrémních podmínkách, v případech povodně a sucha (SonTek, 2015). Přístroj využívá technologii ADP – Acoustic Doppler Profiler a je schopný měřit současně, proudění v řece i batymetrii dna. Přístroj je navržen pro měření, při kterém je upevněn do nosné plovoucí desky, která se v průběhu měření pohybuje po délce vodní plochy, respektive toku, či může být využita jako základna pro stacionární měření (SonTek, 2013).

Verze M9 je vybavena dvěma sety čtveřic paprsků pro měření průtoků a jedním vertikálním paprskem o frekvenci 0,5 MHz, který zajišťuje měření batymetrie dna. Přístroj je kompatibilní se stabilní plovoucí deskou, pomocí které je možné provádět měření napříč řekou (SonTek, 2013). V rámci výzkumu vedeného na KVHEM, bylo týmem Ing. Václava Hradilka, testováno využití přístroje RiverSurveyor M9, při upevnění do kajaku určeného pro jednu osobu, umožňující využití přístroje pro měření batymetrie MVN v podmínkách České republiky. Získávání dat, je v tomto případě realizováno prostřednictvím série přejezdů přes MVN. Jednotlivé hloubky v nádrži, jsou při přejezdu zaznamenány v bodových měřeních, které jsou za pomoci GPS souřadnic systémem zapsány do paměti přístroje. (Autor, 2017). Data získaná z tohoto měření byla ve výzkumu porovnána s paralelním měřením bodové batymetrie pomocí teleskopické měřicí tyče. Naměřené hodnoty byly zpracovány v prostředí softwaru ESRI, ArcGIS, kde byly za využití interpolačních funkcí vytvořeny batymetrické mapy, které prokázaly blízkou shodu obou měření (Hradilek a kol., 2015).

Měřicí metoda využívající akustického paprsku procházejícího vodním prostředím, je závislá na parametrech vody, jako jsou: hustota, salinita a teplota. Ultrazvukový signál se v rozdílných prostředích, pohybuje s odlišnou rychlostí. Tyto faktory mají odlišnou váhu, kde k největší změně dochází při rozdílné teplotě. Pokud se teplota vody změní o 1° C, rychlost šíření zvuku se v tomto prostředí změní o 4 m/s. Pro porovnání s vlivem salinity a tlaku je přiložena následující tabulka č. 1 (SonTek, 2013).

	Change	Effect on Sound Speed
Temperature	1° C	4.0 m/s
Salinity	1 PSU	1.4 m/s
Depth	100 m	1.7 m/s

Tabulka č. 1: Přehled vlivu teploty, salinity a tlaku na změnu rychlosti šíření zvuku ve vodě. Jednotka salinity PSU - practical salinity unit se užívá při určování salinity na základě elektrické vodivosti. Ekvivalentem je jednotka PPT – angl. parts per thousand. (Sontek, 2013)

Při změně charakteru prostředí, dochází ke změně rychlosti šíření procházejícího akustického paprsku, což dále vede ve výpočtu hloubky k nepřesnostem měření. K větším chybám dochází zejména při měření ve velkých hloubkách nebo ve stratifikovaných prostředích s výraznou změnou teploty či salinity (SonTek, 2013). Přístroj River surveyor M9, je schopen na vodní hladině změřit faktory ovlivňující hustotu a rychlost šíření zvuku, tyto hodnoty však dále používá pro celý vodní sloupec, kde zanedbává proměnlivost prostředí a tím dochází k nepřesnostem měření. Pro korekci měřených dat o aktuální teplotu, salinitu a tlak, je možné využít přístroj CTD CastAway (Conductivity Temperature Depth). Jedná se o kompaktní měřicí přístroj, kompatibilní s platformou RiverSurveyor, prostřednictvím kterého můžeme ve vodní nádrži tyto data zaměřit. Přístroj bude dále představen v následující kapitole.

3.4.2 CTD CastAway

Při batymetrických měřeních využívajících metodu akustického paprsku nedochází k přímému měření hloubky. Vzdálenost dna je vypočtena z měřeného

času, během kterého dochází k vyslání akustického paprsku, jež se následně odrazí ode dna a navrátí zpět do vysílače (přijímače). Při průchodu vodním prostředím dosahuje zvukový signál rychlosti, která odpovídá parametrům danému prostředí. Prostupnost signálu skrz vodní masu je ovlivněna hustotou prostředí, ta je závislá především na teplotě, salinitě a tlaku. (Sontek, 2011)

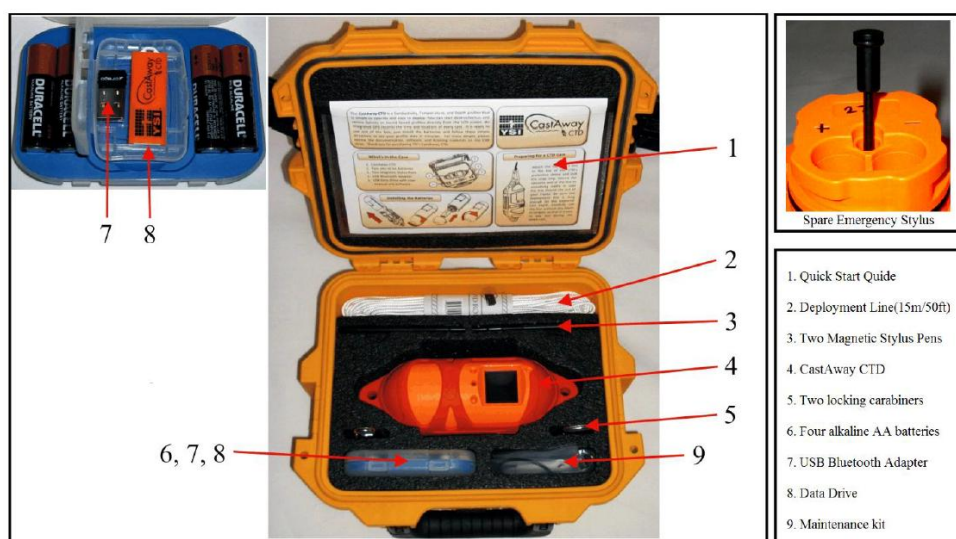
Pro potřeby měření těchto veličin, je určen měřicí přístroj CastAway CTD. Jeho hlavními výhodami je kompaktnost – přístroj a všechny jeho součásti se ukládají do malého kufříku (obr. 2), který je součástí příslušenství, dále jednoduchost uživatelského rozhraní a dostupnost, kdy pro obsluhu přístroje v rámci měření stačí jedna osoba. Přístroj je navržen pro měření dosahující až 100 m hloubky. (Sontek, 2012)

Cast Away je vybaven třemi měřicími čidly pro měření teploty, tlaku a konduktivity v hloubkovém průřezu vodním prostředím. (Sontek, 2012) Samotná hloubka je při měření odvozena na základě změny tlaku ve vodním sloupci, který se mění přibližně o 1 dbar na 1m vodního sloupce, při velmi hlubokých měřeních se tato mírně mění a může to do výpočtů přinést nepřesnosti. Samotný měřicí přístroj má integrovaný LCD displej, který je ovládán pomocí magnetického dotykového pera a trojice voděodolných tlačítek zapuštěných do těla přístroje. Na displeji je také možné zobrazit výsledky měření ihned po jeho ukončení (obr. 3). Tato funkce pomáhá pro rozhodnutí pro opakování měření nebo získání většího množství vzorků. Na základě naměřených hodnot jsou vykresleny zjednodušené grafy znázorňující změny měřených veličin v průběhu provedeného ponoru. (Sontek, 2012)

Přístroj je schopen měření bez dalších nastavení již několik okamžiků po jeho spuštění. Po zapnutí, dojde k automatickému vyhledávání dostupných satelitů, ke kterým se CastAway sám připojí. V tuto chvíli proběhne také automatické nastavení data, času a zachycení polohy pomocí integrovaného GPS systému.

Samotné měření přístrojem je jednoduché, dotykovým perem spustíme režim měření. Následně přístroj spustíme do vody do hloubky přibližně 20-ti centimetrů. V této fázi setrváme alespoň 10 vteřin, čímž dojde ke stabilizaci měřících čidel. Po uplynutí času necháme přístroj samospádem klesnout na dno a následně jej za upevněné nosné lanko vytáhneme rychlostí přibližně 1m za sekundu. Měření tlaku, teploty a konduktivity probíhá během celého ponoru i vytažení a výsledkem je řada bodů zaměřených ve vertikálním profilu nádrže. K ukončení ponoru, uložení a

zobrazení výsledků měření použijeme spodní levé tlačítko. Přístroj je ihned připraven pro další ponor.



Obr. 2: Obsah kompaktního balení přístroje CTD CastAway (Sontek, 2012)

1 – Rychlý návod k obsluze, 2 – úchytné lano, 3 – magnetická dotyková pera, 4 – zajišťovací karabiny, 6 – čtyři baterie typu AA, 7 – USB konektor, 8 – datový disk, 9 – balíček pro údržbu

Dle uživatelského manuálu má korektní postup vypadat následovně:

- 1) Provedeme kontrolu přístroje a všech jeho součástí
- 2) Uchytíme nosné lano pomocí karabiny k ochrannému obalu
- 3) Uchytíme opačný konec lana, pro případ, že by lano vyklouzlo obsluze z rukou
- 4) Zapneme měření a provedeme kontrolu dostupných satelitů a signálu GPS
- 5) Přístroj spustíme do vody těsně pod hladinu, kde setrváme 10 vteřin pro stabilizaci senzorů na povrchu vody
- 6) Následně necháme přístroj klesat volným pádem
- 7) Ihned po dosažení dna jej začneme vytahovat rychlostí přibližně 1 m/s
- 8) Po vytažení přístroje ukončíme sběr dat a potvrdíme koncové GPS souřadnice
- 9) Naměřená data můžeme ihned prohlížet na LCD displeji
- 10) Přístroj opláchneme v čisté vodě, necháme oschnout a bezpečně uložíme

(Sontek, 2012)

Získání uložených dat z přístroje CastAway CTD se realizuje prostřednictvím bluetooth přenosu na počítač s instalovaným softwarovým ovladačem CastAwayCTD. Po spárování zařízení a otevření programu dojde k automatickému přenosu dat. Pro počítače bez integrovaného bluetooth je součástí balení i USB klíč s touto funkcí. Platforma CastAway je dále kompatibilní se softwarovým ovladačem RiverSurveyor M9 live, v rámci kterého je možné aplikovat výsledky měření provedená přístrojem CastAway CTD, pro korekci rychlosti šíření akustického paprsku. S využitím programu CastAway CTD, můžeme prohlížet jednotlivá měření a pokud je počítač připojen k internetu, software propojí podkladovou mapu s lokacemi jednotlivých měření. K dispozici je řada nástrojů pro zobrazení grafů vztažených k měřeným veličinám.

Přístroj je navržen pro maximální hloubku ponoru 100m, pokud by došlo k překročení, může dojít k jeho poškození. Hloubka pro ponor by zároveň neměla být méně než 0,5 m. Pokud je třeba provést měření v takto mělkých vodách, je možné k tomu využít režim bodového měření, který můžeme nastavit prostřednictvím dotykového pera. Nejmenší hloubka pro bodové měření se zachováním kvalitních výsledků je 20 cm. (Sontek, 2012)

Pro zaručení dlouhodobě spolehlivých výsledků, je třeba o přístroj adekvátně pečovat. V balení je přiložena sada pro údržbu, která obsahuje kartáček na očištění měřicích čidel a lubrikační přípravek pro ošetření kontaktů baterií. Přístroj je dle výrobce nezbytné každý rok nechat továrně kalibrovat. (Sontek, 2012)



Obr. 3: CTD CastAway umožňuje prohlížení naměřených hodnot přímo na lokalitě. (Autor, 2020)

V rámci případových studií propagovaných na webu výrobce byl přístroj využit například pro výzkum mořského proudění pod ledem v polárních oblastech a jeho vliv na odtávání plujících ledovců. Během výzkumu byl přístroj spouštěn do hloubky až 100 m pod hladinu moře. Teplota vzduchu během měření dosahovala – 40 °C. Pro měření v takto extrémních podmínkách bylo klíčové především rychlé a jednoduché ovládání přístroje. (Sontek, 2011) V jiné studii byl přístroj využit pro environmentální posudek, pro rozšíření přístavu Port of Manzanillo. Jednalo se o uvažované připojení laguny, která vznikla při výstavbě silnice do přístavu. Jedna z obav byla, že při připojení laguny k moři by došlo k příliš rychlému nárůstu salinity a ekosystém, který si zvykl na sladkou vodu, by tuto změnu neunesl. Další otázkou bylo, zda a jakým způsobem by docházelo k přenosu polutantů z přilehlého města. Pro hodnocení efektu na prostředí laguny bylo třeba porozumět komplexní dynamice vody. S pomocí CastAway CTD zjistili, že dochází k protisměrnému proudění na rozdílných stranách termokliny. To bylo klíčové pro postavení 3D modelů proudění, které jim umožnily simulovat vliv rozšíření přístavu na lagunu. (Sontek, 2019)

Přesnosti měření jednotlivých veličin, pro přístroj CTD Cast Away, jsou uvedeny v následující tabulce č. 2:

přímo měřené:	rozsah	rozlišení	přesnost
teplota	-5 - 45	0,01 °C	± 0,05
tlak	0 - 100 dbar	0,01 dbar	± 0,25% z FS *
vodivost	0 - 100 000 μS/cm	1 μS/cm	0,25% ± 5 μS/cm
odvozené:	rozsah	rozlišení	přesnost
hustota	990 - 1035 kg/m ³	0,04 kg.m ³	± 0,02 kg/m ³
salinita	do 42	0,01	± 0,1
rychlost zvuku	1400 - 1730 m/s	0,01 m/s	± 0,15 m/s

* FS - percentage of full scale

Tabulka č. 2: Přehled přesností při měření vybraných veličin přístroje CTD CastAway

(Sontek, 2016)

4 Charakteristika zájmového území

Lokalita, na které byla provedena opakovaná měření, se nachází přibližně 10 km od jihovýchodního okraje Prahy (obr. 4), svou polohou spadá do Středočeského kraje. Jedná se o soustavu nádrží ležících na Jevanském potoce. Přehledná mapa umístění jednotlivých nádrží se nachází v příloze č. 1.



Obr. 4: Poloha zájmové lokality v rámci ČR

Jevanský potok je pravobřežním přítokem řeky Sázavy. Jejich soutok se nachází u obce Stříbrná Skalice. Celková délka potoka, je přibližně 21 km. Jeho pramen začíná u obce Louňovice v nadmořské výšce 480 m.n.m. (David a Soukup, 2007), (Vlček, 1984) Potok dále protéká několika obcemi, ve kterých má podobu silně regulovaného, místy zatrubněného toku. Ve své střední části se proměňuje v dynamické lesní koryto. Tento charakter si dále udržuje i mezi jednotlivými nádržemi (obr. 5). V úseku od Vyžlovského rybníku, až téměř po nádrž Šáchovec, se setkává s hranicí národní přírodní rezervace Voděradské bučiny, které jsou se svou rozlohou dosahující 658 ha, třetí největší rezervací středočeského kraje. (Průša, 1990).

Potok je zdrojem vody pro soustavu nádrží. Přehled jeho základních charakteristik je dále uveden:

Název: **Jevanský potok**
 Číslo hydrologického pořadí: **1-09-03-106**
 Plocha dílčího povodí: **76,1 km²**
 Délka toku: **20,9 km**

(databáze HEIS VÚV, ©2020)



Obr. 5: Charakter Jevanského potoka z pohledu z hráze nádrže Švejcar. (Autor, 2020)

Soustava nádrží je tvořena celkem 12 – ti nádržemi. V rámci zpracování mé diplomové práce, jsem vybrala 10 z nich pro svá měření. Jejich přehled je k dispozici v následující tabulce č. 3, kde jsou nádrže seřazeny tak, jak následují ve směru od pramene Jevanského potoka:

	Vodní nádrž	celkový objem [tis.m3]	retenční objem [tis.m3]	rozloha [ha]	typ	poznámka
1	Návesní	není k dispozici	není k dispozici	0,05	průtočný	vyřazen z měření
2	Požár	25	10	3,8	průtočný	
3	Louňovický rybník	60	30	6,5	průtočný	
4	Pařez	18	10	3,8	průtočný	ČOV, ÚPV
5	Vyžlovský rybník	300	100	18,9	průtočný	
6	Ján	56	20	4,3	průtočný	
7	Švýcar	50	19	3,6	průtočný	
8	Jevanský rybník	300	90	17,6	průtočný	
9	Pilský	není k dispozici	není k dispozici	0,19	boční	
10	Šáchovec	není k dispozici	není k dispozici	2	boční	
11	Propast	135	45	9,2	boční	
12	Hruškov	53	17,5	6,9	průtočný	vyřazen z měření

Tabulka č. 3: Přehled nádrží ležících na Jevanském potoce. (Autor, 2020)

Z měření byly vyloučeny nádrže Návesní rybník a Hruškov. V prvním případě se jedná o MVN s malou rozlohou nacházející se uvnitř obce Mukařov, kde bylo předpokládáno výrazné ovlivnění teplotního režimu nádrže intravilánem. Druhá vyloučená nádrž, je svým charakterem vhodná pro zapojení do zpracování, avšak v průběhu měření na soustavě, byla nádrž trvale upuštěna a pro nízký stav vody, znemožňující měření, jsem ji musela vyloučit. Vzhledem k tomu, že obě vyloučené nádrže se nachází na opačných koncích soustavy na Jevanském potoce, nedojde jejich vynecháním k diskontinuitě měřené soustavy. Propojenost soustavy nádrží je příhodná pro porovnání souvislosti morfologií nádrží, vznikem a charakterem tepelné stratifikace v průběhu zimního období, jelikož jsou všechny nádrže napájeny stejným zdrojem vody.

