

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra zoologie a rybářství



Hodnocení stanovišť vodních toků pomocí sonaru

Bakalářská práce

Šimon Doseděl

Ochrana krajiny a udržitelné využívání přírodních zdrojů

Ing. Karel Douša, Ph.D.

© 2020 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Hodnocení stanovišť vodních toků pomocí sonaru" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 17.7.2020

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Karel Douda, Ph.D. za odborné vedení, připomínky a cenné rady při tvorbě této bakalářské práce. Děkuji rovněž Juan Felipe Escobar Calderón za odborné rady při práci se softwarem.

Hodnocení stanovišť vodních toků pomocí sonaru

Souhrn

Krajinná data o habitatu jsou zásadní pro výzkum a správu vodních ekosystémů. Získání těchto dat je ale náročné a drahé, obzvláště v hůře dostupných místech s rychlými proudy. Předkládaná bakalářská práce obsahuje přehled morfologie toku a aktuálních trendů v mapování říčních stanovišť. Zvláštní důraz byl kladen na stanovištní nároky bentických bezobratlých se zaměřením na skupinu velkých mlžů (*Unionida*).

Hlavní část rešeršní části bakalářské práce se zaměřila na technologii sonaru s bočním sledováním. Tato technologie poskytuje levný a efektivní nástroj pro mapování říčního dna. V práci byly diskutovány výhody a nevýhody použití low-cost sonaru oproti klasickému sonaru a dalším metodám mapování říčních charakteristik (letecká laserová metoda LiDAR, termální snímání, radarové měření průtoků). Nová levnější sonarová technologie se ukázala jako velmi spolehlivý zdroj dat jak v mělkých a kamenitých řekách, tak na dolních tocích s velkou hloubkou, šířkou a zakaleností.

V praktické části bakalářské práce byl použit přístroj Hummingbird® 698SI. Ten byl umístěn na polystyrénový plovák a pomocí navijáku s vlascem směřován po řece. S ním bylo provedeno snímání na třech lokalitách řeky Ohře. Sesbíraná data byla analyzována a podle nich sestaveny mapy substrátů a stanoven pokryv vegetace. Práce poskytuje návody a rady z praxe pro konkrétní využití sonaru. Na základě získaných zkušeností byl sepsán detailní postup pro provedení obdobné práce: nastavení přístroje, analýza dat v programu HumViewer, grafická úprava dat a konečné vytváření map v programu ArcGIS.

Práce přispívá k lepšímu porozumění říčním ekosystémům a organismům v něm žijících. Sladkovodní mlži jsou důležitou součástí ekosystému, ovlivňují své okolí i jiné organismy. Všechny v České republice žijící druhy jsou ohroženy a vyžadují ochranu. Průzkum lokalit potenciálního výskytu usnadňuje ochrannářskou práci a je důležitý pro efektivní ochranu jak mlžů samotných, tak celých ekosystémů.

Klíčová slova: sonar, řeka, mapování habitů, říční substráty, morfologie

Evaluation of stream habitats with the use of sonar

Summary

Landscape habitat data are essential for research and management of aquatic ecosystems. However, obtaining this data is difficult and expensive, especially in hard-to-reach places with fast currents. The presented bachelor thesis contains in the first part an overview of stream morphology and current trends in mapping river habitats. Special emphasis was placed on the habitat requirements of benthic invertebrates, focusing on a group of large bivalves (*Unionida*).

The main part of the bachelor's research part focused on side-scan sonar. This technology provides an inexpensive and effective tool for mapping the riverbed. The advantages and disadvantages of using low-cost sonar compared to conventional sonar and other methods of mapping river characteristics (aerial laser method LiDAR, thermal sensing, radar flow measurement) were discussed. The new cheaper sonar technology has proven to be a very reliable source of data both in shallow and stony rivers as in lower streams with great depth, width (85-140 m) and great turbidity.

In the practical part of the bachelor thesis, the Hummingbird® 698SI device was used. It was placed on a polystyrene float and guided along the river using a line reel. The survey was held at three locations on the river Ohře. The collected data were analyzed and maps of substrates were compiled, also vegetation cover was determined. The work provides instructions and advice from practice for the specific use of sonar. Based on the experience gained, a detailed procedure was written for performing similar work: device setup, data analysis in HumViewer, graphical data editing and creating of maps in ArcGIS.

The work contributes to a better understanding of river ecosystems and organisms living in it. Freshwater bivalves are an important part of the ecosystem, they affect their surroundings and other organisms. All species living in the Czech Republic are endangered and need protection. Exploration of potential habitats facilitates conservation work and is important for the effective protection of both bivalve molluscs themselves as entire ecosystems.

Keywords: sonar, river, habitat mapping, substrate, morphology

Obsah

1 Úvod	8
2 Cíl práce	9
3 Literární rešerše	10
3.1 Morfologie říčního toku	10
3.1.1 Morfologie koryta řeky	10
3.1.2 Říční substráty.....	11
3.1.3 Další parametry.....	12
3.2 Technologie	12
3.2.1 Laser	12
3.2.1.1 ALS (Airborne laser scanning).....	12
3.2.1.2 ALB (Airborne LiDAR bathymetry).....	13
3.2.1.3 TLS (Terrestrial laser scanning)	13
3.2.1.4 MLS.....	13
3.2.2 Letecké snímání teploty vody	13
3.2.3 Jak funguje sonar	14
3.2.3.1 WideSide® sonar	14
3.3 Použití sonaru pro mapování vodního prostředí	14
3.3.1 Moře a oceány	15
3.3.2 Říční toky.....	15
3.3.3 Využití sonaru pro přímou i nepřímou lokalizaci mlžů	16
3.4 Sladkovodní mlži v Evropě	17
3.4.1 Životní nároky sladkovodních mlžů	17
3.4.2 Charakteristika v ČR žijících sladkovodních mlžů.....	18
3.4.2.1 Margaritiferidae	18
3.4.2.2 Unionidae	18
4 Metodika	20
4.1 Snímání a sběr dat	20
4.1.1 Nastavení přístroje.....	20
4.1.2 Průběh snímání	21
4.2 Proces vytváření map	22
4.2.1 Zpracování naměřených dat	22
4.2.2 Vytváření mapy	24
5 Výsledky	26
6 Diskuse	30

6.1	Snímání a sběr dat	30
6.2	Porovnání metod použitých pro tuto práci	30
6.3	Vytváření map	31
6.4	Trendy substrátu	31
7	Závěr	33
8	Bibliografie	34
9	Samostatné přílohy	I
9.1	záběry práce v terénu	I

Seznam obrázků:

Obrázek 1:	Zoner Photo Studio 15	23
Obrázek 2:	HumViewer	24
Obrázek 3:	vytváření polygonů v ArcGIS	25
Obrázek 4:	Graf zastoupení substrátů na lokalitě č.1	27
Obrázek 5:	Mapa substrátů na lokalitě č.1	27
Obrázek 6:	Mapa substrátů na lokalitě č.2	28
Obrázek 7:	Graf zastoupení substrátů na lokalitě č.2	28
Obrázek 8:	Mapa substrátů na lokalitě č. 3	29
Obrázek 9:	Graf zastoupení substrátů na lokalitě č.3	29
Obrázek 10:	detail umístění sonaru	I
Obrázek 11:	plovák na řece	I
Obrázek 12:	plovák	I

1 Úvod

Krajinná data o habitatu jsou extrémně důležitá pro výzkum a správu vodních ekosystémů. Získání těchto dat je ale náročné a drahé, obzvláště v hůře dostupných místech s rychlými proudy. V současné době jsou k mapování řek používány letecké metody LiDAR (Light Detection And Ranging), které podávají údaje o substrátu (Torgensen et al. 2001) a další metody monitorování říčních charakteristik (Charlton et al. 2002; Hohental et al. 2011). Použití těchto metod je z finančních důvodů a nutnosti specializovaných pracovníků značně omezené. Zároveň hloubka, proudění a zakrytí pobřežní vegetací značně ovlivňují kvalitu získaných dat (Marcus & Fonstad 2008).

Sonar s bočním sledováním (Side-scan sonar – SSS) byl vynalezen v 60.-tých letech 19. století s účelem hledání potopených lodí na moři a bezpečné navigování pro plavbu kanály (Hobbs 1986; Prada 2008). SSS vysílá a přijímá odražené zvukové signály, čímž se zjistí vzdálenost a průchodnost povrchu, od kterého se zvuk odrazí. Získaná data se interpretují k vytvoření dvourozměrného obrazu podvodní krajiny. Takto mohou být získána kvalitní data i v hlubokých a kalných vodách (Carr & Fish 1990).

K účinné ochraně konkrétních říčních druhů, ať již mlžů, jiných bezobratlých či ryb, je nutné definovat místa výskytu. Definování těchto stanovišť není lehký úkol, zvláště na velkých a zakalených řekách, ale naprosto nezbytný pro efektivní ochranu populací (Kaesler & Smith 2016). Sladkovodní mlži jsou také důležitou součástí vodních ekosystémů (Vaughn & Hankenkamp 2001). Jimi zapříčiněný přenos hmoty a energie v rámci vodního sloupce může mít silný vliv na primární i sekundární produkci, biogeochemické cykly, rychlost sedimentace a čistotu vody (Strayer et al. 1999). Navíc jejich prázdné schránky slouží jako úkryt a životní prostor pro jiné organismy (Vaughn & Hankenkamp 2001). Sladkovodní mlži mají značný vliv na ekosystém, v němž žijí a umožňují existenci dalších druhů, proto je jejich ochrana tak důležitá (Lopes-Lima et al. 2017).

Tradiční použití SSS systémů je drahé a komplikované, což značně limitovalo širší použití na řekách (Kaesler et al. 2013). V roce 2005 společnost Hummingbird® uvedla na trh levný SSS přístroj, který využívá vysoké frekvence (455 nebo 800 kHz) k vytvoření přesných (10 cm pixel) podvodních map. Tento přístroj se ukázal jako velmi spolehlivý zdroj dat jak v mělkých a kamenitých řekách, tak na dolních tocích s velkou hloubkou, šířkou (85–140 m) a zakaleností (Kaesler et al. 2013).

Obdobný přístroj (Hummingbird® 698ci) byl použit i pro získání dat pro tuto práci. S ním bylo provedeno snímkování na několika lokalitách na řece Ohři. Ze sesbíraných dat byly sestaveny mapy substrátů a stanoven pokryv vegetace. Na základě získaných zkušeností byl sepsán detailní postup od nastavení přístroje po vytváření map v programu ArcGIS.

2 Cíl práce

Cílem práce je provést obecné shrnutí používaných technologií pro mapování charakteristik vodních toků s důrazem na nedávné průzkumy prováděné low-cost SSS sonarem. Dále provést vlastní průzkum obdobným přístrojem a sepsat metodiku.

Rešerše má za cíl pokrýt a obecně popsat princip mapování parametrů dna, jak ve světových oceánech, tak ve sladkých vodách. Dále ukázat konkrétní využití nízkofrekvenčního sonaru pro detekci živočichů a substrátových typů a důležitost takových výzkumů, která spočívá v lepším porozumění dynamice vod a efektivnější správě. Zejména pak v ochraně tzv. tvůrců ekosystémů, organismů nebo jejich společenstev, kteří ovlivňují okolní prostředí. V českých řekách jsou takovými tvůrci ekosystémů sladkovodní mlži a jejich ochrana má zásadní význam pro celý ekosystém.

Projektem bude průzkum tří lokalit na řece Ohři. Průzkum bude proveden pomocí sonarového zařízení Hummingbird® 698ci. Z obrazových dat bude sestavena mapa zobrazující jednotlivé typy substrátů a jejich rozmístění na řece. Výsledkem bude mapa, vytvořená v ArcGIS, zobrazující substrátový typ a případně další faktory. Na základě získaných zkušeností bude také sepsán detailní postup od nastavení přístroje po vytváření map v programu ArcGIS. Tato data mohou sloužit jako podklad pro správu řeky a k dalším výzkumům.

3 Literární rešerše

Literární rešerše, zpracovaná na podkladě studia odborné literatury, se věnuje morfologii a dynamice řeky, principu a použití různých metod mapování říčních vlastností s důrazem na moderní sonarové mapování. Popisuje mlže vyskytující se v českých řekách a věnuje se problematice spojené s monitorováním, ochranou mlžů a pro ně vhodných stanovišť i ekosystémů obecně.

