

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSŘEDÍ

KATEDRA APLIKOVANÉ EKOLOGIE

MIKROPLASTY V POVRCHOVÝCH VODÁCH

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. Lenka Wimmerová, MSc., Ph.D.

Bakalant: Eva Šenková

2023

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Eva Šenková

Vodní hospodářství

Název práce

Mikroplasty v povrchových vodách

Název anglicky

Microplastics in surface waters

Cíle práce

Cílem práce je zhodnocení výskytu mikroplastů ve vybraných povrchových vodách. V rešeršní části práce bude pozornost zaměřena na typy mikroplastů, jejich zdroje, možná rizika a na dostupné metody vzorkování a analytické metody jejich stanovení. Praktická část práce bude zpracována pro vybrané povrchové vodní toky na území ČR s využitím pasivních metod vzorkování a optických metod stanovení.

Metodika

Bakalářská práce má experimentální charakter. Metodicky půjde o vytvoření aktuálního literárního přehledu z oblasti výskytu mikroplastů ve vodním prostředí a praktickou analýzu jejich výskytu ve vybraných povrchových tocích. Pro účely zpracování budou vybrány min. 3 povrchové vodní toky na území ČR. Odběr vzorků bude realizován pasivně a kvantitativní analýza mikroplastů bude provedena optickou mikroskopií (bez a s přídavkem vybraného barviva).

Doporučený rozsah práce

cca 50 stran textu a 10 stran příloh

Klíčová slova

mikroplast, tok, vodní, odběr, pasivní, analýza, částice, vlákno

Doporučené zdroje informací

ECHA, ©2018-2022: Hot topics – Microplastics. Dostupné z <<https://echa.europa.eu/hot-topics/microplastics>>.

Henzlová, L., 2020: Mikroplasty v pitných a odpadních vodách. ČZU, FŽP, Praha. 67 s. (bakalářská práce). „nepublikováno“. Dep. SIC ČZU v Praze.

Pivokoňský, M. a kol., 2020: Occurrence and fate of microplastics at two different drinking water treatment plants within a river catchment. *Sci Total Environ.* 741:140236. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.140236.

Silva, A. B. a kol., 2017: Microplastics in the environment: Challenges in analytical chemistry – a review. *Anal. Chim. Acta* 1017:1–19. doi: 10.1016/j.aca.2018.02.043.

TUHÁČEK, M. – JELÍNKOVÁ, J. *Právo životního prostředí : praktický průvodce*. Praha: Grada, 2015. ISBN 978-80-247-5464-2.

Předběžný termín obhajoby

2022/23 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Lenka Wimmerová, MSc, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra aplikované ekologie

Konzultant

Bc. Marie Martincová

Elektronicky schváleno dne 28. 2. 2023

prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 1. 3. 2023

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 18. 03. 2023

Čestné prohlášení autora

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: „Mikroplasty v povrchových vodách“ vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila, a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědoma, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědoma, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze, dne

.....

(podpis autora práce)

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala mé vedoucí této práce Ing. Lence Wimmerové, MSc., Ph.D. za vlídnost, nápady, rady a zajímavé konzultace. Dále bych ráda touto cestou poděkovala Mgr. Martinu Lexovi, Ph.D. za zpracování vzorků Ramanovou spektroskopií.

Poděkování patří také rodině, která mi byla oporou nejen při realizaci a psaní této práce, ale také po celou dobu studia.

ABSTRAKT

Téma mikroplastů je zajímavé pro jeho aktuálnost, hlavně z pohledu zkoumání vlivu těchto částic na životní prostředí, organismy a lidské buňky. V našem okolí se jich nachází mnoho, ale jejich škodlivost na lidský organismus je stále předmětem výzkumů. Cílem práce bylo vyhodnotit výskyt mikroplastů ve vybraných povrchových vodách s využitím pasivních metod vzorkování a optických metod stanovení.

Teoretická část bakalářské práce se zabývá typy mikroplastů, jejich zdroji a možnými riziky. Dále je pozornost zaměřena na dostupné metody vzorkování a analytické metody stanovení mikroplastů. Pro účely praktické části práce byly vybrány řeky Morava, Bečva, Haná, Labe a Jizera. Výskyt mikroplastů byl zkoumán s využitím metody pasivního odběru a následně kvantitativní analýzou mikroplastů pomocí optické mikroskopie. Ve vybraných případech byla dále využita Ramanova spektrometrie k identifikaci nalezených mikroplastových částic.

Kvantitativní analýzou byly zjištěny četnosti mikroplastů v rozmezí 0,063 – 0,590 MPs/m³. Kvalitativní analýzou byla ve vybraných řekách potvrzena přítomnost PET, PE, celulózy, silikonu, nylonu a PVC.

Klíčová slova: mikroplast, tok, vodní, odběr, pasivní, analýza, částice, vlákno

ABSTRACT

The topic of microplastics is important because of its actuality, especially from the point of view of investigating the impact of these particles on the environment, organisms and human cells. There are many of them in our environment, but their harmful effects on the human body are still the subject of research. It aims to evaluate the occurrence of microplastics in selected surface waters.

The theoretical part of the thesis deals with the types of microplastics, their sources and possible risks. Furthermore, attention is focused on available sampling and analytical methods for the determination of microplastic types. The rivers Morava, Bečva, Haná, Labe and Jizera were selected for the practical part. The occurrence of microplastics was investigated using passive sampling methods followed by quantitative analysis of microplastics using optical microscopy. In some cases, Raman spectrometry was also used to identify the microplastic particles found.

Quantitative analysis detected microplastic abundances ranging from 0.063 to 0.590 MPs/m³. Qualitative analysis confirmed the presence of PET, PE, cellulose, silicone, nylon and PVC in the rivers.

Keywords: microplastics, flow, water, sampling, passive, analysis, particles, fiber

OBSAH

1. ÚVOD.....	3
2. CÍLE.....	5
3. LITERÁRNÍ REŠERŠE	6
3.1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY	6
3.2 PŮVOD MIKROPLASTŮ	7
3.2.1 KOSMETIKA	8
3.2.2 TEXTIL.....	8
3.2.3 PRŮMYSL.....	9
3.2.4 ODPADY	9
3.3 CHARAKTERISTIKA PLASTŮ	10
3.3.1 NEJROZŠÍŘENĚJŠÍ POLYMERY	10
3.3.2 POLYMERY VE FORMĚ MIKROPLASTŮ	13
3.4 MIKROPLASTY VE VODNÍM PROSTŘEDÍ V ČESKÉ REPUBLICE.....	15
3.4.1 MIKROPLASTY V POVRCHOVÝCH VODÁCH.....	15
3.4.2 MIKROPLASTY V PODZEMNÍCH VODÁCH	16
3.4.3 MIKROPLASTY V PITNÉ VODĚ	16
3.5 ŠKODLIVOST MIKROPLASTŮ, VÝZKUM A VLIVY NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ.....	18
3.6 STANOVENÍ POČTU A TYPU MIKROPLASTŮ	20
3.6.1 METODY VZORKOVÁNÍ.....	21
3.6.2 KVANTITATIVNÍ ANALÝZA	24
3.6.3 KVALITATIVNÍ ANALÝZA.....	28
3.7 MOŽNOSTI ODSTRAŇOVÁNÍ MIKROPLASTŮ	31
4. CHARAKTERISTIKA STUDIJNÍHO ÚZEMÍ	33
4.1 ŘEKA MORAVA	33
4.2 ŘEKA BEČVA	35
4.3 ŘEKA HANÁ	36
4.4 ŘEKA LABE	37
4.5 ŘEKA JIZERA	39
5. METODIKA	41
5.1 ČASOVÝ HARMONOGRAM PRŮZKUMU VÝSKYTU MIKROPLASTŮ.....	41
5.2 PŘÍPRAVA VZORKŮ	43
5.3 ZPŮSOB ODBĚRU	45
5.4 STANOVENÍ PRŮTOKU.....	46
5.5 ANALÝZA VZORKŮ.....	47

5.5.1	POUŽITÉ PŘÍSTOJE A VYBAVENÍ.....	47
5.5.2	VYSUŠENÍ VZORKŮ	48
5.5.3	KVANTITATIVNÍ ANALÝZA A FOTODOKUMENTACE ODEBRANÝCH VZORKŮ	48
5.5.4	BARVENÍ VZORKŮ	50
5.5.5	KVANTITATIVNÍ ANALÝZA A FOTODOKUMENTACE OBARVENÝCH VZORKŮ	50
5.5.6	FILTRACE	51
5.5.7	RAMANOVA SPEKTROSKOPIE	54
6.	VÝSLEDKY	55
6.1	KVANTITATIVNÍ ANALÝZA.....	55
6.1.1	MORAVA.....	55
6.1.2	BEČVA.....	57
6.1.3	HANÁ.....	59
6.1.4	LABE	61
6.1.5	JIZERA	63
6.1.6	SHRNUTÍ VÝSLEKU KVANTITATIVNÍ ANALÝZY	65
6.2	KVALITATIVNÍ ANALÝZA.....	65
7.	DISKUZE	68
8.	ZÁVĚR A PŘÍNOS PRÁCE	69
9.	PŘEHLED LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	70
9.1	ODBORNÉ PUBLIKACE.....	70
9.2	LEGISLATIVNÍ ZDROJE	75
9.3	INTERNETOVÉ ZDROJE.....	75
9.4	OSTATNÍ ZDROJE.....	77

SEZNAM ZKRATEK

ABS	Akrylonitril-butadien-styren
AOPs	pokročilé oxidační procesy (<i>advanced oxidation processes</i>)
AVČR	Akademie věd České republiky
BR	Bengálská červeň (<i>Bengal Red</i>)
ČOV	Čistírna odpadních vod
EPS	expandovaný polystyren
EU	Evropská unie (<i>European Union</i>)
EVA	Ethylenvinylacetát
FT-IR	Infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací (<i>Fourier-Transform Infrared Spectroscopy</i>)
GC-MS	Plynová chromatografie s hmotnostní spektrometrií (<i>Gas Chromatography - Mass Spectrometry</i>)
LS, PS	Levý sloupec, Pravý sloupec
MPs	mikroplasty
nS,pS	nad Středem, pod Středem
PA	Polyamid
PBT	Polybutylentereftalát
PC	Polykarbonáty
PE	Polyethylen
PET	Polyethylentereftalát
PMMA	Polymethylmethakrylát
PP	Polypropylen
PS	Polystyren
PTFE	Polyetrafluorethylen
PTT	Polytrimethylentereftalát
PUR	Polyuretan
PVC	Polyvinylchlorid
S, K	Drátěná svorka (S), košík (K)
SEM-EDS	Skenovací elektronová mikroskopie (<i>Scanning Electron Microscopy</i>)
UV	Ultrafialové záření
VO, DO	Vrchní obruč, Dolní obruč
XPS	extrudovaný polystyren
XRF	Rentgenfluorescenční spektrometrie (<i>X-ray fluorescence</i>)

1. ÚVOD

Plasty jsou v dnešní době hojně používaným materiálem, který lidé využívají v mnoha odvětvích. Jejich používání nese ovšem rizika pro životní prostředí. Tyto plasty se díky dlouhé době rozkladu hromadí v přírodě a oceánech (Rocha-Santos a Duarte 2015) a jejich uvolněné částičky, kterým se začalo říkat mikroplasty, se mohou vyskytovat všude kolem nás. Mikroplasty jsou pevné plastové částice složené ze směsí polymerů a funkčních přísad. Tyto částice mohou vznikat neúmyslně při opotřebení větších kusů plastů, například pneumatik automobilů nebo syntetických textilií. Zároveň se ale do přírodních ekosystémů dostávají například z kosmetiky, kde jsou tyto částice účelně vyráběny pro specifické produkty na obličej a tělo.

Celkově nám plastové výrobky v mnoha ohledech usnadňují život. Často jsou lehčí a levnější než jiné materiály. Jestliže však nejsou správně likvidovány nebo recyklovány, mohou skončit v životním prostředí, kde zůstávají po staletí a rozkládají se na stále menší a menší kousky (ECHA ©2018-2022). V roce 2019 překročila světová produkce plastů 368 milionů tun ročně (Plastic Europe ©2020). Podle odhadů končí 5 – 13 milionů tun z těchto plastů v oceánech (World Economic Forum ©2016). Tyto odpady se vlivem UV záření, mechanického, biologického a chemického působení dále rozkládají a uvolňují se z nich malé částičky.

Mikroplasty jsou definovány jako plastové částičky o velikosti menší než 5 mm (Bergmann a kol. 2015). Jedná se především o vlákna, filmy, pěny, folie, pelety, kulaté částice nebo úlomky (Koelmans a kol. 2019; Pivokonsky a kol. 2018). Plastové částičky velikosti pod 1 μm se nazývají nanoplasty. Částice takto malých velikostí jsou náročnější na odhalení a podle většiny zdrojů se ani mezi mikroplasty nepočítají (Ústav pro hydrodynamiku AVČR ©2020; Pivokonsky a kol. 2018).

Mikroplasty se vyskytují ve všech složkách životního prostředí a to jak ve vodě, v půdě, tak i v ovzduší. Jejich ekologický dopad ale není zcela objasněn. V našem okolí se jich nachází mnoho, ale jejich škodlivost na lidský organismus je stále předmětem výzkumů (Pivokonský a kol. 2020). Obavy vzbuzuje právě fakt, že jakmile se mikroplasty dostanou do životního prostředí, nedochází k jejich biologickému rozkladu. Tyto částice se pak hromadí v živočiších, včetně ryb a měkkýšů, a následně je konzumují i lidé jako potravu. Mikroplasty byly nalezeny

v mořských, sladkovodních i suchozemských ekosystémech a také v potravinách a pitné vodě. Jejich neustálé uvolňování přispívá k trvalému znečišťování našich ekosystémů a potravních řetězců (ECHA ©2018-2022).

2. CÍLE

Cílem této bakalářské práce bylo provést kvantitativní analýzu a zhodnotit aktuální výskyt mikroplastů ve vybraných povrchových vodách. Dílčím cílem práce pak bylo posouzení využitelnosti metody pasivního vzorkování k odběru vzorků vod a zpracování literární rešerše na téma výskytu mikroplastů ve vodách.

3. LITERÁRNÍ REŠERŠE

3.1. ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Pojem „*mikroplasty*“ zavedl v roce 2004 profesor Richard Thompson. Tento mořský biolog z Univerzity v Plymouthu ve Velké Británii se zabýval výzkumem mořského odpadu. Původcem mikroplastů jsou velmi často plasty, ze kterých se tyto malé částice oddělují. Jejich označení vychází z řeckého slova „*plastikos*“, což označuje věci tvarovatelné nebo vhodné pro lisování. Plasty se začaly objevovat již v 19. století. Zasloužil se o to Angličan Alexandr Perkes, který jako první uměle vyrobil nitrát celulózy. Objevem, který vnímání plastů posunul významným způsobem, byl Američan Charles Goodyear, který roku 1839 přišel s vulkanizací kaučuku. Významné pro běžný život se staly plasty až po první, respektive druhé světové válce. Od té doby se plasty objevují téměř na každém našem kroku. Poslední dobou si lidé stále více uvědomují ekologickou zátěž, kterou tento materiál přináší. Je tu také snaha omezit používání plastů, používat plasty rozložitelné a omezit používání jednorázových plastových výrobků. Například směrnice Evropského parlamentu a rady (EU) 2019/904, ze dne 5. června 2019, o omezení dopadu některých plastových výrobků na životní prostředí, nařizuje členským státům Evropské unie redukcii jednorázových plastových obalů.

Zdroje odpadů, které se do vodního prostředí dostávají lze rozdělit do dvou kategorií. Jedná se o bodové zdroje a plošné zdroje znečištění. Mezi bodové zdroje patří zejména komunální a průmyslová sféra. Plošné zdroje reprezentuje znečištění zemědělské půdy, erozní splachy nebo atmosférické depozice. V poslední době množství plošného znečištění přibývá, zatímco bodové znečištění ubývá. Důležitou roli v tomto ohledu hraje výstavba čistíren odpadních vod (ČOV) pro jednotlivé objekty, obce, městské části nebo průmyslové podniky (Damohorský a kol. 2010). Takto přečištěné vody lze vypouštět do povrchových nebo podzemních vod, což podrobněji upravuje Nařízení vlády č. 401/2015 Sb., ze dne 14. prosince 2015, o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech, v platném znění.

Ochranou povrchových a podzemních vod se pak zabývá zejména zákon č. 254/2001 Sb., zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), v platném znění. Ten například specifikuje možnosti nakládání s povrchovými a podzemními vodami. Tento zákon definuje hlavní účel podzemních vod jako zdroj pitné vody. Předpokládá tak nízké nebo žádné znečištění podzemních vod odpady včetně mikroplastů.

3.2. PŮVOD MIKROPLASTŮ

Každý rok se při používání výrobků, které mikroplasty obsahují, dostane do životního prostředí přibližně 42 tisíc tun mikroplastů. Největším jednotlivým zdrojem znečištění je granulovaný výplňový materiál používaný například na hřištích s umělým trávnikem, kterého se uvolňuje do životního prostředí až 16 tisíc tun ročně. Kromě toho se odhaduje, že úniky neúmyslně vzniklých mikroplastů (při opotřebení větších kusů plastů) do evropských povrchových vod činí přibližně 176 tisíc tun ročně (ECHA ©2018-2022).

Mikroplasty jsou také součástí hnojiv, čisticích prostředků, barev, ropných produktů, kosmetiky nebo přípravků na ochranu rostlin. Celkově se odhaduje, že se v Evropské unii takto ročně použije přibližně 145 tisíc tun mikroplastů. V poslední době je snaha rozšíření mikroplastů v produktech zakázat nebo alespoň omezit (ECHA ©2018-2022).

Podle původu, zdroje se mikroplasty dělí do dvou kategorií. První kategorií jsou mikroplasty primární. Do této skupiny patří mikroplasty, které mají již před vstupem do prostředí velikost do 5 mm. Vznikají přímou výrobou a používají se jako součást řady produktů (kosmetiky, čisticích prostředků).

Druhou skupinou jsou mikroplasty sekundární. To jsou částice vzniklé z větších plastových výrobků jejich opotřebením, rozpadem (degradací), působením chemických látek či působením světla (Auta a kol. 2017; Wagner a kol. 2014). Zdrojem těchto částic jsou často láhve na vodu, plastové sáčky, rybářské sítě, různé typy kuchyňských nádob, čajové sáčky. Mohou vznikat také při praní syntetických oděvů, oděrem pneumatik nebo rozkladem plastového odpadu.

3.2.1. KOSMETIKA

Mikroplasty se účelně používají, respektive používaly v kosmetice například ve třpytkách, make-upu nebo jiných kosmetických přípravcích. Jejich účelem je zajištění požadované tloušťky nanesené vrstvy, lesku, vzhledu nebo stability výrobku.

Vystavení mikroplastům v laboratorních studiích bylo spojeno s řadou negativních (eko)toxických a fyzikálních účinků na živé organismy. Pod vlivem obav o životní prostředí a zdraví lidí členské státy EU postupně přijaly nebo navrhly vnitrostátní zákazy záměrného používání mikroplastů ve spotřebitelských výrobcích. Tyto zákazy se týkaly především použití mikroplastů v kosmetických přípravcích, které se po použití opláchnou a kde se mikroplasty používaly jako abrazivní a lešticí prostředky (ECHA ©2018-2022).

Z nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1223/2009, ze dne 30. listopadu 2009, o kosmetických přípravcích a nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1907/2006, ze dne 18. prosince 2006, o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek a o zřízení Evropské agentury pro chemické látky plynou pravidla pro používání mikroplastů a nanoplastů v kosmetice pro všechny členské státy Evropské unie. V roce 2019 představila Evropská agentura pro chemické látky ECHA (*European Chemical Agency*) návrh omezení pro používání mikroplastů, které by mělo během příštích 20 let zredukovat množství mikroplastů uvolněné do přírody o 400 tisíc tun (ECHA ©2018-2022).

3.2.2. TEXTIL

Velmi významným zdrojem mikroplastů je také oblečení z umělých materiálů. Každým praním se mohou uvolnit až stovky tisíc mikroskopických vláken do odpadní vody (University of Plymouth ©2016). Množství pak závisí na teplotě, čistícím programu a materiálu. Přibližně 35 % z celkové produkce mikroplastů se uvolňuje právě z oblečení (Fashion revolution ©2018). Tuto skutečnost potvrzují i jiné zdroje (Ústav pro hydrodynamiku AV ČR ©2021). Částečnou redukci tohoto odpadu umožňují speciální prací pytlíky (Nilmore a kol. ©2022).

3.2.3. PRŮMYSL

Mikroplasty jsou vedlejším produktem při zpracování plastů, výrobě oblečení, ale jsou také záměrně přidávány do řady výrobků včetně hnojiv, přípravků na ochranu rostlin nebo barev (ECHA ©2018-2022). V textilním průmyslu při zpracování syntetických látek dochází k uvolňování velkého množství částic do vzduchu, což má na lidský organismus podobný efekt jako prach (Kožíšek a Kazmanová, 2019). Část mikroplastů se pak dostane i do životního prostředí a do vodního prostředí.

Výrazným zdrojem mikroplastů v povrchových sladkých vodách jsou průmyslové odpadní vody, kde se tyto částice vyskytují ve vysokých koncentracích. Podstatná část těchto částic se odstraní při procesu čištění odpadní vody. Problémem zůstává to, že k dominantní akumulaci mikroplastů dochází v odpadních kalech, které se po dalším zpracování, stabilizaci a hygienickém zabezpečení využívají jako hnojivo pro zemědělské půdy. Například ve Velké Británii je 52 % čistírenských kalů využíváno jako hnojivo v zemědělství (Holmes 2018). Mikroplasty se tak dostávají do půdy a následně do koloběhu vody a ostatních složek životního prostředí.

3.2.4. ODPADY

Téměř polovina všech plastů má jednorázovou funkci ve formě obalu. Z něj se po použití stává odpad. Pokud není tento obal recyklován, často se dostává na skládky, do přírody nebo do moří ve své původní formě, menších částech nebo částechkách na úrovni mikroplastů. Přibližně 10 % z celkové produkce komunálního odpadu tvoří plasty (Judy a kol. 2019). Jako zásadní zdroj znečištění je uváděno nevhodné nakládání s odpady člověkem a špatná manipulace s těmito odpady (Barnes a kol. 2009; Jambeck a kol. 2015).

Výše zmíněná směrnice (EU) 2019/904 od roku 2024 výrazně omezuje nebo zakazuje používání jednorázových plastů, jako jsou plastové příbory, talíře, brčka, nápojová míchátká, polystyrenové kelímky nebo tyčky pro upevnění nafukovacích balónků. Podle tohoto nařízení by mělo být na území evropské unie dosaženo 90 % recyklace jednorázových plastových lahví, které by měly být ve vyšším procentu dále recyklovatelné. Plastové výrobky, které v tuto chvíli nemají alternativu v jiném materiálu jako některé části tabákových výrobků nebo vlhčené ubrousky budou muset být označeny a měly by také nést informaci o vhodném způsobu odstranění odpadu.

3.3. CHARAKTERISTIKA PLASTŮ

Plasty, plastické hmoty nebo umělé hmoty jsou souhrnným označením pro umělé organické uhlovodíkové polymerní sloučeniny. Často do finálního produktu bývají přidávány další chemické látky pro zlepšení odolnosti, zajištění ochrany proti stárnutí nebo zajištění jiných požadovaných vlastností. Vlivem degradace jsou plasty velmi významným zdrojem mikroplastů.

Plasty se dělí podle zpracovatelnosti po ohřátí na reaktoplasty a termoplasty. Termoplasty jsou po ohřátí tvarovatelné nebo i svařitelné a to i opakovaně. Naproti tomu reaktoplasty po ohřátí lépe tvarovat nelze. Plasty se dále dělí podle použitého dominantního monomeru v polymerních řetězcích.