V rámci celé soustavy můžeme vidět variabilitu v morfologiích jednotlivých nádrží. Od malé nádrže Pílský r., situované v lese až po velké rybníky Jevanský a Vyžlovský, představující oblíbené rekreační cíle pro chatáře z okolí.



Obr. 6: Pohled na nádrž Propast z hráze rybníka. (Autor, 2020)

Pokud pomíneme rozlohu, mezi ostatními vybočuje nádrž Propast, Šáchovec a drobná nádrž Pílský rybník, které jsou jiným konstrukčním typem nádrže. Na rozdíl od ostatních průtočných nádrží se jedná o nádrže, které neleží přímo na hlavním toku

Jevanského potoka, ale jsou napájeny bokem prostřednictvím náhonu. Nádrž Propast (obr. 6) je specifická i pro svou polohu, jedná se o nejodlehlejší místo od zbytku soustavy. Propast je historickou nádrží, která v uplynulých letech prošla revitalizací. Jevanský potok je znám také pod jménem Propast, v souvislosti s tímto historickým rybníkem. (Letošník, 1989)

5 Metodika

5.1 Sběr dat

Sběr hlavních dat byl realizován prostřednictvím přístroje CastAway CTD (obr. 7). Na vybraných nádržích ze soustavy na Jevanském potoce byly v průběhu podzimu, zimy, jara a počátku léta zaměřeny teplotní, salinitní a tlakové profily. Měření tímto přístrojem, bylo realizováno spouštěním přístroje do vody, dle uživatelského manuálu viz. kapitola 3.4.2 CTD Cast Away, převážně z objektu výpustného zařízení, které ve většině případů umožňovalo nejjednodušší přístup vodnímu prostoru v předpokládaném nejhlubším místě nádrže – u paty návodní strany hráze.



Obr. 7: Měřicí přístroj CTD Cast Away, připravený k profilování. (Autor, 2020)

Vzhledem k tomu, že u některých nádrží docházelo během sledovaného období k manipulaci s vodní hladinou, nebylo vždy možné měření nádrže provést, z důvodu nízké hladiny a zřejmého výrazného promíchání v důsledku odtoku vody.

V rámci některých nádrží nebylo možné provést měření z výpustného objektu (obr. 8 a 9) a bylo třeba využít improvizovaného přístupu prostřednictvím měření z kraje hráze. Každé měření bylo opakováno dvakrát a v rámci postprocessingu

měřených dat byly z této dvojice vybrány kvalitnější (většinou hlubší) profily. Měření, provedená na podzim a na začátku léta, byla odlišná tím, že byl přístroj spuštěn přímo z kajaku, v několika místech nádrže. Pomocí kajaku s přístrojem River Surveyor M9, byla na podzim dále zaměřena batymetrie nádrže Propast a na začátku léta nádrže Požár.



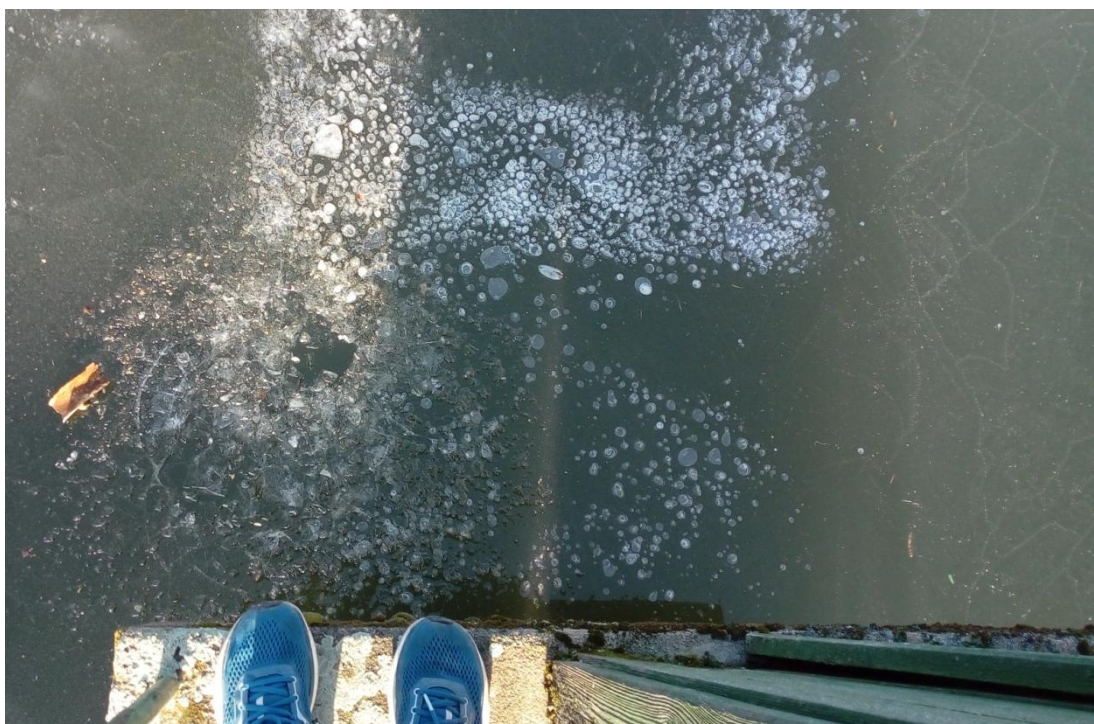
Obr. 8: Měření profilů na Jevanském rybníce, realizované z objektu výpustného zařízení. (Autor, 2020)



Obr. 9: Měření na nádrži Šáchovec. (Autor, 2020)

Sběr batymetrických dat byl proveden prostřednictvím série přejezdů kajakem přes malou vodní nádrž s upevněným měřicím přístrojem River Surveyor M9. Přístroj v pravidelném časovém intervalu vysílá ultrazvukový signál směrem ke dnu nádrže, kde se paprsek odráží a navrácí do přístroje. Pomocí času potřebného k uražení této dvousměrné cesty je vypočítána hloubka v daném bodě nádrže. V rámci jednoho přejezdu přes MVN tak získáme množství bodových měření v trase kajaku na hladině. Pro dosažení přesných výsledků měření byla dále využita stanice RTK. Data byla v průběhu následného postprocessingu stažena z přístroje a upravena zadáním magnetické deklinace prostřednictvím softwaru River surveyor life. Následný export dat do tabulky, obsahující záznamy naměřených hodnot, prostřednictvím souřadnic UTM X, UTM Y s přiřazenou naměřenou hloubkou v daném bodě, byl pomocí softwaru AcrGIS převeden na bodové vrstvy. Prostřednictvím interpolační metody Spline with tension, byly z dat vytvořeny batymetrické mapy, které vizualizují průběh terénu pod hladinou nádrží. Tyto mapy byly vytvořeny z dat, které byly naměřeny na nádrži Propast v listopadu a na nádrži Požár v červnu. Současně byly zaměřeny i teplotní profily prostřednictvím spuštění z kajaku. Dále byly batymetrické mapy vytvořeny i pro data zaměřená na nádržích Propast a Požár v roce 2017, pro možnost porovnání míry zanesení nádrží v průběhu uplynulých 3 let.

V případě měření teplotního profilu z kajaku bylo možné nádrž zaměřit v několika místech. To poskytuje informace o variabilitě průběhu teplotních profilů v prostoru nádrže. Tento způsob měření se proto jeví jako lepší varianta, nicméně v průběhu zimního období došlo k očekávanému zamrznutí nádrží, což opětovné použití kajaku vyloučilo. Měření bylo tedy nahrazeno výše popsaným spouštěním z výpustného objektu. V případě, že se led tvořil i v nejbližším okolí objektu, bylo třeba jej nejprve rozbít (obr. 7). To samozřejmě mohlo vést k nežádoucímu promíchání teplotních vrstev a ovlivnění měření.



Obr. 10: Led na povrchu Jevanského rybníku bylo třeba rozbít, aby mohl být přístroj spuštěn do vody.
(Autor, 2020)

Teplotní data byla měřena v průběhu roku od listopadu do června. V případě posledního měření, které bylo realizováno prostřednictvím kajaku, jsem na všech nádržích, (s výjimkou Pilského rybníka, který byl vypuštěn) zaměřila také část batymetrie, vedené v ose výpustného zařízení, dosahující přibližně do poloviny nádrže.

5.2 Zpracování dat

V první části, byla data z teplotních profilů získaná přístrojem CTD Cast Away, exportována pomocí ovládacího softwaru a využita pro vytvoření přehledu vývoje průměrné a maximální teploty v rámci jednotlivých nádrží, v průběhu roku. Dále byly využity grafy ze softwaru CTD Cast Away, pro vizuální porovnání vlivu teploty, salinity a tlaku, na změnu v rychlosti šíření zvuku ve vodním prostředí.

V druhé části, byly porovnány výsledky batymetrických měření nádrže Propast z března 2017 s listopadem 2019 a nádrže Požár z března 2017 a června 2020. Na těchto dvou příkladech, byly dále vypočítány odchylky určené pomocí ukazatele RMSE (rovnice č. 2) a MAE (rovnice č. 3), dosažené v batymetrických datech z listopadu 2019 a června 2020, při využití korekce, získané z teplotních profilů.

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

Rovnice č. 2: RMSE – angl. root mean square error. X_i – data bez korekcí, Y_i – data se zahrnutou korekcí

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - y_i|$$

Rovnice č. 3: MAE – angl. mean absolute error. X_i – data bez korekcí, Y_i – data se zahrnutou korekcí

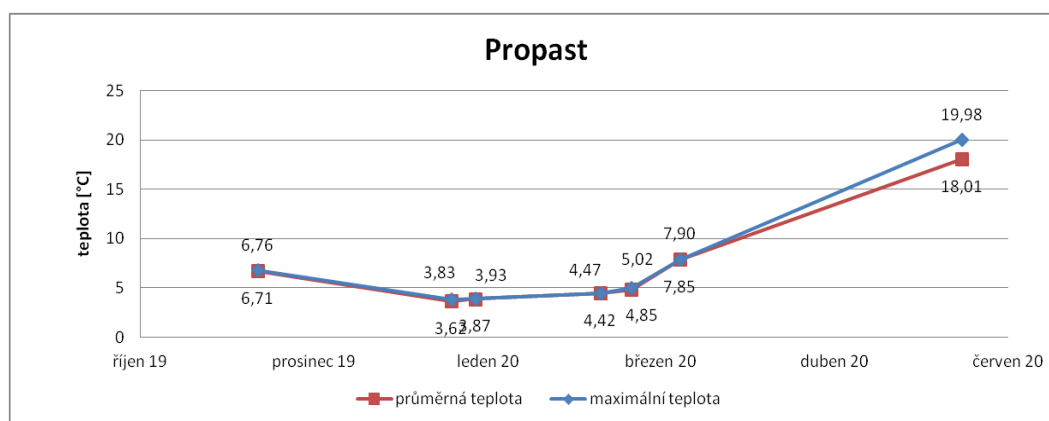
V rámci toho, bylo dále zamýšleno simulovat využití této korekce pro batymetrická měření z roku 2017, kde by byly z profilů naměřených v roce 2019/2020, vybrány podle historických meteorologických záznamů z volně přístupné databáze ČHMÚ, nejpodobnější podmínky, odpovídající době zaměření a využity pro nejbližší korekci.

V poslední části bylo využito batymetrických dat, získaných během měření v červnu 2020, pro porovnání výsledků při aplikaci korekcí z CTD Cast Away a dat bez korekce. Tyto data byla využita pro stanovení odchylky hloubek v jednotlivých bodech.

6 Výsledky

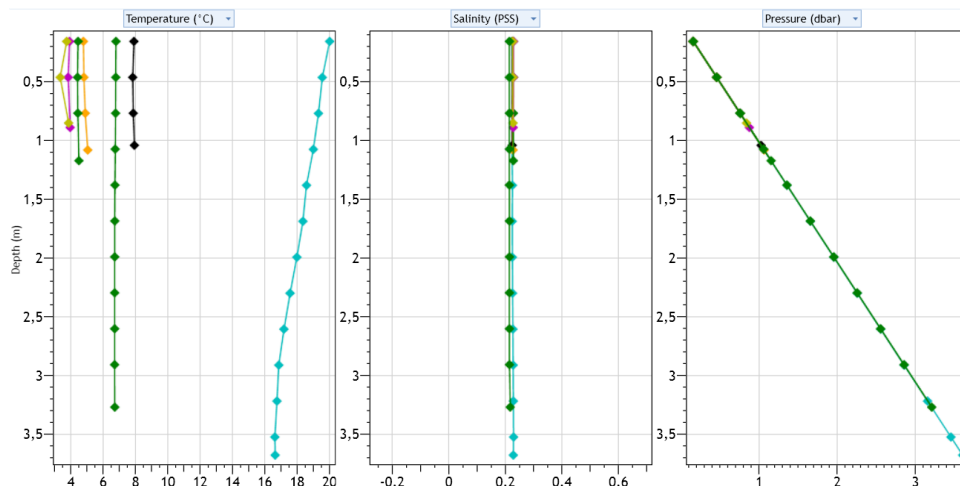
Na základě naměřených dat byl vytvořen ucelený přehled vývoje teploty pro každou z měřených nádrží. Pro některé nádrže bylo k dispozici omezené množství dat, které bohužel nezahrnují průběh teploty v rámci všech ročních období. Důvodem je manipulace s vodní hladinou, která neumožňovala podmínky pro měření. Prodloužená doba, uplynulá od březnového do červnového měření, je důsledkem pandemie Covid-19, nicméně pokud by celostátní omezení nenastala, měření by byla ukončena již v březnu a nezahrnovala letní období.

Na následujícím grafu (obr. 11), můžeme vidět teploty naměřené na nádrži Propast, v průběhu 7-mi měření, realizovaných v období od listopadu 2019 do června 2020. Modré body představují hodnoty maximálních teplot z celkového teplotního profilu. Červená data jsou průměrnou teplotou z naměřených profilů.



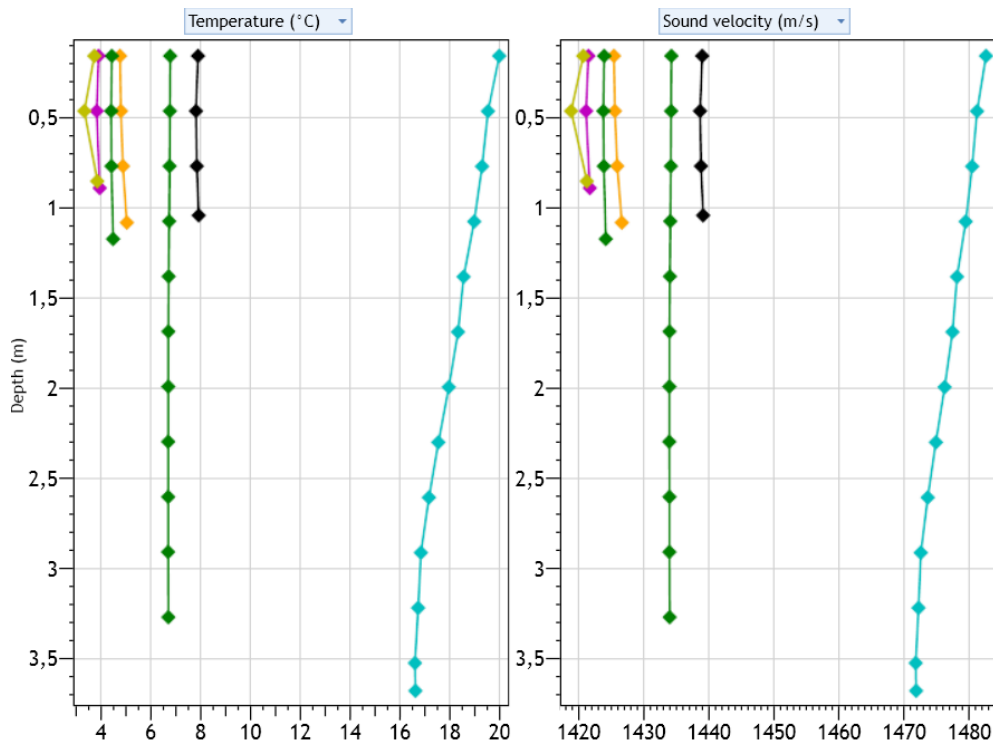
Obr. 11: Průběh maximální a průměrné teploty v rámci sledovaného období na nádrži Propast

Na nádrži Propast bylo poprvé testováno použití přístroje CTD Cast Away v terénu. Tato nádrž byla také jako jediná ze soustavy zaměřena i v listopadu. Nádrž nebyla za celé sledované období upuštěna, a z této lokality je tedy k dispozici nejvíce dat. Měření realizovaná v listopadu a červnu byla provedena s využitím kajaku, tudíž bylo možné dosáhnout výrazně větších hloubek, při spouštění zařízení do vody, na rozdíl od zbylých měření, realizovaných z výpustného zařízení či kraje hráze. Pro porovnání hloubky a průběhu jednotlivých profilů je dále uveden jejich přehled pro tuto nádrž.