3.1 Morfologie říčního toku

Pro existenci lidské populaci byla vždy důležitá přítomnost vody, a tak osídlení vznikala podél toků. Velké využívání vytváří velký tlak na řeky a kvalitu vod v nich. Proto je důležité pochopit, co ji ovlivňuje, jak monitorovat změny a jak provádět správná opatření zabraňující degradaci vod a okolního prostředí (Bandolová & Pertile 2017).

Základní rozdělení může být provedeno na takzvané habitaty. Habitat je území, kde žije určitý organismus, toto území je z hlediska fyzikálních, chemických a biologických jevů dobře odlišitelné od svého okolí (Rowtree & Wadeson 1996). Mapování habitatu je tedy kompletní popis prostředí proměnlivého jak v prostoru, tak času (změna během sezóny) (Brown et al. 2008). Kvalita habitatu je určena typem substrátu, hloubkou, aktuální rychlostí proudu, výskytem míst sloužících jako úkryt, pro rozmnožování a útočiště pro nedospělé jedince a také diverzitou (výskyt tůní, ostrůvků, meandrů a zbytkového dřeva) (Harper et al. 1995). Člověk tyto faktory ovlivňuje údržbou toku (Newson 2000).

Jako další důležité charakteristiky toku můžeme uvést kvalitu vody (souhrn fyzikálně-chemických charakteristik) (Raven et al. 1998), interakce mezi organismy (predace, kompetice, parazitismus, výskyt nemocí) a zdroj energie, tj. množství organického materiálu, které se dostane do řeky a které se zde vytvoří (Newson 2000).

3.1.1 Morfologie koryta řeky

Řeky mohou měnit svou morfologii buďto přirozeným vývojem nebo v reakci na zásahy člověka. Přirozený vývoj je ovlivněn horninovým složením substrátu tvořícího dno a břehy koryta, klimatem, charakterem krajinného pokryvu a celkovou fyziografií povodí (Lehotský 2006).

Přímé zásahy člověka bezprostředně ovlivňují charakter koryta řeky. Například přehrad a uměle vytvořená koryta řek mohou zcela změnit původní režim toku a nastolit nové podmínky (Carling 1992). Nejčastěji jde o stavby, které mají za cíl zmenšit efekt záplav, eroze nebo akumulaci vody (Lehotský 2006).

Zásadní modelační charakteristikou vodního toku je hydrologický režim toku. Ten je definován celkovým množstvím vody, průtokem a časovými výchylkami jako jsou povodně a

sucha (Newson 2000). O výsledném tvaru rozhodují zejména tři faktory: intenzita a rozložení eroze, transport a sedimentace (Horník et al. 1986).

Eroze je proces působení proudu vody a v něm unášeného materiálu. Erozi dochází k rozšiřování a prohlubování říčních koryt. Síla tohoto efektu je odvislá od odolnosti dna a břehů koryta, stejně tak jako na průtoku a množství splavenin. Zvýšit odolnost břehů může vegetace, zejména kořenový systém stromů a keřů (Demek 1988).

Transport materiálu řekami je významný proces. Řeky přenáší nejen materiál, který byl uvolněn z bočních stěn a dna koryta, ale také materiál, který se do koryta dostal jinou cestou (sesuvy půdy, splachy z okolní půdy) (Horník et al. 1986). Transport materiálu neprobíhá plynule, protože voda proudí v korytech turbulentně. Na štěrkovém substrátu je pohyb nesených částic přerušovaný, u řek s písčítým dnem se částice pohybují ve shlucích ve směru proudu (Knighton 1984).

Když se nosná síla proudu sníží a není již schopná transportovat částice dále, dochází k sedimentaci. Charakter sedimentace je odvislý od velikosti částic, síly proudění, tvaru řečiště a překážek v korytě. V rychlých horských potocích bývá materiál málo vytríděn, oproti tomu v nížinných řekách je materiál dobře vytríděn a zrna jsou zaoblena (Horník et al. 1986). Na některých místech může docházet k sedimentaci vybočující z těchto principů. Např. pod jezy, pod ústím přítoků a u skalních výchozů dochází ke skokovému nárůstu velikosti a moci sedimentů (Surian 2002). Částice se na dně usazují do různých tvarů, velkými útvary jsou bary, tj. ostrůvky sedimentů uvnitř koryta. Mnohem menšími tvary jsou čeřiny a duny typické pro písčité koryta (Knighton 1984).

3.1.2 Říční substráty

Substrát, který se vyskytuje na daném místě, je určen zejména erozí a sedimentací. Hlavní efekt na to má nejsilnější proudění v určitém časovém období. Tj. při záplavách má proud daleko vyšší rychlost než během zbytku roku, a to může výrazně změnit charakter substrátu (Newson 2000).

Substráty se nejčastěji dělí podle velikosti částic. Počet kategorií a jejich přesné definice se liší práce od práce podle individuálních potřeb a cílů. Standardem zůstává rozlišení na čtyři kategorie podloží, a to: kamenité, štěrkové, písčité a jílové (Brown et al. 2008; Kaeser et al. 2013). Běžná je též Wentworthova stupnice (štěrk 2–15 mm, oblázky 16–63 mm, valouny 64–256 mm, balvany >256 mm a celistvá skála) (Bovee & Cochnauer 1997). Je zřejmé, že nelze dosáhnout zaznamenání 100 % plochy řeky. Měly by se rozlišit i oblasti, u kterých není dostatečný datový podklad jako např. nejisté písčité, různorodé kamení a další. Při snímání také vznikají území bez datových podkladů jako datový stín, oblast mimo dosah sonaru a oblasti, jejichž zobrazení neumožňuje překážka, tj. hustá vegetace, ponořené kmeny stromů, sloupy mostů, ostrovy a jiné (Kaeser et al. 2013).

3.1.3 Další parametry

Mezi další sledované parametry v řece patří například vegetace. A to jak její hustota, tak typ. Rozlišujeme spadané větve, pokrytí vodní vegetací, řasami nebo mechem (Canna 1999). Mezi další významné faktory, ovlivňující morfologii řeky, patří hloubka a rychlost proudu (Statzner et al. 1988). Tyto veličiny se během roku výrazně mění. Nejsilnější změna nastává při jarních záplavách po roztání sněhu. Ty mohou mít takovou sílu, že odnesou menší části substrátu a změní tak habitat (Newson 2000). Proto je pro dlouhodobé přežívání mlžů důležitá odolnost lokality před takovými změnami a stálost podmínek (Kaeser & Smith 2016).

Jak prokázal Smith (2016) existuje pevný vztah mezi početností a variabilitou mlžů a variabilními parametry jako vzdálenost k místu s pomalým prouděním, vzdálenost k nevhodnému habitatu a vzdálenost k ústí řeky (Kaeser & Smith 2016).

3.2 Technologie

K mapování řek a získávání dat o vlastnostech toku je možné využít několika technologií. V současné době jsou k mapování řek používané letecké metody LiDAR a infračervené termální snímání (Torgensen et al. 2001). Zatímco využití sonaru pro podobné účely je poměrně nové, mohlo by nabízet řešení nedostatků předchozích metod. Jako jsou vysoké finanční náklady, chyby vzniklé vlivem stavu a proudění vody a nutnost specializovaného personálu (Kaeser et al. 2013). V následujících kapitolách jsou jednotlivé technologie stručně představeny.

3.2.1 Laser

V posledních dekádách se využití LiDAR na řekách velmi zintenzivnilo a využití dat i metody sběru byly značně vylepšeny (Charlton et al. 2002).

Letecký přístup (ALS) je nejvhodnější pro studium topografie dlouhých úseků. Modro-zelené letecké snímání LiDAR může být použito také pro mapování hloubky toků. Nevýhodou leteckého snímání ale zůstává, že nelze použít pro mapování mělkých vod (<0,5 m). Když jsou zapotřebí detailnější data, pozemní laserové skenování (TLS) nebo mobilní pozemní skenování (MLS) je vhodnější variantou (Hohental et al. 2011).

3.2.1.1 ALS (*Airborne laser scanning*)

Zařízení pro letecké laserové skenování vysílá infračervené pulsy ve vysoké frekvenci (50–400 kHz). Pozice, orientace a letová trajektorie laserového senzoru je neustále monitorována pomocí GPS. Laser typicky měří 4–5 pulsů naráz a umožňuje tak rozlišení objektů. Lze tedy předpokládat, že v zalesněné krajině první puls koresponduje s vrcholky stromů, zatímco poslední puls pravděpodobně koresponduje se skutečným trémem. Obdobně, při snímání nezalesněného ploché krajiny je obdržen jen jeden puls (Large & Heritage 2009).

3.2.1.2 ALB (*Airborne LiDAR bathymetry*)

Technologický pokrok umožnil použití leteckých laserových systémů pro měření hloubky řek. Systém je založen na modro–zelených vlnových délkách (450–550 nm), které lépe procházejí vodou. Delší i kratší vlnové délky nemohou být použity, protože jsou absorbovány a roztrženy vodní hladinou. Výška vodního sloupce je kalkulována na základě času potřebnému k opětovnému zachycení paprsku a znalosti rozdílné rychlosti, jakou cestuje světlo ve vodě a ve vzduchu (Wang & Philpot 2009).

3.2.1.3 TLS (*Terrestrial laser scanning*)

Pro získání detailnější topografie oblasti je možné použít pozemní laserové skenery. Umístí se na trojnožku a v předem stanoveném neměnném úhlu vysílá pulsy. Typicky je tímto způsobem možné snímat ve vzdálenosti od 2 do 800 metrů od zařízení. V porovnání s ALT je TLS výrazně levnější a umožňuje detailní mapování prvků krajiny. To je zejména užitečné pro detekování malých říčních prvků (Hohental et al. 2011).

3.2.1.4 MLS

Jediným problémem TLS je, že je pevně fixován. To může být vyřešeno použitím mobilních pozemních skenerů (MLS). Novou metodou je laserový skener připevněný na lodi. Proces získávání dat je velmi podobný tomu leteckému, jen je výrazně pomalejší a nashromáždí se ohromné množství dat. Tak vzniká potřeba pro vytvoření automatizovaných systémů, které by byly schopny z dat vytvořit přesné 3D modely. I když je možné využít software a metody vyvinuté pro TLS a ALS, stále je nutné vyvinout specifické algoritmy pro rozdílnost ve skenovací geometrii, hustotě bodů a rychlosti zpracování (Jaakola et al. 2008).

Kvalita a přesnost mobilního laseru je limitována signálem GPS. Jelikož jsou vzdálenosti malé, představují odchylky větší problém (Hohental et al. 2011).

3.2.2 Letecké snímání teploty vody

Letecké termální snímání má za cíl získat data o teplotě vody v jednotlivých částech toku. Teplota vody je jedním z ukazatelů kvality vody a má přímý vliv na vodní organismy. Při využívání klasické pozemní metody (měření teploty vody přímo na místě) se musí řešit problémy s přístupem. Řeka teče přes veřejné i soukromé pozemky, a ne vždy je k řece dobrý přístup. V tom spočívá výhoda použití letecké metody. Umožňuje získání kontinuálních dat v dlouhém úseku řeky, bez nutnosti dostat se přímo na místo (Torgensen et al. 2001).

Dálkové měření teploty vody je prováděno infračervenou termovizí, která detekuje radiaci (3–5 a 8–14 μm) vysílanou z povrchu vody (0,1 mm vodního sloupce). Takové měření je schopné dosáhnout přesnosti až $\pm 0,5$ °C. Souběžně je zaznamenávána pozice přístroje pomocí GPS, díky tomu je posléze možné sestavit mapu. Pro prosazení úprav vedoucích k vylepšení kvality vody, realizaci určitých opatření nebo terénních změn toku, je zapotřebí mít relevantní data, taková mapa může tyto data poskytnout (Torgensen et al. 2001).

3.2.3 Jak funguje sonar

Název SONAR je zkrácením slovního spojení SOund and NAVigation Ranging, volně přeloženo jako „prostorová zvuková navigace“ (Frank 1998).

Technologie sonaru je založená na zvukových vlnách. Přístroj vyšle zvukovou vlnu, ta se odrazí ode dna nebo od předmětu ve vodě a dojde zpět do přístroje. Ten odraženou vlnu zachytí a podle času určí vzdálenost. Ze souboru takto zpětně zachycených vln a jejich charakteristice se poté určuje vzdálenost, velikost a kompozice předmětu nebo dna. Sonar je velmi rychlý, vlna cestuje do hloubky 70 m a zpět za ¼ sekundy (Johnson Outdoors Marine Electronics 2011).