3.3.1. NEJROZŠÍŘENĚJŠÍ POLYMERY

Polymery jsou makromolekuly složené z konkrétních molekul procesem polymerace, polyadice nebo polykondenzace. Tyto makromolekuly jsou schopny tvořit dlouhé řetězce. Vlastnosti molekuly se liší od vlastností makromolekuly. Mezi nejrozšířenější polymery, co se týče výroby, patří:

- Polystyren (PS),
- Polyethylen (PE),
- Polyamid (PA),
- Polypropylen (PP),
- Akrylonitril-butadien-styren (ABS),
- Polytetrafluorethylen (PTFE),
- Polykarbonáty (PC),
- Polymethylmethakrylát (PMMA),
- Polyvinylchlorid (PVC),
- Polyethylentereftalát (PET),
- Polyuretan (PUR),
- Polybutylentereftalát (PBT) (Wright a kol. 2013).

POLYSTYREN (PS)

Polystyren je termoplast, se kterým se setkáváme ve formě víček, průhledných obalů, lahví, podnosů, kelímků nebo nožů. V pěnové variantě je známý jako izolační materiál ve variantě EPS – expandovaný polystyren nebo XPS – extrudovaný polystyren. Systematicky se jedná o polyvinylbenzen. Je křehký a málo chemicky odolný, čímž se z něj stává snadno zdroj mikroplastů (PlasticsEurope ©2020).

POLYETHYLEN (PE)

Polyethylen (polyetylen) je termoplast, který je v současné době nejpoužívanějším polymerem na světě (PlasticsEurope ©2020). Tento polymer vzniká polymerací ethenu. Díky své stálosti a chemické odolnosti se využívá se k výrobě různých nádob, folií, trubek, ložisek, hraček, textilních vláken nebo sáčků (Trideniodpadu ©2007). Využívá se také v kompozitních materiálech na bázi dřeva. Předpokládaná roční produkce polyethylenu je přes 60 milionů tun (Šuta 2018).

POLYAMID (PA)

Polyamid je termoplast, který je využíván nejčastěji ve formě vláken a to pro výrobu stanů, spacáků, neprůstřelných vest nebo oblečení. Vyniká vysokou pevností a odolností proti oděru. Díky malé nasákavosti je používán i ve formě sportovního a funkčního oblečení. Modifikacemi polyamidu jsou nylon, kevlar a silon (Trideniodpadu ©2007).

POLYPROPYLEN (PP)

Polypropylen je termoplast, se kterým se běžně setkáváme ve formě obalů, plastových dílů a součástek, oblečení, lan, balónků, sudů nebo laboratorního vybavení. Fyzikálně-chemickými vlastnostmi je velmi blízký polyethylen (PlasticsEUROPE ©2020; Trideniodpadu ©2007).

AKRYLONITRIL-BUTADIEN-STYREN (ABS)

Akrylonitril-butadien-styren je termoplast, který se používá v nábytku u ABS hran nebo jako lahve, kufry, LEGO, v 3D tiskárnách nebo pro výrobu airsoftových zbraní. Také dobře odolává mechanickému a chemickému působení. Jeho recyklace je velmi snadná (PlasticsEurope ©2020).

POLYTETRAFLUORETHYLEN (PTFE)

Polytetrafluorethylen je termoplast, který si našel své místo v kuchyňském nádobí nebo na nejrůznějších kluzných nebo nepřilnavých plochách nebo jako těsnění. Jeho hustota je pohybuje okolo 2 200 kg/m³ a patří tak mezi nejtěžší plasty. Použití na nádobí ovšem představuje určité zdravotní riziko. Uvolňování plynů nebezpečných nebo dráždivých pro člověka nastává při teplotě kolem 250 °C, které se při běžném vaření nedosáhne. Při nešetrném zacházení může dojít k vrypům do vrstvy a uvolněné částice se můžou dostat do lidského organismu (PlasticsEurope ©2020).

POLYKARBONÁTY (PC)

Jedná se o termoplastické polymery, které se často používají v průhledné formě. Nejčastěji je najdeme ve formě střešní krytiny nebo jiných stavebních prvků, jako skla ochranných brýlí, laboratorní nádobí, displeje, v osvětlení nebo jako plastové nádoby (PlasticsEurope ©2020).

POLYMETHYLMETHAKRYLÁT (PMMA)

Polymethylmethakrylát je termoplast, který je běžně používá ve formě plexiskla nebo kontaktních čoček. Materiál bývá také nazývaný organickým sklem. Při vystavení mechanickému a chemickému působení velmi rychle degraduje a dochází k opotřebení. Při vdechnutí může být dráždivý (Dluhoš 1998).

POLYVINYLCHLORID (PVC)

Polyvinylchlorid je termoplast, který si našel své místo zejména ve stavebnictví. Díky své stálosti a chemické odolnosti je používán zejména na podlahy, potrubí nebo v oknech a dveřích. Mezi další aplikace patří ochranné

pomůcky, gramofonové desky a obaly. Při výrobě nebo spalování se do ovzduší může uvolnit chlór nebo vinylchlorid. Oba tyto prvky jsou pro člověka toxické. Na území České republiky se díky těmto chemickým látkám nerecykluje (Trideniodpadu ©2007).

POLYETHYLENTEREFTALÁT (PET)

Jedná se o termoplast, který se používá pro výrobu lahví, dalších obalů a folií. Materiál je velmi dobře recyklovatelný. Chemicky mohou být lahve narušeny kyselinami a zásadami. Do lahví by také neměly přijít nápoje s vyšším obsahem alkoholu, jelikož je alkohol může rozpouštět. Toto rozpouštění je navíc urychlováno slunečním zářením, kdy může dojít k rozpouštění plastu i působením slabších kyselin nebo nápojů s nižším obsahem alkoholu (Alkoholia ©2012; Trideniodpadu ©2007).

POLYEURETAN (PUR)

Polyuretan může být v závislosti na postupu výroby termoplastem i reaktoplastem. Běžně se s ním setkáváme ve formě pěny, textilních vláken, různých polstrování, izolací nebo jako kuchyňská houbička. Dále bývá používán pro podlahy a povrch atletických stadionů jako tartan (PlasticsEurope ©2020).

POLYBUTYLENTEREFTALÁT (PBT)

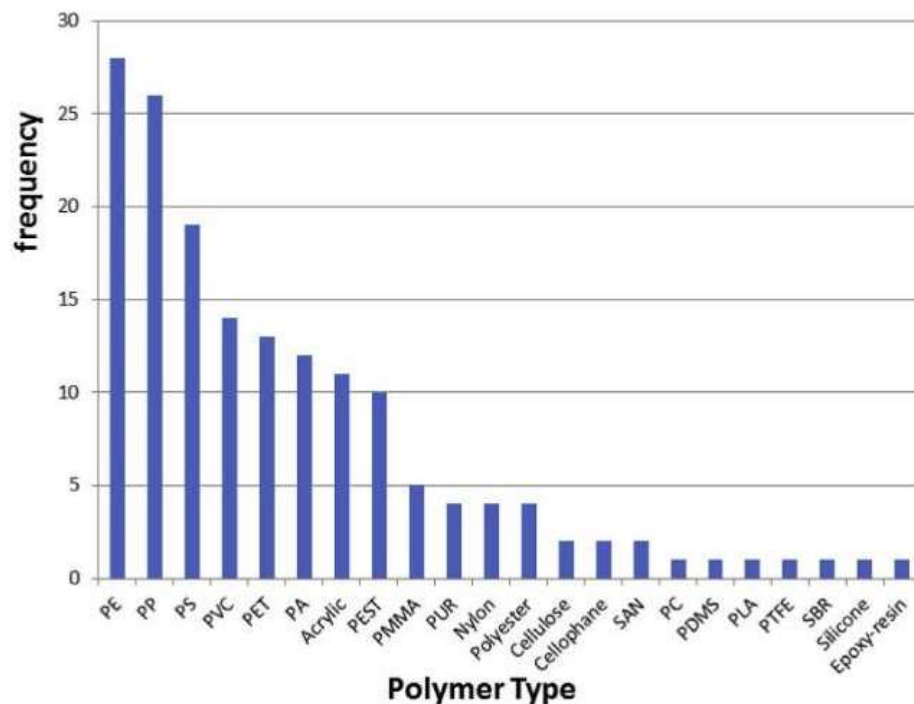
Polybutylentereftalát je termoplast, který je díky své tvrdosti a pevnosti a elektricky izolačním vlastnostem používán u elektrických spotřebičů, elektrických koncovek nebo domovních a průmyslových pojistek. Navíc je velmi dobře zpracovatelný a snadněji se s ním vytváří rozměrově přesné prvky (PlasticsEurope ©2020).

3.3.2. POLYMERY VE FORMĚ MIKROPLASTŮ

V přírodě se nejběžněji vyskytují mikroplasty, které jsou z chemického hlediska:

- Polypropylen,
- Polyethylen,
- Polystyren,
- Polyvinylchlorid,
- Polyethyltereftalát.

Obrázek 1 ukazuje typy mikroplastů po chemické stránce a počet lokalit, kde byly nalezeny. Graf je založen na kritické analýze 50 článků napříč celým světem, kde ve 32 z nich byl uváděn typ mikroplastů. Pokud by byl nalezen nějaký typ mikroplastu ve všech zkoumaných lokalitách, měl by přiřazenou frekvenci 32. Globálně je nejvíce zachycených částic z PE a PP. Následuje PS, PVC a PET (Koelmans a kol. 2019; Rocha-Santos a Duarte 2015).



Obrázek 1: Výskyt různých druhů mikroplastů ve vodě (Koelmans a kol. 2019).

Mikroplasty navíc mohou být nosiči jiných škodlivých chemických látek (Andrady 2011; Eerkes-Medrano a kol. 2015). Tyto látky často sloužily k modifikaci vlastností původních plastů jako stálost při vystavení UV záření, hořlavost, mechanické vlastnosti nebo zbarvení. Mezi těmito látkami se nejčastěji vyskytují polychlorované bifenyly, organochlorové pesticidy, polycyklické aromatické uhlovodíky, ropné uhlovodíky, alkylfenoly, polybromované difenylethery a bisfenol

A. Nejvyšší schopnost nést tyto organické kontaminanty mají mikroplastové částice PE (Teuten a kol. 2009).

3.4. MIKROPLASTY VE VODNÍM PROSTŘEDÍ V ČESKÉ REPUBLICE

Mikroplasty se hojně vyskytují ve vodním prostředí jako oceány, moře, řeky, jezera a rybníky. Výjimkou nejsou ani nádrže, které slouží jako zásobníky pitné vody. V České republice byly mikroplasty detekovány jak v řekách, tak i v nádržích na pitnou vodu a i v pitné vodě.

3.4.1. MIKROPLASTY V POVRCHOVÝCH VODÁCH

V České republice se pozornost ubírá zejména k vodním nádržím a řekám, které zásobují úpravny pitné vody. Nejvyšší naměřené koncentrace z výzkumů Pivokonsky a kol. 2018 dosahovaly přibližně 1 475 kusů mikroplastů na 1 litr vody velké přehrady, 1 810 kusů mikroplastů na 1 litr vody malé přehrady a 3 600 kusů mikroplastů na 1 litr vody říční. Autoři článku záměrně neuvádí, o které řeky a nádrže se jedná. Uvádějí ale, že vysoké koncentrace mikroplastů v těchto místech byly očekávány. Pro srovnání v čínské řece Jang-c'-ťiang byly naměřeny koncentrace přes 6 600 mikroplastů na litr vody (Wang a kol. 2020).

Předmětem nedávných výzkumů na našem území bylo určení množství mikroplastů před a po úpravě vody na pitnou na řece Úhlavě. Výzkum porovnával dvě úpravny vody ležící jedna poblíž obce Milence na horním toku řeky a druhá na dolním toku těsně před soutokem s Radbuzou v Plzni. Mezi oběma místy je nacházejí z větších obcí Nýrsko, Klatovy a Přeštice. Na horním toku, kde se úpravna vody nachází na hraně pohoří Šumava, bylo detekováno průměrně 23 mikroplastů v 1 litru vody. Na okraji Plzně byly koncentrace už více než 50x vyšší (Pivokonsky a kol. 2020).

V roce 2018 provedla organizace Greepeace odběr vzorků o objemu 1 litr na čtyřech místech na Labi poblíž Ústí nad Labem a Hřenska a na šesti místech na řece Vltavě v Praze a okolí. (Greenpeace ©2019). Vzorky byly odebírány do pečlivě čištěných skleněných lahví a na analýzu putovaly do Velké Británie do laboratoří

University of Exeter. Ve většině vzorků objemu 1 litr se nacházely 1 – 4 syntetická vlákna nebo fragmenty.

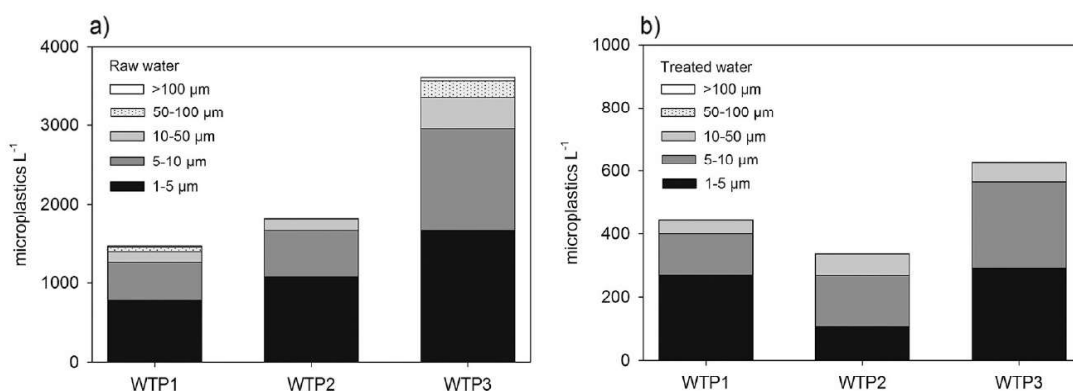
3.4.2. MIKROPLASTY V PODZEMNÍCH VODÁCH

Výskyt polutantů v podzemní vodě díky činnosti člověka je již prokázán několik let (Lapworth a kol. 2012). V roce 2022 byl publikován první článek, který dokazoval výskyt mikroplastů v podzemní vodě, která byla oddělena od atmosféry (Samandra a kol. 2022). Rozbory byly provedeny na vodě z vrtů v Australském státě Victoria. Vzorky byly odebrány ze 7 vrtů a v každém z nich byl prokázán výskyt PE, PP, PS a PVC. Velikosti identifikovaných částic se pohybovaly mezi 18 a 491 μm . V průměru bylo detekováno 38 částic na 1 litr vody.

V České republice zatím nebyl prokázán výskyt mikroplastů v podzemních vodách. S přibývajícím znečišťováním povrchových vod a s narůstajícím počtem potvrzených výskytů mikroplastů v podzemních vodách jinde ve světě lze předpokládat, že se i v České republice bude výzkum zaměřovat tímto směrem.

3.4.3. MIKROPLASTY V PITNÉ VODĚ

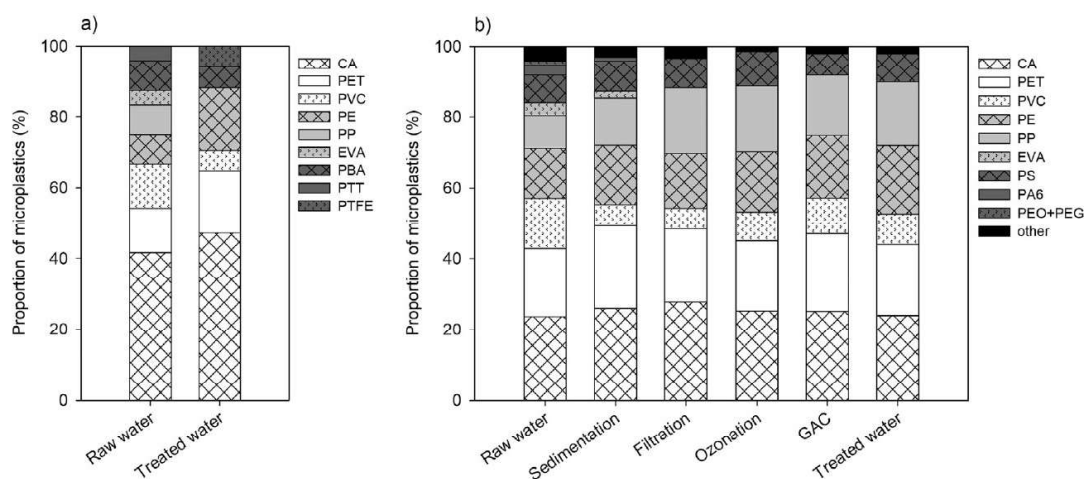
Pitná voda je získávána nejčastěji z podzemních vrtů nebo pramenů, řek a nádrží. U podzemních vod a pramenů lze předpokládat, že množství mikroplastů ve vodách z těchto zdrojů bude na našem území velmi nízké nebo nulové. U pitné vody z řek a nádrží lze mikroplasty očekávat ve vyšších koncentracích z důvodů atmosferické depozice.



Obrázek 2: Rozdělení mikroplastů podle velikosti v nejmenovaných úpravnách pitné vody a) před úpravou, b) po úpravě (Pivokonsky a kol. 2018).

V České republice bylo provedeno několik experimentů, které měly prokázat výskyt mikroplastů v pitné vodě. Jeden z výzkumů se zabýval zásobníky pitné vody, které ale mají zůstat blíže neurčené. Byla zde odebrána upravená pitná voda s koncentracemi přibližně 445 kusů mikroplastů na 1 litr vody velké přehrady (WTP1), 340 kusů mikroplastů na 1 litr vody malé přehrady (WTP2) a 630 kusů mikroplastů na 1 litr vody říční (WTP3), viz Obrázek 2. Úpravou vody byly sníženy počty mikroplastů o 70 %, 81 % a 82 % oproti výskytu ve zdrojích pitné vody před úpravou (Pivokonský a kol. 2018).

Na Obrázku 3 je znázorněno rozdělení mikroplastů podle velikosti. Levý obrázek reprezentuje koncentrace mikroplastů v přepočtu na 1 litr vody před úpravou vody, obrázek vpravo po úpravě.



Obrázek 3: Rozdělení druhů mikroplastů na obou úpravárnách vody na řece Úhlavě a) úpravna na horním toku, b) na dolním toku. Na obrázku a) i b) je v levé části procentuální rozložení mikroplastů neupravené vody, v pravé rozložení mikroplastů po úpravě vody (Pivokonský a kol. 2020).

Koncentrace mikroplastů v úpravně pitné vody na řece Úhlavě byly úpravou vody sníženy na horním toku z 23 na 14 částic mikroplastů na 1 litr vody a na dolním toku z 1 296 na 151 částic na 1 litr vody. Na Obrázku 3 na levém grafu je vidět procentuální zastoupení druhů mikroplastů podle chemického složení před a po úpravě. Největší úspěšnost odstranění mikroplastů byla zaznamenána pro PTT, PP, EVA. Naopak nejméně úspěšně bylo odstraňování částic PE (Pivokonský a kol. 2020).

Z výsledků obdobných výzkumů vyplývá, že nejméně příznivé zdroje pro pitnou vodu z hlediska výskytu mikroplastů jsou řeky, které nad úrovní úpravní vody prochází většími městy nebo průmyslovými oblastmi.

3.5. ŠKODLIVOST MIKROPLASTŮ, VÝZKUM A VLIVY NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ

Zkoumáním procesů kolem mikroplastů se snaží výzkumníci vytipovat a předejít mnohým rizikům. Cyklus a pohyb mikroplastů v životním prostředí nejsou plně známy. Mikroplasty představují riziko hlavně z důvodů jejich rozsáhlého výskytu, dlouhé doby zdržení těchto částic v prostředí a tudíž do budoucna i kvůli jejich nahromadění.

Jedním dalších z problémů mikroplastů je, že mají potenciál na sebe vázat škodlivé perzistentní chemické látky (Li a kol. 2018). Zároveň díky jejich velikosti jsou snadno pohlcovány biotou. To pak dohromady vede k tomu, že může snadno docházet k přenosům látek mezi úrovněmi potravního řetězce a tudíž i k bioakumulaci (Rillig 2012). Vliv mikroplastů na živé organismy a lidské zdraví však není ještě zcela podrobně objasněn.

Výzkumníci se ve svých studiích v posledních letech zaměřují i na interakci mikroplastů s lidskými buňkami. Pokusy *in vitro* prokázaly, že některé mikroplasty mohou v buňkách zapříčinit poškození až zánik buňky tzv. oxidativním stresem. Jde o podobu buněčné toxicity, která může vést až k rakovině. V organismu ale každý den přirozeně zaniká a vzniká velké množství nových buněk a nyní nejsou žádné náznaky, že by příjem mikroplastů rovnováhu buněk vychyloval.

Škodlivé může být nejen přímé působení mikroplastů. Kromě něj je důležité se zabývat i vazbami toxických látek či mikrobiálním oživením povrchu mikroplastů a jejich následným průnikem do orgánů a tkání ve zvýšených koncentracích. Uvažuje se, jestli tyto bakterie nemohou negativně zasáhnout přirozené osídlení bakterií dýchacích cest či zažívacího traktu. Ty jsou důležitým prvkem dýchacího systému. V této oblasti také nejsou žádné důkazy, že by tento mechanismus reálně zasahoval a narušoval organismus. Díky početní převaze mikrobiomu je tento fakt i očekávaný.

Mikroplasty jsou tedy částice, u kterých se v současnosti řeší potenciální negativní vliv na lidské zdraví. Přítomnost v pitné vodě je nežádoucí. Snahou výzkumníků tedy je mapovat jejich výskyt v pitné vodě a hledat možnosti a způsoby odstranění během procesu úpravy vody.

V současné době není dostatek důkazů pro tvrzení, že mikroplasty ve vodě nebo životním prostředí obecně jsou pro člověka nebezpečné, nicméně možné dopady dlouhodobého působení mikroplastů na lidské zdraví jsou předmětem intenzivního výzkumu. Řada studií sleduje negativní vliv mikroplastů na vodních organismech, zvířatech nebo na buněčných kulturách. V případech těchto pokusů bývají zkoumané koncentrace mikroplastů mnohonásobně vyšší než ty, které jsou detekovány v životním prostředí. Podobné dávky jsou u člověka, který je vystaven mikroplastům z životního prostředí, naprosto nereálné. Evropský úřad pro bezpečnost potravin ESFA (European Food Safety Authority) v roce 2016 přezkoumal dostupné důkazy o mikroplastech a nanoplastech v potravinách. Odborníci zjistili, že je třeba získat více údajů o míře jejich výskytu v potravinách a o jejich potenciálních účincích na lidské zdraví (ECHA ©2018-2022).

Předmětem současných výzkumů je mimo jiné zjištění míry škodlivosti mikroplastů pro lidský organismus, rostliny a živočichy. Jejich potenciální škodlivost byla v mnoha případech prokázána (Jovanovic 2017). Toxicita některých druhů mikroplastů byla v jednom z výzkumů prezentována na mořských slávkách jedlých (*Mytilus edulis*) (von Moos a kol. 2012). Mikroplasty se u těchto mlžů dostávaly i do buněk a narušovaly biologické procesy organismu. V dalších výzkumech byl také prokázán vliv na ryby a jejich metabolismus (Javanovic 2017). Mikroplasty rybám narušovaly metabolismus a dostávaly se až do jejich jater. Naopak u řas (*Desmodesmus subspicatus*) byl pozorován přírůstek kolonie díky působení mikroplastů. To bylo pravděpodobně způsobeno tím, že řasa kolonizovala částice a rostla na jejich povrchu (Canniff a Hoang 2018; Gross a kol. 2016; Zhao a kol. 2020)

V České republice se ekotoxicita posuzuje podle vyhlášky č. 8/2021 Sb., o Katalogu odpadů a posuzování vlastností odpadů, v platném znění. Na základě této vyhlášky se vystavují bakterie *Aliivibro fischeri*, perloočka *Daphnia magna* Straus, řasa *Desmodesmus subspicatus* a salát *Lactuca sativa* ekotoxickým účinkům

zkoumané látky. Tabulka 1 ukazuje testované doby působení a limitní hodnoty. Pokud není splněna jedna nebo více limitních hodnot, je látka ekotoxická.

Tabulka 1 Požadavky na ekotoxicitu prostředí (vyhláška č. 8/2021 Sb.).