Obr. 12: Zaměřený teplotní, salinitní a tlakový profil z listopadového měření na nádrži Propast

V rámci měření zaznamenává přístroj teplotní, salinitní a tlaková data, v průběhu klesání i vytahování z nádrže. V rámci softwaru jsou pak z těchto dat určeny hodnoty pro dané profily. Dle naměřených dat je zřejmé, že v našich podmínkách je proměnlivost salinity v nádrži s hloubkou velmi malá, a v rámci roku nedochází k jejím významným změnám. Pro potřeby korekcí rychlosti šíření zvuku je tedy zanedbatelná. Ke změně rychlosti šíření zvuku v závislosti na změně hydrostatického tlaku dochází, nicméně nedochází k její proměnlivosti v průběhu roku. Jednotlivá měření tedy přirozeně nezaznamenala v trendu tlaku během měřeného období změnu. Na následujícím porovnání je uvedena znovu závislost teploty na hloubce a dále závislost rychlosti šíření zvuku na hloubce.



Obr. 13: Porovnání závislosti změny teploty ve vodním sloupci se změnou rychlosti šíření zvuku ve vodě.

Je zřejmé, že oba grafy jsou si velmi podobné, takřka identické. Dle vizuální kontroly těchto grafů je zřejmé, že teplota je nejvýznamnějším z měřených faktorů ovlivňujících rychlost šíření zvuku ve vodním prostředí. To ostatně uvádí i výrobce CTD CastAway v tabulce č. 1, která se nachází v kapitole 3.4.1. RiverSurveyor M9. Dle vizuálního prohlédnutí softwarem vykreslených grafů je zřejmé že skutečnost tomu odpovídá. Dle těchto výsledků předpokládám, že pro měření na malých vodních nádržích, kde běžně nedochází k významným změnám salinity či není měřeno ve velké hloubce a vliv tlaku můžeme považovat za konstantní, jsou tyto faktory oproti vlivu teploty zanedbatelné. Podle zbývajících profilů ze soustavy docházím ke stejnému závěru a jejich grafy závislostí jednotlivých faktorů a rychlosti šíření zvuku na hloubce jsou k nahlédnutí v přílohách.

Ve druhé části jsem porovnávala dvě vybrané nádrže, které jsem v tomto roce batymetricky zaměřila, s hodnotami batymetrických měření z roku 2017. Dle vyhotovených batymetrických map (příloha č. 32 – 35) si můžeme všimnout, že došlo k částečnému snížení maximální hloubky nádrže. Tím se potvrzuje výše zmíněná problematika zanášení nádrží. Je však také nezbytné dodat, že nepřesnosti mohou vznikat i tím, že je v měřeních nepoměr mezi počty dat – bodů zaměřených během letošního roku a v roce 2017. V této části, bylo dále v úmyslu vytvořit

batymetrické mapy z dat aktualizovaných o korekce získané z měření teplotních profilů. Změny v těchto datech však byly velmi malé a batymetrické mapy neposkytují dostatečnou citlivost, aby ukázaly tuto změnu. Z tohoto důvodu, jsem pro tyto dvě nádrže vypočítala hodnoty ukazatele RMSE a MAE, které poskytují informaci o změně v rámci jednotlivých bodů vztažený k celkovému počtu naměřených bodů. Vypočtené údaje jsou uvedeny v následující tabulce:

	počet bodů	absolutní změna (m)	RMSE	MAE (m)
Propast	4796	3,08	0,00253	$0,642 * 10^{-3}$
Požár	4873	5,57	0,00338	$1,143 * 10^{-3}$

Tabulka č. 4: Porovnání výsledných odchylek, vypočítaných z dat, zaměřených v listopadu na nádrži

Pro představu o velikosti změny je vhodnější ukazatel MAE, který nám dává informaci o průměrné změně vztažené na počet bodů v nádrži. Uvedené hodnoty naznačují, že změna ve vypočtených hloubkách nádrže se změnila pouze minimálně. Předpokládám, že tato skutečnost závisí na tom, že rozdíl teplot v rámci nádrže, u kterého jsem předpokládala vliv, ve skutečnosti nebyl příliš významný. Nádrž Propast byla měřena na podzim, kde nízký rozdíl teplot i v rámci větší měřené hloubky naznačuje, že byla nádrž v období podzimní cirkulace. Nádrž Požár byla měřena v červnu, kdy už by mělo vlivem změny teploty vzduchu docházet k letní stratifikaci. Rozdíl teplot v nádrži však není o moc větší než při podzimním měření. Předpokládám, že je to z důvodu malé hloubky nádrže, která neumožňuje vznik stabilní teplotní stratifikace. Jak ostatně uvádí Hartman (1998): Rybníky v České republice většinou nemají dostatečnou hloubku pro vznik tepelné stratifikace. Jejich nejčastější hloubka bývá 3-5 m.

Do této kategorie spadají rámcově všechny nádrže z Jevanské soustavy. Výsledky z měření tedy odpovídají tomuto tvrzení. Následující tabulka porovnává měření z roku 2019/2020 pro nádrž Propast a Požár.

	max. teplota (°C)	min. teplota (°C)	rozdíl teplot (°C)	průměrná teplota	max. hloubka nádrže (m)
Propast	6,75	6,68	0,07	6,71	4,01
Požár	18,27	17,49	0,78	17,82	2,28

Tabulka č. 5: Porovnání naměřených teplot s hloubkou nádrží. Nádrž Propast byla měřena v listopadu v období podzimní cirkulace. Nádrž Požár byla zaměřena počátkem června.

Domnívám se, že za těchto výsledků nemá simulace pomocí aplikace hodnot teplotních profilů naměřených v roce 2019/2020 na batymetrická měření z roku 2017

význam. Prvním důvodem, je že i v rámci teplotních profilů měřených z kajaku nedochází k významným změnám ve vypočítaných výškách a druhým, že batymetrická data byla zaměřena v březnu 2017, kdy by na nádržích patrně probíhalo období jarní cirkulace, došlo k promíchání vodní masy v celém objemu a vyrovnání teploty. Dále, teplotní profily byly v březnu měřeny z prostoru výpustného zařízení a nepředstavují tak dostatečný průřez vodním sloupcem.

Ve třetí části byla porovnána doplňková batymetrická data naměřená v červnu 2020, s využitím korekce teplotních profilů. Z této analýzy byly vyloučeny nádrže Pilský rybník, který nebylo z důvodu jeho vypuštění možné zaměřit a nádrž Šáchovec, kde došlo ke ztrátě měřených dat. Následující tabulka obsahuje přehled měřených nádrží:

	max. t (°C)	min. t (°C)	rozdíl t (°C)	průměrná t (°C)	max. hloubka (m)	počet bodů	absolutní změna (m)	MAE (m)
Louňovický r.	19.44	17.82	1.62	18.33	2.63	683	3.92	5,739 * 10 ⁻³
Pařez	18.98	18.03	0.95	18.31	2.08	599	5.35	8,932 * 10 ⁻³
Vyžlovský r.	19.13	15.37	3.76	17.14	4.50	494	5.40	10,931 * 10 ⁻³
Ján	18.84	15.80	3.04	17.42	3.09	427	3.98	9,321 * 10 ⁻³
Švejcar	19.11	15.65	3.46	17.06	2.94	382	2.40	6,283 * 10 ⁻³
Jevanský r.	19.14	15.13	4.01	17.33	5.19	1009	7.95	7,79 * 10 ⁻³
Propast	19.98	16.60	3.38	18.01	4.03	660	4.76	7,212 * 10 ⁻³

Tabulka č. 6: Přehled teplotních charakteristik jednotlivých nádrží ze soustavy, vytvořený z dat z červnového batymetrického a teplotního měření.

Z tabulky vyplývá, že k největší průměrné změně vztažené k počtu naměřených batymetrických dat, došlo při měření na Vyžlovském rybníku, který představuje druhou nejhlubší nádrž ze soustavy. Teplotní rozdíl jednotlivých vrstev na této nádrži byl druhý nejvyšší s hodnotou 3,76°C. Naopak nejmenší změna nastala na Louňovickém rybníce, s maximální zaměřenou hloubkou 2,63 m (druhá nejmenší) a rozdílem teploty 1,62°C (druhý nejnižší rozdíl). V následující tabulce jsou nádrže seřazeny za sebou dle teplotního rozdílu naměřeného v rámci jednotlivých nádrží.

	max. t (°C)	min. t (°C)	rozdíl t (°C)	průměrná t (°C)	max. hloubka (m)	počet bodů	absolutní změna (m)	MAE (m)
Jevanský r.	19.14	15.13	4.01	17.33	5.19	1009	7.95	7,79 * 10 ⁻³
Vyžlovský r.	19.13	15.37	3.76	17.14	4.50	494	5.40	10,931 * 10 ⁻³
Švejcar	19.11	15.65	3.46	17.06	2.94	382	2.40	6,283 * 10 ⁻³
Propast	19.98	16.60	3.38	18.01	4.03	660	4.76	7,212 * 10 ⁻³
Ján	18.84	15.80	3.04	17.42	3.09	427	3.98	9,321 * 10 ⁻³
Louňovický r.	19.44	17.82	1.62	18.33	2.63	683	3.92	5,739 * 10 ⁻³
Pařez	18.98	18.03	0.95	18.31	2.08	599	5.35	8,932 * 10 ⁻³

Tabulka č. 7: Tabulka hodnot z červnového měření, seřazená dle velikosti rozdílu mezi zaměřenými teplotami

Při tomto uspořádání můžeme jednoduše pozorovat, že až na jedinou výjimku – nádrž Švejcar, odpovídá pořadí klesajících teplotních rozdílů klesajícím maximálním hloubkám nádrže. Dle získaných dat se zdá, že ve většině případů je hloubka nádrže

hlavním faktorem ovlivňujícím výraznost teplotní stratifikace. U nádrže Švejecar mohlo dojít k nahodilé chybě při měření, která by mohla být odhalena opakovaním měření anebo je tato lokalita vystavena odlišným podmínkám, které způsobují změny v teplotní stratifikaci nádrže. Skutečnost může také ovlivnit fakt, že bylo na této nádrži naměřeno nejméně bodů. Zatímco, velikost teplotních rozdílů v rámci nádrže, odpovídá poměrně přesně hloubce nádrže, zdá se, že to překvapivě nemá vliv na hodnotu změny dosažené při využití korekcí ze zaměřených profilů. Je možné, že vlivem toho, že se jedná o skutečně malé hodnoty, došlo v průběhu výpočtu softwarem k zaokrouhlování, které mohlo zkreslit výsledné hodnoty. Do budoucna je vhodné ověřit chování této skutečnosti při aplikaci korekcí s výraznějším teplotním rozdílem na batymetrická data.

K zajímavému jevu dochází i během měření v zimním období, kde byly nádrže pokryty vrstvou ledu. Ten bylo třeba před zaměřením profilů rozbít, aby bylo možné přístroj spustit pod hladinu. Tato skutečnost mohla ovlivnit teplotní stratifikaci. Pod ledem, který můžeme s jistotou tvrdit, že měl za atmosférického tlaku teplotu menší než 0°C, byla nejnižší teplota naměřená přístrojem kolem 3°C a s hloubkou klesala k hodnotám kolem 4°C tak, jak se v závislosti na teplotě měnila její hustota. Chyba přístroje pro měření teploty je $\pm 0,05$ °C. Pokud bychom předpokládali, že proražením ledu nedošlo k výrazným změnám, nabízelo by se otázka, proč se pod ledem nenachází voda o teplotě 1 a 2°C? Vysvětlením, by mohlo být to, že voda v rámci nádrže stále cirkuluje v celém objemu a voda, která se ochlazuje od tenké vrstvy ledu, se hned znovu ohřívá od spodních vrstev. Dalším vysvětlením by mohlo být to, že přístroj začíná snímat teplotu v hloubce 20 cm pod hladinou a pokud se voda o nižší teplotě nacházela ve vyšší vrstvě, nebyly by tyto hodnoty zaznamenány v měřeních.

7 Diskuze

V průběhu měření a zpracování dat se objevily otázky a překážky, které nebyly zahrnuty v původní myšlence této diplomové práce. V rámci vyvirování se chyby, způsobené obsluhou nového, měřicího přístroje CTD CastAway, bylo každé měření profilů opakováno dvakrát. Nicméně, v průběhu zpracování dat bylo v některých případech zjištěno, že se naměřené hodnoty od sebe mírně liší a následně bylo zpětně obtížné vybrat z těchto dvou měření to vhodnější. Volba, byla založena primárně na dosažené hloubce ponoru a dále na podobnosti výsledků na základě porovnání s dalšími měřeními. Vhodnější by v tomto případě bylo provést ještě další měření, které by potvrdilo jedno ze dvou předchozích. Alternativně by bylo možné data ze zaměřených profilů zprůměrovat, nicméně data v rámci jednotlivých profilů, jsou během zpracování platformou CTD CasrAway již složeny z hodnot naměřených při klesání a vytahování přístroje.

Dalším z úskalí bylo měření z objektu výpustného zařízení, případně ze břehu. Tato metoda bohužel v některých případech neposkytovala přístup k nejhlubšímu místu nádrže a získané profily byly zaměřeny pouze do částečné hloubky nádrže. Metoda dále může být ovlivněna z hlediska odtoku vody skrz výpustné zařízení, které patrně povede k promíchání teplotních vrstev. Nicméně tento stav může nastat i v případě měření z kajaku, kde jsou pádlováním vytvářeny turbulence, které promísí vodní sloupec. Při zimních měřeních, bylo třeba rozbít vrstvu ledu na hladině, což také mohlo vést k ovlivnění výsledků. V rámci zimního období však nebyl led dostatečně silný, aby byl pochozí a nebylo tedy možné získat jiný přístup k vodě. Nežádoucí promísení, může být jeden z důvodů, proč jsem během zimních měření nezjistila teplotu vody, která by byla menší než 3°C i přesto, že byla voda kryta ledem o teplotě maximálně 0°C. Měření v okolí výpustných zařízení také může zvýšit riziko zaseknutí přístroje u dna nádrže. Tento problém jsem naštěstí zaznamenala pouze jednou a závěsné lano s přístrojem se mi podařilo po chvíli uvolnit. Zaseknutí přístroje u dna může samozřejmě nastat i na jiných místech, v případě cizích předmětů ležících v nádrži.

Z hlediska množství dat, by bylo vhodnější provést více měření, které by citlivěji zachytilo změnu teploty v nádrži a přechod z období cirkulace k stratifikaci. Z důvodu čekání na dodání přístroje, bylo možné s měřením začít až na podzim roku

2019. Původní termín ukončení měření byl konec Března 2020, ale v souvislosti s pandemií Covid-19 byl konec odložen a měření později doplněno o další data z Června 2020, která poskytují představu o průběhu hodnot během počátku léta. Pro pochopení dynamiky střídání teploty v nádržích by bylo třeba těmito měřeními pokrýt celý rok. Jako vhodný interval mezi jednotlivými měřeními vyvažující náročnost měření a využitelnost výsledků bych navrhla přibližně 14 dní. Obzvláště v letních měsících, může dojít k rozdílům v teplotách svrchní vrstvy vody na základě intenzity a doby slunečního záření prohřívajícího tuto vrstvu. Zajímavé by také bylo provést měření v rámci dne a sledovat změnu teploty na době osvitů sluncem a teplotě okolního vzduchu.

V rámci hospodaření na malých vodních nádržích docházelo v průběhu měření k manipulacím s vodní hladinou. V případě, že byla nádrž upuštěna, nebylo měření provedeno z důvodu malé hloubky a promíchání jednotlivých vrstev. Tomu, se při výzkumu na běžně hospodářsky využívaných nádržích nedá vyhnout a tato měření by musela být provedena na lokalitách, kde by bylo speciálně zajištěno udržování stálých podmínek během roku, což by minimalizovalo ovlivnění touto skutečností.

Diplomová práce se zabývala také vznikem teplotní stratifikace. Dle hodnot získaných v průběhu měření, bylo dosaženo mírné tepelné stratifikace, která představovala největší rozdíl teplot kolem 4°C v rámci průřezu nádrže. Dle literatury uvedené v rámci literární rešerše, je hloubka běžných malých vodních nádrží nedostatečná pro vytvoření významné teplotní stratifikace. Do budoucna zůstává otázka, jak ovlivňuje hloubka nádrže tvorbu tepelné stratifikace. A v návaznosti na aplikaci při batymetrických měřeních, při jakém teplotním rozdílu a hloubce nádrže, je nezbytné zaměřovat teplotní data přístrojem CTD CastAway pro aplikaci korekcí z měření za účelem dosažení přesných výsledků.

8 Závěr

Na soustavě rybníků ležících na Jevanském potoce byla v průběhu roku provedena opakovaná měření profilů přístrojem CTD CastAway, zjišťujících průběh teploty, salinity a tlaku v rámci vodní nádrže. Získaná data byla testována pro využití při zpřesnění výpočtu prováděných softwarem během batymetrického měření využívající metodu jednobodového echosoundingu. Bylo zjištěno, že v rámci vybraných nádrží ze soustavy na Jevanském potoce, nedochází v průběhu roku k výrazným teplotním rozdílům v profilu nádrže a nedochází ke vzniku významné tepelné stratifikace, která by mohla ovlivnit měření. Největších rozdílů teplot v rámci nádrže bylo dosaženo během měření v červnu, kde maximální teplotní rozdíl byl naměřen na Jevanském rybníce o hodnotě $4,01^{\circ}\text{C}$ na hloubce nádrže 5,19 m. Nízkou výraznost stratifikace přisuzují, tomu, že pro vytvoření významných rozdílů teplot vzduchu a vody je třeba hlubších nádrží. Závěr této práce je, že pro měření využívající metodu echosoundingu pro zjištění batymetrie v našich podmínkách není využití korekcí z přístroje CTD Cast Away významné. Do budoucího výzkumu se nabízí otázka, při jaké hloubce nádrže začne být tepelná stratifikace a tím potenciálně i hodnota korekce významná.