Zvukové vlny mohou být vysílány v různých frekvencích v závislosti na aplikaci. Velmi vysoké frekvence (455 kHz) se používají pro nejvyšší kvalitu, ale hloubka, v které mohou operovat je značně limitována. Vysoké frekvence (200 kHz) se používají nejčastěji, protože nabízí ideální kompromis mezi kvalitou zobrazování detailů a hloubkou, ve které jsou použitelné. Nízké frekvence (83 kHz) jsou používány na místech, kde je zapotřebí větší dosah (Ainslie 2012).

3.2.3.1 *WideSide® sonar*

WideSide® sonar je specializovaný vysílač s bočním snímáním. Používá tři nezávislé sonarové jednotky. Dvě na bocích, které pokryjí území v úhlu 16° a vysílají vlny o frekvenci 455 kHz. A jednu směřující kolmo na dno, pokrývající území v úhlu 24°, vysílající vlny o frekvenci 200 kHz (Johnson Outdoors Marine Electronics 2011).

3.3 Použití sonaru pro mapování vodního prostředí

S technologickým pokrokem se v posledních letech rozvíjejí možnosti detekce, mapování a vizuálního zobrazení říčního prostředí (Kaeser et al. 2013). Z nedávných prací například letecké snímání hloubky toku LiDAR bathymetry (Charlton et al. 2002), letecké infračervené snímání teploty vod (Torgensen et al. 2001), radarové měření průtoků (Costa et al. 2000). Nicméně, tyto přístupy jsou obecně drahé, vyžadují pečlivé plánování, specializovanou obsluhu a mohou být značně ovlivněny faktory prostředí, jako je hloubka vody, proudění a zakrytí pobřežní vegetací. Bez ohledu na finanční nároky, takové limitace brání širokému rozšíření těchto technologií (Legleiter et al. 2004).

Po vodě tažený hydroakustický sonar je alternativou, která byla používána již po desetiletí. Tradiční způsob je drahý a vyžaduje tažení senzoru za lodí, což limituje použití v mělkých vodách (Edsall et al. 1989). Až když v roce 2005 uvedla společnost Hummingbird® na trh svůj levný sonarový přístroj, možnosti využití se značně rozšířily. Mapování provedeno

sonarem Hummingbird® dosahuje velké přesnosti (<10 cm) a odhaluje typ substrátu, větší dřevěné části a hloubku vody – kritické komponenty tvořící říční habitat (Kaeser et al. 2013).

3.3.1 Moře a oceány

Prostředkem pro efektivní a levné získání kvalitních dat může být použit sonar. Tato technologie poskytuje nástroj pro mapování mořského dna (Kenny et al. 2003). Mapování moří pomocí sonaru probíhá v různém prostředí, od abysálních planin přes středomořské hřbety po pobřežní vody. Takto získané informace jsou velmi cenné pro správu moří. Stanoví vhodné podmínky pro výskyt jednotlivých druhů ryb a vytyčí třecí a odchovné lokality, což je velmi důležité pro ochranné snahy (McRea et al. 1999).

Užitečné je i použití sonaru jako nástroj pro kontrolu podvodního potrubí plynu nebo ropy a k přesné lokalizaci úniků nebo jiných defektů. Dále je v mořském prostředí hojně využíván k hledání potopených lodí, nebezpečných skalních výběžků a rozmístění sedimentů (Roberto Anima 2007).

3.3.2 Říční toky

Použití sonaru ve sladkých vodách vzniklo jako pomocný nástroj pro rybáře. Sonar umožňuje detekovat jednotlivé ryby, stejně tak jako zobrazit podvodní krajinu a detekovat vhodná stanoviště pro různé druhy ryb (Lucchetti et al. 1998). Od tohoto využití se vyvinula metoda mapování dna za účelem vytvoření substrátové mapy. Takovéto mapování probíhá na stejném principu jako mapování mořského dna. Zároveň však podmínky velkých vodních ploch jsou značně odlišné a je nutné použít jiný přístup (McRea et al. 1999).

Jak již bylo zmíněno, uvedení na trh levného sonarového přístroje Hummingbird® a následná práce Kaeser et al. (2013) ukázala, že se jedná o velký technologický pokrok, který značně snížil potřebné náklady a podstatně zvýšil efektivitu mapování řek sonarem. Tato studie měla za cíl otestovat efektivitu a spolehlivost použití low-cost sonaru. Demonstrována technologie představuje rychlou (~3 h/km), finančně dostupnou a přesnou (celková přesnost správného určení substrátu činila 77 %) metodu pro vytváření kontinuální mapy říčního prostředí. Jeho metoda je nejen efektivnější než tradiční způsoby mapování, ale i výrazně detailnější, a to i v prostředí, které je pro klasické metody problematické. Z praktického hlediska je tato metody přístupná i výzkumníkům s minimální zkušeností a znalostmi (Kaeser et al. 2013). Stejný postup byl adoptován i pro tuto práci.

Využití sonarových habitatových map je široké a může být výchozím bodem dalších prací. Jsou užitečné například pro studium vztahů mezi habitatem a organismy, pro identifikaci ohroženého habitatu, vztahů mezi ekosystémem v řece a sousedním ekosystémem na břehu a ke sledování změn v čase (Kaeser et al. 2013). Jako každá technologie ani tato není neomylná a má některé nedostatky. Problém představuje ztráta dat z oblastí, která jsou v zákrytu objektů (např. pilířů sloupů mostů). Kvalita dat přímo souvisí s pečlivým plánováním a

provedením snímkování. Kvalita mapy je pak závislá jednak na kvalitě získaných dat, tak na zkušenosti osoby, která mapu vytváří (Kaeser et al. 2013).

Poznatky z Kaeserovi (2013) práce využilo později řada dalších autorů. Obvykle v rámci dalších ochrannářských nebo bio monitorovacích prací. Například pro vytipování slibných lokalit výskytu vodního mlže *Tulotoma magnifica* (Garner et al. 2016) nebo pro vytipování třecích míst *Acipenser fulvencens* (Walker et al. 2016). Důležitá je znalost životních nároků druhů a prostředí, ve kterém se vyskytuje. Po definování hledaného území je pak relativně jednoduché ho v sonarovém záznamu najít a sestavit mapu slibných lokalit. Na vytipované lokality se poté vydá tým vědců, který například provedou vzorkování populace, ověří vhodnost lokalit nebo provedou jiné práce. Použití sonaru popisují autoři jako velmi důležitý prvek, který značně urychlil průzkum. Dle Graham et al. (2017) byla přesnost klasifikování substrátu cca 78 %, což bylo ověřováno pomocí kontrolních bodů (Graham et al. 2017).

Působivé jsou také výsledky některých prací. Díky použití sonarového mapování byl potvrzen výskyt populace sladkovodního mlže *Tulotoma magnifica*, který byl považován za vyhynulý. Sonarem bylo vytipováno 85 potenciálních lokalit, z nichž se na 5 potvrdil výskyt. Na některých lokalitách bylo dokonce nalezena populace čítající více než stovku jedinců. K dokončení průzkumu bylo potřeba 28 dní práce jednoho člověka, zatímco při použití tradičního způsobu (detekce z letecké fotografie a přímé ověřování na místě) by bylo potřeba přes 250 dní lidské práce (Garner et al. 2016). Což znamená, že využití sonaru urychlilo práci skoro desetkrát.

Další práce se zabývala vyhledáváním třecích míst jesetera jezerního. S intenzivnější lidskou činností ubývá vhodných třecích míst (Bruch & Binkowski 2002). A tak bylo na řece Mississippi provedeno mapování řeky pomocí sonaru. To mělo za cíl vytyčit a prozkoumat vhodná třecí místa. Výzkum ukázal, že v místech pod přehradami je nejvhodnější substrát (kameny s průměrem 6–25 cm) na 17–30 % území a méně vhodný (jemný sediment, v průměru <0,2 cm) pak na 6–30 %. Výsledky ukazují, že se zde vyskytují vhodná třecí místa a zároveň existují možnosti dalších opatření a úprav. Například mohou být lokality vylepšeny doplněním vhodného substrátu (Walker et al. 2016).

3.3.3 Využití sonaru pro přímou i nepřímou lokalizaci mlžů

Jako nejjednodušší metoda lokalizace populací mlžů v řekách by se mohla jevit detekce jejich přirozeného prostředí, tj. substrátu a hloubky. Sladkovodní mlži mají ale složité nároky na prostředí, které jsou odvislé od mnoha jiných faktorů (Lopes-Lima et al. 2017). Obecně bylo přijímané, že mlži se nejčastěji vyskytují na písčitém nebo jílovém substrátem (Brox et al. 2002). Tuto souvislost zkoumal ve své studii Box et al. (2002). Tento předpoklad se ale nepodařilo prokázat. Substrátová mapa může pomoci při vytipování vhodných stanovišť pro mlže, ale není možné se na tyto data plně spolehnout a je nutné potvrzení populace přímo na místě (Brox et al. 2002).

Při použití podvodního sonaru s dostatečnou kvalitou zobrazení by bylo možné přímo detekovat populace mlžů ve vodě. Takový byl předpoklad studie Powers et al. (2014). V této práci autoři použili side-scan sonar k vytvoření referenčních obrazů, tím že zaznamenali lokalitu bez přítomnosti mlžů, poté na jim známá místa umístili schránky mlžů, provedli nový záznam a výsledky porovnali. Na základě tohoto porovnání byly schopni určit, jak se bude populace mlžů jevit na záznamu. Poté použili tentýž sonar pro snímkování 32 km dlouhého úseku. Vytipovali několik lokalit a provedli fyzickou kontrolu. Ukázalo se, že na 60 % z vybraných míst se mlži skutečně vyskytovali a na 80 % byly nalezeny alespoň schránky. Side-scan sonar je efektivní nástroj pro vytipování populací v místech s vhodným substrátem (Powers et al. 2014). Na kamenitém podloží se schránky jeví podobně jako malé kameny a na jílovém substrátu se mlži zahrabávají na úroveň dna a není je možné odlišit od okolí (Haltuch et al. 2000).

Výzkum mlžů s využitím sonaru zatím probíhal pouze v Severní Americe, ale tato práce se zabývá potenciálním využitím tohoto postupu ve střední Evropě, a proto v následující kapitole představuje evropské druhy.

3.4 Sladkovodní mlži v Evropě

Sladkovodní mlži rodu *Unionida*, Gray 1854 jsou pozoruhodné organismy. Mohou žít déle než století, jejich jedinečná životní historie zahrnuje péči o larvální stádium (např. inkubace a ochrana vajíček) a larvální parazitismus na sladkovodních rybách (Lopes-Lima et al. 2014). Sladkovodní mlži jsou také důležitou součástí vodních ekosystémů (Vaughn & Hankenkamp 2001). Jeden jedinec je schopen za den přefiltrovat kolem 40 litrů vody každý den (Tanskersley & Dimock 1993) a celková filtrace populace může zodpovídat až za 50 % pozorované retence v řece během léta (Pusch et al. 2001). Jimi zapříčiněný přenos hmoty a energie v rámci vodního sloupce může mít silný vliv na primární i sekundární produkci, biogeochemické cykly, rychlost sedimentace a čistotu vody (Strayer et al. 1999). Navíc jejich prázdné schránky slouží jako úkryt a životní prostor pro jiné organismy (Vaughn & Hankenkamp 2001). Pro jejich přímé i nepřímé účinky na sladké vody jsou sladkovodní mlži často označováni jako ekosystémoví tvůrci (Gutierrez et al. 2003).

3.4.1 Životní nároky sladkovodních mlžů

Abiotické a biotické životní nároky jednotlivých druhů sladkovodních mlžů nejsou velmi dobře prozkoumány a popsány. Výskyt a složení společenstev mlžů je dán třemi faktory: 1) rozšířením a četností hostitelské ryby, 2) charakterem řeky (hloubka, proudění, vegetace atd.), 3) substrátem (Brox et al. 2002).

Obecně platí, že mlži se nejčastěji vyskytují na písčítých a jílových substrátech. Jak ale ukazuje studie Brox et al. (2002), tento předpoklad nemusí souhlasit s realitou. V jejich studii se snažili nalézt vztah mezi substrátem a výskytem mlžů. Z pěti druhů, pro které měly dostatečná data, se podařilo prokázat souvislost pouze u jednoho druhu (Brox et al. 2002).

Je to dáno i dalšími podmínkami, které mlži mají, jako je například vegetace a dostupnost hostitelské ryby.