Zkušební organismus	Doba působení	Limitní hodnoty
Bakterie Aliivibrio fischeri	15 minut a 30 minut	neprokáže se ve zkoušce inhibice světelné emise bakterií větší než 50 % při expozici 15 minut ani při expozici 30 minut
Perloočka Daphnia magna Straus	48 hodin	procento imobilizace perlooček nesmí ve zkoušce přesáhnout 50 %
Řasa Desmodesmus subspicatus	72 hodin	neprokáže se ve zkoušce inhibice nebo stimulace růstu řas větší než 50 % ve srovnání s kontrolou
Salát Lactuca sativa	120 hodin	neprokáže se ve zkoušce inhibice nebo stimulace růstu kořene salátu větší než 50 % ve srovnání s kontrolou

Nedávné výzkumy na České zemědělské univerzitě neprokázaly ekotoxicitu samotných mikroplastů ve vodním prostředí v koncentracích, které se v přírodě vyskytují (Válová 2021). Organismy mikroplasty uvnitř svých těl nehromadily a vylučovaly je, což předpovídaly i jiné publikace (Kokalj a kol. 2017). Výzkum nicméně poukazuje na potenciál ekotoxicity při dlouhodobé expozici. Rovněž mohou být mikroplasty nositeli chemických látek, které jsou samy o sobě ekotoxické.

3.6. STANOVENÍ POČTU A TYPU MIKROPLASTŮ

Analýza mikroplastů v povrchových vodách se zaměřuje na množství nebo typy mikroplastů. V České republice, ale i ve světě dosud chybí (jednotná) metodika pro analýzu mikroplastů (Koelmans a kol. 2019). U odběru vzorků je vhodné, aby ho prováděl odborný personál a nikoliv dobrovolníci. Hrozí totiž významné znehodnocení vzorku, a tedy i vypovídající hodnota analýzy může být zkreslená. Vzorky mohou být také ovlivněny částicemi ze vzduchu, proto je vhodné zkracovat dobu expozice mimo oblast zkoumání na minimum (Koelmans a kol. 2019).

3.6.1. METODY VZORKOVÁNÍ

Při analýze mikroplastů se používá aktivní a pasivní odběr vzorků. Porovnání výsledků a koncentrací mezi jednotlivými výzkumy je možné pouze v omezené míře, obzvláště pokud není použita shodná metoda a stejné postupy (van Cauwenberghe a kol. 2015). Vzorky ze stojatých vod mohou být odebírány pouze aktivně, zatímco u vodních toků je možný i pasivní odběr. Důležité je také to, že některé typy mikroplastů jsou výrazně lehčí než voda a budou se tedy vyskytovat spíše u hladiny. Jiné se budou naopak koncentrovat u dna. Základní a nejjednodušší metodou aktivního odběru vzorků je odběr předem definovaného objemu vody do nádoby a následná analýza. Zpravidla se jedná o objem 1 litr. Tento princip je použit v několika případech (Greenpeace ©2019).

Běžně se pro aktivní odběr používá skleněná nádoba, která je opakovaně vymývána destilovanou nebo ultračistou vodou, aby bylo minimalizováno množství nežádoucích částic, které by mohly vzorek kontaminovat. Odběr by měl být proveden z reprezentativní části řeky nebo nádrže. Sklenice musí být poté uzavřena a vzorek izolován od okolního prostředí. Uzávěr by také neměl obsahovat materiály a nečistoty, které by mohly vzorek znehodnotit. V případě této práce bylo víčko s gumovým těsněním odděleno od vzorku hliníkovou folií. Vzorek je následně filtrován přes mřížku požadovaného rozměru pro zachycení částic předem definovaného rozměru. Určením množství a typu částic se zabývá následující kapitola. Tato metoda je aplikovatelná na stojaté i tekoucí povrchové vody.

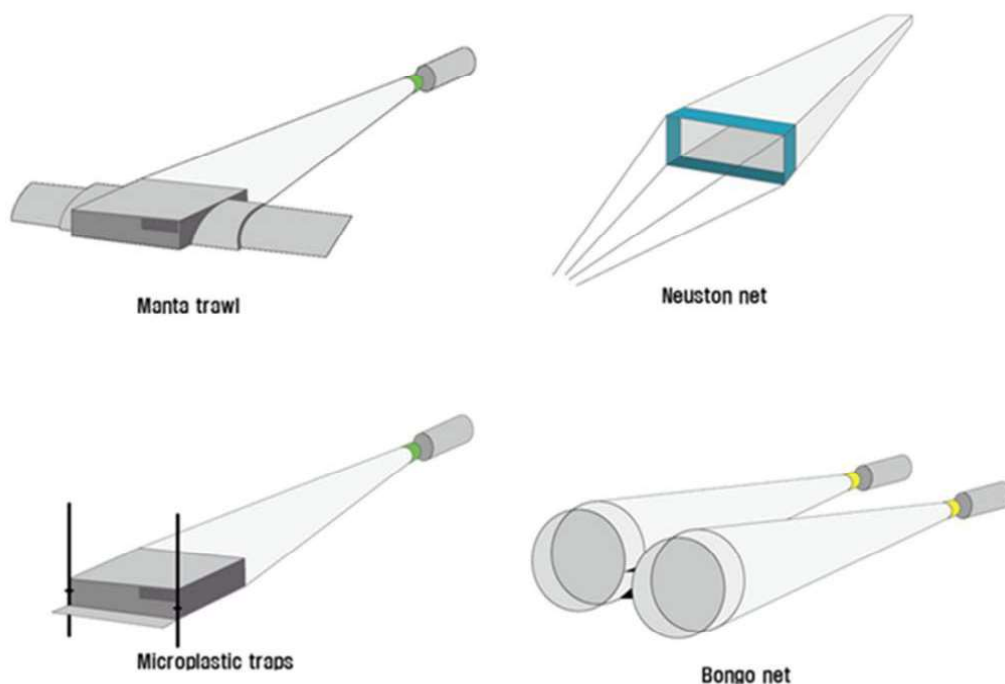
Další možností, která je výhodná u stojatých vod, je odběr vzorků pomocí síta, kterým je při odběru pohybováno vodorovným směrem. Typicky se jedná o vlečení za nebo vedle lodi. Plavidlo ovšem nesmí vzorek příliš ovlivnit a také se nesmí pohybovat příliš rychle. Pro filtrační síť typu Manta je doporučována rychlost odběru do přibližně 1,8 m/s. Vyšší rychlost už dramaticky snižuje skutečné množství vody, která sítí proteče v porovnání s relativní rychlostí sítě vůči vodě. Pro síť s velikostí oka pod 20 μm je doporučená maximální rychlost pohybu sítě vůči vodě přibližně 0,3 m/s. (Campanale a kol. 2020). Pro odběr vzorků v moři se doporučují volbu jedné ze tří následujících metod (Rocha-Santos a Duarte 2014):

- Vlečné síť jako například síť Manta, která je zobrazena na obrázku níže pro odběr vzorků z hladiny (Lee a kol. 2014);

- Síť Bongo pro odběr vzorků ze střední hloubky, dvojice sítí je zobrazena na obrázku níže (Cole a kol. 2011);
- Síť typu Benthic pro odběr vzorků ode dna stojaté vody.

Druhou možností jsou pasivní metody odběru vzorku. Principem této metody je uložení sítě pro zachytávání částic mikroplastů přímo do vodního toku po dobu minut až týdnů. Síť by mělo být v reprezentativní části průřezu koryta. Umístění je vhodné volit tak, aby nedocházelo ke zbytečnému znečištění a nehrozila ztráta sítě kvůli kolizi s plovoucími předměty. Zároveň je vhodné volit takové místo, na kterém je síť dostatečně maskována a nehrozí ovlivnění výsledků lidskou zvědavostí.

Tato metoda je vhodná do míst, kde voda sítí pro zachytávání mikroplastů protéká. Jedná se tedy o vodní toky, kde lze určit rychlost průtoku vody referenční plochou síta. Tím lze vypočítat objem, který referenční plochou protekl a stanovit objem vody, kterému odpovídá počet zachycených mikroplastů.



Obrázek 4: Druhy sítí, které se dají využít na zachytávání mikroplastů (Park a Park 2021).

Mezi nejběžněji používané sítě pro odběr mikroplastů patří síť manta, síť neuston, síť bongo, která vznikne spojením dvou sítí na plankton, a síť na mikroplasty (Campanale a kol. 2020; Park a Park 2021; Pasquier a kol. 2022) viz Obrázek 4. Mikroplasty je také možné zachytávat upravenými variantami nebo vlastními sítěmi.

Všechny varianty umožňují pasivní odběr ve vodních tocích, přestože pouze síť na mikroplasty je primárně určena k pasivnímu odběru.

Síť typu manta je slouží k přefiltrování velkého množství vody. Její křídélka u nátoky jí umožňují plout, takže jsou zachytávány částičky u hladiny, viz Obrázek 5. Pro zajištění funkčnosti je nutné síť aktivně pohybovat, ideálně pomocí lodi, čímž ale nesmí dojít ke znehodnocení výsledků. Tato síť ovšem zachycuje vzorky od velikosti 333 μm a existuje riziko ucpání. Zároveň většina mikroplastů menších než velikost oka sítě není zachycena, což při porovnání se sítí velikosti oka 100 μm může zachytit až 100x méně mikroplastů (Vermaire a kol. 2017). Doba vzorkování se doporučuje mezi 15 a 240 minutami. Cena této sítě se v roce 2020 pohybovala okolo 3 500 USD (Campanale a kol. 2020). Globálně se jedná o nejpoužívanější typ sítě na zachytávání mikroplastů na hladině moří (Pasquier a kol. 2022).



Obrázek 5: Vzorkování pomocí sítě manta na mořské hladině (Booth a kol. 2017).

Síť neuston je také určena ke sběru částic nebo organismů u hladiny a musí být tažena plavidlem. Velikost oka sítě je taktéž 333 μm a je zde srovnatelné riziko ucpání jako u sítě manta. Slovo *neuston* je označení pro organismy žijící v horních 10 cm vodního sloupce a bývá spojováno s mořským ekosystémem (VLIZ ©2009). Četnost

používání sítě typu manta pro zachytávání mikroplastů je přibližně 5x větší než četnost používání sítě neuston (Pasquier a kol. 2022). Tato statistika vychází z porovnání metod vzorkování publikovaných za posledních 10 let. Od roku 2014 lze říci, že je tento poměr v podstatě stabilní i přes zvýšení počtu publikací, které se výskytem mikroplastů zabývají. Tato síť má doporučenou dobu vzorkování cca 30 minut v roce 2020 stála přibližně 2 300 USD (Campanale a kol. 2020).

Pravý spodní výsek na Obrázku 4 reprezentuje dvojici sítí na plankton. Tato dvojice sítí, které jsou pevně spojeny, nese označení síť bongo. Jedná se o síť schopnou zachytit částičky od 100 μm . Slouží pro doby odběru kolem 30 minut v požadované hloubce. Pro odběry je opět nutné vzorkování z lodi, čímž se riziko kontaminace vzorku opět zvyšuje. Její cena byla v roce 2020 přibližně 2 400 USD (Campanale a kol. 2020).

Levý spodní výsek na Obrázku 4 je jako jediný originálně určen pro pasivní odběry mikroplastů. Anglické označení *microplastics traps* se dá přeložit jako síť na mikroplasty. Tyto sítě se upevní pomocí dvojice kolíků (nebo alternativním způsobem) ve vodním toku a po určitou dobu zachytávají částičky mikroplastů. Jejich výhodou je umístění do libovolného místa vodního toku a možnost vzorkování na více místech. Jedná se ovšem o metodu, kterou nelze aplikovat na stojaté vody. Velikost oka sítě se pohybuje mezi 100 a 300 μm . V roce 2020 odpovídala cena jedné sítě 1 200 USD (Campanale a kol. 2020).

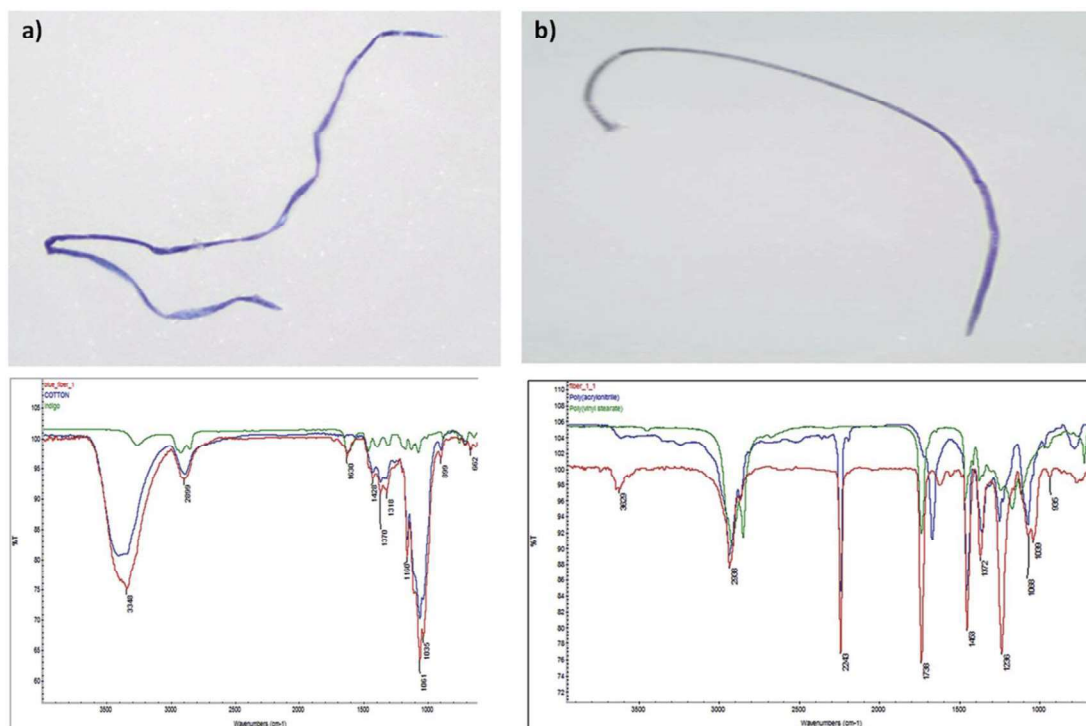
Výše vypsané metody vzorkování jsou finančně nákladné a ne všechny je možné použít v menších povrchových tocích. Při pasivním vzorkování trvajícím v řádu dní mohou větší filtrační aparatury vzbuzovat nežádoucí pozornost a mohou být ohroženy samotné vzorky mikroplastů. Tato práce se proto snaží cílit na zjednodušení a zpřístupnění vzorkovacího aparátu. Zároveň klade důraz na zmenšení vzorkovací sestavy pro možné použití i na horních tocích řek.

3.6.2. KVANTITATIVNÍ ANALÝZA

Kvantitativní analýza mikroplastů spočívá v určení jejich množství v daném vzorku. Jejich počet a tedy koncentraci ve vodním prostředí lze určit ze vzorku s výhradním zastoupením mikroplastů díky celkové hmotnosti mikroplastů (Masura

a kol. 2015) nebo jejich spočítáním pod mikroskopem nebo za pomoci jiného přístroje. Přesné určení počtu mikroplastů ve vzorku vyžaduje kvalitativní analýzu každé částice, což efektivně umožňuje infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací (FTIR) nebo Ramanova spektroskopie.

Při zjišťování počtu mikroplastů je třeba nejprve oddělit ostatní částice podobných tvarů od částic mikroplastů. Odlišit mikroplasty od ostatních částic je vizuálně někdy složité až nereálné. Proto se doporučuje kvantitativní analýzu doplnit o kvalitativní (Dyachenko a kol. 2017). ukazuje rozdíl mezi vláknem bavlny a mikroplastem. Při vizuální analýze se obě vlákna tváří identicky, ale po spektroskopické analýze FTIR je materiál odlišen.



Obrázek 6: Rozdíl mezi vláknem bavlny (a) a mikroplastem (b) (Dyachenko a kol. 2017).

Terénní metodou pro ověření, zda je částice mikroplastem, je zkouška *hot needle test*. Jedná se o zkoušku, kdy se nahřátá jehla dotkne každé částice a zjišťuje se, zda se začne tavit. Pokud ano, tak se s největší pravděpodobností jedná o mikroplast. Laboratorně se pro odlišení mikroplastů a ostatních částic používá barvivo jako bengálská červeň nebo fluorescenční barvivo Nile Red (Silva a kol. 2018). Tím dojde k obarvení organického materiálu ve vzorku, zatímco mikroplasty zůstanou bez zbarvení. Pomocí mikroskopu je poté možné identifikovat a určit počet

mikroplastů ve vzorku. Tento postup je ovšem časově velmi náročný a použitelný pouze pro malé vzorky a nízké počty zachycených mikroplastů.

V postupech se dále uplatňuje sušení a rozklad biologické hmoty pomocí peroxidu vodíku. Sušením dojde k determinaci pevných částic a ke zlepšení zpracovatelnosti. Peroxid vodíku rozloží nežádoucí organickou hmotu (Masura a kol. 2015).

Konkrétních postupů při kvantitativní analýze je několik, pro názornost byl vybrán jeden z nich (Masura a kol. 2015). Proces začínal vzorkováním ve vodním prostředí. Po odebrání vzorku došlo k jeho zapečetění, aby nedošlo ke znečištění, a následoval převoz do laboratoře. V laboratoři byly částice ze sítě vyplaveny a přefiltrovány přes hrubé sítko. Tím byl vzorek zbaven hrubých částic. Následovalo sušení v teplotách, při kterých nedochází ke znehodnocení plastů.

Vzorek byl následně vystaven působení 30% peroxidu vodíku, čímž došlo k rozkladu nežádoucí organické hmoty. Jiné výzkumy používají i 40 % peroxid vodíku (Samandra a kol. 2022). Mikroplasty byly od zbylých částic separovány metodou hustotní flotace. Oddělené částice s vysokým podílem mikroplastů byly vysušeny a zváženy, aby byla určena jejich koncentrace ve vodním prostředí. Takto oddělené mikroplasty by mohly být analyzovány také kvalitativně.

Při kvantitativní analýze většího rozsahu lze aplikovat jiný postup než pomocí barviva. Mezi procesy, které oddělují částice mikroplastů od ostatních na základě fyzikálních a chemických principů, patří:

- Filtrace;
- Hustotní flotace;
- Vzduchová flotace;
- Elutriace;
- Vysokotlaká extrakce;
- Pomocí elektrostatického odlučovače.

FILTRACE

Tato nejjednodušší metoda oddělování částic využívá jejich rozdílné velikosti. Pomocí mřížky požadované velikosti jsou odděleny částice větší velikosti od zbytku vzorku.

HUSTOTNÍ FLOTACE

Tato metoda využívá rozdílné hustoty mikroplastů a ostatních částic (van Cauwenberghe a kol. 2015). Do vzorku se přidá nasycený solný roztok jako například Chlorid sodný (NaCl), Chlorid zinečnatý ($ZnCl_2$) nebo Jodid sodný (NaI). Zatímco většina ostatních částic se usadí u dna, mikroplasty zůstanou na hladině, nebo rozptýlené v roztoku. Odebraný roztok s mikroplasty se následně zfiltruje. Tento postup ovšem nemusí zachytit všechny mikroplasty a tak se doporučuje provést několikrát například i za použití jiného solného roztoku (Rocha-Santos a Duarte 2015).

VZDUCHOVÁ FLOTACE

Vzduchová flotace využívá k oddělení pevných částic bublinky vzduchu. Ty unášejí částice mikroplastů k hladině, kde mohou být následně odebrány. Tento proces je také využíván v čistírnách odpadních vod (Envi-pur ©2023).

ELUTRIACE

Mikroplasty lze od ostatních částic separovat také elutriací, což je proces, při němž proudí kapalina nebo vzduch proti směru sedimentace. V závislosti na rychlosti proudění kapaliny nebo vzduchu jsou částice podle poměru hmotnosti a plochy unášeny proudem a odebírány (Claessens a kol. 2013).

VYSOKOTLAKÁ EXTRAKCE

Vysokotlaká metoda extrakce za pomoci rozpouštědla využívá principu rozpustnosti mikroplastů. Výrazným zvýšením tlaku a teploty dojde ke zrychlení

procesu rozpouštění požadovaných látek, které jsou následně ze vzorku odděleny. Tím ovšem dojde k jejich znehodnocení (Fuller a Gautam 2016).

POMOCÍ ELEKTROSTATICKÉHO ODLUČOVAČE

Použitím Korona-Walzen-Scheiderova elektrostatického odlučovače je možné oddělit částice mikroplastů v závislosti na vodivosti a schopnosti nést náboj. Tímto procesem je možné dosáhnout úspěšnosti separace mikroplastů přes 95 %. Metoda je ovšem podmíněna kvalitní přípravou, vysušením vzorku a oddělením částic, aby se navzájem neovlivňovaly (Felsing a kol. 2018).

3.6.3. KVALITATIVNÍ ANALÝZA

Kvalitativní analýza zahrnuje několik metod pro určení typu mikroplastu. Základními metodami jsou:

- Infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací (FTIR);
- Plynová chromatografie s hmotnostní spektrometrií (GC-MS);
- Ramanova spektroskopie (RS);
- Skenovací elektronová mikroskopie / energetická disperzní spektroskopie (SEM-EDS);
- Rentgen-fluorescenční spektrometrie (XRF).

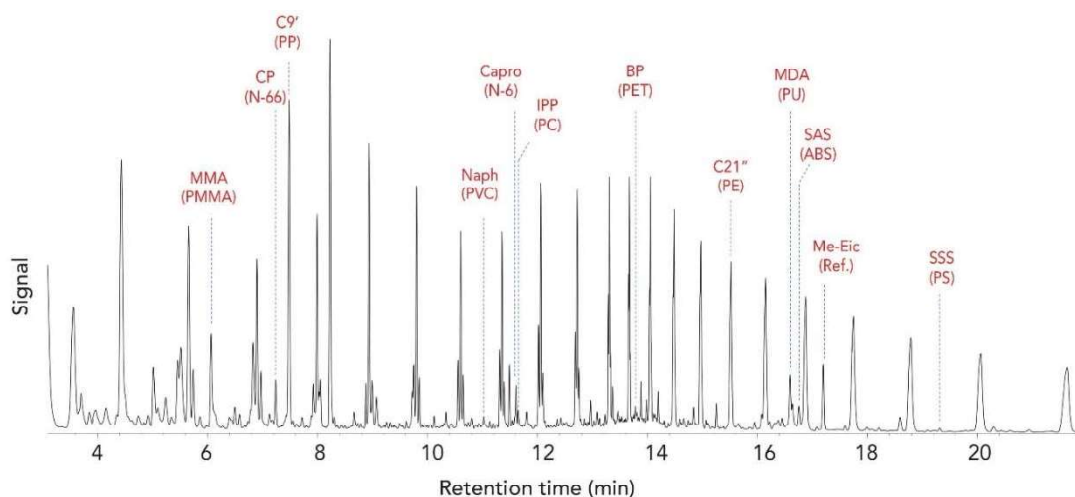
Vhodnost použití těchto metod potvrzuje několik článků, přičemž některé z nich se zaměřují na porovnání těchto metod (Hermsen a kol. 2018; Löder a kol. 2015; Rocha-Santos a Duarte 2015).

INFRAČERVENÁ SPEKTROSKOPIE S FOURIEROVOU TRANSFORMACÍ

Tato metoda bývá označována zkratkou FTIR nebo FT-IR (*Fourier transform infrared spectroscopy*). Principem této nedestruktivní metody je úplná nebo částečná absorpce určitých vlnových délek vyzářeného infračerveného záření vzorkem. Pomocí Fourierovy transformace je poté identifikován materiál částice na základě referenčního vzorku (Rocha-Santos a Duarte 2015). Identifikaci částic pomocí této metody je zobrazena na Obrázku 6.