9 Seznam použité literatury

- 1 **ADÁMEK, Z. a kol., 2010:** *Aplikovaná hydrobiologie*, Jihočeská universita v Českých Budějovicích, 2.vyd., ISBN 978-80-87437-09-4
- 2 **AMBROŽOVÁ, J., 2003:** *Aplikovaná a technická hydrobiologie*, Vysoká škola chemicko technologická v Praze, ISBN 80-7080-521-8
- 3 **AOPK – AGENTURA OCHRANY PŘÍRODY A KRAJINY, 2012:**
Ekologicky orientovaná správa vodních toků v oblasti péče o jejich morfologický stav, [online]
<http://vodnihospodarstvi.cz/files/Ekologicky%20orientovan%C3%A1%20spr%C3%A1va%20tok%C5%AF.pdf>
- 4 **BAYER, J., 2012:** *Mechanika 3.*, Vladimír Chlup, Olomouc, ISBN 978-80-903958-5-5
- 5 **BIRGE, E. A., 1904:** *The thermocline and its biological significance*, Transactions of The American Microscopical Society, vol. 25
- 6 **ČSN 75 2410, 2011:** *Malé vodní nádrže*. Úřad pro technickou normalizaci, metodologii a státní zkušebnictví, Praha, 48 s.
- 7 **DAVID, P. a SOUKUP, V., 2007:** *Velká turistická encyklopedie: Středočeský kraj*, Knižní klub, Praha, ISBN 978-80-242-1932-5
- 8 **HARTMAN, P. a kol., 1998:** *Hydrobiologie*, Informatorium, Praha, ISBN 80-86073-27-0
- 9 **HEIS VÚV, ©2020 :** datové sady databáze HEIS [online] <https://heis.vuv.cz/>
- 10 **HLAVÍNEK, P., ŘÍHA, J., 2004:** *Jakost vody v povodí*, Akademické nakladatelství CERM, Brno, ISBN 80-214-2815-5
- 11 **HRADILEK, V., 2015:** *Verification of remote sensing data for measuring bathymetry on small water reservoirs*, Czech University of Life Science
- 12 **JANEČEK, M. a kol., 2008:** *Základy erodologie*, Česká zemědělská univerzita v Praze, 172 s, ISBN 978-80-213-1842-7
- 13 **JŮVA, K. a kol., 1980:** *Malé vodní nádrže*, SZN, Praha
- 14 **JUST, T., MORAVEC, P., 2017:** *Doporučení k projektům malých vodních nádrží*, AOPK
- 15 **KAŇKA, J., 2007:** *Stavební fyzika I: Akustika*. Praha, České vysoké učení technické v Praze, 120 s, ISBN: 978-80-01-03664-8

- 16 **KOMÍNKOVÁ D. a kol., 2014:** Úprava pitných a čištění odpadních vod, Česká zemědělská univerzita v Praze
- 17 **KITTREL, F. W., 1963:** *Thermal stratification in reservoirs*, Symposium on streamflow regulativ for quality control
- 18 **LELLÁK, J., KUBÍČEK, F., 1992:** *Hydrobiologie*, Karolinum, 257 s, ISBN 80-7066-530-0
- 19 **LEOPOLD, B. L., 2000:** *Temperature Profiles and Bathymetry of Some High Mountain Lakes*, National Academy of Sciences, [online]: <https://www.jstor.org/stable/122625>
- 20 **LETOŠNÍK, V., 1989:** *Okolí Prahy-východ*, Olympia, Praha, 445 s
- 21 **MARVAL, Š. a kol., 2018:** Batymetrické měření pro stanovení morfologie dna vodní nádrže, Česká zemědělská univerzita v Praze, [online] <https://www.vtei.cz/wp-content/uploads/2018/12/5987-VTEI-Batymetricke%E2%95%A0%C3%BC-mereni.pdf>
- 22 **MAYER, L.** *History of bathymetry: Early methods*. [online] dostupné z <https://medium.com/@larrymayerunh/history-of-bathymetry-early-methods-3ba759fbcf6c>
- 23 **NOVÝ, R., 2009:** Hluk a chvění, České vysoké učení technické v Praze, Praha, 400 s, 3. vydání, ISBN: 978-80-01-04347-9
- 24 **OBRAZ, J., 1984:** *Ultrazvuk v měřicí technice*, SNTL – Nakladatelství technické literatury, Praha, 2. vydání
- 25 **PETRTÝL, M., 2018:** *Úvod do hydrobiologie*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze
- 26 **PITTER, P., 2015:** *Hydrochemie*, Vysoká škola chemicko technologická v Praze, 5. vydání, 792 s
- 27 **PRŮŠA, E., 1990:** *Přírozené lesy České republiky*, Ministerstvo lesního hospodářství a dřevozpracujícího průmyslu ČR ve Státním zemědělském nakladatelství, ISBN 80-209-0095-0
- 28 **REICHHOLF, J., 1998:** *Pevniské vody a mokřady, ekologie evropských sladkých vod, mokřadů, luhů a bažin*, IKAR, Praha, ISBN 80-7176-571-6
- 29 **SARACIN, A. a CALIN, A., 2014:** *Bathymetric measurement – principles and utility*. International journal of energy and environment, Volume 4, ISSN: 2308-1007

- 30 **SLAVÍK, J. B., 1962:** *Základy fyziky I.* Československé akademie věd, 668 s
- 31 **SONTEK, Xylem, Application note, 2019:** *Manzanillo expansion - Palm-sized castaway CTD reveals komplex dynamics in a small harbour*, [online] [cit.20.03.2020] <https://www.sontek.com/media/pdfs/palm-sized-castaway-ctd-reveals-complex-dynamic-in-small-harbor.pdf>
- 32 **SONTEK, Xylem, 2015:** *River surveyor. Discharge, bathymetry and curent profiling.*, [online] [cit.20.03.2020] <https://www.sontek.com/media/pdfs/riversurveyor-s5-m9-brochure.pdf>
- 33 **SONTEK, Xylem, 2013:** *River surveyor M9. Systém manual. Firmware Version 3.00.*
- 34 **SONTEK, Xylem, 2012:** *CastAway CTD user's manual 1.5*
- 35 **SONTEK, Xylem, 2011:** *Technical note: Range, velocity, sound speed and Snell's law*, 2011, [online] [cit. 20.03.2020] <http://www.sontek.com/pdf/technotes/VelocityRangeAndSnellsLaw.pdf>
- 36 **SONTEK, Xylem, 2011:** *New CTD Monitoring technology helps reveal arctic secret*, [online] [cit.20.03.2020] <https://www.sontek.com/media/pdfs/new-ctd-monitoring-technology-helps-reveal-arctic-secrets.pdf>
- 37 **SPURNÝ, P. a kol, 2015:** *Hydrobiologie a rybářství*, Mendelova universita v Brně, ISBN 978-80-7509-345-5
- 38 **SUKOP, I., 2006:** *Ekologie vodního prostředí*, Mendelova universita v Brně, ISBN 80-7157-923-8
- 39 **ŠTĚPÁNEK, M., JIŘÍK, V., 1979:** *Hygienický význam životních dějů ve vodách*, Avicentrum, Praha, 587 s
- 40 **TOLE, N., 2005:** *Basic physic of ultrasonographic imaging*, World health organisation, Geneva, ISBN 92-4-159299-0
- 41 **TOMÁNEK, J., 2018:** *Lesnické stavby*. Vydání druhé (doplněné). Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, ISBN 978-80-213-2880-8.
- 42 **URICK, R. J., 1979:** *Sound propagation in the sea*, Defence Advanced Research Projects Agency, U.S. Government printing office
- 43 **VLČEK, V. a kol., 1984:** *Vodní toky a nádrže – Zeměpisný lexikon*, Academia, Praha, 315 s

- 44 **VOTRUBA, L., BROŽA, V., 1980:** *Hospodaření s vodou v nádržích*, SNTL
– Státní nakladatelství technické literatury, Praha
- 45 **VRÁNA K. a BERAN J., 1998:** *Rybníky a účelové nádrže*. Praha: ČVUT,
ISBN 80-01-01713-3.

10 Přílohy

10.1 Přehledná mapa zájmového území:

Soustava rybníků na jevanském potoce

Náversní r., Požár, Louňovický r., Pažer, Vyžlovský r., Ján, Švýcar, Jevanský r., Pílský, Šáchovec, Propast, Hruškov



Marta Kuželková, 2020

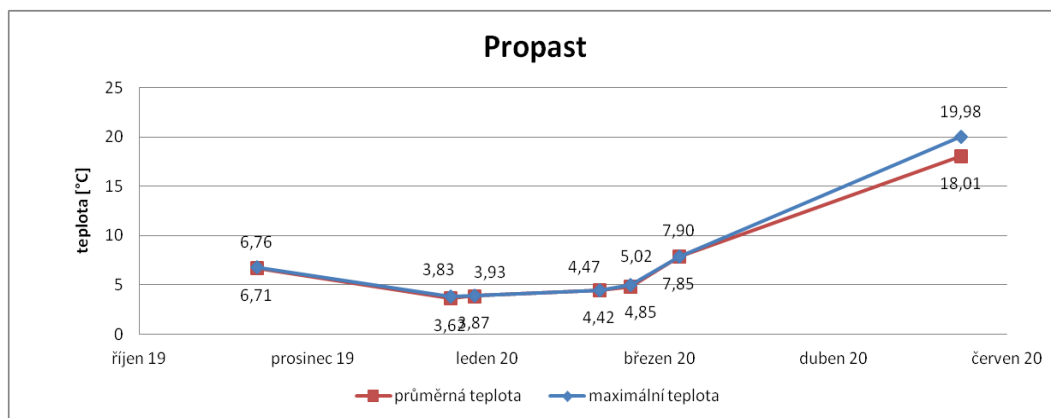
— Jevanský potok
■ Zahmuté nádrže
■ Vyloučené nádrže



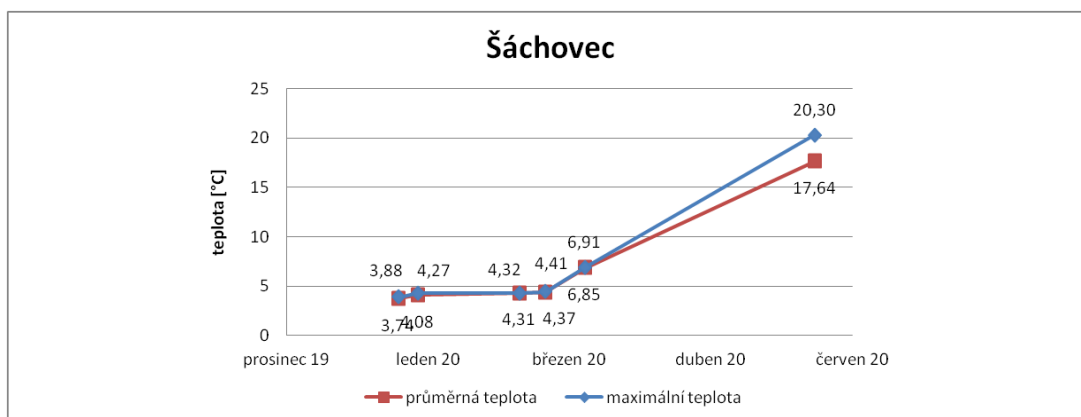
0 0.5 1 2 Km

Příloha č. 1: Poloha jednotlivých nádrží v rámci soustavy na Jevanském potoce

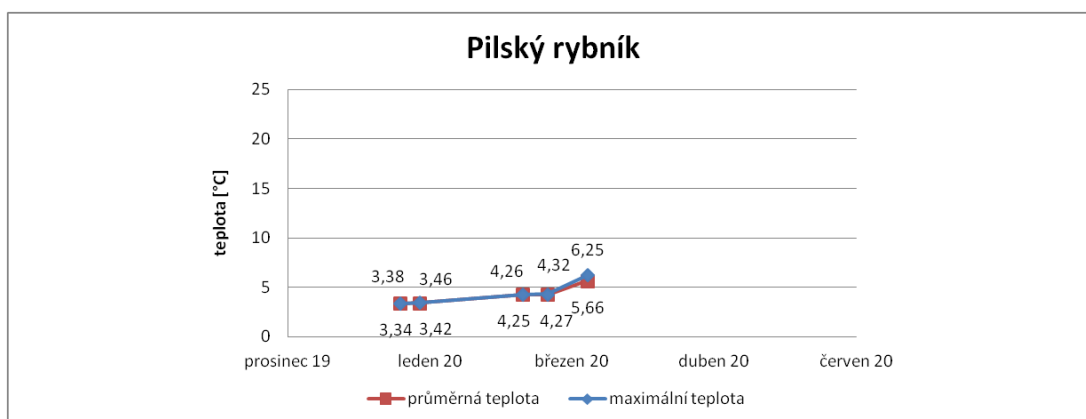
10.2 Průběh teplot v nádržích v průběhu měření:



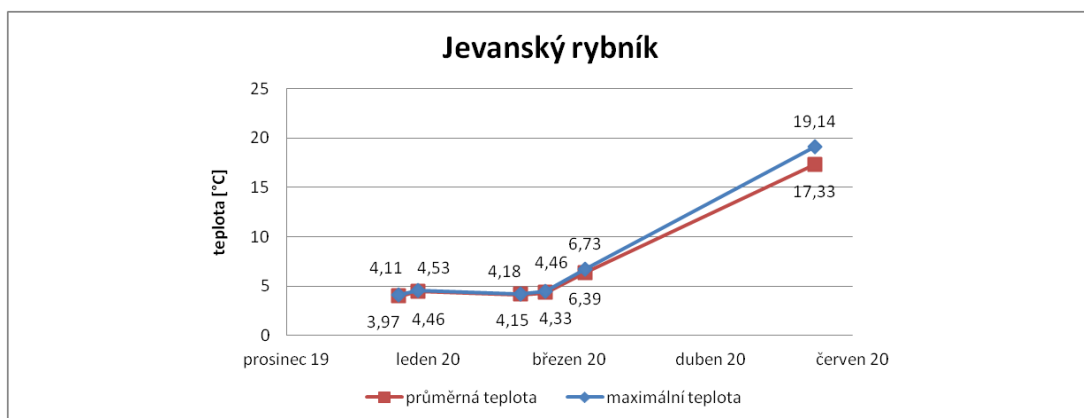
Příloha č. 2: Vývoj průměrné a maximální teploty v průběhu sledovaného období na nádrži Propast.



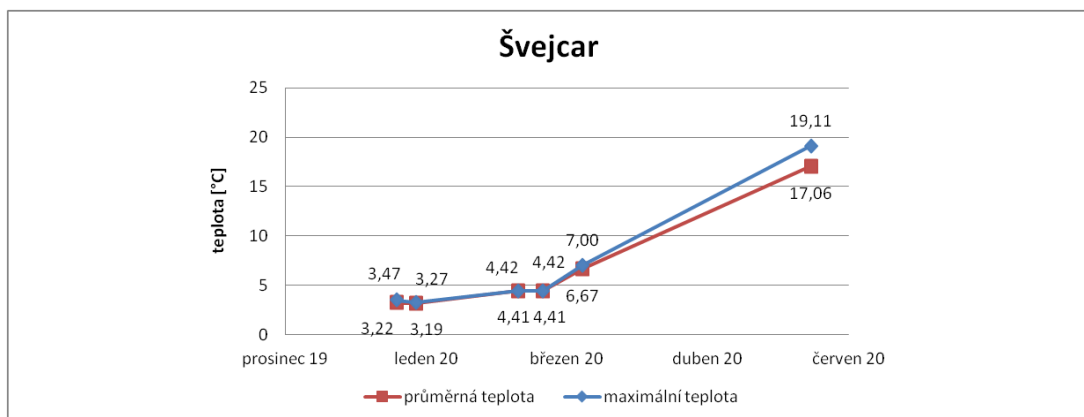
Příloha č. 3: Vývoj průměrné a maximální teploty v průběhu sledovaného období na nádrži Šáchovec



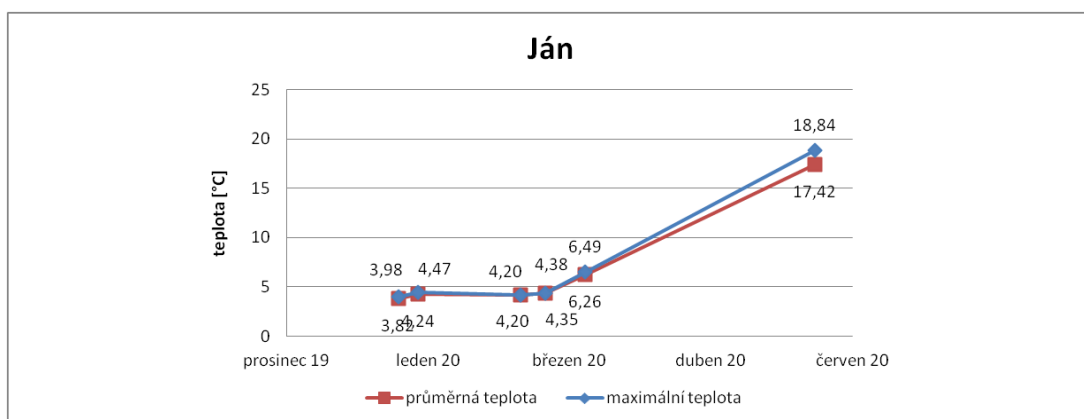
Příloha č. 4: Vývoj průměrné a maximální teploty v průběhu sledovaného období na nádrži Pilský rybník