Sladkovodní mlži řádu *Unioda* mají pro ekosystémy důležité funkce, ale početnost populací se snižuje (Lopes-Lima et al. 2017). V Evropě žije 16 rozlišitelných druhů. Z nich bude blíže představeno 7 druhů, které žijí na území České republiky.

Řád *Unioda* se rozděluje do dvou čeledí: *Margaritiferidae*, kam řadíme v ČR se vyskytující druh *M. margaritifera* a *Unionidae*, která se dělí na dvě podčeledě: *Anodontini* (*Anodonta anatina*, *A. cygnea*, *Pseudanodonta complanata*) a *Unionini* (*Unio crassus*, *U. pictorum*, *U. tumidus*) (Lopes-Lima et al. 2017).

3.4.2 Charakteristika v ČR žijících sladkovodních mlžů

3.4.2.1 *Margaritiferidae*

Margaritifera margaritifera (Perlorodka říční) je v Evropě hojně rozšířena (Quiros et al. 1998; Young et al. 2001; Geist 2010). Jedná se o severský druh s největšími populacemi na Britských ostrovech, Norsku a severním Rusku, vyskytuje se ale také poměrně hojně na území Francie a Německa (Lopes-Lima et al. 2017). V ČR je vzácná a vedena jako kriticky ohrožena (Farkač et al. 2005).

Dožívají se přes 80 let a dospělosti dosahují přibližně v deseti letech (Ziuganov et al. 1994). Larvy využívají jako hostitele ryby z čeledi lososovitých (*Salmon salar* a *S. trutta*), kde zvětší svoji velikost až desetkrát, než dokončí proces metamorfózy (Geist et al. 2006; Osterling & Larsen 2013).

Rod perlorodka žije v chladných potocích s kamenitým až štěrkovitým dnem, se střední rychlostí proudu a malou koncentrací živin a uhlíku. V ČR obývá většinou velmi malé podhorské toky, kde je potenciál využití sonaru z důvodu malé hloubky a členitého terénu nízký. Ale existují místa, která by byla příhodná, např. Vltava nad Lipnem (Švanyga et al. 2013).

3.4.2.2 *Unionidae*

3.4.2.2.1 *Anodontini*

Typicky se dožívají 30 let a pohlavně dospívá ve věku 1–4 let. Zástupci této podčeledi nejsou nároční na hostitele a mohou využívat celou řadu druhů ryb (Lopes-Lima et al. 2017).

Oba druhy *Anodonta* (Škeble) jsou rozšířeny od Britských ostrovů na západě po Rusko na východě. *Anodonta anatina* (Škeble říční) má větší oblast rozšíření než *A. cygnea* (Škeble rybníčná) a také snáší větší různorodost prostředí. *Pseudanodonta complanata* (Škeble plochá) je rozšířena přes Velkou Británii a velkou část střední Evropy (Lopes-Lima et al. 2017).

Rod *Anodonta* se chová jako hermafrodit ve stojatých vodách a gonochorista ve vodách tekoucích (Hinzman et al. 2013). *P. complanata* je úplně nebo částečně oboupohlavní (McIvor & Aldridge 2007). Oba druhy *Anodonta* i *P. complanata* jako hostitele využívají ryby různých

druhů (například *Gasterosteus aculeatus*, *Perca fluviatilis*, *Pungitius pungitius*, *Salmo truttafariorum*, *Sander lucioperca*) (Lopes-Lima et al. 2017).

P. complanata preferuje stanoviště s tekoucí vodou, tj. řeky a potůčky, zatímco *A. cygnea* se typicky vyskytuje na místech s pomalu tekoucí vodou a v rybnících (Killeen et al. 2004). *A. anatina* je relativně přizpůsobivá okolním podmínkám a může žít jak v tekoucích, tak stojatých vodách (Zieritz & Aldridge 2011).

Škeble v ČR obvykle obývají větší toky nebo rybníky, což jsou ideální podmínky pro použití sonaru (Killeen et al. 2004). Hledání příhodných stanovišť škeblí pomocí sonaru je vhodná možnost.

Podle Červeného listu České republiky je *A. cygnea* označený jako zranitelný a *P. complanata* jako ohrožený (Farkač et al. 2005). *A. anatina* je vzácný a ohrožený v celém areálu rozšíření a populace prudce klesá (na některých místech až o 50 % za poslední desetiletí) (Tudorancea 1972; Mclvor & Aldridge 2007).

3.4.2.2.2 *Unionini*

Rod *Unio* (Velevrub) je rozšířen ve všech evropských zemích (Lopes-Lima et al. 2017). V ČR se vyskytují tři druhy, a to: *Unio crassus* (Velevrub tupý), *U. pictorum* (Velevrub malířský) a *U. tumidus* (Velevrub nadmutý).

Obvykle dosahují pohlavní dospělosti ve 2–4 letech a dožívají se až třiceti let (Lopes-Lima et al. 2017). *U. pictorum* a *U. tumidus* mohou jako hostitelskou rybu využít mnoho různých druhů. Zvláštností *U. crassus* je, že samice se přesunou blíže ke břehu a vystřikují vodu obsahující larvy na malou vzdálenost do vzduchu. To láká ryby a zvýší se tak šance nalezení vhodného hostitele (Vicentini 2005).

U. crassus se vyskytuje v pomalu tekoucích řekách (Zajac & Zajac 2011), často s množstvím jemných sedimentů a organického materiálu (Denic et al. 2015). Jak *U. pictorum* tak *U. tumidus* se obvykle vyskytují ve velkých pomalu tekoucích řekách s převahou jemných sedimentů (Zieritz et al. 2010). Všechny tři v ČR se vyskytující druhy velevrubů obývají velké řeky (Zajac & Zajac 2011), což je vhodné místo pro použití sonaru. Leč jejich oblíbeným stanovištěm je jemný sediment, což prakticky znemožňuje jejich přímou detekci (Powers et al. 2014) a vytyčená oblast jejich potenciálního výskytu může být rozlehlá.

Co se týče ochrany v ČR, tak je na českém červeném listu veden *U. tumidus* jako zranitelný, *U. crassus* jako ohrožený a *U. pictorum* jako přísně chráněn (Farkač et al. 2005). *U. crassus* byl kdysi považován za jednoho z nejběžnějších mlžů v Evropě, ale jeho stavy se během druhé poloviny 20. století prudce snížily (jak v početnosti populací, tak v počtu jedinců v populaci) (Bauer 1991; Lopes-Lima et al. 2014). *U. pictorum* patří mezi nejvíce rozšířené druhy v Evropě (Van Damme 2011a), i když žádné spolehlivé výzkumy nebyly provedeny v rámci celé oblasti rozšíření (Lopes-Lima et al. 2017). Stejně tak *U. tumidus* je považován za hojný a početný druh (Van Damme 2011b).

4 Metodika

Veškeré záznamy jsem provedl pomocí vlastnoručně sestaveného plováku.

Popis plováku: Tři polystyrénové desky byly vyříznuté do požadovaného tvaru a spojeny voděodolným lepidlem. Na zád' improvizovaného plavidla byl (rovněž z polystyrénu) připevněn kýl, aby plavidlo lépe drželo směr. Na příď' bylo pomocí drátu připevněno vysílací zařízení sonaru a úchyt pro vlasec. Druhý konec vlasce byl namotán na rybářském navijáku, který ovládal pohyb a rychlost plavidla. Na část plavidla, která nebyla ponořena, byla umístěna vodotěsná krabice s přístrojem a akumulátorem. Pro započítání nahrávání bylo nutné k přístroji přímo dojít a zapnout ho.

Nejprve jsem musel určit za jakým cílem budeme mapu vytvářet. Na základě studie dostupných materiálů jsem se rozhodl vyloučit možnost přímé detekce – pomocí použitého sonaru nelze dosáhnout dostatečné kvality dat pro rozlišení jednotlivých exemplářů. Cílem bude tedy vytvořit mapu substrátů a definovat metodiku.

4.1 Snímání a sběr dat

4.1.1 Nastavení přístroje

Pracoval jsem s přístrojem Hummingbird® 698ci HD SI Combo. Jedná se o přístroj, který je hojně používám, zejména laickou veřejností (rybáři). V současné době není na trhu žádný zásadně lepší přístroj a cenové relace výzkumných sonarů jsou někde mimo možnosti běžného ekologického výzkumu. Rozlišení sonaru má také svá technologická omezení, takže ani nejdražší přístroje se na výrazně vyšší přesnost nedostanou. Například aktuálně nejlepší sonarový přístroj společnosti Hummingbird® SOLIX 15 CHIRP MEGA SI+ G2, nabízí „jen“ asi o 30 % detailnější zobrazení než přístroj použitý pro tuto práci. Rozdíl není na tolik velký, aby měl zásadní vliv pro možnou aplikaci. S cenou okolo 80 000 Kč je ale výrazně dražší (Hummingbird® 2020).

Přístroj používá dvě základní zobrazení sonarových dat. První klasické zobrazení ukazuje horizontálně, co se nachází pod lodí nebo plavidlem. Podle síly vráceného signálu se určí pevnost předmětu, od kterého se signál odrazil. Druhé zobrazení je *Side Imaging*, to ukazuje na pravou a levou stranu od lodí. Pokrývá tak větší území, zobrazuje větší množství detailu a dává přehled o struktuře dna. Pro práci jsem využil *Side Imaging sonar view*.

Za cílem získání co nejlepšího a nejpřesnějšího záznamu jsem nastavil několik parametrů. Jako první bylo nastavení správného data a času. Nastavení *sonar clutter* má za cíl zabránit rušení povrchových rostlin. Jelikož jsem po většinu času měřil na relativně mělkých vodách, bylo nastaveno na stupeň 4 z 10. Následující parametry se týkají přímo *side imaging* zobrazení. *SI sensitivity* upravuje citlivost zachycení zpětného signálu, tedy jakou mírou se zobrazí signál na displeji. Tento parametr jsem nechal na původní hodnotě 5/10. *SI upper and lower range* určuje, v jaké hloubce má přístroj očekávat signál. Správným nastavením lze předejít zdvojení obrazu a dalšímu zbytečnému rušení. Horní hranici *upper range* jsem nechal na 0

metrů, spodní hranici *lower range* jsem nastavil vždy podle předpokládané maximální hloubky na daném místě (obvykle nastaveno na 3–5 metrů). Nejdůležitější parametr je *SI range*, určující, do jaké vzdálenosti od lodi bude vytvářen záznam. Toto nastavení je zásadní, poněvadž umožňuje plně využít možnosti přístroje a získat maximální pokrytí. Zároveň snížením vzdálenosti se ze záznamu odstraní druhořadé signály zobrazované za hranicí břehu. Tuto charakteristiku jsem vždy zvlášť určil pro konkrétní potřebu měření, obvykle však byla nastavena na vzdálenost mezi 15 a 30 metry.

Přístroj má zabudovaný GPS přijímač, který umožňuje určení polohy.

Před vlastním měřením na vybraných lokalitách jsem provedl test v areálu ČZU v Praze. Ten měl za účel potvrdit vhodnost vybraného nastavení pro provádění výzkumu. Při testovacím měření byl hlavní problém špatně nastavená vzdálenost zaznamenávání *sonar range*, která byla limitována na 3 metry na každou stranu. Pro následující měření byla tato veličina vždy upravena.

4.1.2 Průběh snímání

Měření probíhalo na řece Ohři 3. října roku 2019. Podmínky během měření byly příhodné. Lehký déšť práci komplikoval, ale neznemožňoval.

Lokalita 1 (50°29'38"N 14°09'29"E):

Plovák vyrobený z polystyrénu, na který byl namontován sonar byl spojen vlasem s navijákem. Plovák byl dopraven člověkem v suchém potápěčském obleku na určené místo u břehu řeky, tak aby potenciální dráha plavby byla cca 45° vůči linii břehu. Druhý člověk na břehu šel s navijákem na opačnou stranu řeky tak, aby byla dráha co nejdelší. Poté byl plovák vypuštěn a navíjen na vlasec takovou rychlostí, aby byla dráha co nejrovnější. Působením větru, který plovák uchýlil z přímého směru bylo způsobeno mírné prohnutí mapované dráhy.