PLYNOVÁ CHROMATOGRRAFIE S HMOTNOSTNÍ SPEKTROMETRIÍ

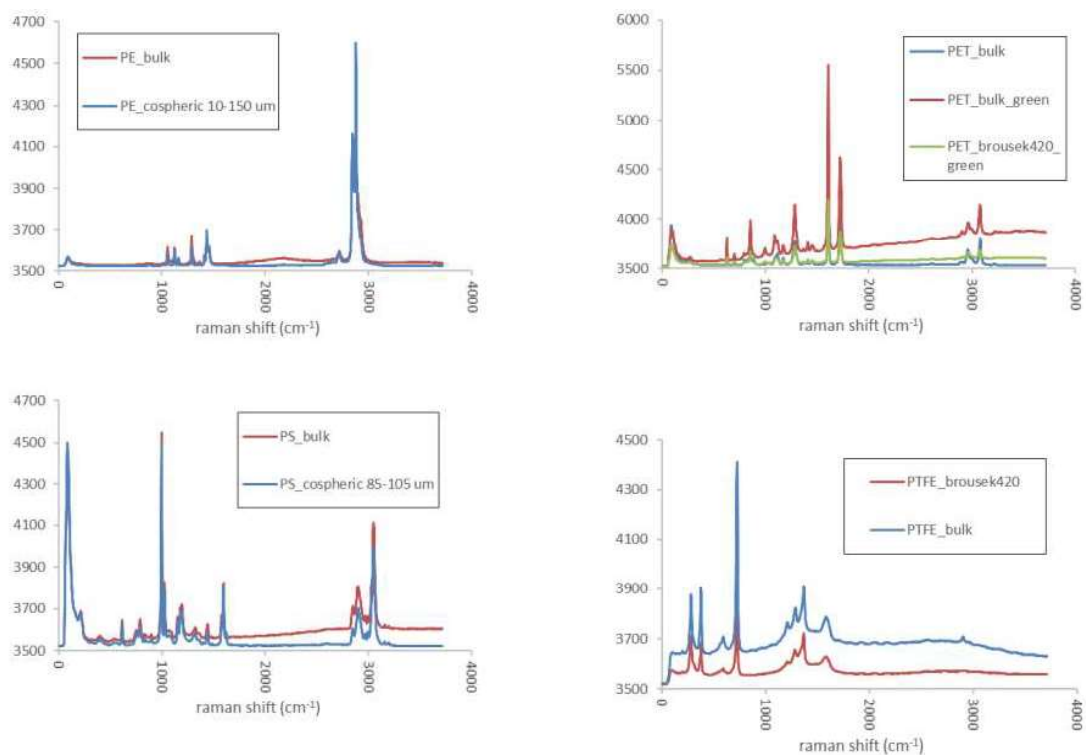
Tato metoda se označuje zkratkou GC-MS (*gas chromatography – mass spectrometry*) a označuje destruktivní metodu, která je založena na postupném odpařování vzorku. Vzorek je dále ionizován a molekuly se rozkládají na ionty. Podle poměru náboje a hmotnosti dochází k identifikaci iontů (Chromathographyonline ©2021).



Obrázek 7: Výsledky analýzy GC-MS (Chromathographyonline ©2021).

RAMANOVA SPEKTROSKOPIE

Jedná se o nedestruktivní metodu pro kvantitativní i kvalitativní analýzu vzorku označovanou zkratkou RS (*Raman spectroscopy*). Analýza probíhá na principu předání energie molekule zkoumané látky pomocí fotonů. Molekula se pak dostává do vyššího vibračního stavu. Následně dochází k uvolnění energie ve formě vyzáření fotonu specifické vlnové délky a tím dochází k její identifikaci. Rozdíl vlnové délky fotonu vyzářeného přístrojem a fotonu vyzářeného vzorkem se nazývá Ramanův posun (*Raman shift*). Výsledkem je spektrum vyzáření zkoumanou látkou. Obrázek 8 ukazuje shodu vyzářených vlnových délek, respektive možného posunu Ramanova spektra u různých vzorků téhož plastového materiálu (Rocha-Santos a Duarte 2015).



Obrázek 8: Posun Ramanova spektra pro různé vzorky (Wimmerová a kol. 2021).

SKENOVACÍ ELEKTRONOVÁ MIKROSKOPIE / ELEKTRONOVÁ DISPERZNÍ SPEKTROSKOPIE

Tato metoda se označuje zkratkou SEM-EDS (*Scanning Electron Microscopy – Energy dispersive spectroscopy*) a využívá elektronový mikroskop. Vzorek je umístěn do vakua, aby nedocházelo k rozptýlení proudu elektronů a zkreslení výsledků. Urychlené elektrony jsou vysílány na povrch vzorku, kde jsou ovlivněny elektrony vzorku. Pomocí detektoru pak lze vyhodnotit prvkové složení vzorku (Rocha-Santos a Duarte 2015).

RENTGEN-FLUORESCENČNÍ SPEKTROMETRIE

Při této nedestruktivní metodě označené zkratkou XRF (*X-ray fluorescence*) dochází k ozáření vzorku rentgenovým paprskem nebo gama paprsky. Tím dochází k vybuzení energetických stavů elektronů ve vzorku a následnému uvolnění energie ve formě sekundárního rentgenového záření. Detekovaná energie a síla signálu je poté porovnána s charakteristickou odezvou konkrétních prvků a dochází k identifikaci konkrétních prvků a jejich množství ve vzorku.

Rentgenové fluorescenční spektrometry se dělí na dva druhy. První je vlnově disperzní XRF spektrometr, který pro vyhodnocení vyžaduje větších přístrojů a má větší spotřebu energie. Principem vyhodnocení je izolace jednotlivých vlnových délek difrakcí na krystalu. Druhý druh, tedy energeticky disperzní XRF spektrometr, používá pro vyhodnocení menších a levnějších přístrojů a sekundární rentgenové záření je analyzováno najednou polovodičovým detektorem. Ten mění energii záření na elektrické pulzy (VŠCHT Praha ©2020).

3.7. MOŽNOSTI ODSTRAŇOVÁNÍ MIKROPLASTŮ

Mikroplasty jsou z vodního prostředí odstraňovány zejména v úpravně pitné vody nebo v čistírně odpadních vod. Většina zde používaných metod mikroplasty nerozkládá, ale pouze separuje. Množství takto zachycených mikroplastů neposkytuje globální řešení a je nutné najít efektivnější metody (Du a kol. 2021).

Proces, který v úpravkách vody způsobuje degradaci organického materiálu včetně mikroplastů, je ozonizace. Při tomto procesu je do vody přidáván ozon. V kombinaci s adsorpcí částic pomocí granulovaného aktivního uhlí může být redukce množství mikroplastů ve vodním prostředí výrazná. Některé studie udávají až 90 % (Hidayaturrahman a Lee 2019). Ovšem pro ověření, zda je ozonizace vhodným řešením pro plošný rozklad mikroplastů ve vodním prostředí, zatím chybí data. V přehledových studiích o možnostech rozkladu mikroplastů se možnost ozonizace nezmiňuje (Du a kol. 2021).

Jednou z metod degradace a alespoň částečného rozkladu řetězců mikroplastů je dlouhodobé působení UV záření (Wang a kol. 2013; Guo a Wang 2019; Zhu a kol. 2019). Tato metoda je ovšem časově náročná a není jasné, jak by se aplikovala plošně. Mikroplasty mohou být s vysokou úspěšností likvidovány pomocí některých těkavých látek, což je ale doprovázeno vznikem mnoha škodlivých vedlejších produktů. Nejedná se tedy o akceptovatelnou variantu pro širší využití (La Nasa a kol. 2020).

Mezi nadějnější metody patří pokročilé oxidační procesy AOPs (*advanced oxidation processes*) a biologická degradace. Oběma metodami mohou být mikroplasty rozloženy až na vodu a CO₂ (Silva a kol. 2018). Z oxidačních procesů se nejúčinnější zdá být rozklad elektrochemickou oxidací. Při tomto procesu

je struktura mikroplastů narušována chemickou reakcí s ionty vzniklými elektrolýzou (Du a kol. 2021).

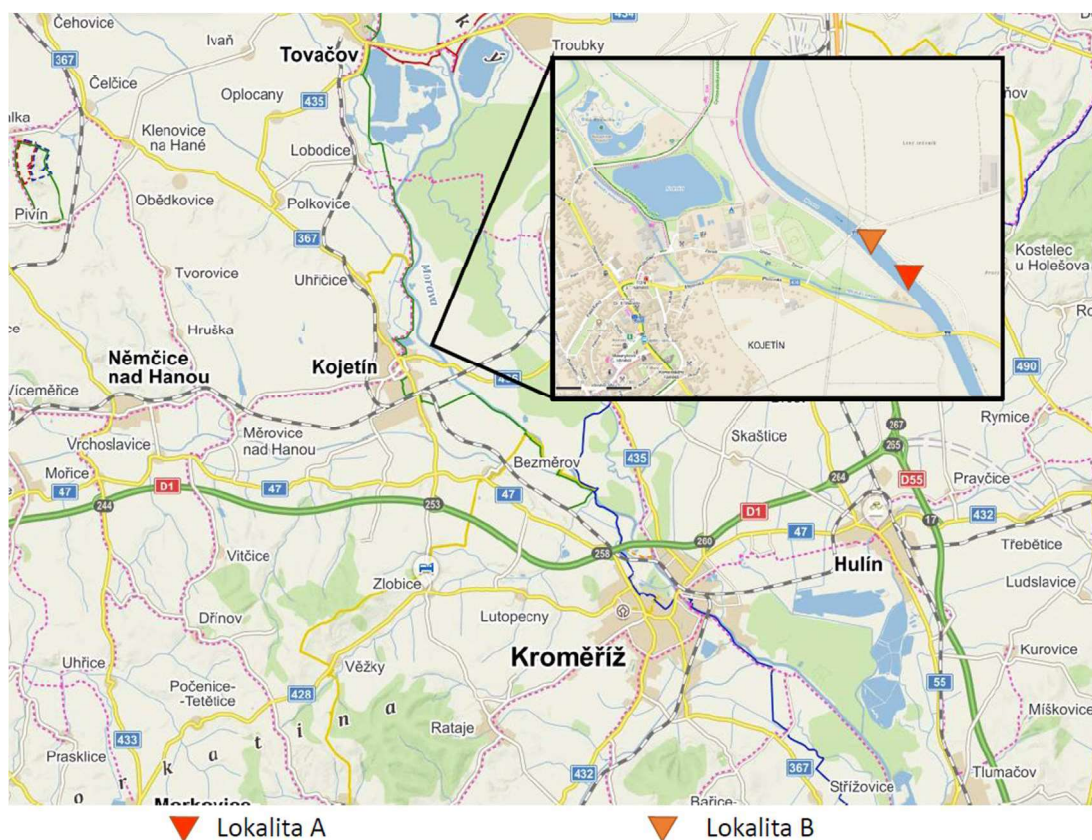
Oproti tomu biodegradace využívá specifické mikroorganismy, které jsou schopny rozkládat určité polutanty včetně mikroplastů (Brooks a kol. 2011; Kreueger a kol. 2015). Tyto mikroorganismy konzumují a pomocí enzymů rozkládají syntetické polymery až na molekuly CO₂, N₂, CH₄, vody a H₂S. Dosud získané výsledky vypadají slibně pro plošné použití této metody (Du a kol. 2021)

Další slibnou metodu pro odstranění mikroplastů z vodního prostředí je ferrofluid, což je tekutá suspenze magnetických nanočástic. Mikroplasty se nejprve nachytají na kapalinu, následně je pomocí magnetu kapalina společně s mikroplasty vytažena. Tato metoda má úspěšnost záchytu mikroplastů kolem 87 % (Fionnferreira ©2021).

4. CHARAKTERISTIKA STUDIJNÍHO ÚZEMÍ

Vybraná studijní území reprezentují vzorky povrchové vody na třech moravských a dvou českých řekách. Území byla před výběrem lokalit prozkoumána a byly vytipovány nejvhodnější umístění (lokace). Při vyhledávání místa hrála roli dostupnost, aby mohly být české či moravské vzorky rozmístěny během 1 – 3 hodin. Dále také pozice vůči městu, možnosti realizace plovákové metody, přístupnosti pro umístění vzorkovače, ale i přístupnosti pro zvěř či okolní obyvatelstvo a jejich mazlíčky, protože jejich nalezení vzorku by mohlo vzorek znehodnotit, poškodit či způsobit jeho ztrátu. Celkově se také dbalo na to, aby jednotlivé lokace umístění vzorků měly jistou podobnost a výsledky tak byly po provedení přepočtů na průtok filtrem srovnatelné.

4.1. ŘEKA MORAVA



Obrázek 9: Lokace na řece Moravě o souřadnicích 49.3543825N, 17.3181747E (Lokalita A) a 49.3561400N, 17.3153853E (Lokalita B) (vlastní zpracování dle: Mapy.cz ©2022).

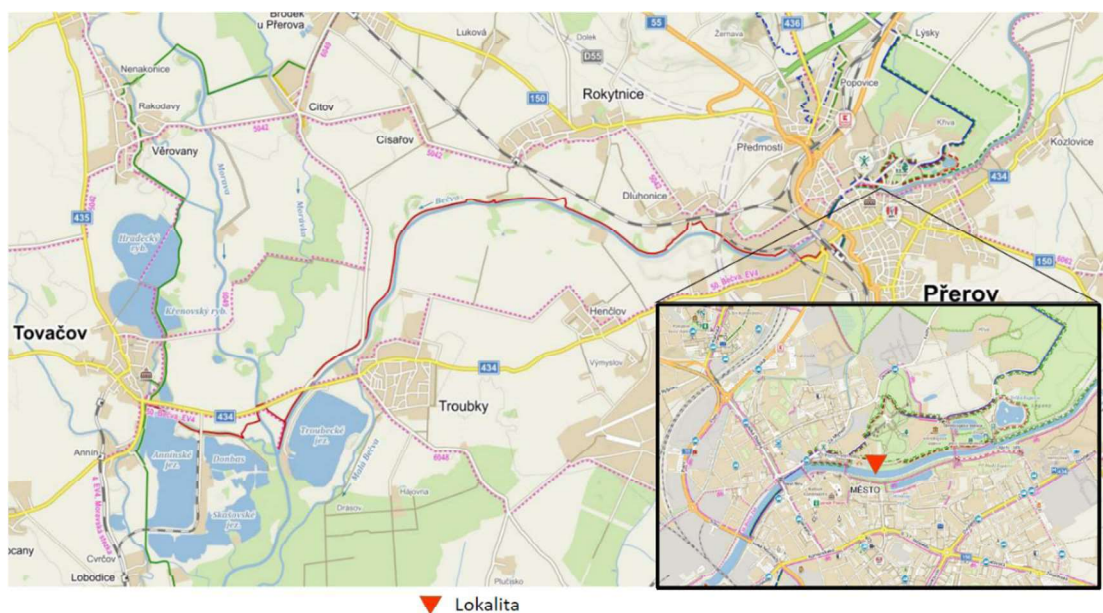
Na řece Moravě bylo vybráno místo u loděnice Kojetín. Lokace disponovala dřevěným moem, viz Obrázek 10, a vzorky se tak lépe umísťovaly do reprezentativního proudu. Zároveň se zde dobře prováděla plováková metoda.

Město Kojetín se zároveň nachází opodál a Mlýnský náhon protékající městem se vlévá do Moravy až za loděnicí, takto by měla být vyloučena případná expozice vlivem přečištění vody v ČOV či jiných urbanistických důsledků, viz Obrázek 9. Místo je ale oblíbené rybáři a je zde aktivní vodácký klub. Po domluvě se správcem loděnice byla tedy vybrána část mola, kde bylo umístění vzorkovnice nejvhodnější a nehrozila vyšší pravděpodobnost utržení vzorku pádlem či koupáním dětí v řece. I tak na tomto molu, v lokalitě A, šlo o celkem živé místo a vzhledem k podzimnímu zazimování mola bylo nutné místo odběru při druhém vzorkování přesunout o 200 m proti proudu do lokality B, zde byl vzorek chráněn vegetací. Břehy Moravy jsou v tomto místě příkré, těžko dostupné a dno koryta tvořeno bahnem. Šířka koryta je v místě zhruba 55 m. Při dešťových přeháňkách, zvýšení hladiny a zakalení vody se proto na filtrech nacházel jemný nános.



Obrázek 10: Lokalita A (vlevo) a Lokalita B (vpravo) (vlastní zpracování dle: Mapy.cz ©2022).

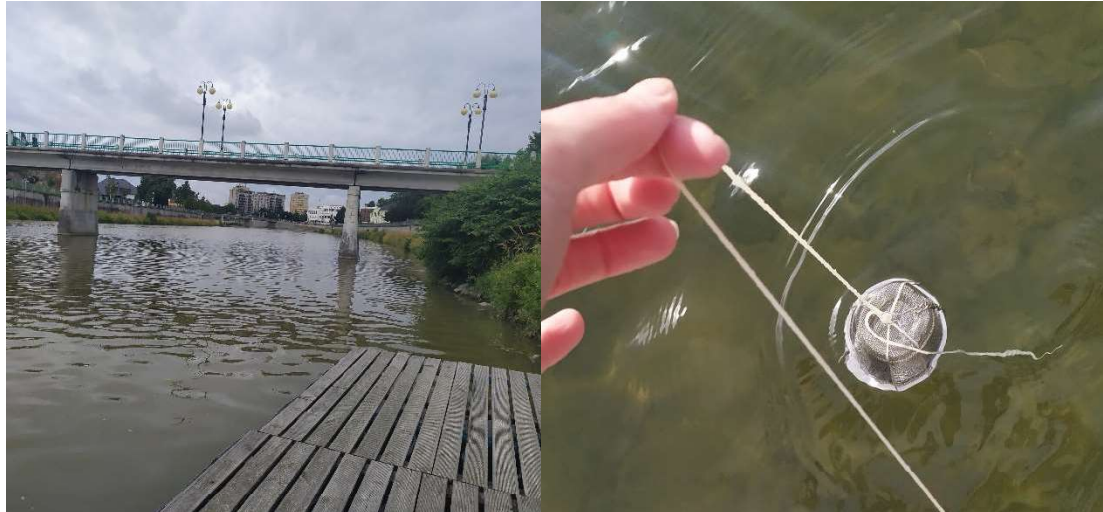
4.2. ŘEKA BEČVA



Obrázek 11: Lokace na řece Bečvě o souřadnicích 49.4570692N, 17.4532550E (vlastní zpracování dle: Mapy.cz ©2022).

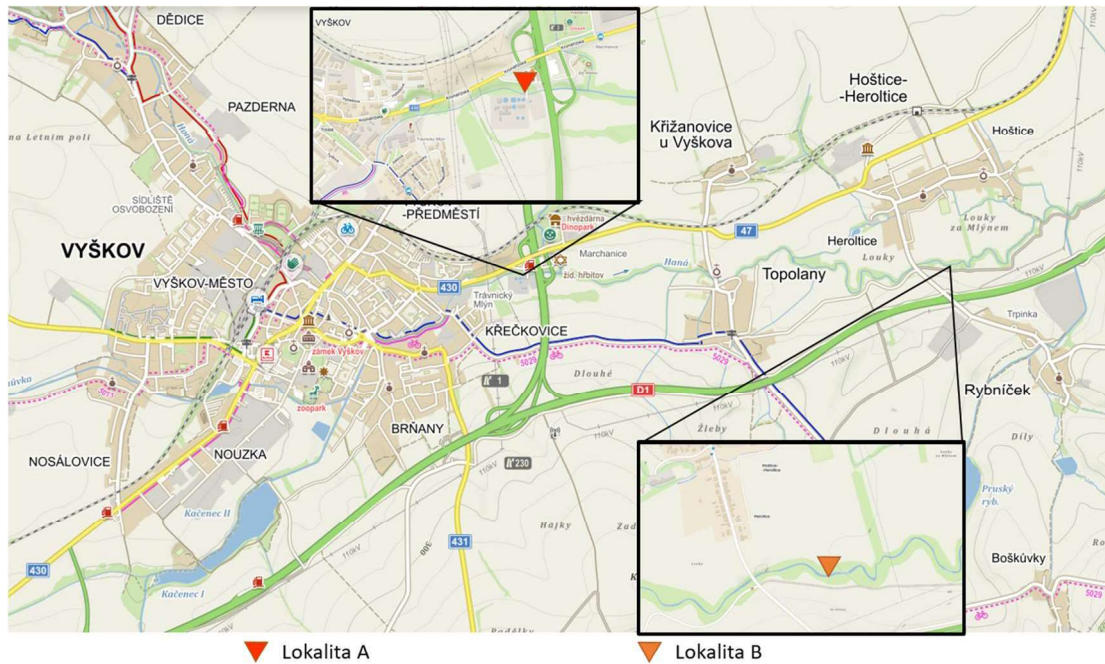
Na řece Bečvě bylo složité najít ideální lokalitu, která by byla dostupná a vzorkovnice by se dala bezpečně umístit do reprezentativního průtoku řeky. Nakonec bylo tedy vybráno místo přímo ve městě Přerov, viz Obrázek 11, ale nacházející se ještě před celkovou infrastrukturou města a zaústěním ČOV. Lokace se nachází ve zdejší loděnici, kde se opět využilo zachycení vzorků za dřevěná mola.

Koryto bylo v daném místě zhruba 70 m široké, opět s hlubokými břehy mnohdy zpevněnými a opatřenými protipovodňovými valy, viz Obrázek 12. Dno řeky bylo převážně písčité, jen místy bahnité. U těchto vytažených filtrů si tak bylo potřeba poradit s jemnými pískovými zrníčky. Zde neprobíhalo podzimní sklízení dřevěných mol, a tak mohla být lokace vzorku zachována po celou dobu práce. K aktivní činnosti vodáckého klubu byly navíc využívány vedlejší mola. Bečva je opět oblíbenou řekou rybářů, nicméně poškození vzorku jejich činností v tomto místě také nehrozilo.



Obrázek 12: Vzorkování na řece Bečvě.

4.3. ŘEKA HANÁ



Obrázek 13: Lokace na řece Hané o souřadnicích 49.2806472N, 17.0194919E (Lokalita A) a 49.2815619N, 17.0607042E (Lokalita B) (vlastní zpracování dle: Mapy.cz ©2022).

Také v tomto případě nebylo jednoduché najít vhodné místo. Schované úseky Hané jsou ukryty bujnou vegetací a řeka zde nahodile meandruje (viz Obrázek 13), což komplikovalo měření plovákovou metodou. Zároveň umístění před městem bylo nevhodné, protože je zde aktivní společenský život. V okolí řeky se nachází městský park s dětskými hřišti, lokalita je oblíbená pro venčení psů, kteří se rádi v Hané koupají. Dále proti proudu se nachází obec Dědice, ve které dochází k soutoku Velké

a Malé Hané a řeka je zde již dále výrazně menší, zároveň je lokalita protkána cyklostezkami a turistickým ruchem. Proto byla nejprve zvolena poklidná lokalita za městem Vyškov, vzorky zde ale bohužel byly poškozovány kachnami a okolní zvědavými spoluobčany. Z důvodu natrženého letního provazu a ztraceného podzimního vzorkování byla pro další etapy experimentu zvolena lokalita nová. Ta byla sice těžko přístupná, ale lépe se zde prováděla plováková metoda. Šířka koryta v obou místech se pohybovala na pomezí 10–12 m.

Charakter dna byl zde podobný jako u řeky Bečvy, opět převažoval výskyt písكو-šterkového dna, s místy na bocích bahnitými. Tato směs pak byla opět nacházena na filtrech. V lokalitě A byly břehy velmi vysoké a strmé, vzorek se proto umisťoval z mostu, viz Obrázek 14. U umístění vzorků v lokalitě B výška břehu činila přibližně 1 m, vzorek se tedy umisťoval snadněji přímo z břehu.