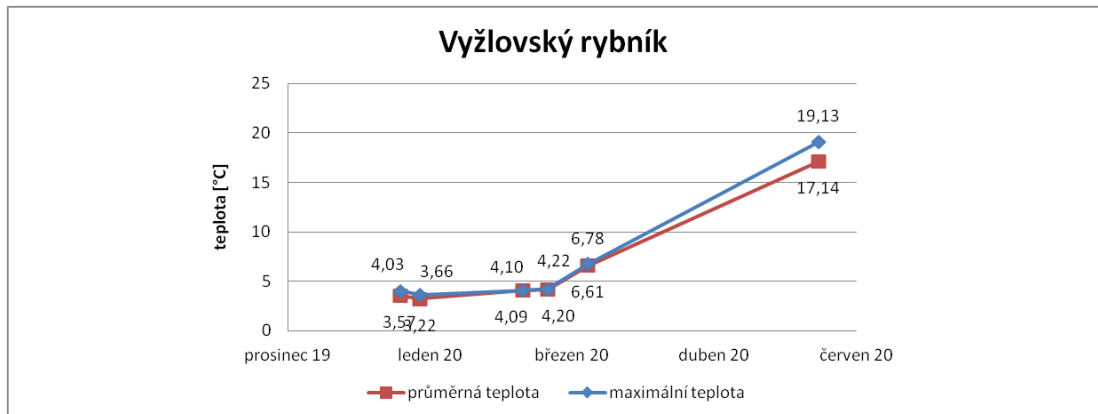
Příloha č. 5: Vývoj průměrné a maximální teploty v průběhu sledovaného období na nádrži Jevanský rybník



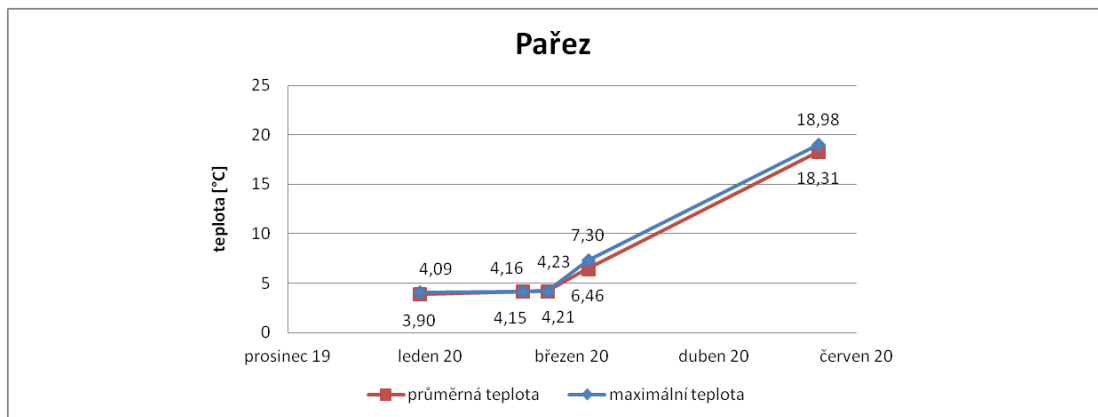
Příloha č. 6: Vývoj průměrné a maximální teploty v průběhu sledovaného období na nádrži Švejcar



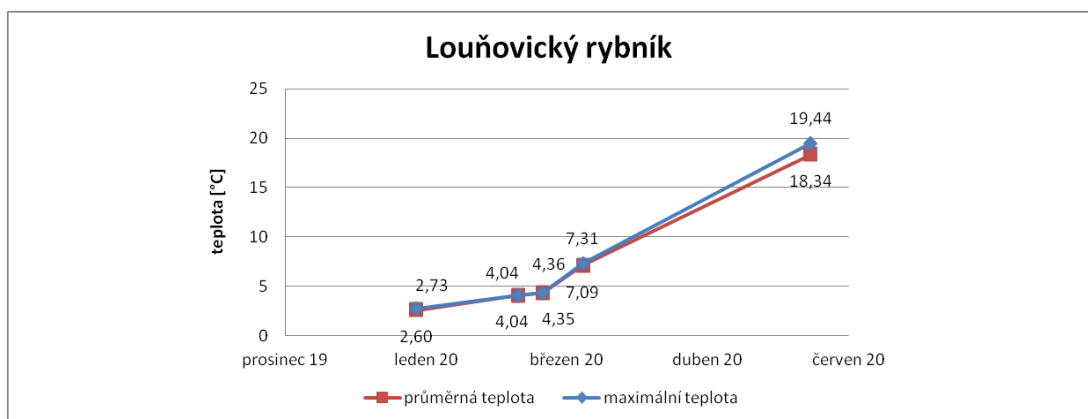
Příloha č. 7: Vývoj průměrné a maximální teploty v průběhu sledovaného období na nádrži Ján



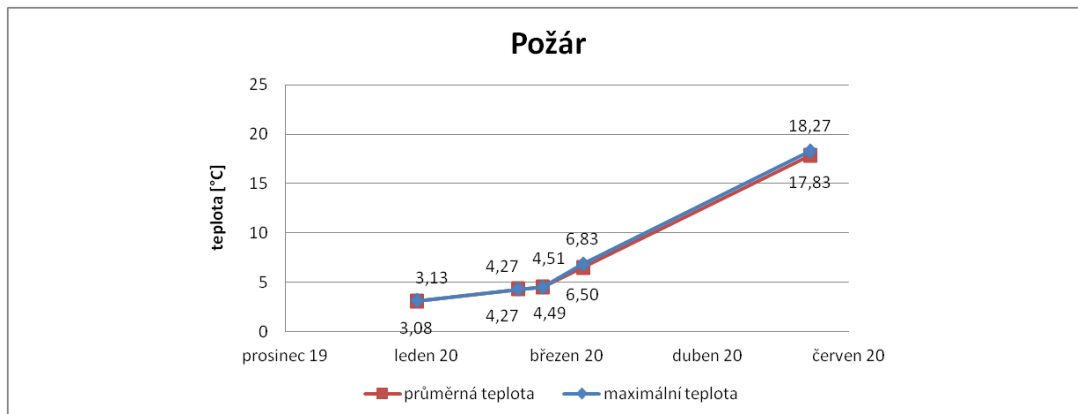
Příloha č. 8: Vývoj průměrné a maximální teploty v průběhu sledovaného období na nádrži Vyžlovský rybník



Příloha č. 9: Vývoj průměrné a maximální teploty v průběhu sledovaného období na nádrži Pařez



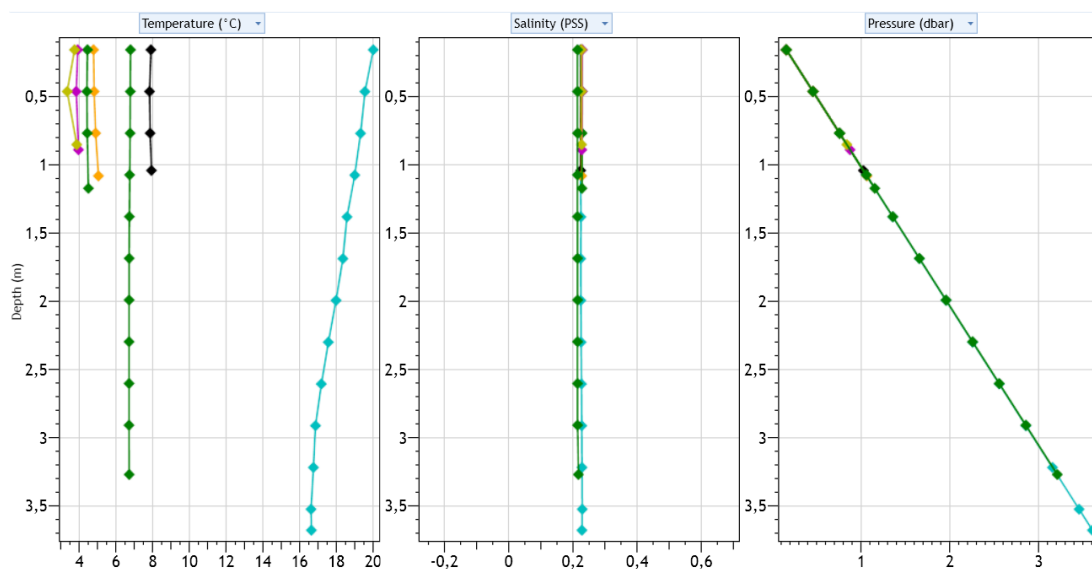
Příloha č. 10: Vývoj průměrné a maximální teploty v průběhu sledovaného období na nádrži



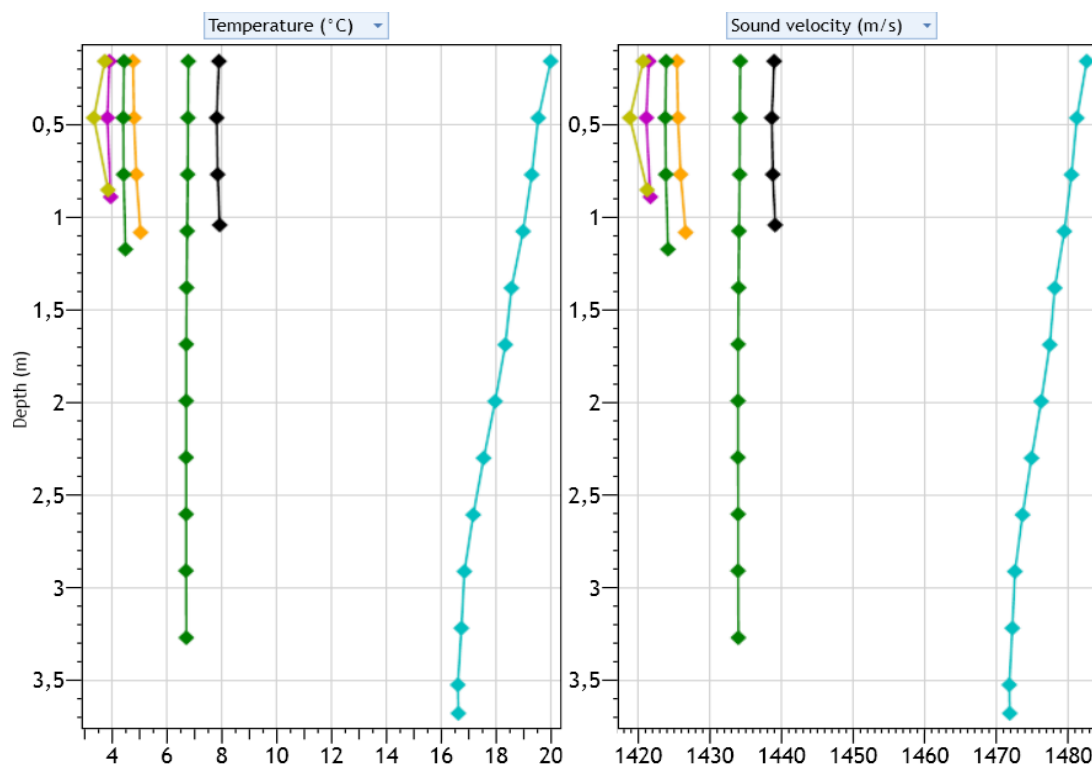
Příloha č. 11: Vývoj průměrné a maximální teploty v průběhu sledovaného období na nádrži Požár

10.3 Porovnání teplotních, salinitních a tlakových profilů

Propast:

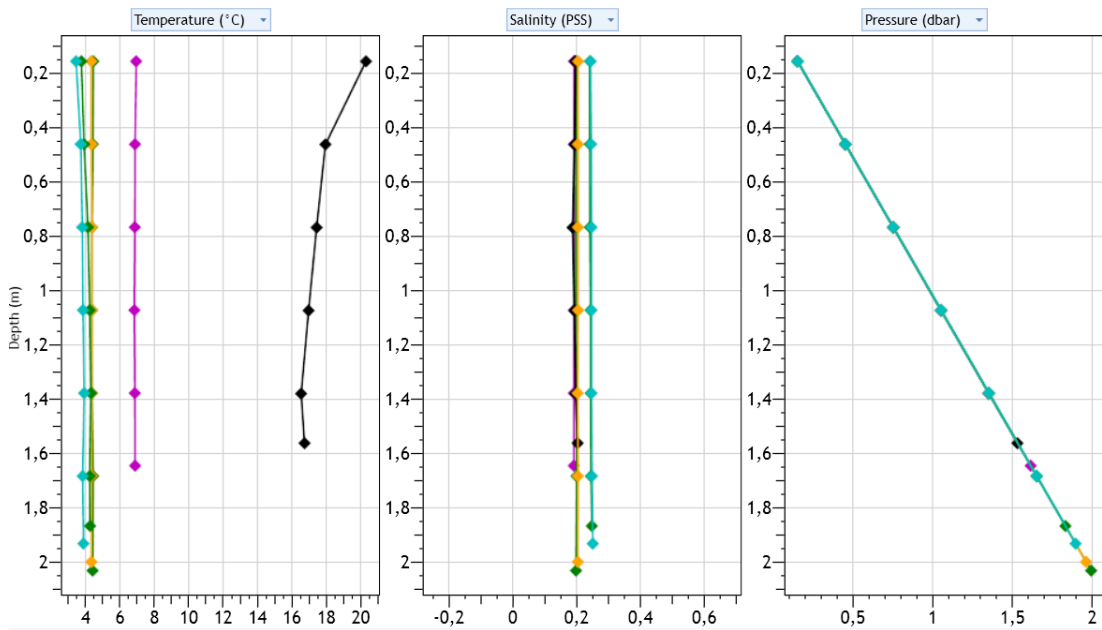


Příloha č. 12: Přehled teplotních, salinitních a tlakových profilů, zaměřených v průběhu sledovaného období na nádrži Propast

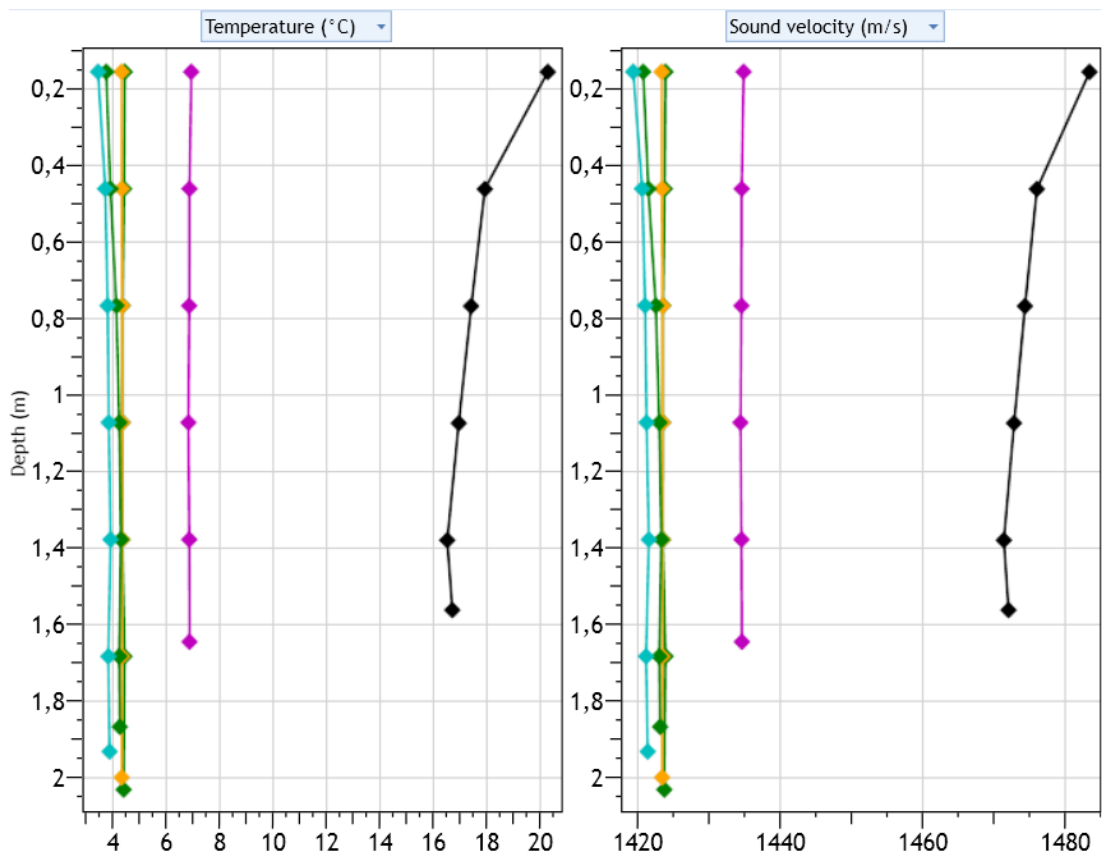


Příloha č. 13: Porovnání průběhu teplotních profilů a rychlostí šíření zvuku vodou, zaměřených na nádrži Propast

Šáchovec:

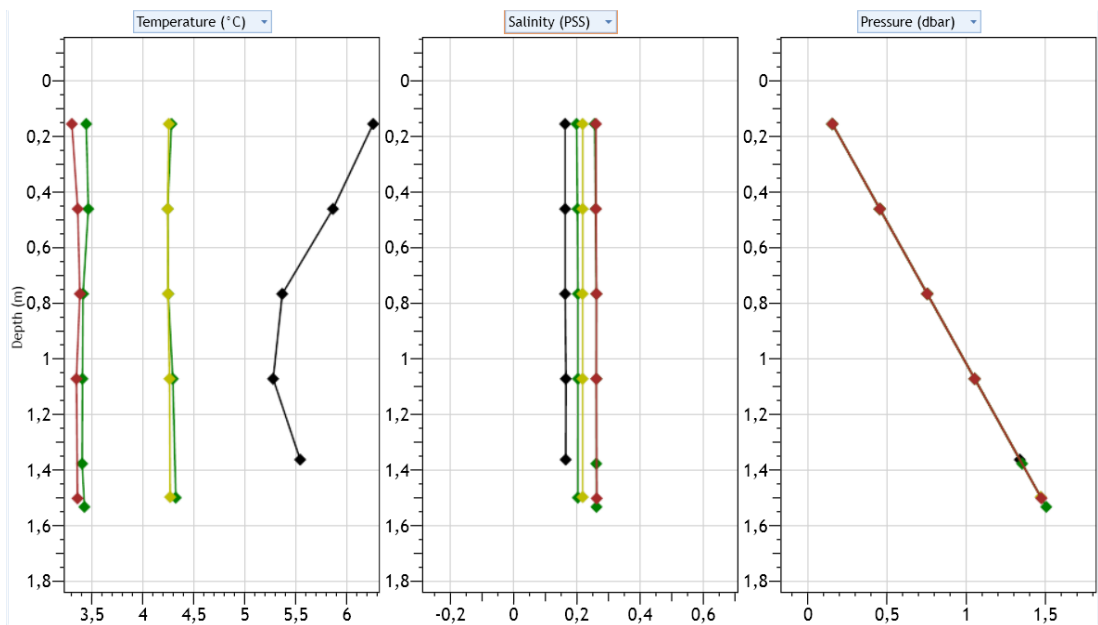


Příloha č. 14: Přehled teplotních, salinitních a tlakových profilů, zaměřených v průběhu sledovaného období na nádrži Šáchovec

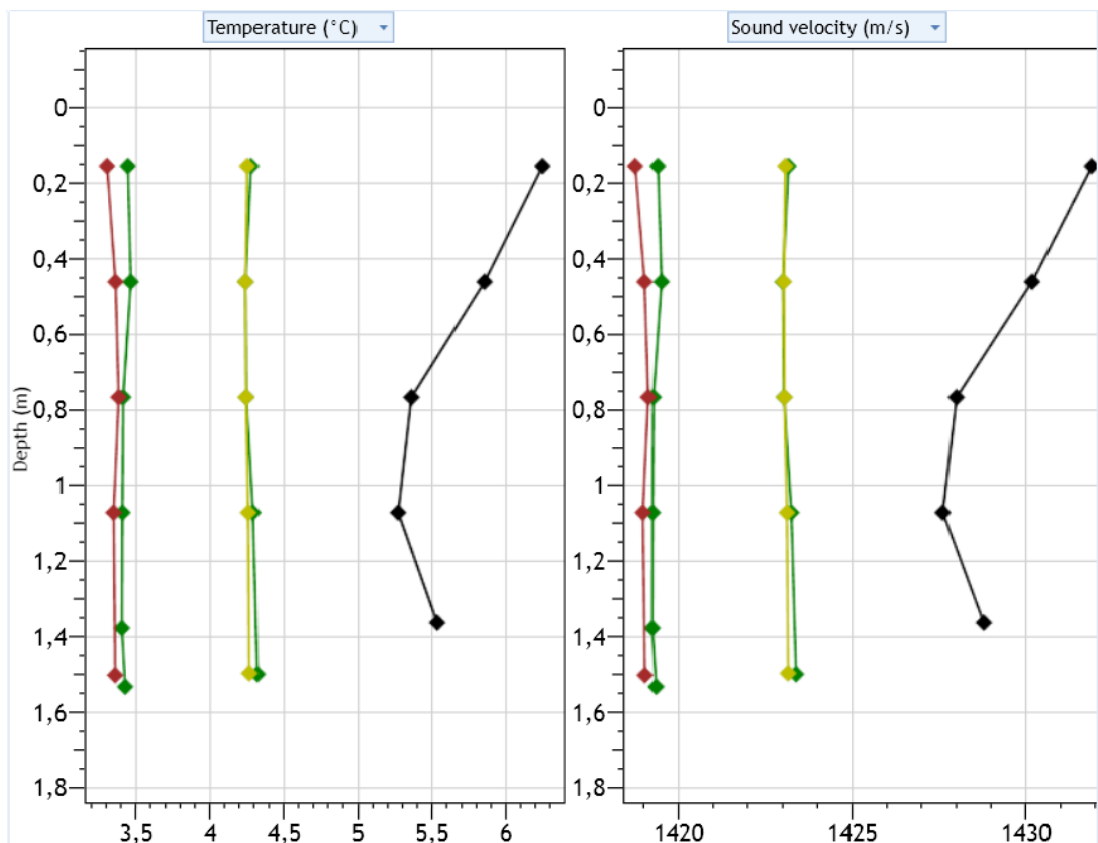


Příloha č. 15: Porovnání průběhu teplotních profilů a rychlostí šíření zvuku vodou, zaměřených na nádrži Šáchovec

Pilský rybník:

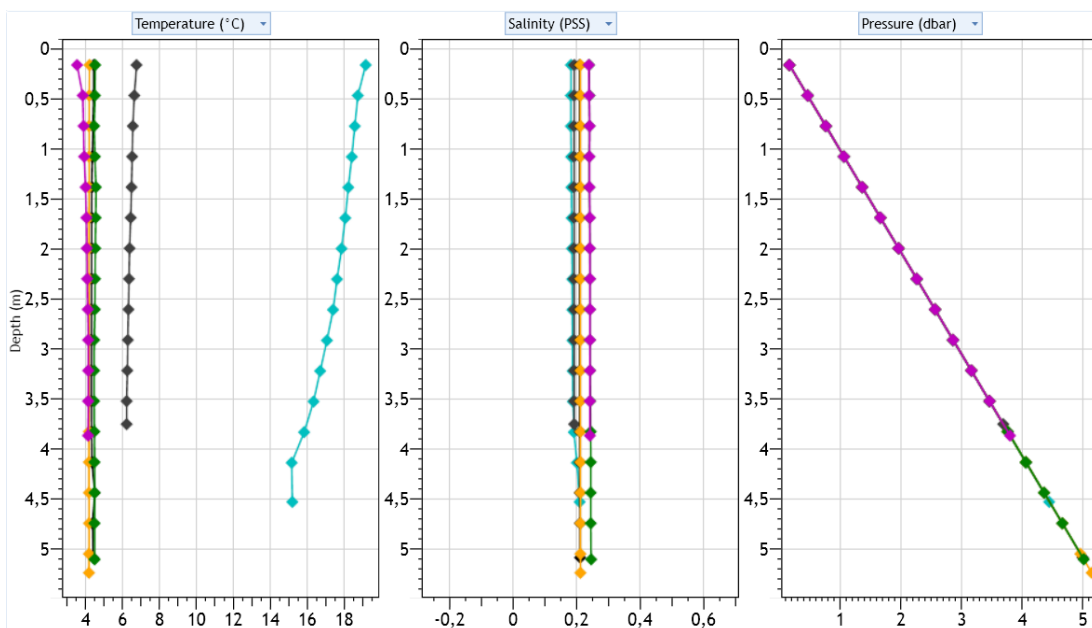


Příloha č. 16: Přehled teplotních, salinitních a tlakových profilů, zaměřených v průběhu sledovaného období na nádrži Pilský rybník

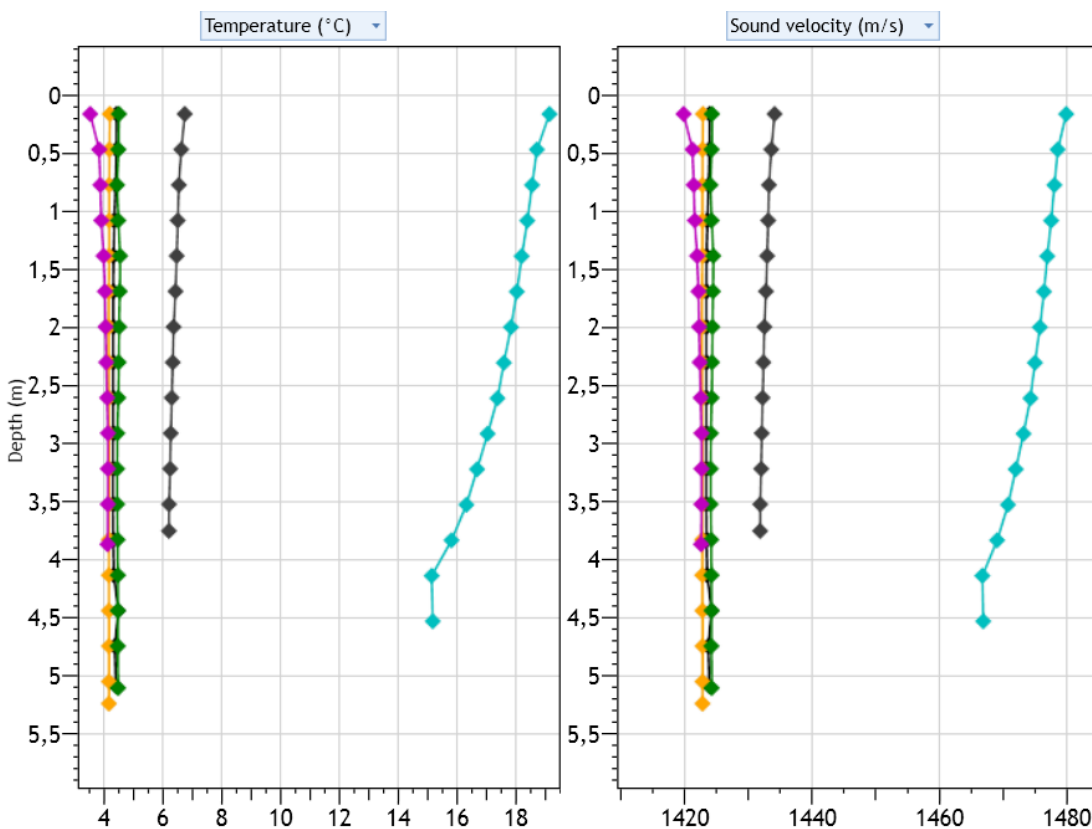


Příloha č. 17: Porovnání průběhu teplotních profilů a rychlosti šíření zvuku vodou, zaměřených na nádrži Pilský rybník

Jevanský rybník:

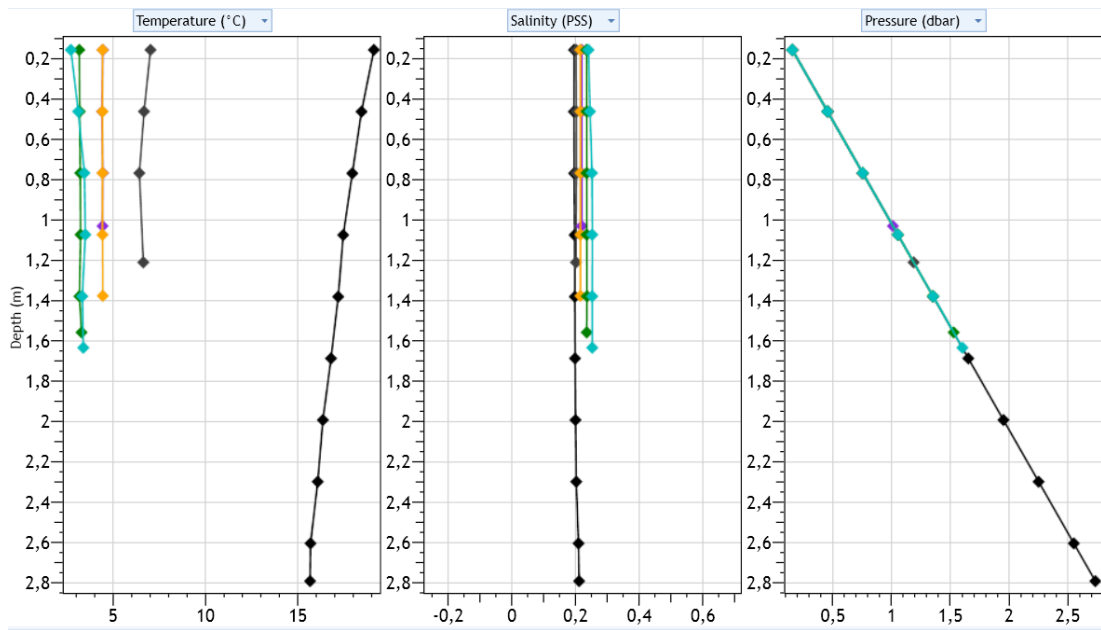


Příloha č. 18: Přehled teplotních, salinitních a tlakových profilů, zaměřených v průběhu sledovaného období na nádrži Jevanský rybník

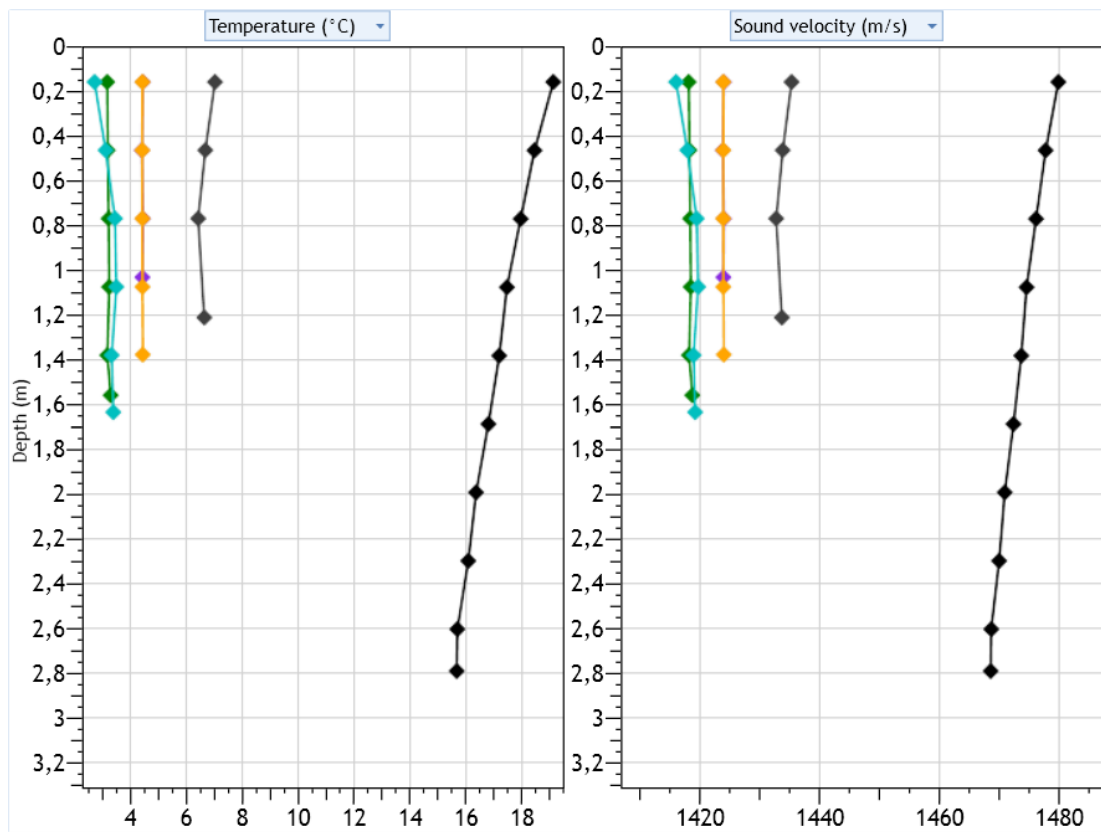


Příloha č. 19: Porovnání průběhu teplotních profilů a rychlostí šíření zvuku vodou, zaměřených na nádrži Jevanský rybník

Švejecar:

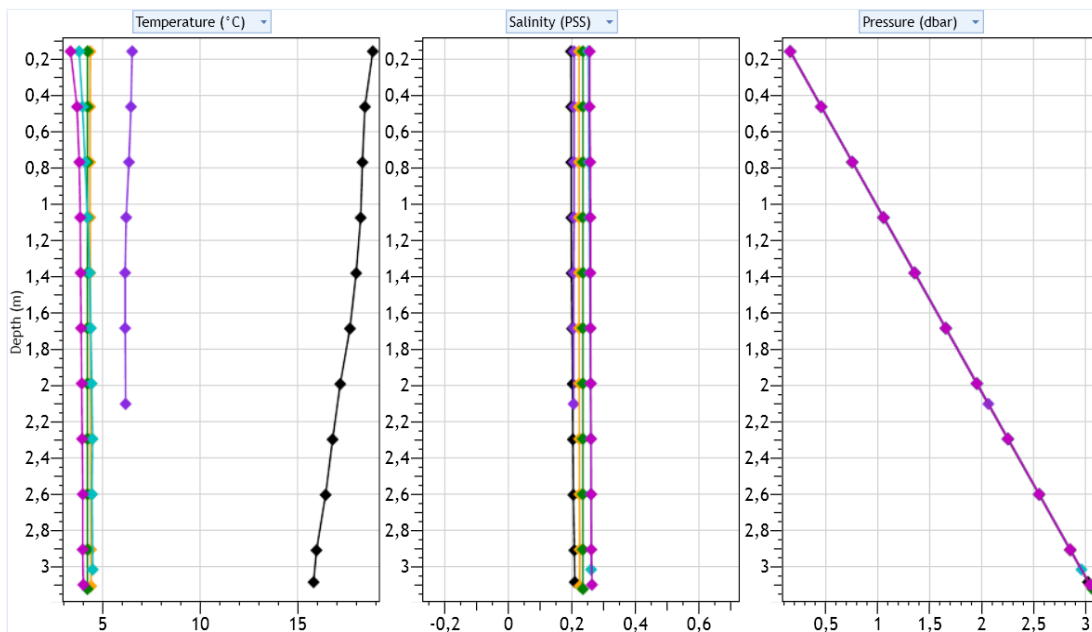


Příloha č. 20: Přehled teplotních, salinitních a tlakových profilů, zaměřených v průběhu sledovaného období na nádrži Švejecar