Lokalita 2 (50°28'57"N 14°09'01"E):

Na druhé lokalitě byl plovák dopraven na protější břeh co nejdále, tak aby potenciální dráha plavby byla cca 45° oproti břehu. Druhý člověk na břehu šel s navijákem na opačnou stranu břehu. Poté byl plovák vypuštěn a navíjen na vlasec takovou rychlostí, aby byla dráha co nejrovnější. Tentokrát byl vliv větru a proudu výraznější a došlo k většímu prohnutí dráhy.

Lokalita 3 (50°24'25"N 14°04'11"E):

Pro třetí měření jsem použil odlišnou metodiku. Plovák vyrobený z polystyrénu, na který byl namontován sonar, byl spojen vlasem s navijákem. Plovák byl dopraven zhruba do středu toku. Poté byl plovák nechán volně unášet proudem, tak aby se dostal na požadovanou vzdálenost od člověka s navijákem, který zůstal stát vprostřed toku s navijákem. Když byla dosažena maximální vzdálenost, byl plovák pomalu a rovnoměrně přitahován navijákem až k

místu vypuštění. I při této metodě vznikalo malé zkreslení a prohnutí dráhy z důvodu povětrnostních podmínek, ale bylo výrazně menší než první dva pokusy.

Pro poslední měření jsem vyzkoušel ještě jinou metodu. Vstoupil jsem s plovákem do řeky a plovák se sonarem pustil po proudu, jen asi 2 metry ode mne. Poté jsem táhnul plovák za sebou, aniž bych měnil vzdálenost mezi mnou a plovákem. Dráha tak byla rovná a nevzniklo prakticky žádné zkreslení. Tato metoda je ale použitelná pouze u břehu toku, kde hloubka a síla proudu umožňuje chůzi ve vodě.

Po dopravení sonaru na břeh a zastavení nahrávání jsem na každé lokalitě vyznačil kontrolní body a zaznamenal typ podloží. Bylo tak prováděno zrakem a hmatem přímo v řece. Tyto poznámky jsem později použil k přesnějšímu určování hranic substrátů. Když byly práce na řece dokončeny, záznamy jsem nahrál do počítače a řádně pojmenoval.

4.2 Proces vytváření map

4.2.1 Zpracování naměřených dat

HumViewer

Čistá obrazová data jsem otevřel v programu HumViewer. Tento program umožňuje zobrazit nahraná data tak, jak by je zobrazil sonarový přístroj. Navíc obsahuje i souřadnice GPS a umožňuje změřit vzdálenosti, což jsem využil při pozdější úpravě obrazů.

Funkce printscreen

Program HumViewer žel neumožňuje přímý export dat, využil jsme proto funkce printscreen, která je zabudovaná v OS Windows. Pořídil jsem tolik snímků, aby byla pokryta celá odpovídající oblast. Snímky jsem uložil ve formátu JPEG (.jpg) a náležitě pojmenoval.

Zoner Photo Studio 15

Snímky vyexportované z programu HumViewer jsem otevřel v rastrovém editoru pro další úpravy. Jako první jsem vytvořil nový soubor, do kterého jsem vložil jednotlivé části záznamu. Ten byl náležitě oříznut a uložen. Dále jsem prováděl jednoduché úpravy pro zlepšení čitelnosti obrazu, jako např. změna kontrastu, gamma korekce, světlosti atd. To jsem provedl pro všechny záznamy, takže vznikly celkem tři soubory JPEG (.jpg).

MS Excel

Následující práce vyžadovala práci zároveň v programu HumViewer a MS Excel. V MS Excel jsem vytvořil tabulku. Na záznamu zvolil body (v počtu 6–20). U každého bodu jsem do tabulky zapsal polohu GPS (poskytuje program Humviewer), kterou jsem po vložení přetransformoval na čitelnou hodnotu (pro ArcGis), což znamenalo změnit tečku na čárku a relativní polohu na obraze. Tabulka byla uložena jako CSV (Comma-separated values).

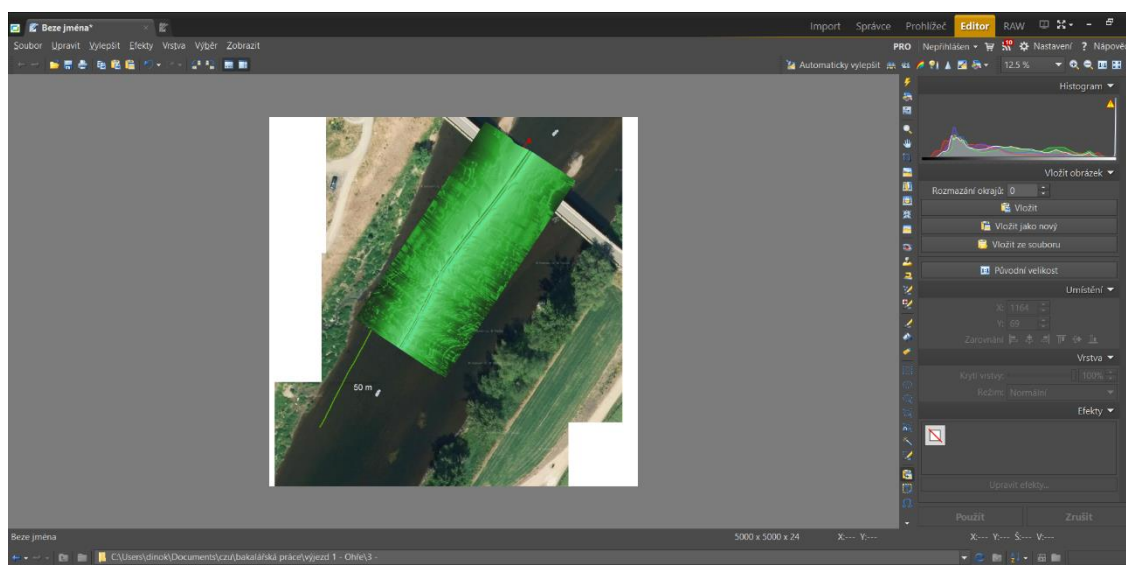
ArcMap

Další práce probíhala v programu společnosti Environmental Systems Research Institute (ESRI) ArcMap 10.6.1. Založil jsem nový soubor, vložil leteckou mapu a uložil zvlášť pro každý záznam. Následující kroky tak jsem udělal třikrát, pro každý záznam zvlášť.

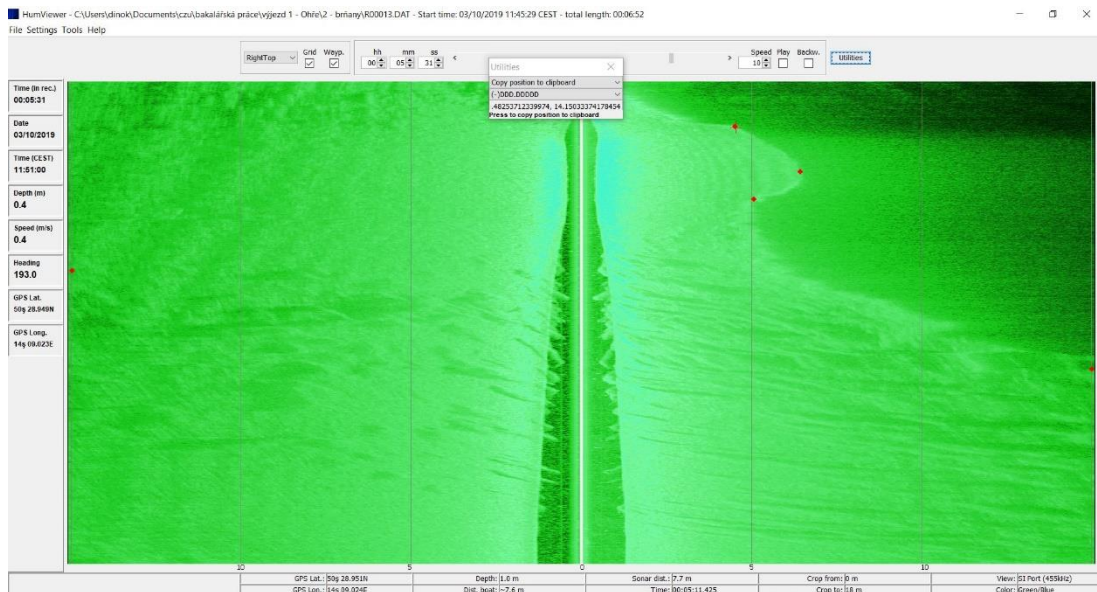
Nejprve jsem otevřel CSV tabulku vytvořenou v excelu (*Add data*, vybrat uloženou tabulku). Dále jsem musel transformovat souřadnice, protože HumViewer a ArcGis používají jiný souřadnicový systém. K tomu posloužil nástroj *convert coordinate notation (Data management tools, projections and transformation)* s nastavením parametrů: *Input Table:* tabulka.csv; *Output Coordinate System:* S-JTSK_Krovak_East_North (5514); *X Field:* Y; *Y Field:* X (pro správné zobrazení jsem prohodil osy). Potvrzením se vytvoří nová vrstva s vizualizovanými body na správné poloze.

Dále jsem vložil sonarový záznam ve formátu JPEG (*add data*). Pro další úpravu jsem použil nástroje georeference (pokud nejsou zobrazeny, udělá se to pomocí *customize, toolbars, georeferencing*). Zvolil jsem nástroj *add control points*, klikl jsem na požadovanou pozici v záznamu jpg a poté na vytvořený bod v letecké mapě. To jsem provedl pro všechny body. Před započítím práce jsem deaktivoval možnost *auto adjust*. Po lokalizování všech bodů jsem zvolil *update georeferencing*, což zasadí záznam do téměř zvolených pozic. Pro přesnější umístění jsem provedl sekundární georeferenci, tj. přidáváním nových bodů nebo odstraňováním již zvolených, k tomu je dobré použít tabulku (*view link table*), která přehledně zobrazuje všechny body. Důležité je také vždy vhodně zvolit způsob transformace. Nejčastěji jsem použil polynomii, ta má tři řády (*1st order polynomia, 2nd order polynomia, 3rd order polynomia*), kde vyšší řád provádí výraznější deformaci a potřebuje více záchytných bodů. Po dokončení transformace a umístění mapy jsem využil nástroj *rectify* pro export mapy jako soubor TIFF (Tagged Image File Format; .tif). Tím jsem dokončil práci na umístění a transformaci záznamů, následuje vytváření samotné habitatové mapy.

Některé záběry z práce je možné vidět na obrázcích níže.



Obrázek 1: Zoner Photo Studio 15



Obrázek 2: HumViewer

4.2.2 Vytváření mapy

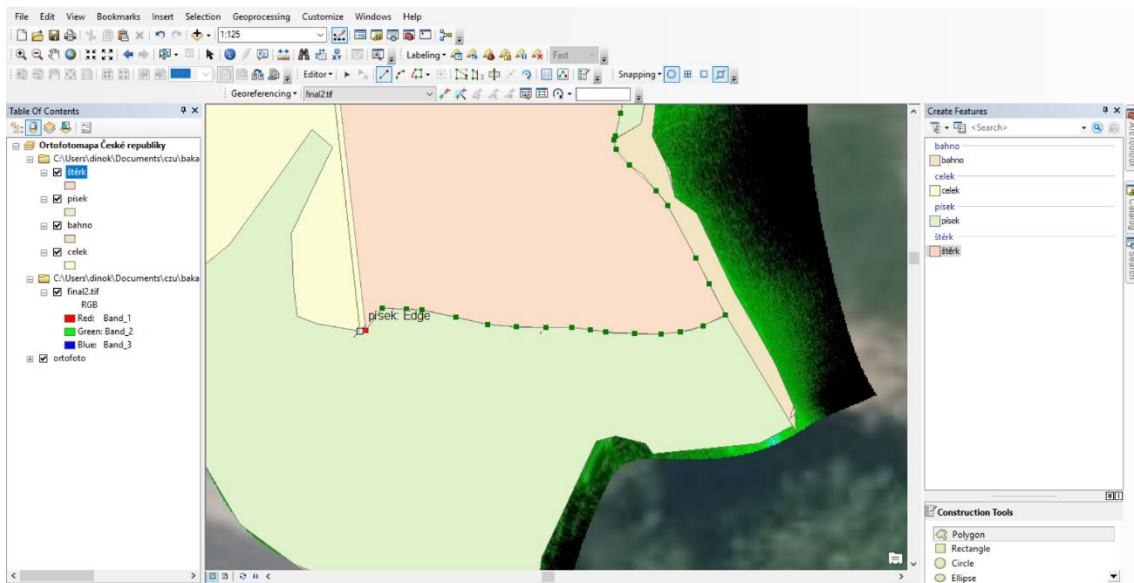
MMU (minimum mapping unit je specifická nejmenší rozlišitelná vlastnost, která je zaznamenána v naší mapě. MMU je použito jak při sběru dat, tak při vytváření mapy) a schéma klasifikování substrátů jsem definoval před zpracováním a vytvářením mapy. MMU jsem stanovil na 0,2 m², plocha odpovídající kruhu s průměrem 0,25 m. Jedná se o nejlepší dosažitelné rozlišení, které zobrazuje důležité prvky dostatečně zřetelně a umožňuje stanovení a zařazení do substrátových tříd. Hranice substrátových tříd jsem určil primárně podle sonarového obrazu (textura, tón barvy, tvar a vzor) a s pomocí poznámek přímo z terénu.