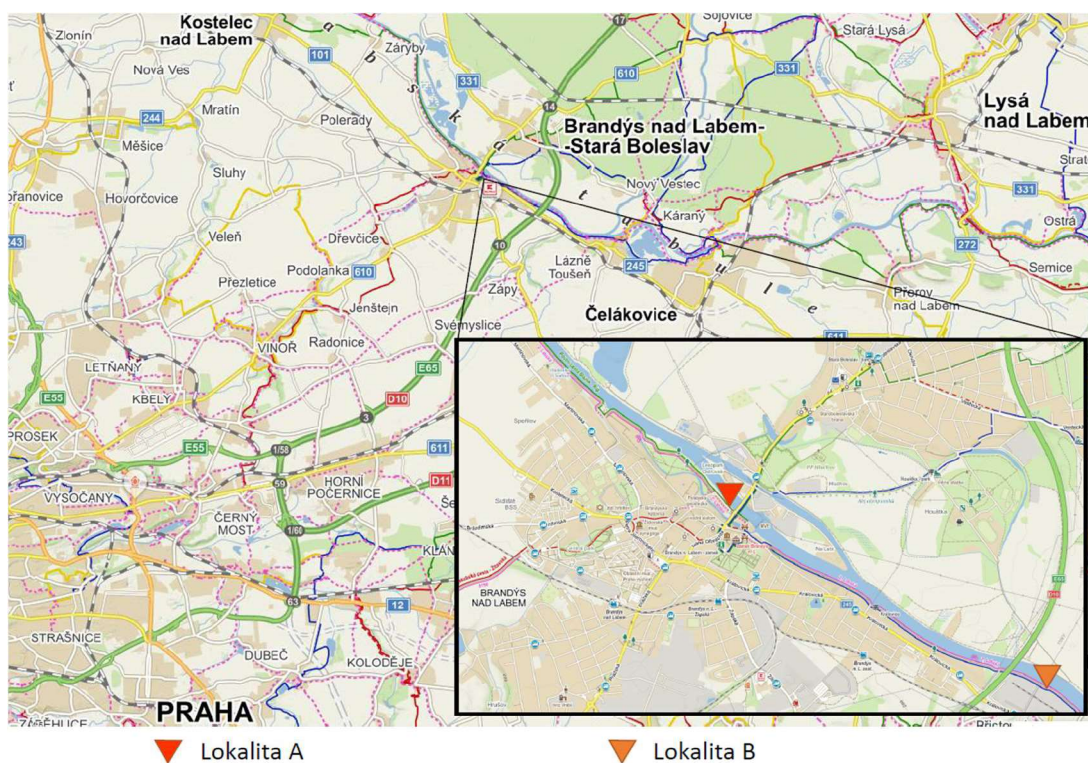


Obrázek 14: Způsoby vzorkování na řece Hané, Lokalita A (vpravo), Lokalita B (vlevo).

4.4. ŘEKA LABE

Výběr místa pro vzorkování v ideální lokalitě řeky Labe komplikoval opět střet mezi dostupností lokace a okolním ruchem. První lokalita A se nacházela ve městě Brandýs nad Labem, viz Obrázek 15. Šířka koryta byla v tomto místě zhruba 70 m. Místo se ale ukázalo jako často exponované korzujícími lidmi po nábřeží, rybáři

a kachnami, které odlesky vzorkovací sestavy lákaly. Lokalita A byla s nízkým břehem a dobře dostupná, jak pro umístění vzorku, tak provedení plovákové metody, naopak ale náchylná pro vyšší stavy hladin, kdy byly vzorky na podzim 2021, z důvodu přívalové srážky, odneseny. Proto byla následně vybrána lokace B. Toto místo bylo položeno přibližně 2 km proti proudu a v klidné zóně před městem.



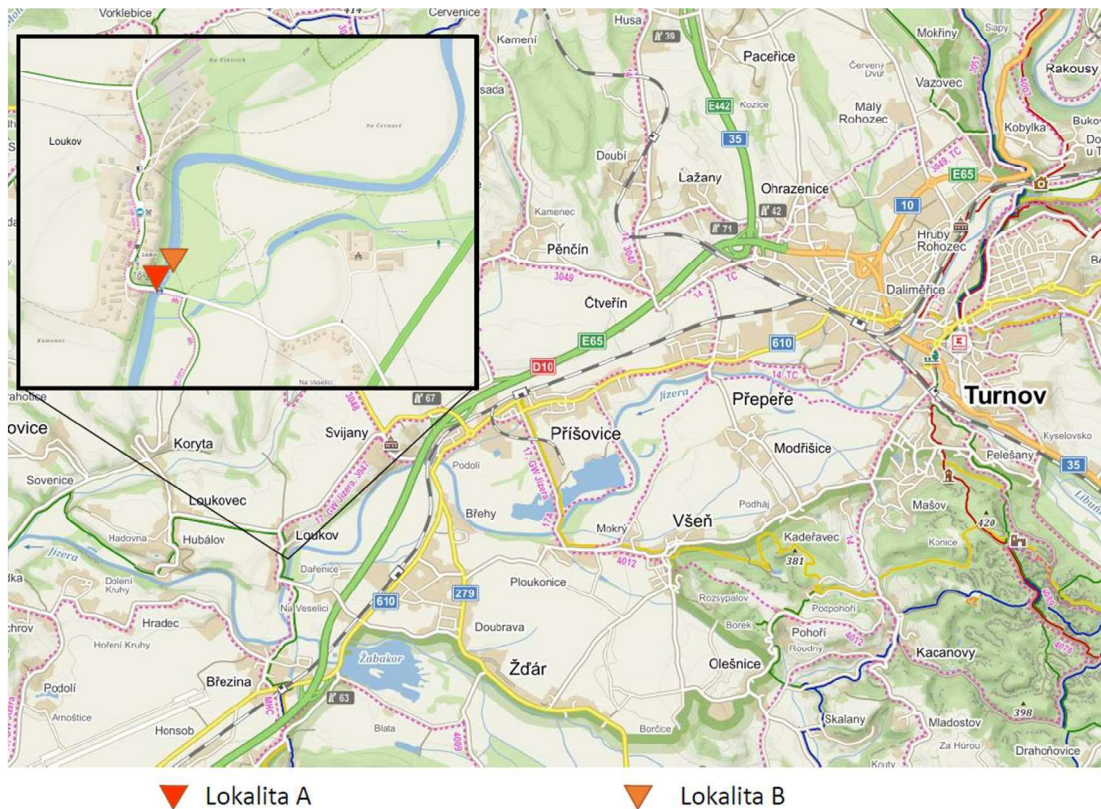
Obrázek 15: Lokace na řece Labi o souřadnicích 50.1895039N, 14.6653681E (Lokalita A) a 50.1792331N, 14.6928553E (Lokalita B) (vlastní zpracování dle: Mapy.cz ©2022).

U lokality B bylo koryto šířky zhruba 75–80 m. Břehy vysoké, dostupné, ale holé travnaté bez vegetace (viz Obrázek 16, vpravo), na kterou by šel vzorek připevnit. Proto bylo vybráno umístění vzorku z vysoké přistavní rampy, kde bylo možné provaz dobře uchytit. V obou lokalitách bylo dno řeky převážně bahnité. Při filtraci tak nebyl zaznamenán problém s nánosy na sítkách. Tato skutečnost mohla být také způsobena faktem, že například vzorkovací sestavy lokality B byly dále od případně vířícího se dna. Obě lokality se opět podařilo umístit tak, aby byly před výtokem z ČOV.



Obrázek 16: Lokalita A (vlevo), Lokalita B (vpravo).

4.5. ŘEKA JIZERA



Obrázek 17: Lokace na řece Jizeře o souřadnicích 50.5578872N, 15.0366019E (Lokalita A) a 50.5585958N, 15.0370472E (Lokalita B) (vlastní zpracování dle: Mapy.cz ©2022).

U řeky Jizery bylo snadné najít dostupné a kryté místo. Komplikace však působily kulminace toku a deště, kdy jak na podzim 2021, tak jaře 2022 byly vzorky sebrány pravděpodobně vydatnějším tokem řeky či plovoucími předměty po deštích. V lokalitě A se místo vzorku nacházelo v blízkosti mostu. Tok se zde ale zužoval pod most, což mohlo vést k silnějšímu proudu a odnášení vzorkovacích sestav. Následně byly proto vzorkovací sestavy umístovány zhruba o 100 m výše proti toku řeky do lokality B, kde měla konkrétní lokace vzorku klidnější podmínky. Řeka Jizera měla podobný charakter jako Haná a Bečva. Dno koryta zde bylo písko-šterkovité, šířka koryta v místě vzorkování byla zhruba 30 m. Břehy byly příkré až kolmé, kromě lokality A – před mostem, viz Obrázek 18. Řeka zároveň v okolí tvořila četné meandry.



Obrázek 18: Lokalita A.

V případech, kdy musela být nalezena nová lokalita B, byl vždy kladen velký důraz na identickou charakteristiku lokality umístění vzorku a jeho okolí aby byly zachovány parametry vzorkování. Nejbližší ČOV se zde nacházely v přilehlých městech Svijany a Březina.

5. METODIKA

5.1. ČASOVÝ HARMONOGRAM PRŮZKUMU VÝSKYTU MIKROPLASTŮ

Měření probíhalo v předem vytipovaných lokalitách – na řece Moravě, Bečvě, Hané, Labi a Jizeře, v průběhu čtyř ročních období. Výtěžek vzorků z každého čtvrtletí ovlivňovaly antropogenní, klimatické a přírodní vlivy, a proto byla snaha o dodržení co nejbližších dat odběru reprezentující dané období. Pro případ možné ztráty z důvodů nepředvídatelných vlivů (např. přívalová srážka, poškození vzorku lidským faktorem) byly na každou lokalitu umisťovány 2 série vzorků se stejnou sestavou filtračních sít. Vzorkování tedy probíhalo pasivním způsobem, kdy byly vzorky umístěny na dané lokality na dobu čtrnácti dnů. Pouze v případě, že se vzorky nepodařilo odebrat, byl odběr proveden náhradní metodou aktivního odběru.

Pro účely zpracování této práce byly provedeny následující pasivní odběry reprezentující různá roční období:

Tabulka 2: Harmonogram pasivního odběru.

Pasivní metoda:	Léto 2021	Podzim 2021	Zima 2022	Jaro 2022
Morava	4. – 18. 8.	23. 10. – 6. 11.	5. 3. – 19. 3.	11. 5. – 25. 6. (2. pokus odběru)
Bečva	4. – 18. 8.	23. 10. – 6. 11.	5. 3. – 19. 3.	11. 5. – 25. 6. (2. pokus odběru)
Haná	4. – 18. 8.	15. 12. – 29. 12. (2. pokus odběru)	5. 3. – 19. 3.	11. 5. – 25. 6. (2. pokus odběru)
Labe	5. – 19. 8.	28. 11. – 12. 12. (2. pokus odběru)	27. 2. – 13. 3.	29. 5. – 12. 6. (2. pokus odběru)
Jizera	5. – 19. 8.	28. 11. – 12. 12. (2. pokus odběru)	27. 2. – 13. 3.	29. 5. – 12. 6. (2. pokus odběru)

U řeky Hané při ukončování prvního podzimního pokusu vzorkování v intervalu 23. 10. – 6. 11. 2021 nebyla vzorkovací síťka nalezena. Stejný problém se opakoval v témže období u řeky Labe a Jizery v intervalu 30. 10. – 13. 11. 2021, proto také došlo

na opakovaný odběr, který byl úspěšný až při druhém pokusu. V zimních měsících se čekalo na poslední fázi zimy, kdy budou už veškeré vzorkované úseky řek nezamrzlé. Při jarním vzorkování došlo díky lidskému faktoru a intenzivním deštům ke ztrátě vzorků v obdobích prvního vzorkování. Na řece Moravě, Bečvě a Hané proběhl první pokus v intervalu 1. 5. – 15. 5. 2022 a na řece Labi a Jizeře v období 8. 5. – 22. 5. 2022. Jelikož bylo během jarního vzorkování odneseno vše, přistoupilo se při druhém pokusu pasivní metodou současně i pro odběr aktivní metodou, pro případ, že by došlo opět k nenalezení vzorkovacích sad. Odběry aktivní metodou pro účely práce tedy proběhly v následujících ročních obdobích:

Tabulka 3: Harmonogram aktivního odběru.

Aktivní metoda:	Léto 2021	Jaro 2022	Léto 2022
Morava	23. 7. 2021	11. 5. 2022	27. 7. 2022
Bečva	23. 7. 2021	11. 5. 2022	27. 7. 2022
Haná	23. 7. 2021	11. 5. 2022	27. 7. 2022
Labe	27. 7. 2021	29. 5. 2022	30. 7. 2022
Jizera	27. 7. 2021	29. 5. 2022	30. 7. 2022

Záměrem prvního aktivního odběru bylo ověření a případná úprava metodiky zpracování vzorku včetně přípravy vzorkovnic a analýzy mikroplastů, která po a před sběrem vzorků vždy následovala. Při tomto prvním odběru bylo také účelem vytipovat si v lokalitách vhodná odběrová místa. Následně byly navrženy termíny pro pasivní odběry. Průzkum probíhal ve výše uvedených lokalitách moravských a českých řek. Z těchto důvodů byla snaha o co nejmenší rozdíl ve měřených časových intervalech v datech. Stejně termíny se povedly pouze v létě 2021, díky asistenci další osoby. Proto se přistoupilo k měření s týdenním posunem. Například, pokud se měřením začínalo u řek moravských, stejným dnem v následujícím týdnu začínalo měření v lokalitách řek českých. V případě, kdy při ukončení měření a sběru vzorků nebyly vzorky nalezeny, přistoupilo se k zahájení opakování vzorkování v nejbližším možném termínu. Celá série vzorkování pro účely práce byla zakončena opět aktivním odběrem, o rok později než v první době, pro celkový přehled výskytu mikroplastů.

5.2. PŘÍPRAVA VZORKŮ

K vzorkování bylo použito 10 vzorkovacích sestav. Pro každou řeku sloužily dvě sestavy. Jedna sestava obsahovala kovový filtr s 50 μm oky, kovový filtr s 500 μm oky, sítko (drátěný čajový košík či drátěná svorka) a vzorkovnici (sklenici) o objemu 400 ml.



Obrázek 19: Vybavení použité ve vzorkovacích sestavách.

Před vzorkováním, veškeré zmíněné předměty sestavy prošly čištěním, které zahrnovalo tři fáze:

1. Hrubé čištění – v této fázi se sklenice, košík/svorka, filtry zbavily případných hrubých nečistot běžnými prostředky na mytí nádobí.
2. Následně se součásti sestavy omyly 30 % peroxidem vodíku.
3. V třetím kroku nastal jejich důkladný oplach ultračistou vodou.

Po čištění se předměty vysušily v sušárně s nerezovým povrchem při 45 °C po dobu 24 hod.

Následně se pokračovalo kompletací dvojic sestav. Filtr s oky 50 μm a filtr s 500 μm se společně přiložily k sobě a umístily takto v páru do sítka. V každé dvojici se jeden pár filtrů umisťoval do drátěného čajového košíku a u druhé sestavy byl uložen do drátěné svorky. Sítko se pak zabezpečily proti případnému otevření

parafilmem a takto se vkládaly do vzorkovnic. Aby nedocházelo při převozu na lokality ke znehodnocení takto připravených filtrů, respektovalo se několik zásad. Na vzorkovnici se přikládala hliníková folie, přes kterou se sklenice zavíčkovala, aby se nekontaminovaly filtry v důsledku gumového těsnění na víčkách sklenic. V případě drátěných svorek se k zabezpečení používal parafilm, z důvodu jejich výšky (viz obrázek 20). Dále se vzorkovnice převážely v papírových taškách a samotná sítko se následně na lokalitách zavěšovala do vytipovaných míst pomocí lýkového provazu.

V případě, že byl realizován aktivní odběr, nebylo potřeba připravovat kompletní vzorkovací sestavu jako pro účely pasivního odběru. Za použití stejného postupu se vyčistily vzorkovnice společně s víčky. Pak se takto nachystané sklenice přiklopily hliníkovou folií, zavíčkovaly a narovnalý do papírových tašek.



Obrázek 20: Vzorkovací sestava s drátěnou svorkou.

5.3. ZPŮSOB ODBĚRU

Místa na lokalitách byla vybírána tak, aby k nim byl dobrý přístup, ale zároveň aby místo bylo schované před případnou lidskou činností (koupání, rybaření apod.). Dalším kritériem bylo, aby šlo o místo s dobře určitelnou rychlostí toku. Při pasivním odběhu bylo využíváno toho, že se filtry po ponoření do proudu v sítku natočily tak, že byly přibližně kolmo na směr toku vzorkovaných řek.

Po navázání sítěk na lýkový provaz, viz Obrázek 21, se sítko zavěsila na místa odběru, kde byla ponechána po dobu 14 dní. U aktivního odběru byl v témže místě proveden odběr vody do skleněné vzorkovnice jejím prostým ponořením do vody. Při sběru vzorkovacích sestav bylo sítko vytaženo a rovnou uloženo do nachystané sklenice i s částí ustřiženého provazu. Při veškeré manipulaci v terénu byla snaha předejít případným dalším zdrojům mikroplastů, a tak kontaminaci vzorků.



Obrázek 21: Způsob uvazování sítěk.

5.4. STANOVENÍ PRŮTOKU

Celkový průtok vody filtrem byl stanoven jako součin plochy filtru, doby expozice a rychlosti průtoku vody přes filtr. Rychlost toku byla stanovena plovákovou metodou, kdy byla jako plovák použita PET láhev o objemu 0,5 l. Ta se před použitím do třetiny naplnila vodou. Plovák se vypustil po proudu v části, kde byl původně umístěn vzorek a uplul vždy reprezentativní vzdálenost za daný čas. Použitý postup je dokumentován na Obrázku 22.

Plováková metoda byla zvolena pro její jednoduchost použití i ve složitějších úsecích řek. U řek Morava, Bečva a Labe byl vybrán úsek o délce 5 metrů. Řeku Jizeru reprezentoval úsek o délce 4 metry a na řece Hané byl pro rozmanitost terénu zvolen úsek o délce 3 metry, viz Obrázek 22, vpravo.

Při každém zahájení vzorkování bylo provedeno deset měření. Na základě zaměřených časových intervalů byly vypočítány rychlosti, které byly vynásobeny plochou kruhových filtrů a získaly se tak průtoky filtrem.

Pro výpočet byly použity vzorce níže:

$$S_s = \frac{\pi d^2}{4} \quad v = \frac{\text{délka úseku}}{\text{průměrný čas}} \quad Q = S_s * v$$

Kde: S_s – plocha síta; d – průměr síta (3,1 cm); Q – průtok filtrem



Obrázek 22: Ukázka plovákové metody (řeka Haná).

5.5. ANALÝZA VZORKŮ

5.5.1. POUŽITÉ PŘÍSTOJE A VYBAVENÍ

Během analýzy byly použity tyto přístroje:

1. Laboratorní sušárna
 - ED 115 (BINDER, Německo)
2. Binokulární mikroskop s videookulárem
 - MSZ 5000 – T – IL – TL (A. Krüss optronic, Německo)
 - Videokulár 5 Megapixel, 2 560 x 1 920 pixel, citlivost 1,0 V/Lux.sec@ 550 nm, USB 2.0 (A. Krüss optronic, Německo)
3. Sestava pro tlakovou filtraci
 - Vývěva membránová N86 (LABOPORT, Německo)
 - Filtrační sestava Sartorius stedim (Biotech, Německo)
4. Systém pro úpravu vody
 - PURELAB flex 1 (ELGA LabWater, Velká Británie)
5. Ramanův spektroskop
 - WiTec WMT50, alpha300 R (WiTec, Německo)
6. Digestoř
 - Termostat - Inkubátor Q-Cell 2 (MERCY, Česká republika)

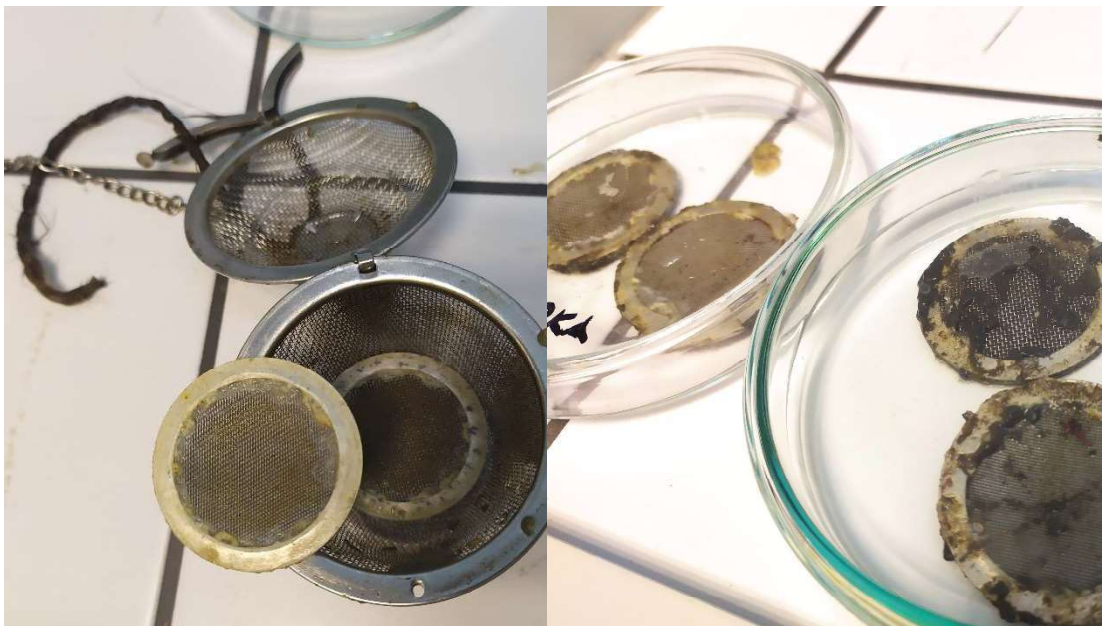
Další použité vybavení a chemikálie:

- Kovové filtry s mřížkou 500, 50 a 25 μm (Eurositex ČR)
- Laboratorní sklo (P-lab nebo Simax, ČR)
- Skleněná injekční stříkačka (10 ml, Luer-Lock, Socorex Swiss)
- Peroxid vodíku 30%, CAS: 7722-84-1 (Sigma-Aldrich, ČR)
- Čistý (technický) ethanol, CAS: 64-17-5 (Sigma-Aldrich, ČR)
- Bengálská červeň (Bengal rose), CAS: 632-69-9 (Sigma-Aldrich, ČR)
- Kovová pinzeta
- Parafilm
- Hliníková folie
- Hliníkové filtry
- Lýkový provaz a papírová taška

5.5.2. VYSUŠENÍ VZORKŮ

Po ukončení vzorkování byly sklenice odvezeny zpět do laboratoře Katedry aplikované ekologie, kde se filtry opatrně kovovou pinzetou vyprostily ze sít, viz Obrázek 23. Následně byly filtry uloženy na Petriho misky a umístěny do sušárny. Sušárna se nastavila na 35 °C, aby nedocházelo k případné degradaci mikroplastů teplem. Při této teplotě byly vzorky ponechány uvnitř po dobu 48 hod. Jen u podzimní série 2021 se sušení provádělo 72 hod z důvodu intenzivního nánosu sedimentu na filtrech.

V začátku celého experimentu se sklenice vymývaly tak, aby oplachová voda mohla být dále filtrována přes hliníkové filtry. Zároveň byly tyto filtry zpočátku také umísťovány do síttek jako součást vzorkovací sestavy. Od tohoto způsobu se v průběhu experimentu upustilo, jelikož jsou tyto filtry velmi křehké a docházelo k jejich ulamování či úplnému zničení. Detekované počty mikroplastů z úlomků by následně mohly být zavádějící, protože u většiny z řek vytažených filtrů nešlo o plný kruh ale jen nalomené, poloviční či i třetinové zbylé části.



Obrázek 23: Filtry po ukončení odběru v povrchových vodách před vysušením.