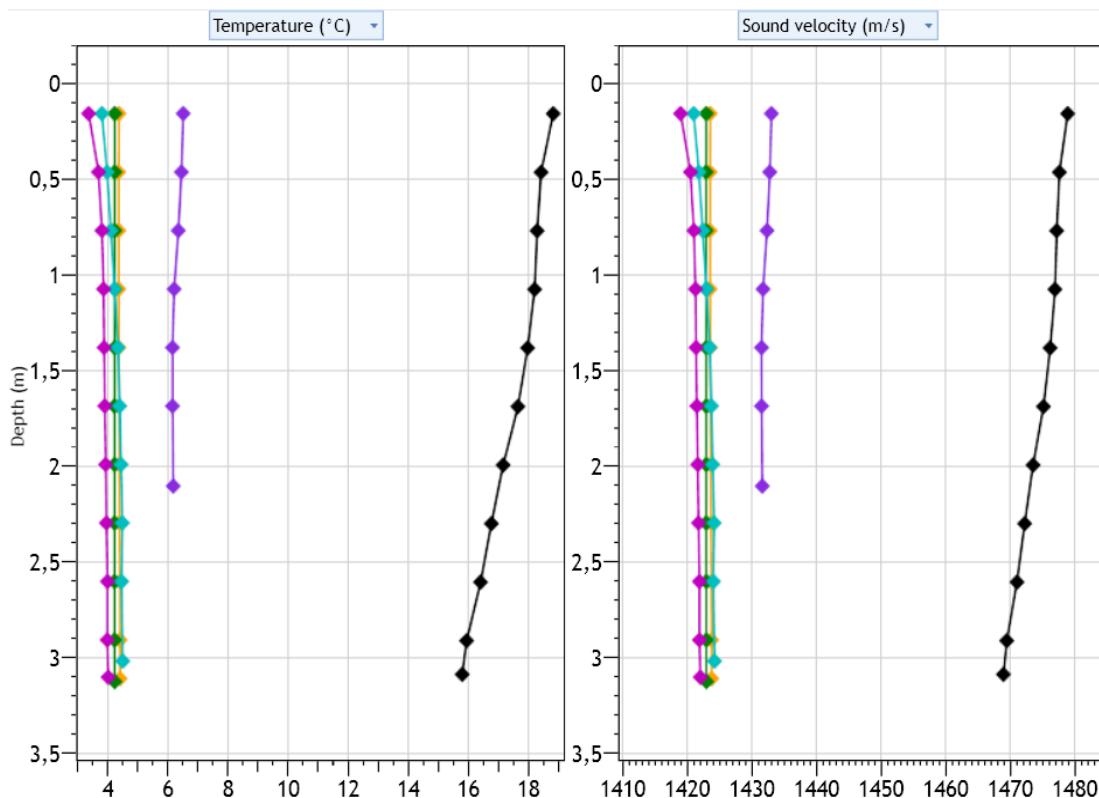


Příloha č. 21: Porovnání průběhu teplotních profilů a rychlosti šíření zvuku vodou, zaměřených na nádrži Švejecar

Ján:

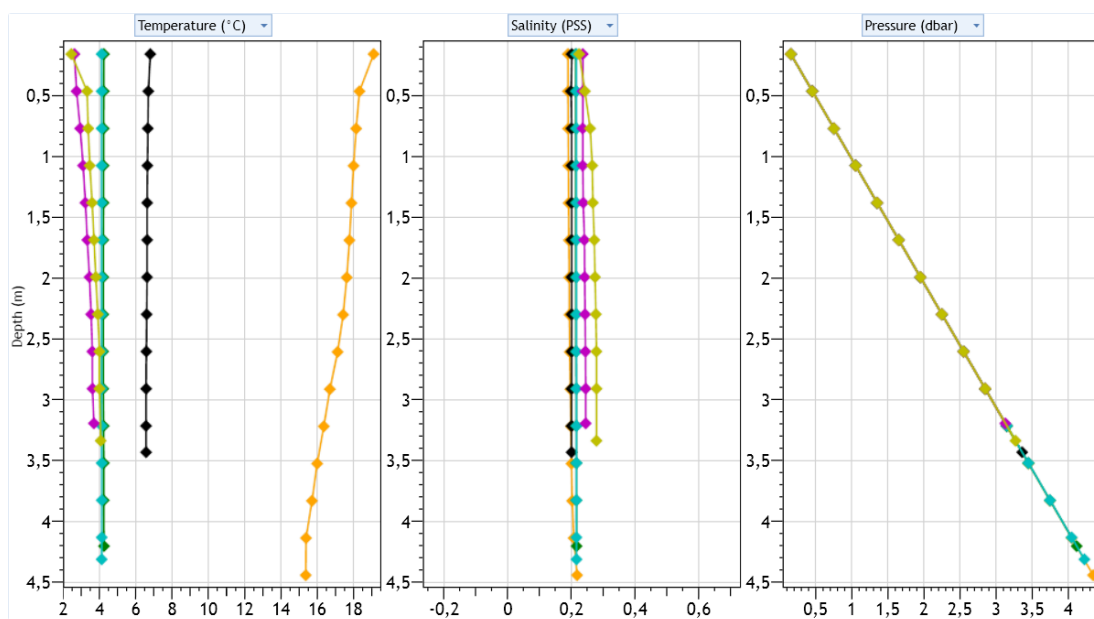


Příloha č. 22: Přehled teplotních, salinitních a tlakových profilů, zaměřených v průběhu sledovaného období na nádrži Ján

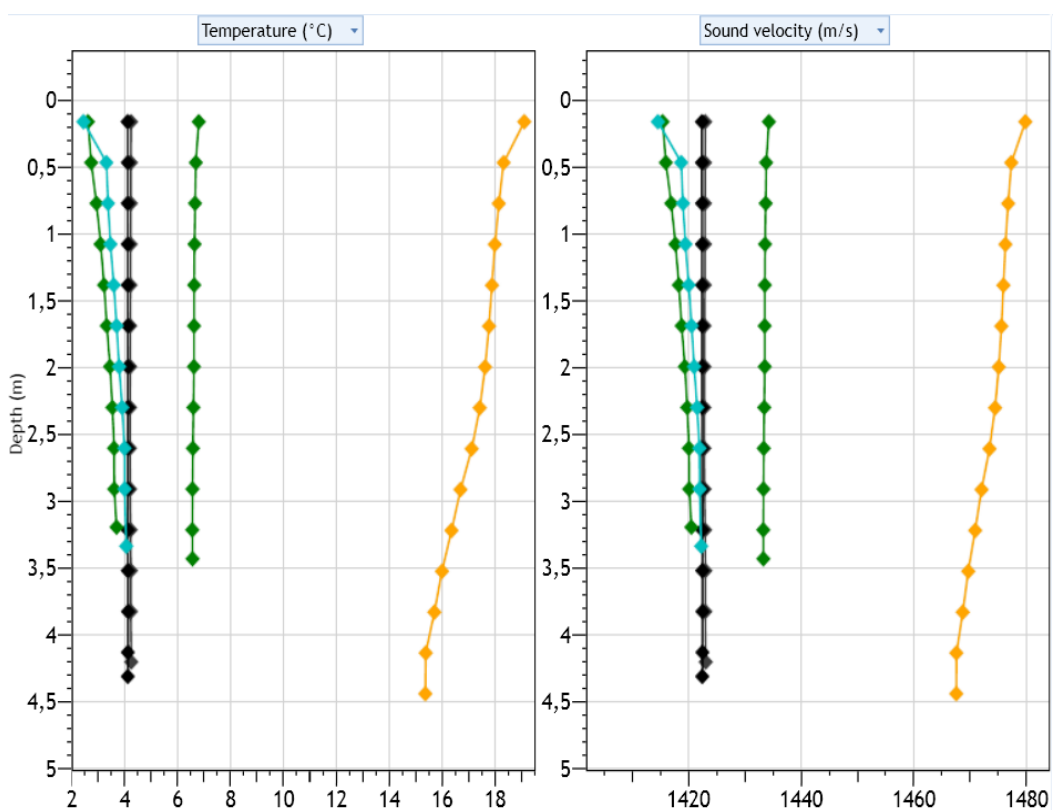


Příloha č. 23: Porovnání průběhu teplotních profilů a rychlosti šíření zvuku vodou, zaměřených na nádrži Ján

Vyžlovský rybník:

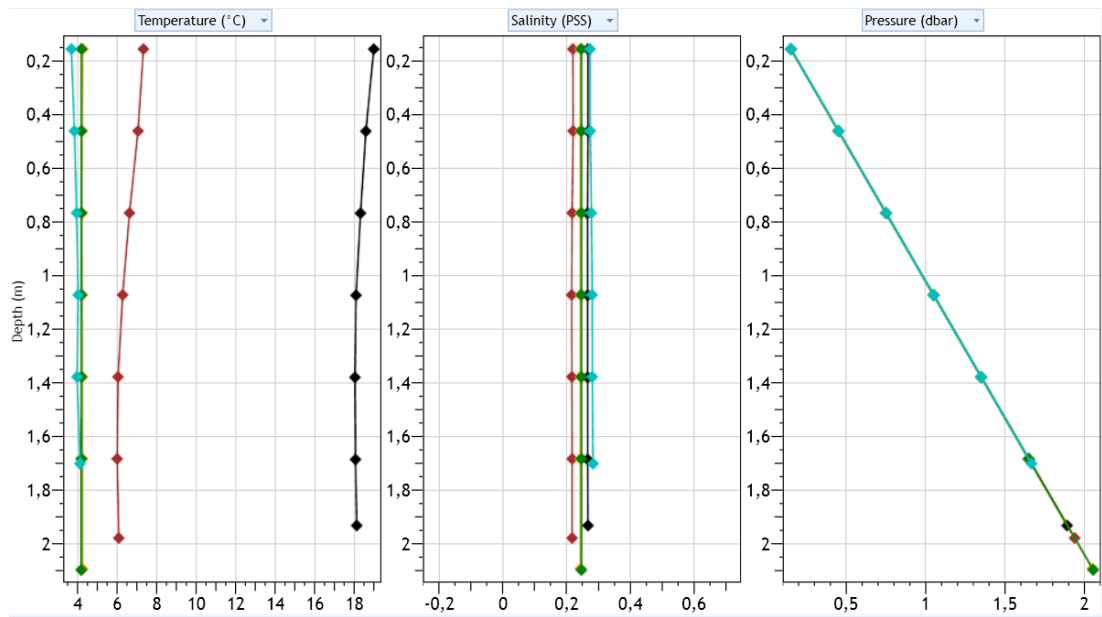


Příloha č. 24: Přehled teplotních, salinitních a tlakových profilů, zaměřených v průběhu sledovaného období na nádrži Vyžlovský rybník

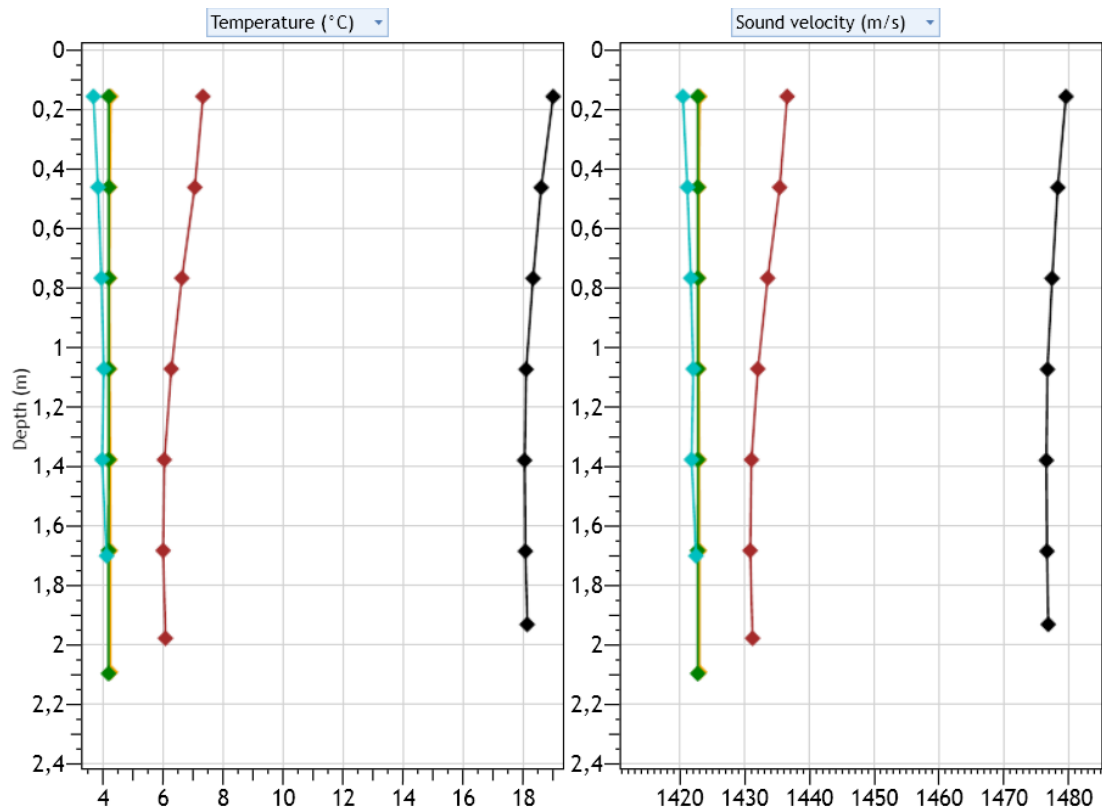


Příloha č. 25: Porovnání průběhu teplotních profilů a rychlostí šíření zvuku vodou, zaměřených na nádrži Vyžlovský rybník

Pařez:

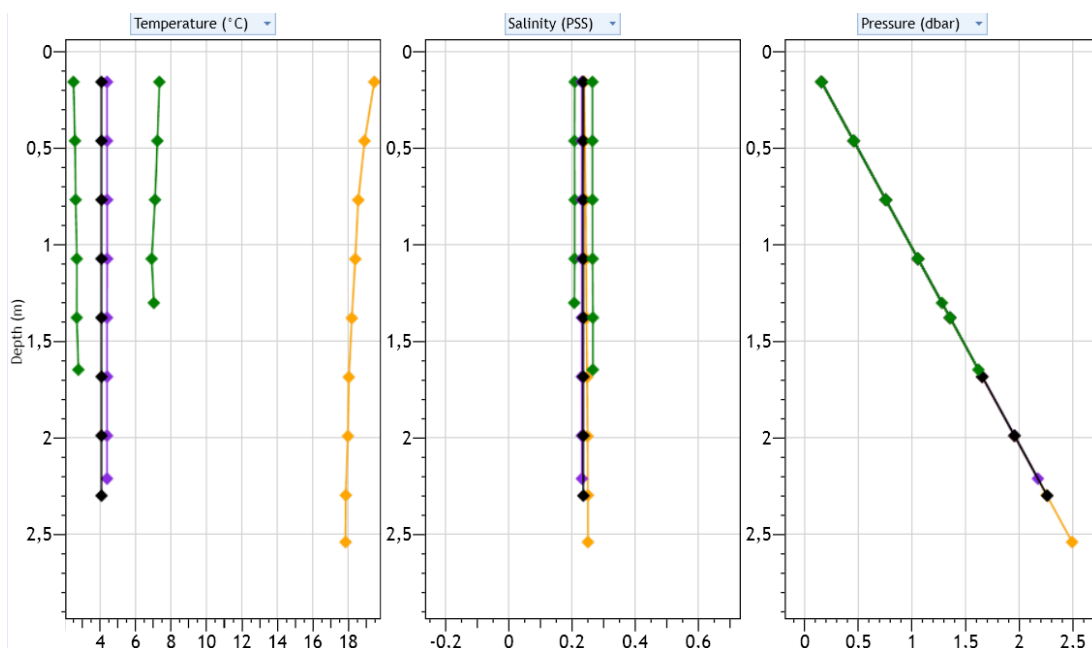


Příloha č. 26: Přehled teplotních, salinitních a tlakových profilů, zaměřených v průběhu sledovaného období na nádrži Pařez