Na základě inspekce v terénu a revize sonarových záznamů jsem se rozhodl použít klasifikaci substrátů do čtyř tříd: bahno (B), písek (P), štěrk (S) a kameny (K) (viz. Tabulka níže). Vyznačena jsem také vegetaci a její procentuální pokryv.

V programu ArcGIS jsem sestavil polygony a jim přiřadil třídy, podle již zmíněných parametrů. Pomocí funkce *calculate geometry* jsem vypočetl celkovou plochu mapovaného území, plochu jednotlivých substrátů a jejich procentuální zastoupení.

TŘÍDA	OZNAČENÍ	POPIS
bahno	B	>75 % oblasti tvoří měkké částice (jíl, bahno, organická hmota, ...)
písek	P	>75 % oblasti tvoří pevné částice s průměrem <2mm
štěrk	S	>25 % oblasti tvoří kamínky s průměrem >2 mm a < 150mm v nejdelší ose
kameny	K	Obsahuje 3 nebo více kamenů, každý > 150 mm v průměru v nejdelší ose, ve vzájemné vzdálenosti < 0,5 m

Tabulka 1: klasifikace substrátů



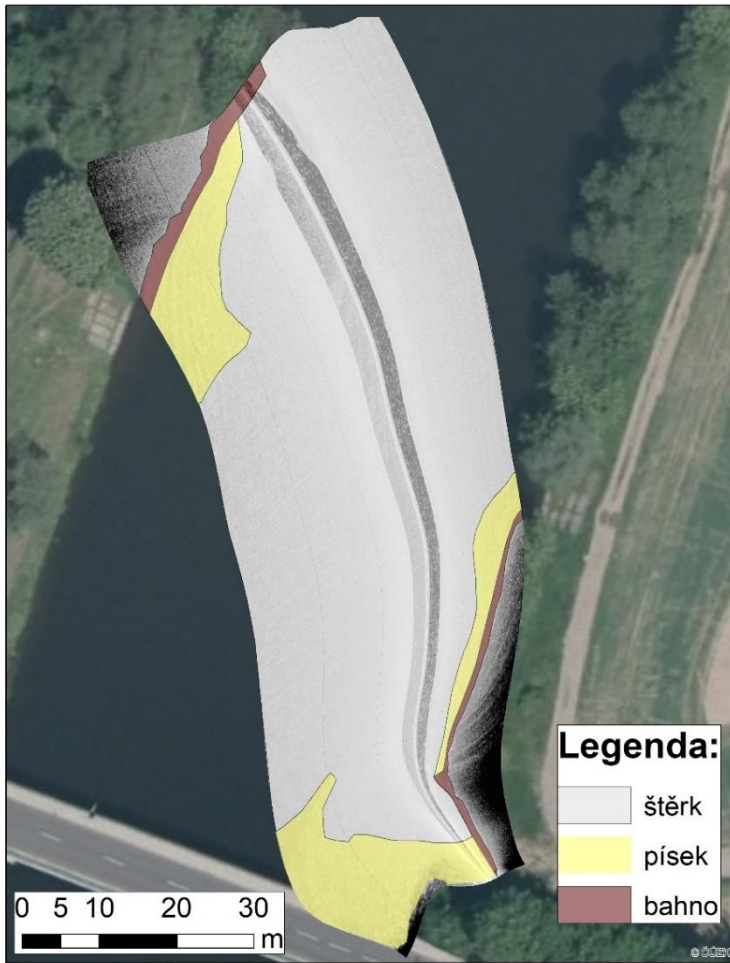
Obrázek 3: vytváření polygonů v ArcGIS

5 Výsledky

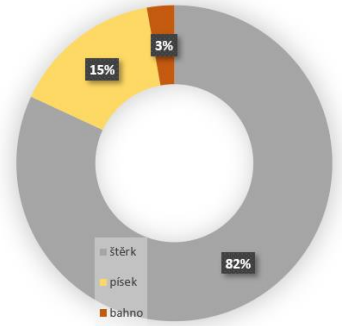
Kompletní mapa se skládá z úseku dlouhého 395 m o rozloze 1,7 ha (16 700 m²) řeky Ohře. Mapa ukázala velkou různorodost a na každé lokalitě bylo zastoupení jednotlivých substrátů odlišné. Když ale vezmeme data ze všech lokalit jako celek převládali, dva typy substrátů: štěrkový (59 %) a kamenitý (26 %), zatímco písčitý (8 %) a bahnitý (7 %) zaujímaly jen malé území (dohromady méně než 15 %). Hloubka během vody byla celkově v rozmezí 0,5-2 m. Hloubka vody v korytě řeky na lokalitě č.1 byla 0,9 – 2 metry, na druhé lokalitě 0,9 – 1,3 m a na třetí 0,5 – 1,3 m.

Svoji úlohu sehrála i vodní vegetace, která zhoršovala nebo přímo znemožňovala sběr dostatečně kvalitních dat. Průměrný pokryv vegetace činil 16 %. Největší problém představovala na lokalitě č. 3, kde pokryv dna vegetací dosahoval až 47 %. Ne všude však byla vegetace neprostupná, a tak bylo možno získat nějaká data a společně s daty z přímého pozorování jsem mohl sestavit mapu substrátů.

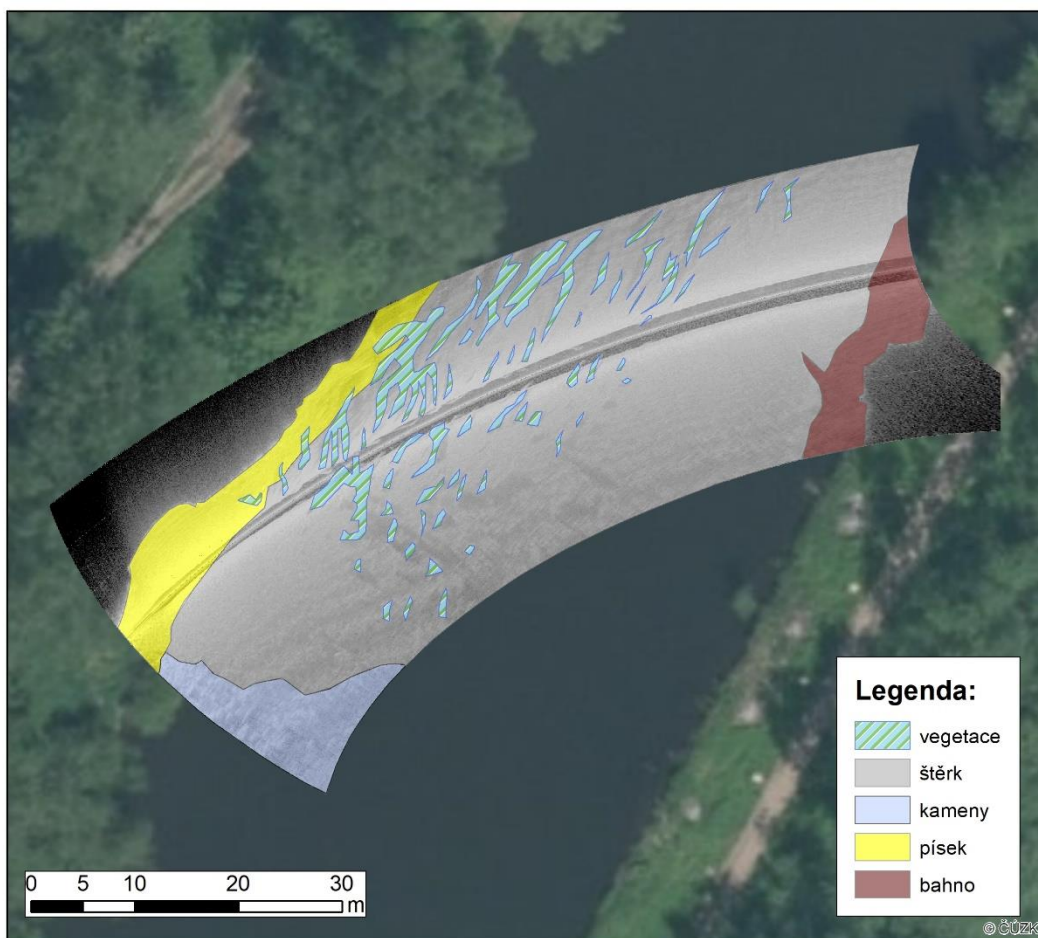
Další velký problém pro přesnost představoval vítr a proud řeky. Ten stáčel dráhu od přímé trasy. Výstupová data ze sonaru jsem pak musel značně transformovat podle GPS souřadnic a mohlo tak dojít ke zkreslení. Míra zkreslení nebyla určena, protože není k dispozici žádný jiný zdroj pro porovnání. K uhýbání trajektorie docházelo hlavně na lokalitě č. 1 a č. 2.



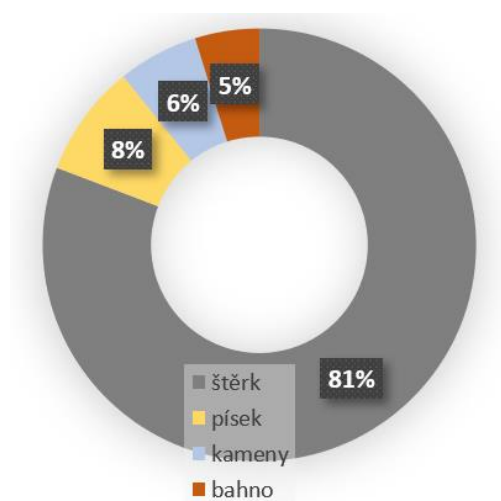
Obrázek 5: Mapa substrátů na lokalitě č.1



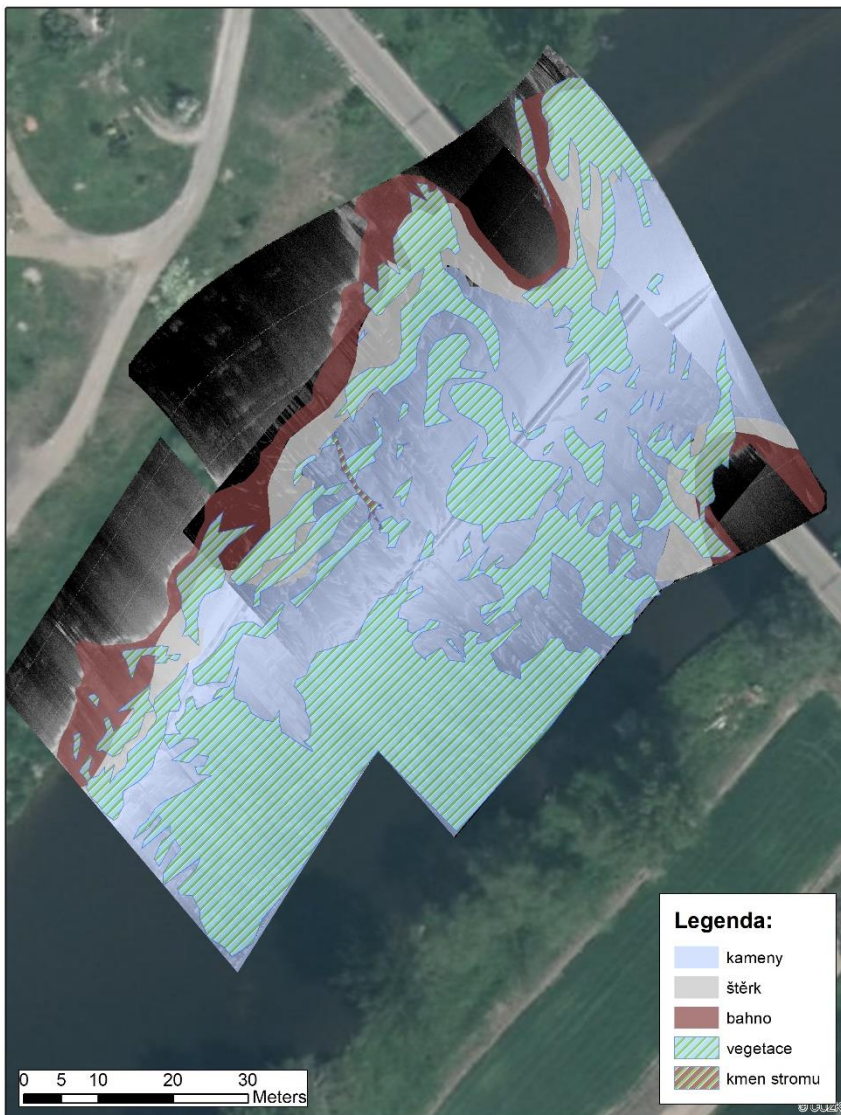
Obrázek 4: Graf zastoupení substrátů na lokalitě č.1