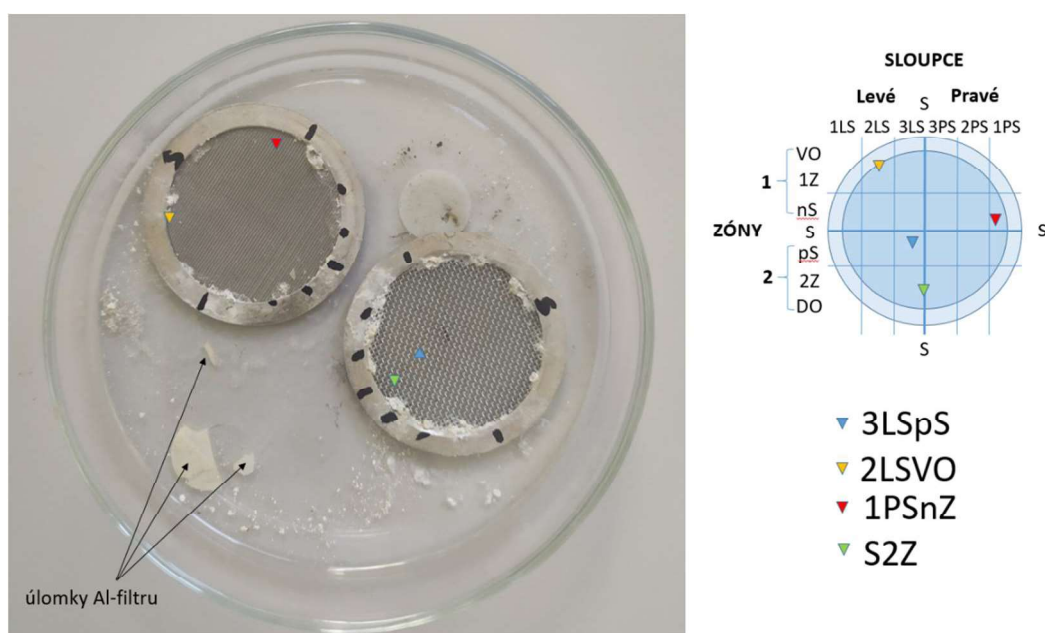
5.5.3. KVANTITATIVNÍ ANALÝZA A FOTODOKUMENTACE ODEBRANÝCH VZORKŮ

Pro kvantitativní analýzu byla zvolena obrazová analýza za pomoci binokulárního mikroskopu s videokulárem. Pomocí tohoto přístroje byly ručně vyhledávány mikroplastové částice a vlákna na použitých filtrech. U každého

nalezeného mikroplastu byla provedena jeho fotodokumentace a byla zachycena jeho poloha na filtru. Lokalizace mikroplastů spočívala v rozčlenění filtru na jednotlivé sloupce a dvě zóny, viz Obrázek 24. Sloupce byly rozděleny na levé a pravé u každé strany po třech. Zóny na dvě – horní s č. 1, pod kterou byla následně zařazena i zóna VO (Vrchní obruč), nS (nad Středem) a dolní s č. 2, pod kterou se nacházela zóna DO (Dolní obruč) a pS (pod Středem). Označením VO či DO se používalo v případech, kdy se částice či vlákno nacházely v těsné blízkosti obruče. Postupovalo se hadovitě s počátkem lokace 1LSDO nahoru. Tato mřížka byla klíčová pro hledání částic po obarvení.

Byly zkoumány mikroplasty o velikosti menší než 5 mm, které se zachytily na síto o velikosti oka 50 μm . Na základě pozorování vzešlé z odběru pasivní metodou lze říci, že zachycené mikroplasty byly částičky o velikosti mezi 50 a 500 μm .

Během celého experimentu bylo vytvořeno 2 310 fotografií. Jednotlivé fotografie zachycují jeden, dva i více mikroplastů, což se zaznamenávalo do názvu fotografie zároveň s lokací v pořadí sloupce, zóna. V závorce za lokací se dále v názvu zapisovalo zvětšení, při kterém byla fotografie pořízena pro případnou identifikaci velikosti mikroplastu. Zvětšení u 500 μm filtrů se pohybovalo mezi 25-30x. U 50 μm filtrů byly fotografie prováděny při zvětšení 30-40x. Počty mikroplastů za jednotlivá období se následně vyhodnocovaly v prostředí MS Excel.



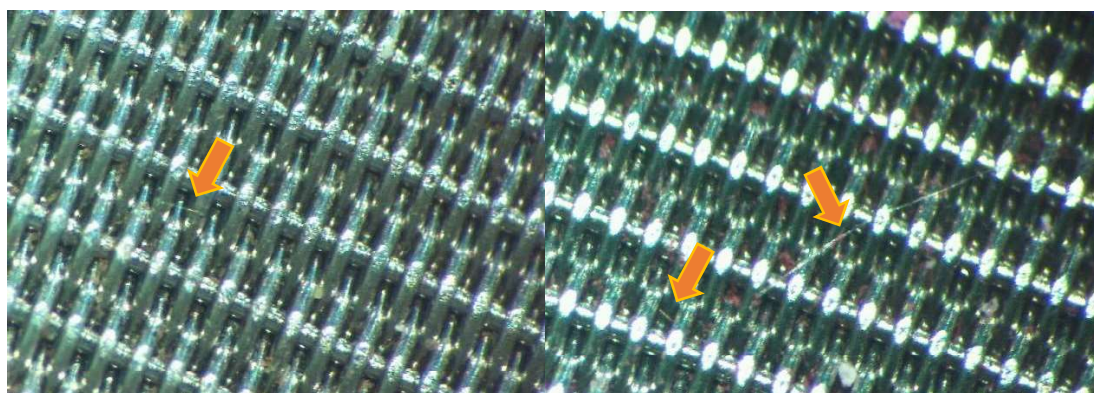
Obrázek 24: Princip lokalizace částic mikroplastů, ukázka úlomků hliníkových filtrů.

5.5.4. BARVENÍ VZORKŮ

Po kompletním zhlédnutí a nafocení filtrů, byly vzorky nabarveny bengálskou červení o koncentraci 1 mg/ml. Fáze barvení byla zařazena na základě faktu, že bengálská červeně barví především organický materiál a plastové materiály se tak převážně neobarví. Barvení probíhalo s pomocí skleněné stříkačky, aby nedošlo k případné kontaminaci filtrů. Takto nabarvené filtry se v Petriho miskách umístily opět do sušárny na 35 °C po dobu 24 až 48 hod.

5.5.5. KVANTITATIVNÍ ANALÝZA A FOTODOKUMENTACE OBARVENÝCH VZORKŮ

Tato fáze experimentu spočívala v hledání shody s původní obrazovou analýzou vzorku, realizovanou před obarvením. Cílem bylo opět najít všechny přítomné mikroplasty a zároveň potvrdit či vyvrátit jejich totožnost obarvením bengálskou červení, protože toto barvivo ulpívá pouze na materiálech organického původu (bavlna, rostlinné zbytky apod.). K tomu napomáhala vytvořená mřížka, která sloužila mimo jiné právě pro snadnější nalezení mikroplastů po obarvení. Opět se hledalo hadovitě od lokace 1LSDO nahoru.



Zima_S_50_3LS2z(30x)

Zima_S_50_3LS2z(30x)_BR

Obrázek 25: Ukázka posunu a odplavení vlákna mikroplastu vlivem barvení.

Mikroplast, potvrzený obarvením, se vyfotografoval se stejným zvětšením. Částice organického původu byly tímto vyloučeny a odečteny z tabulek a získal se tak přehled celkové kvantity nalezených mikroplastů na filtrech. Při analýze bylo nutné věnovat pozornost faktu, že některé lehčí MP vlivem obarvení byly přemístěny do jiné, mnohdy sousední výseče, viz Obrázek 25. Proto také tato fáze analýzy byla časově náročnější než předchozí kvantitativní analýza bez obarvení. Během této části analýzy

bylo potvrzeno, že na některé mikroplasty i přes jejich „neorganickou“ stavbu bengálská červeně působí a mají tak narůžovělý nádech, viz Obrázek 26.



Obrázek 26: Zbarvené vlákna mikroplastů po obarvení bengálskou červení, potvrzeno identifikací Ramanovou spektroskopií.

V této práci bylo celkově analyzováno dohromady 80 filtrů, které prošly dvěma cykly (před a po obarvení) kvantitativní analýzy. Zpracování jednoho filtru vyžadovalo časovou náročnost mezi 2 – 4 hodinami. Záleželo na počtu částic a intenzitě nánosu. Z důvodů časové náročnosti se u jarního vzorkování již při druhém pokusu odběru kvantitativní analýza neprováděla a vzorky se vyhodnocovaly rovnou Ramanovou spektroskopií.

5.5.6. FILTRACE

Pro účely kvalitativní analýzy pomocí Ramanovy spektroskopie bylo nutné s vybranými reprezentativními částicemi a vlákny mikroplastů dále pracovat, protože nebylo možné je mechanicky uvolnit a odebrat z filtrů. Pro účely jejich separace byla použita tlaková filtrace.

Postup u vzorků získaných pasivním odběrem byl následující:

- Nejprve se vzorky zalily 25 ml 30% H_2O_2 , viz Obrázek 27 vlevo. Takto byly filtry ponechány následujících 24 hod v digestoři. Okolní materiál se tak společně s částicemi a vlákny mikroplastů rozvolnil a organický materiál se rozložil. Mezitím se připravily 25 μm filtry stejným postupem jako vzorkovacích sestav, tj. hrubé čištění, omytí peroxidem a oplach ultračistou vodou. Dále bylo nachystáno 400 ml ultračisté vody pro následný proplach filtrů.

- Před vlastní filtrací se kovové filtry pomocí kovové pinzety ještě naposledy mechanicky očistily a přemístily do víčka Petriho misky, kde byly zality ultračistou vodou a docházelo k jejich dalšímu proplachu. Celý obsah Petriho misky společně s H_2O_2 byl následně přefiltrován. Poté se několikrát zopakoval cyklus proplachu připravovaného filtru přiléváním ultračisté vody, dokud nebyla Petriho miska s filtrem zcela promytá. Tato prvotní filtrace probíhala přes 50 μm filtr. V případně zbylých hrubých nečistot v Petriho misce (např. zrněk písku) byl proveden přes 500 μm filtr jejich záchyt a filtr byl opakovaně propláchnut ultračistou vodou a následně přefiltrován opět přes 50 μm filtr.
- Takto získaný filtrát byl následně celý dvakrát přefiltrován přes 50 μm filtr. Před odezdáním na rozbor tedy došlo celkem ke třem cyklům filtrace. Následně se dále filtrát použil ke třem cyklům filtrace přes 25 μm filtr, pro případný záchyt částic menších než 50 μm . V případě, že došlo k ucpání filtru jemným nánosem, filtr se vyjmul a zalil 10 ml 30% peroxidu vodíku. Filtr byl pak navrácen do sestavy, vzniklá směs byla rozmělněna a následně opět přefiltrována.



Obrázek 27: Filtrace a její příprava.

V případě vzorků získaných aktivním odběrem byl postup filtrace vzorku následující:

- Filtrace byla prováděna ihned po přinesení vzorkovnic z terénu do laboratoře. Pro proplach vzorkovnic bylo použito 400 ml ultračisté vody, čili stejný objem jako v případě zpracování vzorků odebraných pasivním odběrem.
- Obsah jednotlivých sklenic byl podtlakově zfiltrován. Každá řeka měla zastoupení dvou vzorkovacích sestav jako u pasivního odběru. Objem jedné sklenice byl nejprve zfiltrován jednou přes 50 μm filtr, následně byla vzorkovnice několikrát propláchnuta, aby se předešlo ztrátě částic či vláken mikroplastů případným ulpěním na stěnách sklenice. Takto získaný objem ultračisté vody se zfiltroval nakonec prvního cyklu přes 50 μm filtr. Dále následovaly další dva cykly filtrace přes 50 μm filtr. Poté se ještě objem přefiltroval dalšími třemi cykly přes 25 μm filtr.
- V případě vytvoření nánosu jemných částic byl opět použit 30% peroxid vodíku na proplach, vzniklý objem se pak přidal k následujícímu filtračnímu cyklu.



Obrázek 28: Vzorkovnice po aktivním odběru (vlevo), ukázka sestavy vzorků pro Ramanovu spektroskopii (vpravo).

5.5.7. RAMANOVA SPEKTROSKOPIE

Takto zpracované 50 μm a 25 μm filtry byly dále poskytnuty ke kvalitativní analýze pomocí Ramanovy spektroskopie na Katedře zpracování dřeva a biomateriálů, Fakulty lesnické a dřevařské. Zde proběhla za použití laseru o vlnové délce 532 nm identifikace a fotodokumentace dodaných částic a vláken mikroplastů. Během kvalitativní analýzy bylo provedeno 189 fotografií vybraných částic s doprovodnou identifikací díky Ramanově spektroskopii.

Vzhledem k množství byly vybrány pouze reprezentativní kusy z každé řeky a uvedeny níže v příloze v pořadí vybrané dvojice pořízené binokulárním mikroskopem a dále mikroplasty potvrzené Ramanovou spektroskopií. Vždy je u fotografie označení vzorkování, při kterém byl daný mikroplast získán: K (pasivní metodou, košík) či S (pasivní metodou, svorka), A (aktivní metodou), označení filtru 50 μm či 500 μm , zvětšení, barvení bengálskou červení (BR) a roční období, aby bylo možné obrázky najít ve fotodokumentaci.

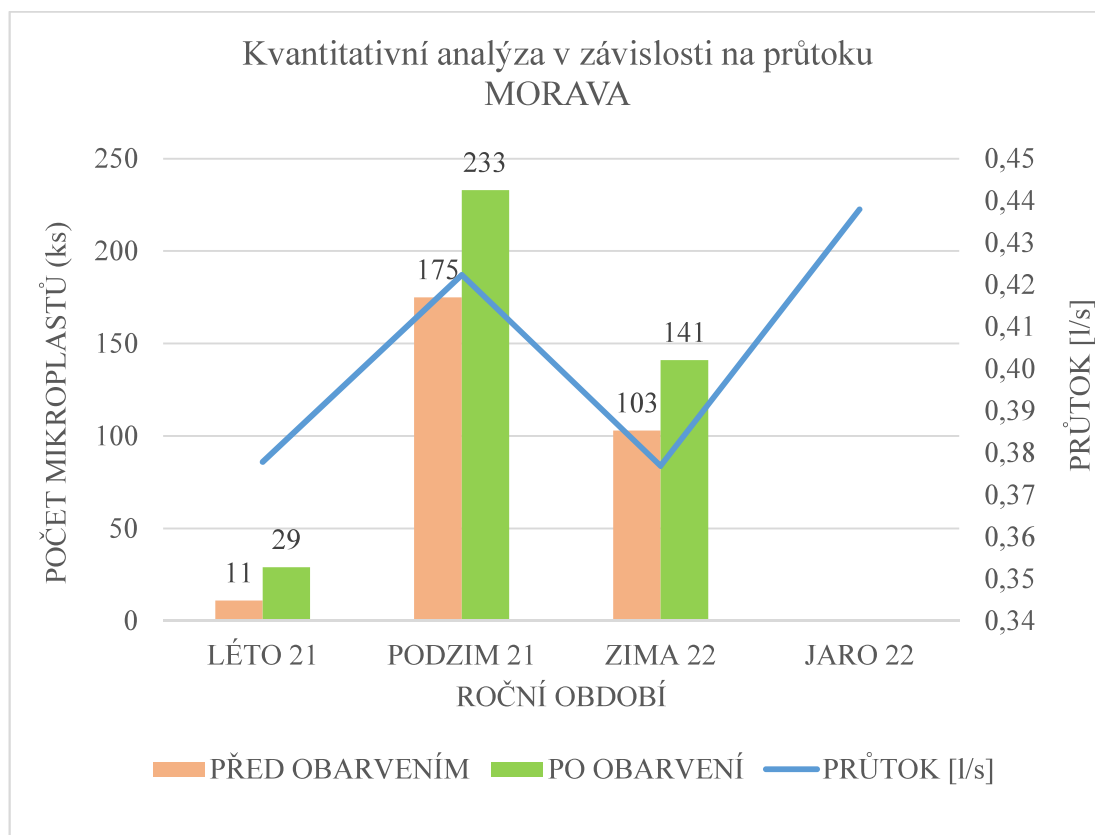
6. VÝSLEDKY

6.1. KVANTITATIVNÍ ANALÝZA

6.1.1. MORAVA

Obrázek 29 ukazuje počet odhalených mikroplastů na filtrech podle ročního období na řece Moravě. V létě roku 2021 bylo s ohledem na nízký průtok filtrované vody přes filtry nalezeno optickou metodou 11 mikroplastů před obarvením vzorku a 29 po obarvení filtrů. Na podzim téhož roku bylo na filtrech nalezeno 233 mikroplastů, z toho 175 bylo identifikováno již před obarvením. V zimě bylo opět s ohledem na menší průtoky zachyceno 141 mikroplastů, kde 103 z nich bylo odhaleno před obarvením vzorku.

Největší rychlost toku řeky a tedy i největší průtoky přes filtry byly zaznamenány na jaře roku 2022. Konkrétní rychlosti proudění naměřené plovákovou metodou a výpočet průtoku přes síta je uvedeno v Tabulce 4.



Obrázek 29: Výsledky kvantitativní analýzy v závislosti na průtoku, MORAVA.

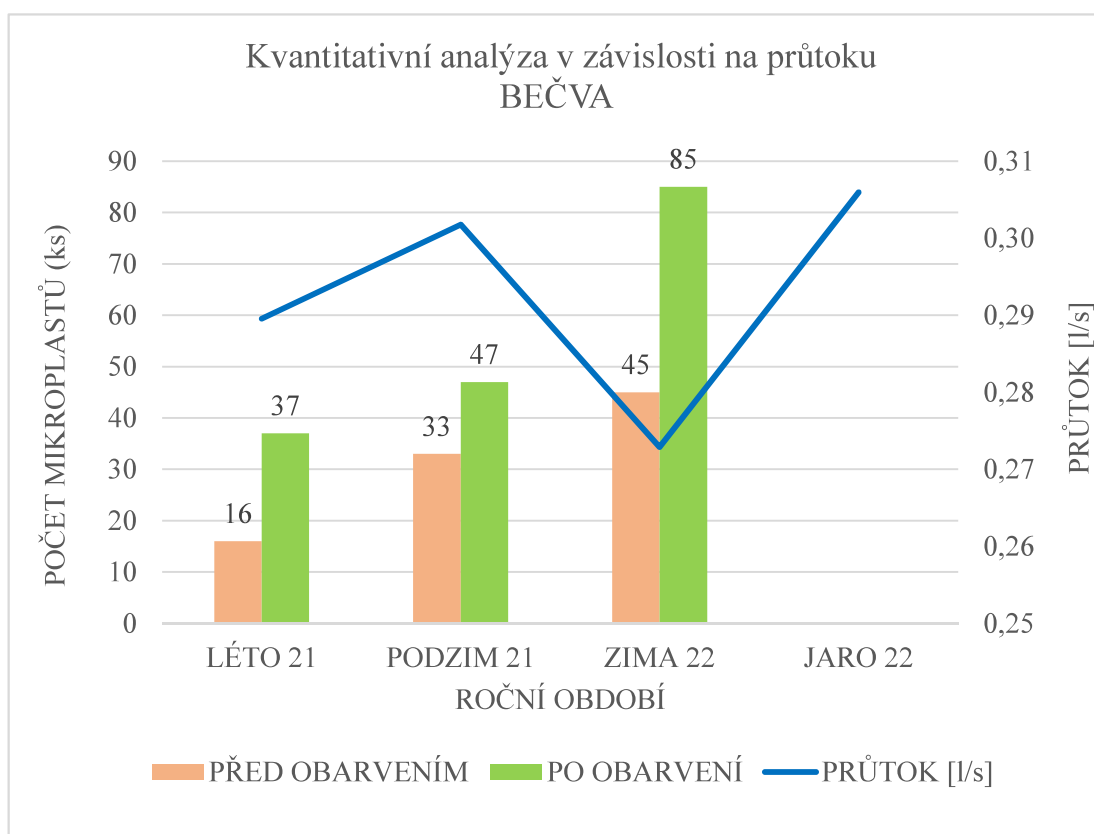
Tabulka 4: Vyhodnocení kvantity mikroplastů a plovákové metody pro výpočet průtoku sítím, MORAVA.

ŘEKA: MORAVA	LÉTO 21	PODZIM 21	ZIMA 22	JARO 22
POČTY BINOLUPA:				
Nalezeno před obarvením:				
Košík 500 µm	9	38	31	-
Košík 50 µm	0	93	30	-
Svorka 500 µm	0	19	36	-
Svorka 50 µm	2	25	6	-
Celkem před BR:	11	175	103	
K 500 µm	11	52	40	-
K 50 µm	2	98	41	-
S 500 µm	0	34	45	-
S 50 µm	6	46	11	-
Nenalezeno po obarvení:	10	3	4	-
CELKEM (ks)	29	233	141	-
DÉLKA ÚSEKU (m):	5	5	5	5
PLOVÁKOVÁ ZKOUŠKA:	ČAS (s)			
1.	8,22	10,21	12,77	8,21
2.	8,78	10,02	9,26	7,82
3.	7,89	8,58	10,56	7,45
4.	7,98	7,01	9,89	8,12
5.	12,61	7,78	7,25	7,57
6.	12,01	8,01	7,69	7,21
7.	8,43	11,74	15,51	8,49
8.	9,78	12,23	13,45	10,36
9.	14,01	7,23	7,23	10,89
10.	12,05	7,88	9,21	13,04
PRŮMĚRNÝ ČAS (s):	9,9825	8,93125	10,01	8,61375
PLOCHA SÍTKA (m ²)	0,00075439	0,00075439	0,00075439	0,00075439
RYCHLOST (m/s):	0,501	0,560	0,500	0,580
PRŮTOK (m ³ /s):	0,000378	0,000422	0,000377	0,000438
PRŮTOK (l/s):	0,377854	0,422329	0,376816	0,437896
Celkový objem za sledovaný čas (m ³)	457,052	510,849	455,796	529,679
Celkový objem za sledovaný čas (l)	457051,889	510849,039	455796,252	529678,767
MPs/litr	0,0001	0,0005	0,0003	0,000
MPs/m ³	0,063	0,456	0,309	0,000

6.1.2. BEČVA

Obrázek 30 ukazuje počet odhalených mikroplastů na filtrech podle ročního období na řece Bečvě. V zimě bylo opět s ohledem na menší průtoky zachyceno 85 mikroplastů, kde 45 z nich bylo odhaleno před obarvením vzorku. V létě roku 2021 bylo s ohledem na také nižší průtok filtrované vody přes filtry nalezeno optickou metodou 16 mikroplastů před obarvením vzorku a 37 po jeho obarvení. Na podzim téhož roku bylo na filtrech nalezeno 47 mikroplastů, z toho 33 bylo identifikováno již před obarvením.

Největší rychlost toku řeky a tedy i největší průtoky přes filtry byly zaznamenány na jaře roku 2022. Konkrétní rychlosti proudění naměřené plovákovou metodou a výpočet průtoku skrz síta je uvedeno v Tabulce 5.



Obrázek 30: Kvantitativní analýza v závislosti na průtoku, BEČVA.

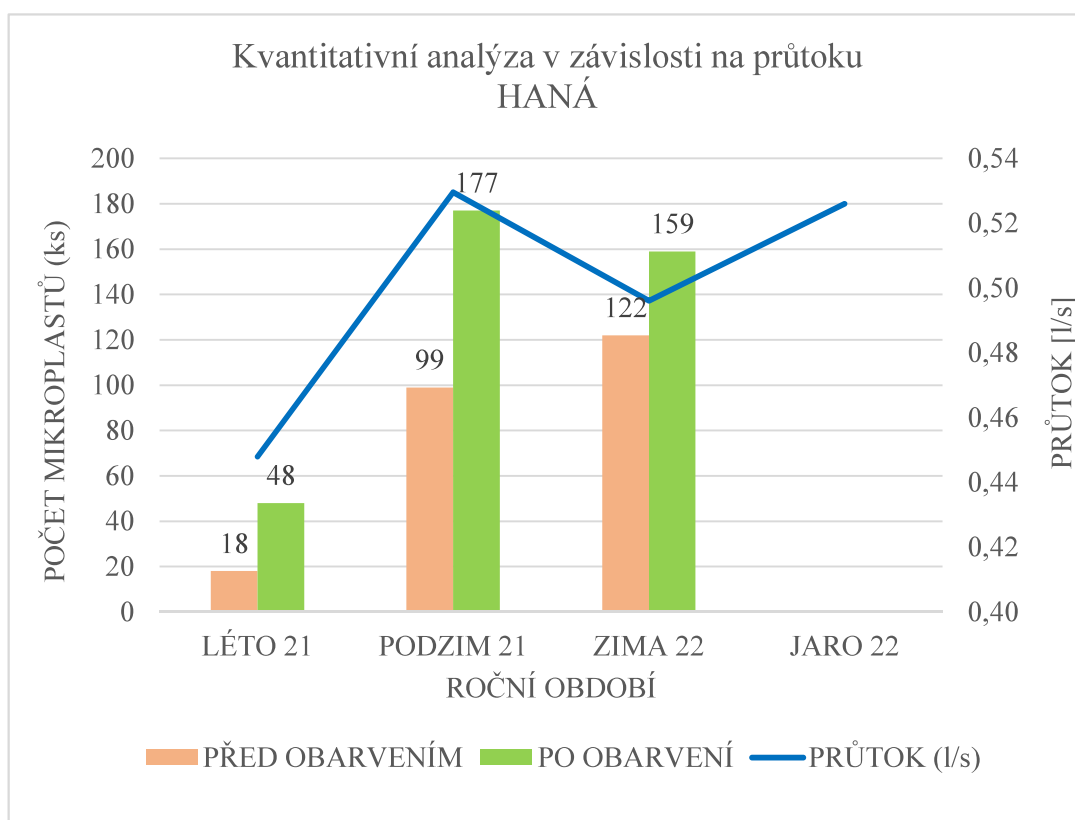
Tabulka 5: Vyhodnocení kvantity mikroplastů a plovákové metody pro výpočet průtoku sítem, BEČVA.