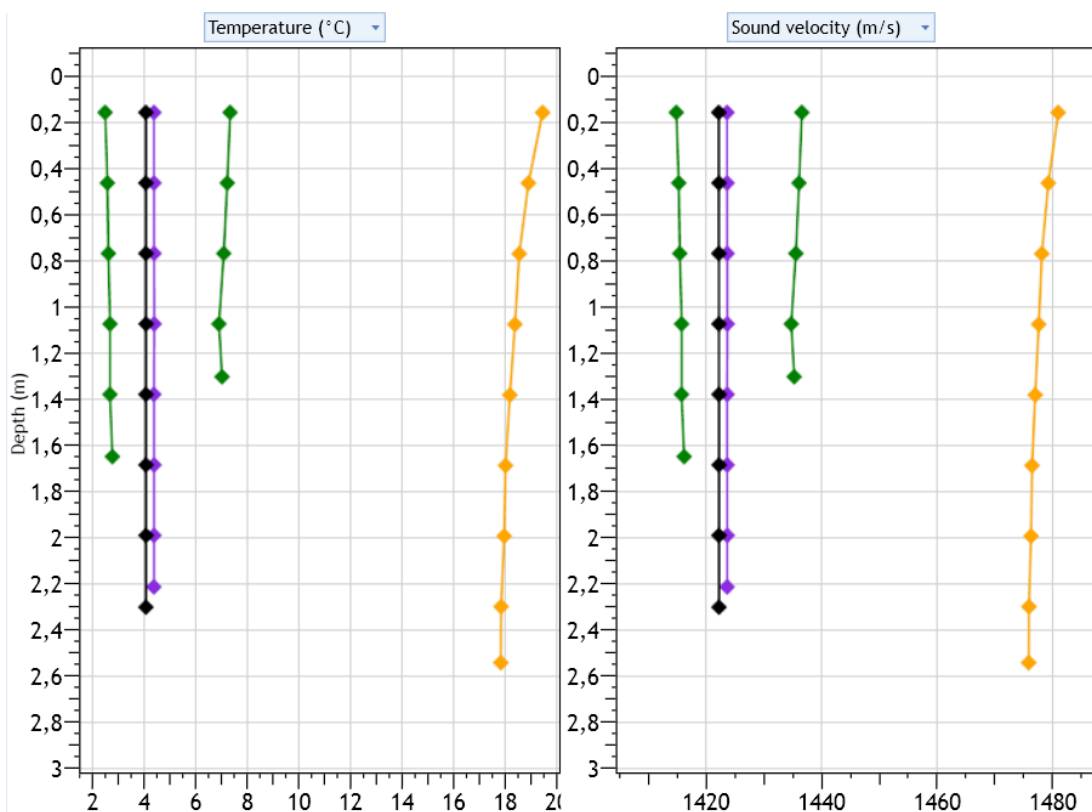


Příloha č. 27: Porovnání průběhu teplotních profilů a rychlostí šíření zvuku vodou, zaměřených na nádrži Pařez

Louňovický rybník:

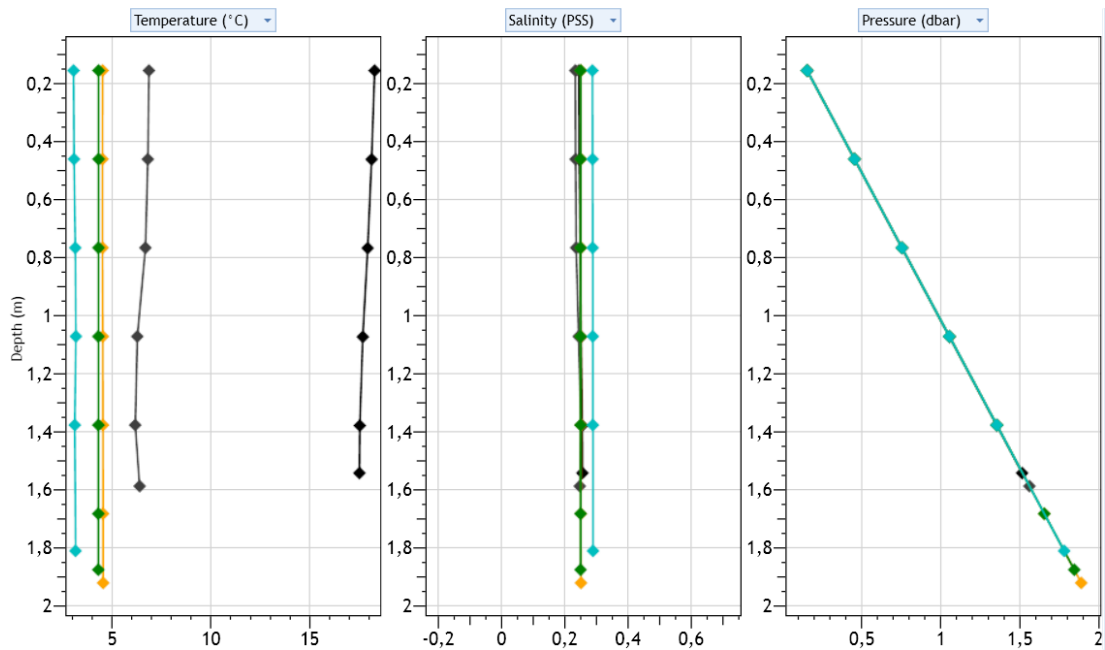


Příloha č. 28: Přehled teplotních, salinitních a tlakových profilů, zaměřených v průběhu sledovaného období na nádrži Louňovický rybník

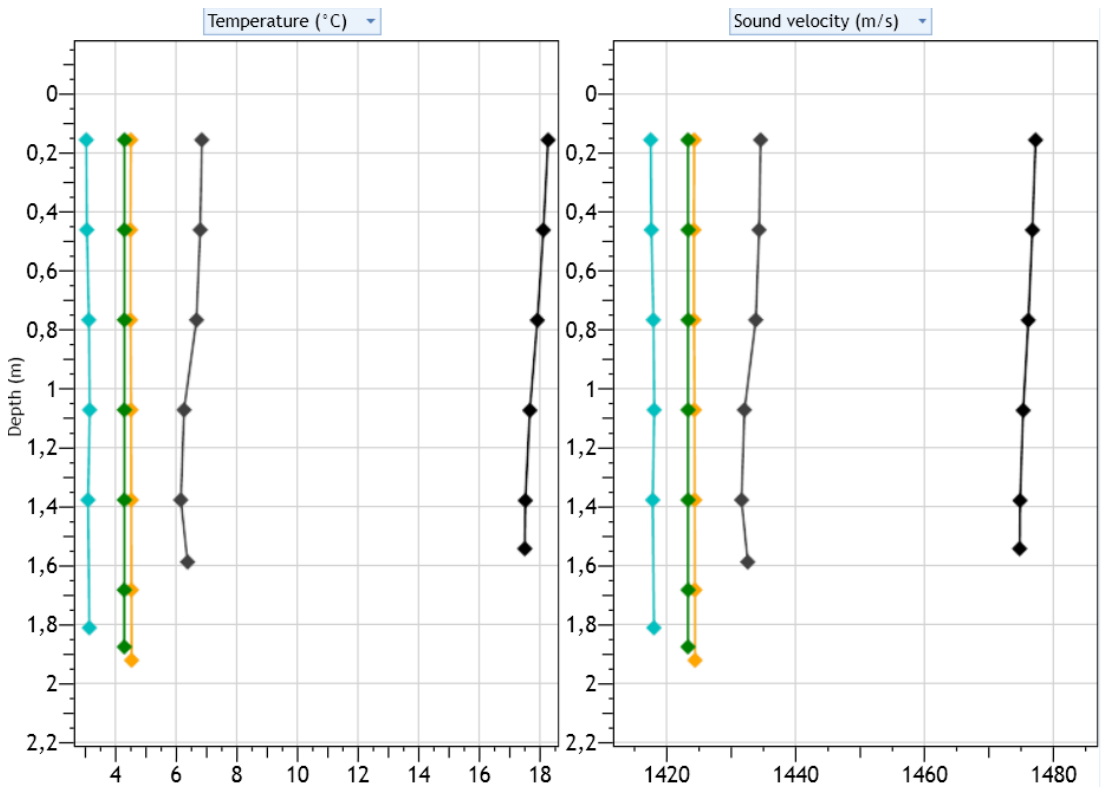


Příloha č. 29: Porovnání průběhu teplotních profilů a rychlostí šíření zvuku vodou, zaměřených na nádrži Louňovický rybník

Požár:

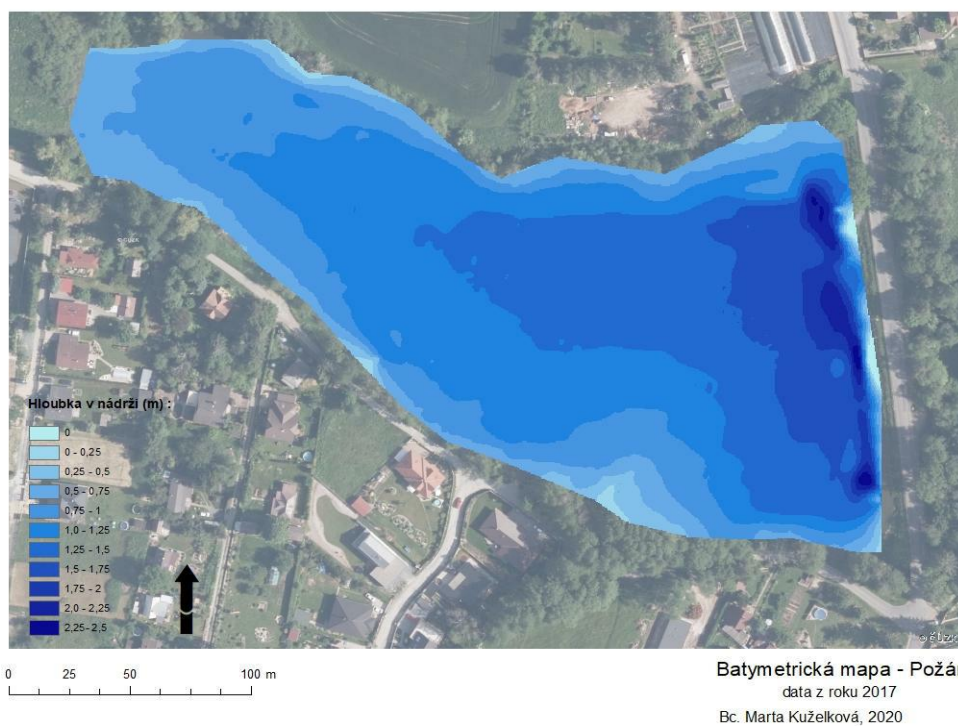


Příloha č. 30: Přehled teplotních, salinitních a tlakových profilů, zaměřených v průběhu sledovaného období na nádrži Požár

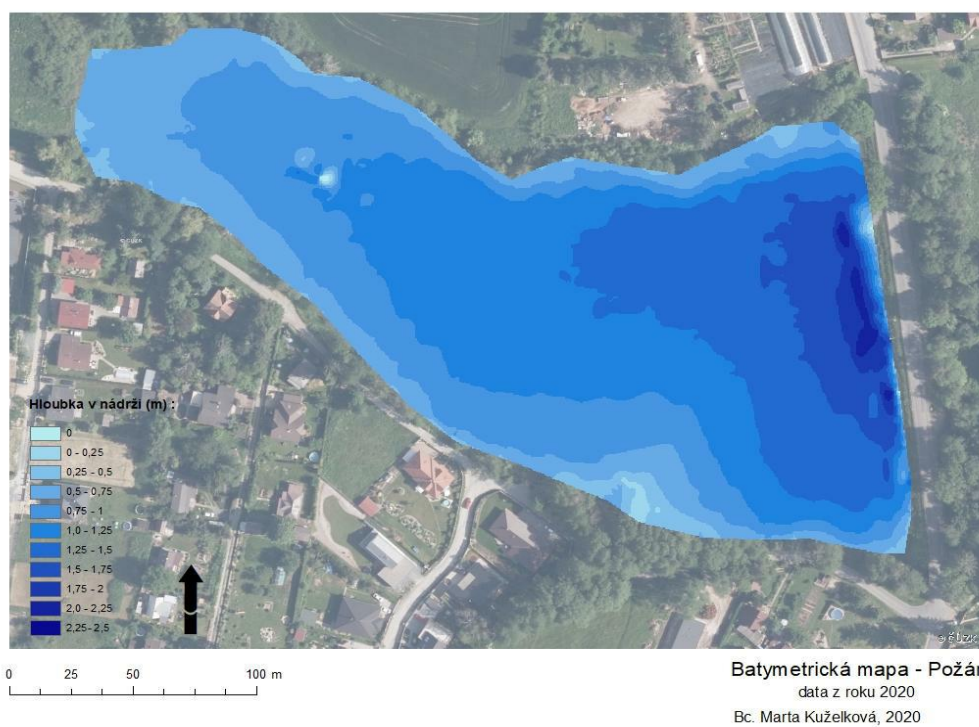


Příloha č. 31: Porovnání průběhu teplotních profilů a rychlosti šíření zvuku vodou, zaměřených na nádrži Požár

10.4 Batymetrické mapy nádrže Požár

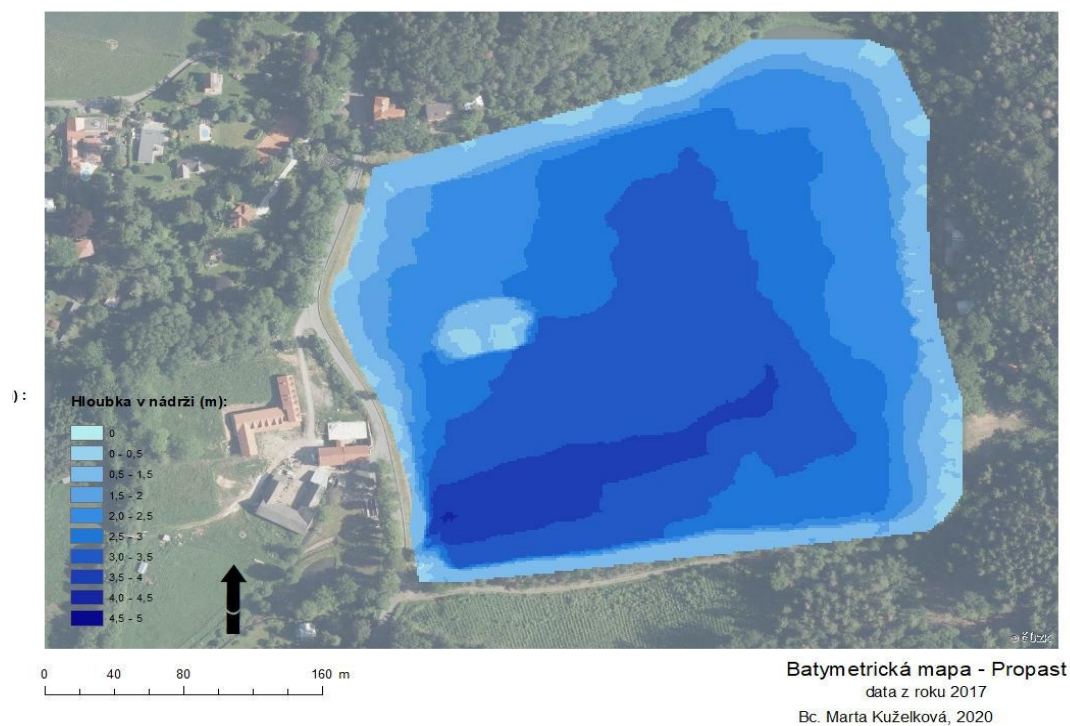


Příloha č. 32: Batymetrická mapa nádrže Požár, vytvořená prostřednictvím interpolační metody spline with tension z dat zaměřených v roce 2017

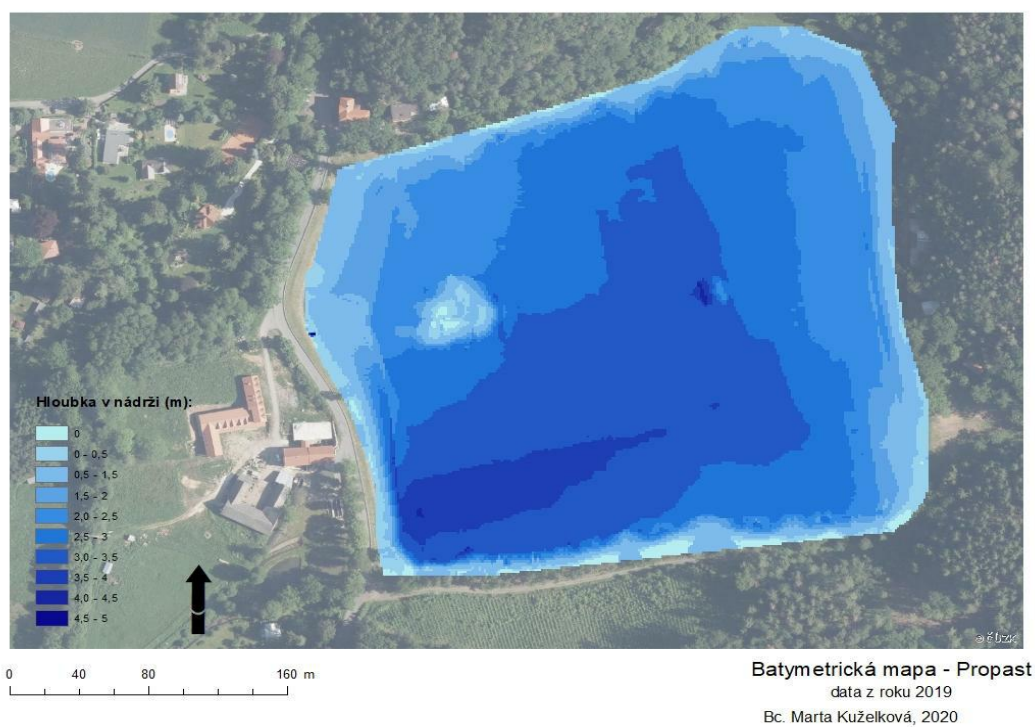


Příloha č. 33: Batymetrická mapa nádrže Požár, vytvořená prostřednictvím interpolační metody spline with tension z dat zaměřených v roce 2020

10.5 Batymetrické mapy nádrže Propast



Příloha č. 34: Batymetrická mapa nádrže Propast, vytvořená prostřednictvím interpolační metody spline with tension z dat zaměřených v roce 2017



Příloha č. 35: Batymetrická mapa nádrže Propast, vytvořená prostřednictvím interpolační metody spline with tension z dat zaměřených v roce 2020