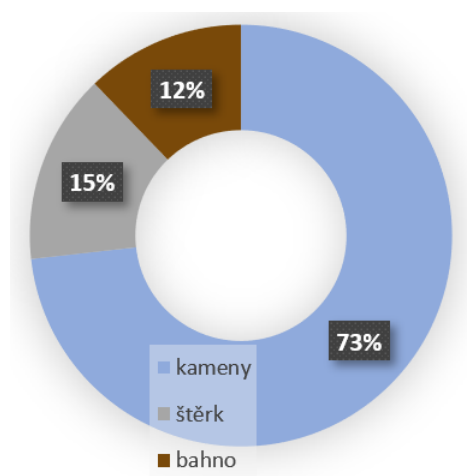
Obrázek 6: Mapa substrátů na lokalitě č.2



Obrázek 7: Graf zastoupení substrátů na lokalitě č.2



Obrázek 8: Mapa substrátů na lokalitě č. 3



Obrázek 9: Graf zastoupení substrátů na lokalitě č.3

6 Diskuse

Použitá plováková metoda se ukázala jako ideální řešení pro jednoduché výzkumy malého rozsahu, leč ne příliš efektivní při záznamu velkého území. Práce poskytla řadu zajímavých údajů. Jako důležitý výsledek této práce je i odzkoušení a sepsání přesného postupu pro provádění obdobného výzkumu. Tyto informace mohou být pro příští výzkumy užitečné, ušetří čas a prostředky.

6.1 Snímání a sběr dat

Předchozí studie využívaly pro side-scan sonar na řekách motorový člun (Kaeser et al. 2013), ponorku (Kennish et al. 2004) nebo jiné motorové ovládané plavidlo (Powers et al. 2014), tato práce ukazuje, že za vhodných podmínek lze použít i plovák s navijákem. Hlavní nevýhodou je složitá příprava pro každý úsek, kdy se musí plovák a naviják dopravit na různá místa. Z toho vyplývá nemožnost zpracování dlouhého úseku najednou. Dalším problémem je malá ovladatelnost plavidla, polystyrén je lehký a nechá se unášet proudem nebo větrem. Pohyb plováku lze částečně korigovat navijákem. Plováková metoda má také řadu výhod. Hlavní je finanční náročnost (balík polystyrénových desek se dá pořídit cca za 300 Kč) a sestavení plováku zabere pár desítek minut. Díky velikosti a jednoduchosti odpadají logistické problémy, lze ho bez potíží umístit do kufru auta. Pokud je cílem získat kvalitní informace rychle, levně a jednoduše je použití plováku vhodným řešením.

Hloubka řeky může být také limitujícím faktorem pro použití jiných metod. Sonarové zařízení může získávat data již v tocích o hloubce 0,4 metru (Johnson Outdoors Marine Electronics 2011). Zatímco pro použití člunu je potřeba hloubka alespoň 1 metr (Kaeser et al. 2013) a pro ponorku ještě více (Kennish et al. 2004). To skýtá určitou výhodu a nabízí možnost využití i na menších tocích. Musí se však brát v úvahu i další faktory, jako je úhel, pod kterým jsou zvukové signály vysílány a z toho vyplývající vzdálenost, na jakou je zařízení schopné získat data. Dále pak velké kameny vytváří sonarový stín a znemožňují získání dat z oblasti, ležící přímo za nimi. Množství velkých kamenů a jiných předmětů také způsobuje rozbití a násobení signálu a tím ztrátu kvality obrazu.

6.2 Porovnání metod použitých pro tuto práci

Sonar byl umístěn na plovák z polystyrénu a ten byl na dálku směřován po řece. Byly vyzkoušeny dva způsoby měření. První, kdy plovák byl dopraven, co nejdále od osoby s navijákem, která poté plovák ovládala. Zde se však objevily dva problémy. Jednak musela být trajektorie od místa vypuštění k místu navíjení přímá a bez překážek, což značně limitovalo dosah. Jako větší problém se ale ukázal vítr a proud, který odchyloval lehký plovák z přímé trajektorie, která se tím křivila. Později, za pomoci GPS souřadnic byla výsledná mapa upravena dle reálné trajektorie, ale i tak zde mohlo vzniknout zkreslení výsledků.

Při druhé metodě byl plovák se sonarem puštěn po proudu, jen asi 2 metry od osoby s navijákem. Člověk s navijákem poté táhnul plovák za sebou proti proudu, aniž by měnil vzdálenost mezi ním a plovákem. Dráha tak byla rovná a nevznikalo prakticky žádné zkreslení. Tato metoda je použitelná pouze v místech, kde hloubka a síla proudu umožňuje chůzi ve vodě. Pohyb je také pomalý a záznam většího území by trval dlouhou dobu.

Ani jeden ze způsobů však nebyl velmi efektivní pro kontinuální zaznamenávání delšího úseku řeky. Vždy byl zaznamenán jen relativně malý úsek řeky. Pro záznam většího území by bylo lepší použít motorový člun. Ale pro rychlé, jednoduché a hlavně levné mapování menšího úseku je plováková metoda ideálním řešením. Díky svým výhodám umožňuje použití i v případech, kde by klasická metoda využívající motorový člun nebyla realizovatelná.

6.3 Vytváření map

Při vytváření mapy je nutné zvolit klasifikační schéma substrátů. Je nasnadě, že čím je toto schéma složitější, tím se snižuje přesnost. Proto při výběru klasifikačního schématu SSS by se měli vzít v úvahu cíle práce. Při použití jednodušších schémat je přesnost vyšší (Graham et al. 2017) a s použitím složitějších schémat přesnost klesá (Kaeser et al. 2013; Kaeser & Smith 2016). Nejčastější příčinou chybně určených substrátů je prostorová odchylka GPS (Graham et al. 2017). Interpretace sonarového obrazu má své specifika a nemusí být vždy logicky jasná. Schopnost a zkušenosti výzkumníka, jež práci vytváří, rovněž ovlivňují přesnost map (Kaeser et al. 2013).

6.4 Trendy substrátu

Určení konkrétních substrátů není pevně dané, počet kategorií a jejich přesné definice se tedy liší práce od práce podle individuálních potřeb a cílů (Kennish et al. 2004; Brown et al. 2008; Kaeser et al. 2013; Powers et al. 2014). Standardem zůstává rozlišení na čtyři kategorie podloží, a to: kamenité, štěrkové, písčité a jílové (Brown et al. 2008; Kaeser et al. 2013) nebo rozdělení substrátů dle Wentworthovi stupnice (štěrk 2–15mm, oblázky 16–63 mm, valouny 64–256 mm, balvany >256 mm a celistvá skála) (Bovee & Cochnauer 1997). Dále by měly být vyznačeny oblasti, u kterých není dostatečný datový podklad nebo data zcela chybí. (Kaeser et al. 2013).

Pro tuto práci jsem se z důvodu použití méně přesného přístroje a tím i horší kvality dat, rozhodl pro jednoduché rozdělení na čtyři základní kategorie substrátů (kamenité, štěrkové, písčité a bahnitě). Dle jiných prací vznikala poměrně velká odchylka při rozlišování jemných sedimentů (Kaeser et al. 2013). I proto jsem se rozhodl všechny jemné sedimenty zahrnout do jedné kategorie (bahno). Informační hodnota výsledné mapy se (oproti jiným pracím) sníží, ale data se dají lépe interpretovat. ákladní rozdělení je důležitá informace, zvláště při hledání

konkrétních druhů sladkovodních mlžů. Sonarový stín vznikl pouze na jednom místě, kde snímání začínalo pod mostem. Z výsledné mapy byla tato oblast vyjmuta.

V rámci této práce bylo substrátového složení pro jednotlivé lokality velmi odlišné. Několik trendů bylo možno vysledovat po exportování dat a jejich zhodnocení. Horní tok (lokalita č. 3) byl více kamenitý s velkým zastoupením vegetace, to pokračovalo i v následující části toku (lokalita č. 2), ale v menší míře. V dolním toku řeky převládal štěrk a písek. Vegetace se zde nebyla schopna udržet přímo v korytu řeky, což je pravděpodobně zapříčiněno větší rychlostí proudu řeky.

7 Závěr

- Řeka je složitý ekosystém, jež je ovlivňován celou řadou abiotických i biotických faktorů a charakteristik. Moderní mapovací technologie umožňují získávat důležitá data pro efektivní ochranu tohoto prostředí.
- Všechny geograficky původní druhy sladkovodních mlžů, vyskytujících se na území České republiky, jsou ohrožené a vyžadují ochranu. Zejména proto, že spoluutváří ekosystém a umožňují existenci dalších druhů.
- Využití low-cost sonaru na plováku pro mapování habitu je rychlé, finančně dostupné a přesné. Může poskytnout důležité informace pro budoucí průzkum, správu krajiny a ochranu nejen sladkovodních mlžů.
- Byly vytvořeny tři substrátové mapy, pro tři různé lokality na dolním toku řeky Ohře. Tyto mapy zobrazují rozmístění a míru zastoupení jednotlivých substrátových tříd a pokryv vegetace.
- Byl sepsán přesný postup pro provádění výzkumu pomocí sonaru. Tyto informace mohou být pro příští výzkumy užitečné, ušetří čas a prostředky.
- Rozlišení sonarového obrazu nebylo dostatečné, aby bylo možno přímo lokalizovat kolonie sladkovodních mlžů.

8 Bibliografie

- Ainslie M. 2012. Principles of Sonar Performance Modelling. Springer Berlin, Berlin.
- Anima R, Wong FL, Hogg D, Galanis P. 2007. Side-scan Sonar Imaging of the Colorado. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia.
- Bandolová D. 2017. Posouzení kvality vody v řece Ostravici po zaústění odpadovodu z Biocelu Paskov a.s. do řeky Odry [BSc. Thesis]. Vysoká škola báňská, Ostrava.
- Bauer G. 1991. Plasticity in life history traits of the freshwater pearl mussel. Consequences for the danger of extinction and for conservation measures. In Species Conservation: A Population-Biology Approach (eds A. Seitz and V. Loeschcke). Birkhauser-Verlag, Basel.
- Bovee KD, Cochnauer T. 1997. Development and evaluation of weighted criteria, probability-of-use curves for instream flow assessments: fisheries. Instream Flow Information Paper: 53.
- Brookes A, Shields FF. 1996. River channel restoration. Guiding principles for sustainable projects. Chichester, Wiley.
- Brown, Craig J, Blondel P. 2008. Developments in the application of multibeam sonar backscatter for seafloor habitat mapping. Applied acoustics.
- Brox JB, Dorazio, Robert M, Lidell DW. 2002. Relationships between streambed substrate characteristics and freshwater mussels (*Bivalvia: Unionidae*) in Coastal Plain streams. Journal of the North American Benthological Society **6-2002**: 253-260.
- Bruch RM, Binkowski FP. 2002. Spawning behavior of lake sturgeon (*Acipenser fulvescens*). Blackwell Verlag, Berlin. ISSN 0175-8659.
- Canna CE. 1999. Scales of macroinvertebrate-habitat relationships in fluvial systems. A case study from the River Frome. University of Southampton.
- Carling P. 1992. The nature of the fluid boundary layer and the selection of parameters for benthic ecology Fisheries.
- Carr HA, Fish JP. 1990. Sound underwater images. Lower Cape Publishing, Orleans, MA.
- Costa JE, Spicer KR, Cheng RT, Haeni FP, Melcher NB, Thurman ME, Plant WJ, Keller WC. 2000. Measuring stream discharge by non-contact methods: a proof of concept experiment. Geophysical Research Letters **27**: 553-556.
- Demek J. 1988. Obecná geomorfologie. Academia, Praha.
- Denic M, Taubert J, Geist J. 2015. Trophic relationships between the larvae of two freshwater mussels and their fish hosts. Invertebrate Biology **134**: 129-135.
- Edsall TA, Poe TP, Nester RT, Brown CL. 1989. Side-scan sonar mapping of lake trout spawning habitat in northern Lake Michigan. North American Journal of Fisheries Management **9**: 269-279.
- Farkač J, Král D, Škorpík M. 2005. Czech Republic Red List (Invertebrates). AOPK ČR. Prague.
- Frank F. 1998. Fundamentals of noise and vibration.
- Garner JT, Buntin ML, Fobian TB, Holifield JT, Tarpley TA, Johnson PD. 2016. Use of side-scan sonar to locate *Tuloma Magnifica* (Conrad, 1834) (*gastropoda; viviparidae*) in the Alabama river. Freshwater Mollusk Biology and Conservation **19**: 51-55.
- Geist J. 2010. Strategies for the conservation of endangered freshwater pearl mussels. Hydrobiologia **644**: 69 - 88.
- Geist J, Porkka M, Kuehn R. 2006. The status of host fish populations and fish species richness in European freshwater pearl mussel (*Margaritifera margaritifera*) streams. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems **16**: 251 - 266.