ŘEKA: BEČVA	LÉTO 21	PODZIM 21	ZIMA 22	JARO 22
POČTY BINOLUPA:				
Nalezeno před obarvením:				
Košík 500 µm	0	16	25	-
Košík 50 µm	4	10	14	-
Svorka 500 µm	7	3	2	-
Svorka 50 µm	5	4	4	-
Celkem před BR:	16	33	45	-
K 500 µm	3	22	39	-
K 50 µm	8	12	18	-
S 500 µm	14	7	3	-
S 50 µm	10	4	7	-
Nenalezeno po obarvení:	2	2	18	-
CELKEM (ks)	37	47	85	
DÉLKA ÚSEKU (m):				
	5	5	5	5
PLOVÁKOVÁ ZKOUŠKA:				
1.	17,45	13,91	13,32	13,54
2.	14,65	12,76	10,67	9,23
3.	13,02	10,45	18,02	10,22
4.	12,62	9	13,89	12,43
5.	13,01	12,12	12,88	11,19
6.	13,66	12,49	12,75	13,62
7.	11,02	14,7	14,12	16,76
8.	12,38	13,34	14,01	14,29
9.	11,71	17,89	14,55	12,31
10.	13,16	10,23	15,05	11,02
PRŮMĚRNÝ ČAS (s):	13,026	12,5	13,82125	12,3275
PLOCHA SÍTKA (m ²)	0,00075439	0,00075439	0,00075439	0,00075439
RYCHLOST (m/s):	0,384	0,400	0,362	0,406
PRŮTOK (m ³ /s):	0,000290	0,000302	0,000273	0,000306
PRŮTOK (l/s):	0,289563	0,301754	0,272908	0,305976
Celkový objem za sledovaný čas (m ³)	350,256	365,002	330,109	370,109
Celkový objem za sledovaný čas (l)	350255,87	365001,64	330109,11	370109,14
MPs/litr	0,0001	0,0001	0,0003	0,000
MPs/m ³	0,106	0,129	0,257	0,000

6.1.3. HANÁ

Obrázek 31 ukazuje počet odhalených mikroplastů na filtrech podle ročního období na řece Hané. Na podzim roku 2021 bylo na filtrech nalezeno 177 mikroplastů, z toho 99 bylo identifikováno již před obarvením. V létě roku 2021 bylo s ohledem na nízký průtok filtrované vody přes filtry nalezeno optickou metodou 18 mikroplastů před obarvením vzorku a 48 po jeho obarvení. V zimě bylo opět s ohledem na menší průtoky zachyceno 159 mikroplastů, kde 122 z nich bylo odhaleno před obarvením vzorku.

Největší rychlost toku řeky a tedy i největší průtoky skrz filtry byly zaznamenány na jaře roku 2022. Konkrétní rychlosti proudění naměřené plovákovou metodou a výpočet průtoku skrz síta je uvedeno v Tabulce 6.



Obrázek 31: Kvantitativní analýza v závislosti na průtoku, HANÁ.

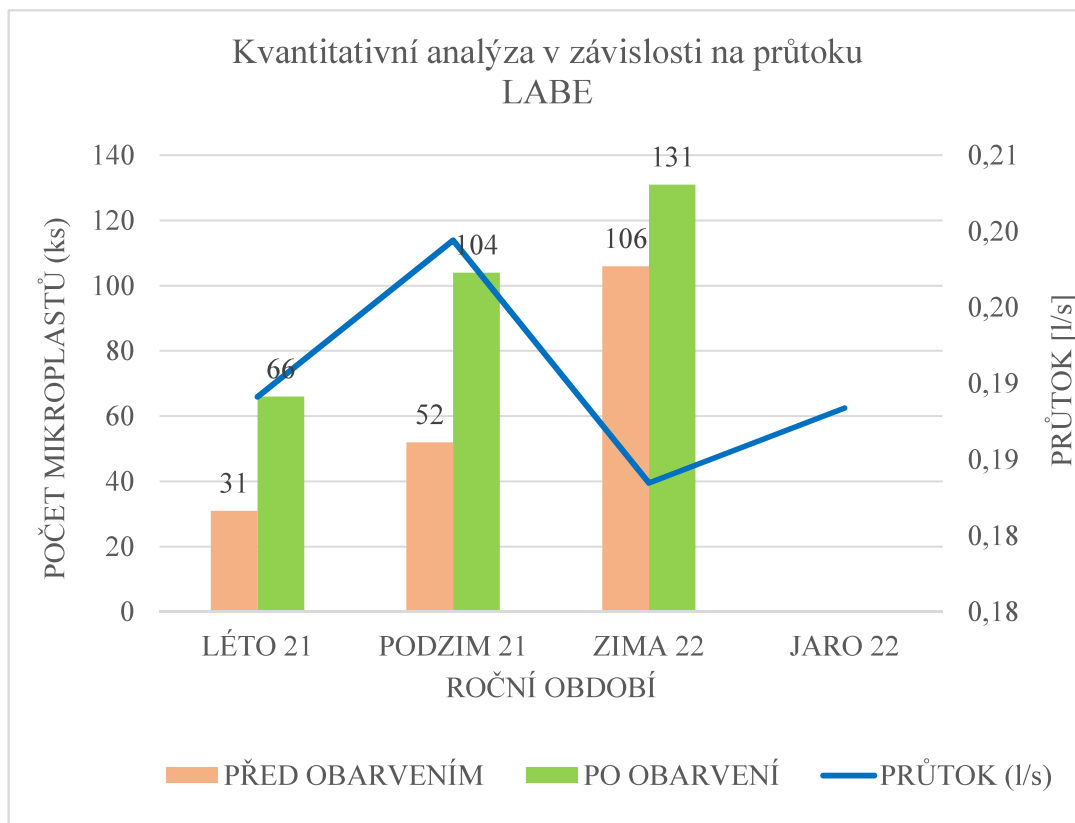
Tabulka 6: Vyhodnocení kvantity mikroplastů a plovákové metody pro výpočet průtoku sítím, HANÁ.

ŘEKA: HANÁ	LÉTO 21	PODZIM 21	ZIMA 22	JARO 22
POČTY BINOLUPA:				
Nalezeno před obarvením:				
Košík 500 µm	4	47	32	-
Košík 50 µm	7	26	26	-
Svorka 500 µm	7	16	30	-
Svorka 50 µm	0	10	34	-
Celkem před BR:	18	99	122	-
K 500 µm	13	69	48	-
K 50 µm	21	47	26	-
S 500 µm	10	30	32	-
S 50 µm	3	28	45	-
Nenalezeno po obarvení:	1	3	8	-
CELKEM (ks)	48	177	159	
DÉLKA ÚSEKU (m):	3	3	3	3
PLOVÁKOVÁ ZKOUŠKA:				
1.	5,34	4,01	4,41	3,99
2.	4,78	3,88	5,86	4,00
3.	4,66	3,98	5,00	4,51
4.	5,01	4,24	5,23	4,45
5.	4,91	4,56	4,77	4,32
6.	5,12	5,19	4,10	3,97
7.	5,45	4,72	4,05	4,89
8.	5,06	4,18	4,01	4,28
9.	5,18	3,79	4,30	4,54
10.	5,02	4,15	4,64	4,33
PRŮMĚRNÝ ČAS (s):	5,053	4,27375	4,5625	4,3025
PLOCHA SÍTKA (m²)	0,000754	0,000754385	0,000754385	0,000754385
RYCHLOST (m/s):	0,594	0,702	0,658	0,697
PRŮTOK (m³/s):	0,000448	0,000530	0,000496	0,000526
PRŮTOK (l/s):	0,447928	0,529548	0,496034	0,526009
Celkový objem za sledovaný čas (m ³)	541,813	640,541	600,003	636,261
Celkový objem za sledovaný čas (l)	541813,417	640541,044	600002,693	636260,846
MPs/litr	0,0001	0,0003	0,0003	0,000
MPs/m³	0,089	0,276	0,265	0,000

6.1.4. LABE

Obrázek 32 ukazuje počet odhalených mikroplastů na filtrech podle ročního období na řece Labi. V zimě bylo zachyceno 131 mikroplastů, kde 106 z nich bylo odhaleno před obarvením vzorku, čísla mohou reflektovat fakt, že šlo o období s pozorovanými menšími průtoky. Naopak na podzim roku 2021, byly průtoky vyšší a na filtrech bylo nalezeno 104 mikroplastů, z toho 52 bylo identifikováno již před obarvením. V létě téhož roku bylo s ohledem na nízký průtok filtrované vody skrz filtry nalezeno optickou metodou 31 mikroplastů před obarvením vzorku a 66 po jeho obarvení.

Řeka Labe je výjimkou, kdy naopak nejmenší rychlost toku řeky a tedy i nejmenší průtoky přes filtry byly zaznamenány během vzorkování v zimním období roku 2022. Zde byly vzorky nenalezeny pravděpodobně vlivem lidské činnosti, oproti ostatním řekám, kde došlo pravděpodobně k odnesení vlivem srážek. Konkrétní rychlosti proudění naměřené plovákovou metodou a výpočet průtoku přes síta je uvedeno v Tabulce 7.



Obrázek 32: Kvantitativní analýza v závislosti na průtoku, LABE.

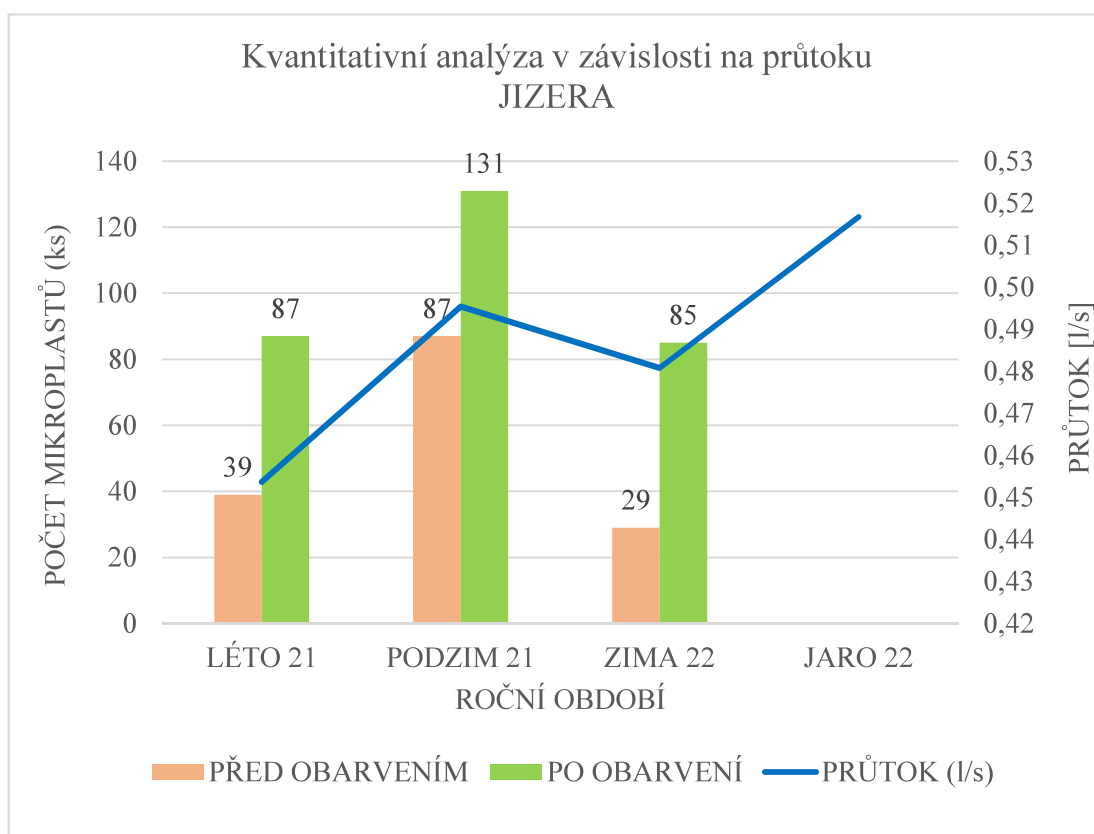
Tabulka 7: Vyhodnocení kvantity mikroplastů a plovákové metody pro výpočet průtoku sítím, LABE.

ŘEKA: LABE	LÉTO 21	PODZIM 21	ZIMA 22	JARO 22
POČTY BINOLUPA:				
Nalezeno před obarvením:				
Košík 500 µm	5	11	35	-
Košík 50 µm	9	13	52	-
Svorka 500 µm	8	5	12	-
Svorka 50 µm	9	23	7	-
Celkem před BR:	31	52	106	-
K 500 µm	9	21	47	-
K 50 µm	25	41	54	-
S 500 µm	15	7	15	-
S 50 µm	17	29	9	-
Nenalezeno po obarvení:	0	6	6	-
CELKEM (ks)	66	104	131	
DÉLKA ÚSEKU (m):	5	5	5	5
PLOVÁKOVÁ ZKOUŠKA:				
1.	17,02	21,02	17,89	18,81
2.	16,54	18,4	18,23	19,53
3.	18,50	17,63	24,02	18,56
4.	23,00	16,02	23,09	20,32
5.	21,32	18,74	21,75	17,65
6.	19,67	20,16	22,13	21,45
7.	18,02	20,91	19,21	21,87
8.	20,01	18,82	19,07	19,04
9.	23,02	18,43	20,43	21,68
10.	22,01	18,23	20,57	20,79
PRŮMĚRNÝ ČAS (s):	19,94375	18,915	20,56	20,0225
PLOCHA SÍTKA (m²)	0,000754385	0,000754385	0,000754385	0,000754385
RYCHLOST (m/s):	0,251	0,264	0,243	0,250
PRŮTOK (m³/s):	0,000189	0,000199	0,000183	0,000188
PRŮTOK (l/s):	0,189128	0,199414	0,183459	0,188384
Celkový objem za sledovaný čas (m ³)	228,769	241,212	221,912	227,870
Celkový objem za sledovaný čas (l)	228769,438	241211,762	221912,475	227869,671
MPs/litr	0,0003	0,0004	0,0006	0,000
MPs/m³	0,289	0,431	0,590	0,000

6.1.5. JIZERA

Obrázek 33 ukazuje počet odhalených mikroplastů na filtrech podle ročního období na řece Jizeře. Na podzim roku 2021 bylo na filtrech nalezeno 131 mikroplastů, z toho 87 bylo identifikováno již před obarvením. V létě roku 2021 bylo s ohledem na nízký průtok filtrované vody skrz filtry nalezeno optickou metodou 39 mikroplastů před obarvením vzorku a 87 po jeho obarvení. V zimě bylo opět s ohledem na o něco menší průtoky zachyceno 85 mikroplastů, kde 29 z nich bylo odhaleno před obarvením vzorku.

Největší rychlost toku řeky a tedy i největší průtoky skrz filtry byly zaznamenány na jaře roku 2022. Konkrétní rychlosti proudění naměřené plovákovou metodou a výpočet průtoku skrz síta je uvedeno v Tabulce 8.

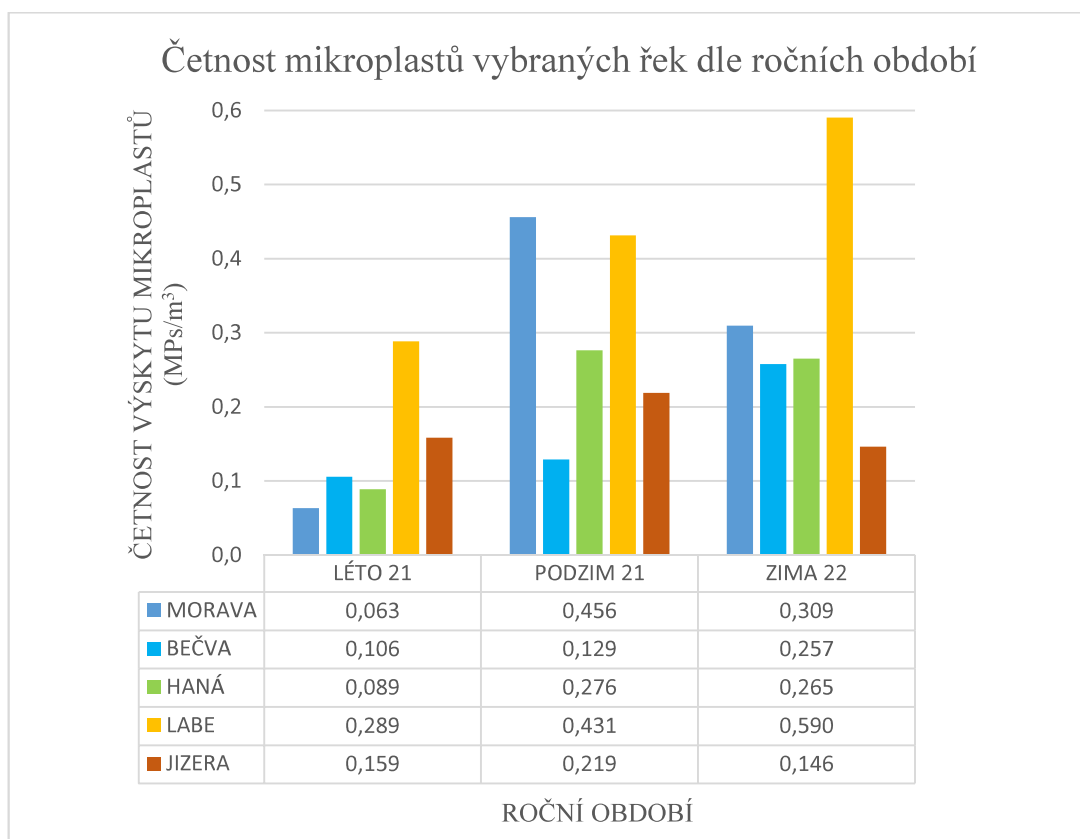


Obrázek 33: Kvantitativní analýza v závislosti na průtoku, JIZERA.

Tabulka 8: Vyhodnocení kvantity mikroplastů a plovákové metody pro výpočet průtoku sítím, JIZERA.

ŘEKA: JIZERA	LÉTO 21	PODZIM 21	ZIMA 22	JARO 22
POČTY BINOLUPA:				
Nalezeno před obarvením:				
Košík 500 µm	3	18	15	-
Košík 50 µm	15	20	6	-
Svorka 500 µm	7	21	5	-
Svorka 50 µm	14	28	3	-
Celkem před BR:	39	87	29	-
K 500 µm	7	27	21	-
K 50 µm	35	30	40	-
S 500 µm	11	30	12	-
S 50 µm	30	38	10	-
Nenalezeno po obarvení:	4	6	2	-
CELKEM (ks)	87	131	85	
DÉLKA ÚSEKU (m):				
	4	4	4	4
PLOVÁKOVÁ ZKOUŠKA:				
1.	6,78	5,98	5,67	5,67
2.	7,01	5,55	7,56	5,88
3.	10,22	6,01	6,01	5,01
4.	8,67	6,34	7,22	4,99
5.	6,08	6,78	10,89	6,23
6.	5,8	5,63	6,21	5,88
7.	6,33	9,89	5,88	8,32
8.	5,99	5,91	6,29	6,88
9.	6,34	6,01	5,37	5,89
10.	6,01	6,07	5,34	5,28
PRŮMĚRNÝ ČAS (s):	6,65125	6,09125	6,27625	5,84
PLOCHA SÍTKA (m²)	0,000754385	0,000754385	0,000754385	0,000754385
RYCHLOST (m/s):	0,601	0,657	0,637	0,685
PRŮTOK (m³/s):	0,000454	0,000495	0,000481	0,000517
PRŮTOK (l/s):	0,453680	0,495389	0,480787	0,516702
Celkový objem za sledovaný čas (m ³)	548,771	599,223	581,560	625,003
Celkový objem za sledovaný čas (l)	548771,492	599222,883	581560,069	625002,805
MPs/litr	0,0002	0,0002	0,0001	0,000
MPs/m³	0,159	0,219	0,146	0,000

6.1.6. SHRNU TÍ VÝSLEKU KVANTITATIVNÍ ANALÝZY



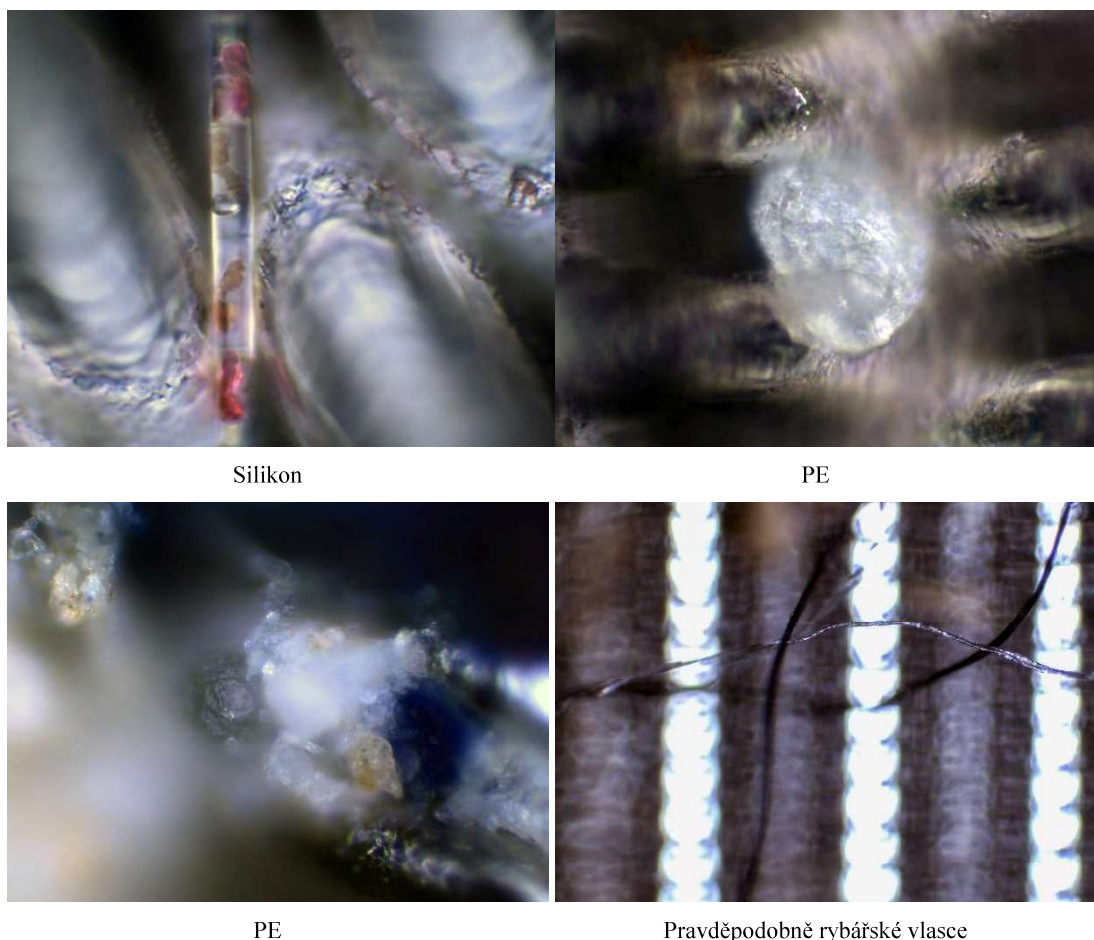
Obrázek 34: Četnost výskytu mikroplastů sledovaných řek přepočtený dle průtoku ve vybraných ročních obdobích.

Přepočtem celkového objemu vody proteklého filtrem za dobu vzorkování byla vyhodnocena četnost mikroplastů nacházející se v jednotlivých řekách, viz Obrázek 34. Největší četnost mikroplastů $0,590 \text{ MPs/m}^3$ byla pozorována u řeky Labe v zimním období, dále na podzim 2021 u řeky Moravy s hodnotou $0,456 \text{ MPs/m}^3$ a opět u řeky Labe $0,431 \text{ MPs/m}^3$. Naopak nejmenšími hodnotami disponovaly moravské řeky v letním období a to řeka Morava s $0,063 \text{ MPs/m}^3$, řeka Bečva s $0,106 \text{ MPs/m}^3$ a řeka Haná s $0,089 \text{ MPs/m}^3$. Z řek se dle grafu jeví za nejméně exponovanou mikroplasty řeka Bečva, dále Jizera a Haná. Potvrdilo ose, že u větších řek jako jsou Morava a Labe je dopad horší.

6.2. KVALITATIVNÍ ANALÝZA

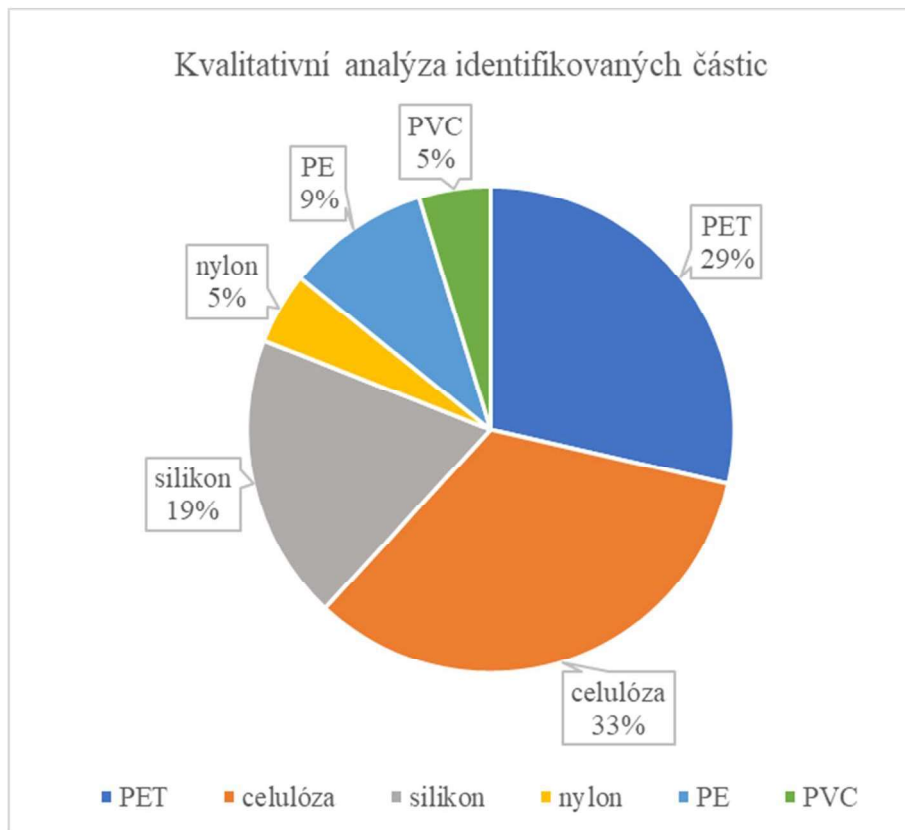
Z mikroplastů podrobených kvalitativní analýze pomocí Ramanovy spektroskopie byla prokázána přítomnost konkrétních mikroplastů. V řece Moravě byl nejčastěji identifikován mikroplast polymeru PET. U řeky Bečvy byl zaznamenán

zvýšený výskyt silikonu a celulózy, dále byly nalezeny mikroplasty z polymerů PET, PE a nylonu. Zvýšený výskyt PET a celulózy byl zaznamenán při analýze řeky Hané, společně s výskytem silonu a PVC. V Labi byla prokázána existence celulózy a PET a v Jizeře byl potvrzen výskyt PE, celulózy a PET. Identifikované mikroplasty byly vyfotografovány a v případech, kdy nedošlo k jejich poškození i blíže určeny, viz Obrázek 35. Další zachycené mikroplasty jsou součástí obrazové přílohy.



Obrázek 35: Identifikované mikroplasty Ramanovou spektroskopií (autor: Mgr. Martin Lexa, Ph.D.).

Procentuální podíly zachycených druhů mikroplastů jsou zobrazeny na Obrázku 36. Z celkového množství identifikovaných mikroplastů bylo nejvíce zachycených částic celulózy a to 33 %. Druhým nejvyšším zastoupením bylo reprezentováno PET s 29 %. Třetí nejpočetnější skupinu tvořili částice silikonu. Jejich celkový podíl ve vzorcích byl 19 %. Následná nejpočetnější skupina byla tvořena mikroplasty PE, které se vyskytovaly v 9 % případech. Částice nylonu a PVC byly zaznamenány shodně v 5 % případech.



Obrázek 36: Kvalitativní analýza identifikovaných částic.

7. DISKUZE

Výsledky ukázaly, že tato metoda může velmi dobře sloužit pro porovnání výskytu mikroplastů v ročních obdobích v různých řekách. Spolehlivost této metody, co se týče skutečných koncentrací mikroplastů ve vodních tocích, zatím ověřena nebyla. Přestože existuje riziko vnějšího obtoku filtru při větších průtocích, výsledné koncentrace mikroplastů představovaly reálné hodnoty (Koelmans a kol. 2019). Procentuální rozložení identifikovaných částic mikroplastů podle typu polymeru korespondovalo s výsledky jiných výzkumů (Pivokonský a kol. 2020).

Jako jedno z úskalí kvantitativní analýzy se ukázalo barvení vzorků. Při něm bylo prokázáno vymývání a přesuny částic. Následné znovunalezení tento fakt komplikoval a dělal tak tuto fázi analýzy časově náročnější. Riziková může být i zvolená teplota při vysoušení vzorků. Ta může způsobit deformaci mikroplastové částice či vlákna a pozorovaný objekt pak nemusí být Ramanovou spektroskopií rozpoznán. Vliv na identifikaci vzorku může mít i použitá koncentrace peroxidu vodíku, obzvláště pokud jde o vyšší koncentrace (Samandra a kol. 2022).

Výsledky zkušebního aktivního odběru vzorků z vodního toku vykazovaly násobně vyšší koncentrace mikroplastů. To může být dáno zejména tím, že aktivní odběr byl prováděn z hladiny, zatímco pasivní odběr byl prováděn v hloubce 15-50 cm pod hladinou. Při aktivním odběru se tedy výrazně projevilo to, že některé typy mikroplastů jsou lehčí než voda a plavou na hladině nebo je na hladině drží povrchové napětí vody. Tyto výsledky proto nebyly do práce zahrnuty.

8. ZÁVĚR A PŘÍNOS PRÁCE

Se zvyšujícím se množstvím plastových výrobků v posledních letech je stále větší pozornost věnována mikroplastům. Tyto částice v přírodě degradují velmi pomalu a mohou představovat riziko pro živé organismy, což je stále předmětem výzkumů. V posledních letech vstoupily v platnost dokumenty, které mají produkci mikroplastů a jejich negativní dopad na životní prostředí regulovat.

Experimentálně bylo zjištěno, že se mikroplasty vyskytují na všech pozorovaných řekách. Díky přepočtu průtoku vody přes jednotlivé filtry byly porovnány výskyty mikroplastů v pozorovaných vodních tocích. Četnosti výskytu mikroplastů byly pasivní metodou vzorkování zjištěny mezi 0,063 a 0,590 MPs/m³.

Použitá metoda pasivního vzorkování představuje levnější a dostupnější alternativu detekce mikroplastů. Bylo prokázáno, že tato metoda je vhodná zejména pro porovnání množství mikroplastů na vodních tocích mezi sebou nebo na konkrétním vodním toku v průběhu času. Ověření spolehlivosti této metody, co se týče četností zachycených mikroplastů na objemovou jednotku vody, zůstává otevřenou otázkou pro další výzkum.

9. PŘEHLED LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ

9.1. ODBORNÉ PUBLIKACE

- Andrady, A.L. 2011: Microplastics in the Marine Environment. *Marine Pollution Bulletin*, 62: 1596-1605.
- Auta, H.S., Emenike, C.U., Fauziah. S.H. 2017: Distribution and importance of microplastics in the marine environment: A review of the sources, fate, effects, and potential solutions. *Environment International*. 102:165-176.
- Barnes, D. K., Morley, S. A., Bell, J., Brewin, P., Brigden, K., Collins, M., Taylor, B. 2018: Marine plastics threaten giant Atlantic marine protected areas. *Current Biology*, 28: 1137-1138.
- Booth, A. M., Kubowicz, S., Beegle-Krause, C., Skancke, J., Nordam, T., Landsem, E., Jahren, S. 2017: Microplastic in global and Norwegian marine environments: Distributions, degradation mechanisms and transport. *Miljødirektoratet* 918: 1-147.
- Brooks, A.N., Turkarslan, S., Beer, K.D., Yin Lo, F., Baliga, N.S., 2011: Adaptation of cells to new environments. *WIREs Syst. Biol. Med.* 3: 544–561.
- Campanale, C., Massarelli, C., Savino, I., Locaputo, V., Uricchio, V. F. 2020: A detailed review study on potential effects of microplastics and additives of concern on human health. *International journal of environmental research and public health*, 17: 1212.
- Canniff, P. M., & Hoang, T. C. 2018: Microplastic ingestion by *Daphnia magna* and its enhancement on algal growth. *Science of the Total Environment*, 633: 500-507.
- Claessens, M., Van Cauwenberghe, L., Vandegehuchte, M. B., Janssen, C. R. 2013: New techniques for the detection of microplastics in sediments and field collected organisms. *Marine pollution bulletin*, 70: 227-233.
- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., & Galloway, T. S. 2011: Microplastics as contaminants in the marine environment: a review. *Marine pollution bulletin*, 62: 2588-2597.

- Damohorský, M. 2010: Právo životního prostředí. Beck, Praha, 630 s.
- Du, H., Xie, Y., Wang, J., 2021: Microplastic degradation methods and corresponding degradation mechanism: Research status and future perspectives. *Journal of Hazardous Materials* 418: 126377.
- Dluhoš, J., 1998: Materiály a technologie: plasty a vybrané nekovové materiály. Ostravská univerzita, Ostrava, 140 s.
- Dyachenko, A., Mitchell, J., Arsem, N. 2017: Extraction and identification of microplastic particles from secondary wastewater treatment plant (WWTP) effluent. *Analytical Methods*, 9: 1412-1418.
- Eerkes-Medrano, D., Thompson, R. C., Aldridge, D. C. 2015: Microplastics in freshwater systems: a review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs. *Water research*, 75: 63-82.
- Felsing, S., Kochleus, C., Buchinger, S., Brennholt, N., Stock, F., Reifferscheid, G. 2018: A new approach in separating microplastics from environmental samples based on their electrostatic behavior. *Environmental Pollution*, 234: 20-28.
- Fuller, S., & Gautam, A. 2016: A procedure for measuring microplastics using pressurized fluid extraction. *Environmental science & technology*, 50: 5774-5780.
- Gross, M., Zhao, X., Mascarenhas, V., & Wen, Z. 2016: Effects of the surface physico-chemical properties and the surface textures on the initial colonization and the attached growth in algal biofilm. *Biotechnology for biofuels*, 9: 1-14.
- Guo, X., & Wang, J. 2019: Sorption of antibiotics onto aged microplastics in freshwater and seawater. *Marine Pollution Bulletin*, 149: 110511.
- Hermsen, E., Mintenig, S. M., Besseling, E., Koelmans, A. A. 2018: Quality criteria for the analysis of microplastic in biota samples: a critical review. *Environmental science & technology*, 52 10230-10240.
- Hidayaturrahman, H., & Lee, T. G. 2019: A study on characteristics of microplastic in wastewater of South Korea: Identification, quantification, and fate of

- microplastics during treatment process. *Marine pollution bulletin*, 146: 696-702.
- Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., Law, K. L. 2015: Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347: 768-771.
- Jovanovic, B. 2017: Ingestion of microplastics by fish and its potential consequences from a physical perspective: potential consequences of fish ingestion of microplastic, *Integrated Environ. Assess. Manag*, 13: 510-515.
- Judy, J. D., Williams, M., Gregg, A., Oliver, D., Kumar, A., Kookana, R., Kirby, J. K. 2019: Microplastics in municipal mixed-waste organic outputs induce minimal short to long-term toxicity in key terrestrial biota. *Environmental Pollution*, 252: 522-531.
- Koelmans, A. A., Nor, N. H. M., Hermesen, E., Kooi, M., Mintenig, S. M., De France, J. 2019: Microplastics in freshwaters and drinking water: Critical review and assessment of data quality. *Water research*. 155: 410-422.
- Kokalj, A. J., Kunej, U., & Skalar, T. 2018: Screening study of four environmentally relevant microplastic pollutants: Uptake and effects on *Daphnia magna* and *Artemia franciscana*. *Chemosphere*, 208, 522-529.
- Kožišek, F.; Kazmarová, H., 2019: Mikroplasty v životním prostředí a zdraví. *Vodní hospodářství*, 69: 1–3.
- Krueger, M.C., Harms, H., Schlosser, D., 2015: Prospects for microbiological solutions to environmental pollution with plastics. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 99: 8857–8874.
- La Nasa, J., Lomonaco, T., Manco, E., Ceccarini, A., Fuoco, R., Corti, A., Modugno, F., Castelvetro, V., Degano, I., 2020: Plastic breeze: volatile organic compounds (VOCs) emitted by degrading macro-and microplastics analyzed by selected ion flow-tube mass spectrometry. *Chemosphere* 270: 128612.
- Lapworth, D.J., Baran, N., Stuart, M.E., Ward, R.S., 2012: Emerging organic contaminants in groundwater: a review of sources, fate and occurrence. *Environ. Pollut*, 163: 287–303.

- Lee, H., Shim, W. J., & Kwon, J. H. 2014: Sorption capacity of plastic debris for hydrophobic organic chemicals. *Science of the total environment*, 470: 1545-1552.
- Li, J., Green, C., Reynolds, A., Shi, H., Rotchell, J. M. 2018: Microplastics in mussels sampled from coastal waters and supermarkets in the United Kingdom. *Environmental pollution*, 241: 35-44.
- Löder, M. G., Gerdt, G. 2015: Methodology used for the detection and identification of microplastics-a critical appraisal. *Marine anthropogenic litter*, 201-227.
- Masura, J., Baker, J., Foster, G., Arthur, C. 2015: *Laboratory Methods for the Analysis of Microplastics in the Marine Environment: Recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments*. Silver Spring, 31.
- Park, H., Park, B. 2021: Review of microplastic distribution, toxicity, analysis methods, and removal technologies. *Water*, 13: 2736.
- Pasquier, G., Doyen, P., Kazour, M., Dehaut, A., Diop, M., Duflos, G., Amara, R. 2022: Manta net: the golden method for sampling surface water microplastics in aquatic environments. *Frontiers in Environmental Science*, 10:811112.
- Pivokonský, M., Čermáková, L., Novotná, K., Peer, P., Cajthaml, T., Janda, V. 2018: Occurrence of microplastics in raw and treated drinking water. *Science of the total environment*. 643: 1644-1651.
- Pivokonský, M., Pivokonská, L., Novotná, K., Čermáková, L., Klimtová, M. 2020: Occurrence and fate of microplastics at two different drinking water treatment plants within a river catchment. *Science of the Total Environment*. 741: 140236.
- Rillig, M. C. 2012: Microplastic in terrestrial ecosystems and the soil? *Environ Sci Technol.*, 46: 6453.
- Rocha-Santos, T. a Duarte, A. C. 2015: A critical overview of the analytical approaches to the occurrence, the fate and the behavior of microplastics in the environment. *TrAC Trends in analytical chemistry*. 65: 47-53.

- Samandra, S., Johnston, J. M., Jaeger, J. E., Symons, B., Xie, S., Currell, M., Clarke, B. O. 2022: Microplastic contamination of an unconfined groundwater aquifer in Victoria, Australia. *Science of the Total Environment*, 802: 149727.
- Silva, A. B., Bastos, A. S., Justino, C. I., da Costa, J. P., Duarte, A. C., Rocha-Santos, T. A. 2018: Microplastics in the environment: Challenges in analytical chemistry-A review. *Analytica chimica acta*, 1017: 1-19.
- Teuten, E. L., Saquing, J. M., Knappe, D. R., Barlaz, M. A., Jonsson, S., Björn, A., Takada, H. 2009: Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife. *Philosophical transactions of the royal society B: biological sciences*, 364: 2027-2045.
- Van Cauwenberghe, L., Claessens, M., Vandegehuchte, M. B., Janssen, C. R. 2015: Microplastics are taken up by mussels (*Mytilus edulis*) and lugworms (*Arenicola marina*) living in natural habitats. *Environmental pollution*, 199: 10-17.
- Vermaire, J. C., Pomeroy, C., Herczegh, S. M., Haggart, O., Murphy, M. 2017: Microplastic abundance and distribution in the open water and sediment of the Ottawa River, Canada, and its tributaries. *Facets*, 2: 301-314.
- Von Moos, N., Burkhardt-Holm, P., & Köhler, A. 2012: Uptake and effects of microplastics on cells and tissue of the blue mussel *Mytilus edulis* L. after an experimental exposure. *Environmental science & technology*, 46: 11327-11335.
- Wagner, M., Scherer, Ch., Alvarez-Muñoz, D. 2014: Microplastics in freshwater ecosystems: what we know and what we need to know. *Environmental Sciences Europe*. 26:1.
- Wang, Y., Wang, H., Li, X., Liu, D., Jiang, Y., Sun, Z. 2013: O₃/UV synergistic aging of polyester polyurethane film modified by composite UV absorber. *Journal of Nanomaterials*, 4-4.
- Wang, S., Chen, H., Zhou, X., Tian, Y., Lin, C., Wang, W., Lin, H. 2020: Microplastic abundance, distribution and composition in the mid-west Pacific Ocean. *Environmental pollution*, 264: 114125.

Wright, S. L., Thompson, R. C., Galloway, T. S. 2013: The physical impacts of microplastics on marine organisms: a review. *Environmental pollution*, 178: 483-492.

Zhao, S., Zettler, E. R., Amaral-Zettler, L. A., Mincer, T. J. 2021: Microbial carrying capacity and carbon biomass of plastic marine debris. *The ISME journal*, 15: 67-77.

Zhu, K., Jia, H., Zhao, S., Xia, T., Guo, X., Wang, T., Zhu, L., 2019: Formation of environmentally persistent free radicals on microplastics under light irradiation. *Environ. Sci. Technol.* 53: 8177–8186.

9.2. LEGISLATIVNÍ ZDROJE

Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1907/2006 ze dne 18. prosince 2006 o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek, o zřízení Evropské agentury pro chemické látky, o změně směrnice 1999/45/ES a o zrušení nařízení Rady (EHS) č. 793/93, nařízení Komise (ES) č. 1488/94, směrnice Rady 76/769/EHS a směrnic Komise 91/155/EHS, 93/67/EHS, 93/105/ES a 2000/21/ES.

Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1223/2009 ze dne 30. listopadu 2009 o kosmetických přípravcích.

Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2019/904 ze dne 5. června 2019 o omezení dopadu některých plastových výrobků na životní prostředí.

9.3. INTERNETOVÉ ZDROJE

Alkoholia, ©2012: Stáčíte alkohol do vlastních PET lahví? Riskujete zdravotní potíže (online) [cit.2022.10.10], dostupné z <[Stáčíte alkohol do vlastních PET lahví? Riskujete zdravotní potíže](#)>.

ECHA © 2018-2022: EUROPEAN CHEMICALS AGENCY (online) [cit.2022.05.12], dostupné z <<https://echa.europa.eu/cs/-/echa-proposes-to-restrict-intentionally-added-microplastics>>.

- Envi-pur ©2023: Flotace (online) [cit.2023.02.11], dostupné z <<https://www.envi-pur.cz/upravny-pitne-vody-flotace-rozpustenym-vzduchem-daf/>>.
- Fashion revolution ©2018: Our clothes shed microfibres – here’s what we can do... (online) [cit.2022.10.07], dostupné z: <<https://www.fashionrevolution.org/our-clothes-shed-microfibres-heres-what-we-can-do/>>.
- Fionnferreira ©2021: Projects (online) [cit.2022.10.05], dostupné z: <<https://www.fionnferreira.com/#projects>>.
- Greenpeace ©2019: Greenpeace Research Laboratories Analytical Results 2019-01 (online) [cit.2023.02.11], dostupné z: <<https://www.greenpeace.to/greenpeace/wp-content/uploads/2019/03/Czechia-river-microplastics-Analytical-Results-report-March-2019.pdf>>.
- Chromatographyonline © 2021: Identification of Microplastics in Environmental Monitoring Using Pyrolysis–GC–MS Analysis (online) [cit.2022.12.20], dostupné z <<https://www.chromatographyonline.com/view/identification-of-microplastics-in-environmental-monitoring-using-pyrolysis-gc-ms-analysis>>.
- Mapy.cz ©2022 (online) [cit.2022.11.13], dostupné z: <<https://mapy.cz>>.
- Nilmore ©2022: 35 % mikroplastů se uvolňuje z textilu a oblečení. Jak tomu zabránit? (online) [cit.2022.09.25], dostupné z: <<https://www.nilmore.com/a/35-mikroplastu-se-uvolnuje-z-textilu-a-obleceni-jak-tomu-zabranit>>.
- Plastic Europe ©2020: Plastics - the Facts (online) [cit.2023.02.03], dostupné z: <<https://plasticseurope.org/changingplasticsforgood/>>.
- Šuta M., 2008: Chemické látky v životním prostředí a zdraví (online) [cit.2023.01.25], dostupné z: <<https://www.veronica.cz/chemicke-latky-v-zivotnim-prostredi>>.
- Tříděníodpadu.cz ©2007: Mikroplasty (online) [cit.2022.11.15], dostupné z: <<https://www.trideniodpadu.cz/mikroplasty>>.
- Ústav pro hydrodynamiku AV ČR ©2021: Nanoplasty jsou neviditelnou hrozbou (online) [cit.2022.10.25], dostupné z: <<https://www.avcr.cz/cs/o-nas/aktuality/Nanoplasty-jsou-neviditelnou-hrozbou-varuje-environmentalni-chemik>>.

VLIZ © 2009: Neuston net (online) [cit.2022.12.01], dostupné z:

<<https://www.vliz.be/en/neustonnet-en>>.

VŠCHT Praha © 2020: Metody atomové spektrometrie (online) [cit.2023.02.02],

dostupné z: <https://web.vscht.cz/~koplikr/AMFA_atomov%C3%A1_spektrometrie_%C4%8D%C3%A1st_1_2020.pdf>.

Williams, A., 2016: Washing clothes releases thousands of microplastic particles into environment, study shows (online) [cit.2022.10.20], dostupné z:

<<https://www.plymouth.ac.uk/news/washing-clothes-releases-thousands-of-microplastic-particles-into-environment-study-shows>>.

Wimmerová, L., Lexa, M., Válová, M. 2021: Analýza mikroplastů ve sladkých vodách a hodnocení jejich toxicity pro vodní organismy (online) [cit.2023.02.02],

dostupné z: < http://www.ekomonitor.cz/sites/default/files/filepath/prezentace/16_wimmerova.pdf>.

World Economic Forum ©2016: Climate and Nature (online) [cit.2022.12.10],

dostupné z <<https://www.weforum.org/agenda/climate-and-nature>>.

9.4. OSTATNÍ ZDROJE

Holmes, A., 2018: Microplastics in sewage sludge. Cranfield University, School of Water, Energy and Environment, Cranfield, Velká Británie, 55 s. (diplomová práce). „nepublikováno“.

Válová, M., 2021: Ekotoxické aspekty přítomnosti mikroplastů ve vodním prostředí. Česká zemědělská univerzita, Fakulta životního prostředí, Praha. 70 s (bakalářská práce). „nepublikováno“.