- Graham JD, Hafs AW, Kennedy AJ. 2017. Quantification of Walleye Spawning Substrate in a Northern Minnesota River using Sida-Scan Sonar. *North American Journal of Fisheries Management* **37**: 420-428.
- Gutierrez JL, Jones CG, Strayer DL, Iribarne OO. 2003. Mollusks as ecosystem engineers: the role of shell production in aquatic habitats. *Oikos* **101**: 79 - 90.
- Haltuch MA, Berkman PA, Garton DW. 2000. Geographic information system (GIS) analysis of ecosystem invasion: Exotic mussels in Lake Erie. *Limnology and Oceanography* **45**: 1778-1787.
- Harper DM, Everard M. 1998. Why should the habitat-level approach underpin holistic river survey and management?
- Harper DM, Smith CD, Barham PJ. 1995. The ecological basis for management of the natural river environment.
- Hinzmann M, Lopes-Lima M, Teixeira A, Varandas S. 2013. Reproductive cycle and strategy of *Anodonta anatina* (L., 1758): notes on hermaphroditism. *Journal of Experimental Zoology* **319A**: 378-390.
- Hohental J, Alho P, Hyyppa J, Hyyppa H. 2011. Laser scanning applications in fluvial studies. *Progress in Physical Geography*: 782-809.
- Horník et al. 1986. *Fyzická geografie II*. SPN, Praha.
- Hummingbird®. 2020. SOLIX 15 CHIRP MEGA SI+ G2 overview. Available from www.humminbird.johnsonoutdoors.com/fish-finders/solix/solix-15-chirp-mega-si-g2 (accessed July 2020).
- Charlton ME, Large ARG, Fuller IC. 2002. Application of airborne LIDAR in river environments: The river Coquet, Northumberland. Department of Geography, University Newcastle. NEI 7RU.
- Jaakola A, Hyyppa H, Hyyppa J, Kukko A. 2008. Retrieval algorithms for road surface modelling using laser-based mobile mapping. *Sensors* **8**: 5238-5249.
- Jarrod P, Shannon KB, Long JM, Campbell T. 2014. Evaluating the use of side-scan sonar for detecting freshwater mussel beds in turbid river environments. Springer International Publishing Switzerland.
- Johnson Outdoors Marine Electronics, Inc. 2011. 788ci HD, 788ci HD DI, & 788ci HD XD Combo Operations Manual. Hummingbird®
- Kaesler AJ, Litts TL, Wesley TT. 2013. Using low-cost side-scan sonar for benthic mapping through the lower flint river, Georgia, USA. Wiley Online Library.
- Kaesler R, Smith A. 2016. Defining freshwater mussel mesohabitat associations in an alluvial, Coastal Plain river. *Freshwater science* **9-2016**.
- Kenny AJ, Cato I, Desprez M, Fade G, Schuttenhelm RTE, Side J. 2003. An overview of seabed-mapping technology in the context of marine habitat classification. *Marine Science* **60**: 408-411.
- Killeen I, Aldridge D, Oliver G. 2004. Freshwater bivalves of Britain and Ireland. National Museum of Wales Occasional Publications **82**: 1-114.
- Knighton D. 1984. *Fluvial forms and processes*. Arnold, London.
- Large A, Heritage GL. 2009. Laser scanning - evaluation of the discipline. *Laser Scanning for the Environmental Sciences* **2009**: 1-20.
- Legleiter CJ, Roberts DA, Marcus WA, Fonstad MA. 2004. Passive optical remote sensing of river channel morphology and in-stream habitat: physical basis and feasibility. *Remote Sensing of Environment* **93**: 493-510.
- Lehotský M. 2006. *Morfológia rieky – princípy a nástroje výskumu jej prispôsobovania*.

- Geomorfologické výzkumy v roce 2006. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc.
- Lopes-Lima M, Kabapci U, Van Damme D. 2014. *Unio crassus*. IUCN red list of threatened species. Version 2015.2. IUCN. Available from www.iucnredlist.org/ (accessed February 2020).
- Lopes-Lima M, Teixeira A, Froufe E, Lopes A, Varandas S, Sousa R. 2014. Biology and conservation of freshwater bivalves: past, present and future. *Hidrobiologia* **753**: 1-13.
- Lopes-Lima M, Sousa R, Geist J, Aldridge DC, Araujo R, Bergengren J, Bernal Y, Burlakova L, Van Damme D, Douda K, Froufe E, Georgiev D, Gumpinger C. 2017. Conservation status of freshwater mussels in Europe: state of the art and future challenges. *Biological reviews* **2017**: 572 - 607.
- Lucchetti AW, Virgili MS, Carlo FD, Sala ATH. 1998. Assessment of fishing gear impact and performance using Sidescan sonar technology. *Sustainable Maritime Transportation and Exploitation of Sea Resources*: 1049-1054.
- Marcus WA, Fonstad MA. 2008. Assessment of sedimentation processes determined from side-scan sonar surveys in the Buffalo River, New York, USA. *Environmental Geology* **55**: 1587–1599.
- McIvor AL, Aldridge DC. 2007. The reproductive biology of the depressed river mussel, *Pseudanodonta complanata* (*Bivalvia: Unionidae*), with implications for its conservation. *Journal of Molluscan Studies* **73**: 259-266.
- McRea JE, Greene HG, O'Connell VM, Wakefield W. 1999. Mapping marine habitats with high resolution sidescan sonar.
- Newson CL. 2000. Geomorphology, ecology and river channel habitat: mesoscale approaches to basin-scale challenges. *Physical Geography* **2**: 195 - 217.
- Newson MD, Harper DM, Padmore CL, Kemp JL, Vogel B. 1998. A cost-effective approach to linking habitats, flow types and species requirements.
- Osterling ME, Larsen BM. 2013. Impact of origin and condition of host fish (*Salmo trutta*) on parasitic larvae of *Margaritifera margaritifera*. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* **23**: 564-570.
- Powers J, Brewer SK, Long JM, Campbell T. 2014. Evaluating the use of side-scan sonar for detecting freshwater mussel beds in turbid river environments. *Hydrobiologia* **743**: 127-137.
- Prada MC, Appeldoorn RS, Rivera JA. 2008. The effects of minimum map unit in coral reefs maps generated from high resolution side scan mosaics. *Coral Reefs* **27**: 297-310.
- Pusch M, Siefert J, Waltz N. 2001. Filtration and respiration rates of two unionid species and their impact on water quality of a lowland river. *Ecology and Evolution of the Freshwater Mussels Unionoida*: 317 - 326.
- Quiros AR, Ramos M. 1998. Laboratory propagation and culturing of juveniles of the endangered freshwater mussel. *Journal of Conchology*: 53-56.
- Raven PJ, Holmes NTH, Dawson FH, Everard M, Fozzard L, Rouen KJ. 1998. River habitat quality. The physical character of rivers and streams in the United Kingdom and Isle of Man. Environment Agency, Bristol.
- Renfro BA, Stain M, Reed E, Villalba E. 2019. An Analysis of Global Positioning System (GPS) Standard Positioning Service (SPS) Performance for 2018. The University of Texas at Austin, Austin.
- Rowtree KM, Wadeson RA. 1996. Translating channel geomorphology into hydraulic habitat:

- application of the hydraulic biotope concept to an assessment of discharge related habitat changes.
- Statzner B, Gore JA, Resh VH. 1988. Hydraulic stream ecology: observed patterns and potential applications: 60-307.
- Strayer DL, Caraco NF, Cole J, Findlay S, Pace ML. 1999. Transformation of freshwater ecosystems by bivalves. *BioScience* **49**: 19-27.
- Surian N. 2002. Downstream variation in grain size along Alpine river: analysis of controls and processes. *Geomorphology* **43**: 137-149.
- Švanyga J. et al. 2013. Záchranný program pro perlododku říční v ČR [Action plan for the endangered freshwater pearl mussel in the Czech Republic]. Deposited in the Nature Conservation Agency of the Czech Republic, Praha.
- Tanskersley R, Dimock RV. 1993. The effect of larval brooding on the respiratory physiology of the freshwater unionid mussel *Pyganodon cataracta*. *American Midland Naturalist* **130**: 146-163.
- Torgensen CE, Faux RN, McIntosh BA, Poage NJ, Norton DJ. 2001. Airborne thermal remote sensing for water temperature assessment in rivers and streams. *Remote Sensing of Environment* **2001**: 386-398.
- Tudorancea C. 1972. Studies on *Unionidae* populations from the Crapina–Jijila complex of pools (Danube zone liable to inundation). *Hydrobiologia* **39**: 527-561.
- Van Damme D. 2011a. *Unio pictorum*. IUCN red list of threatened species. Version 2015.2. Available from www.iucnredlist.org/ (Accessed November 2019).
- Van Damme D. 2011b. *Unio tumidus*. IUCN red list of threatened species. Version 2015.2. Available from www.iucnredlist.org/ (Accessed November 2019).
- Vaughn CC, Hankenkamp CC. 2001. The functional role of burrowing bivalves in freshwater ecosystems. *Freshwater Biology* **46**: 1431-1446.
- Vicentini H. 2005. Unusual spurting behaviour of the freshwater mussel *Unio crassus*. *Journal of Molluscan Studies* **71**: 409-410.
- Walker DJ, Alford JB. 2016. Mapping Lake Sturgeon Spawning Habitat in the Upper Tennessee River using Side-Scan Sonar. *North American Journal of Fisheries Management* **36**: 1097-1105.
- Wang C-K, Philpot WD. 2009. Using airborne bathymetric lidar to detect bottom type variation in shallow waters. *Remote Sensing of Environment* **106**: 123-135.
- Young MR, Cosgrove LC. 2001. The extent of, and causes for, the decline of a highly threatened naiad: *Margaritifera margaritifera*. *Ecology and Evolution of the Freshwater Mussels Unionoida* **2001**: stránky 337-357.
- Young WJ. 1992. Classification of the criteria used to identify near-bed flow regimes: 91-383.
- Zajac K, Zajac T. 2011. The role of active individual movement in habitat selection in the endangered freshwater mussel *Unio crassus*. *Journal of Conchology* **40**: 446-461.
- Zierritz A, Aldridge DC. 2010. Phenotypic plasticity and genetic isolation by distance in the freshwater mussel *Unio pictorum* (*Mollusca: Unionoida*). *Evolutionary Ecology* **24**: 923-938.
- Zierritz A, Aldridge DC. 2011. Sexual, habitat-constrained and parasite-induced dimorphism in the shell of a freshwater mussel (*Anodonta anatina*, *Unionidae*). *Journal of Morphology* **272**: 1365 - 1375.
- Ziuganov V, Zotin A, Nezhlin L, Tretiakov V. 1994. *The Freshwater Pearl Mussels and Their Relationships with Salmonid Fish*. VNITRO Publishing, Moskva.

9 Samostatné přílohy

9.1 záběry práce v terénu



Obrázek 12: plovák



Obrázek 10: detail umístění sonaru



Obrázek 11: plovák na řece