



Diplomová práce

Stanovení vláknenných mikroplastů v sedimentech

Studijní program:

N0723A270003 Průmyslové inženýrství

Autor práce:

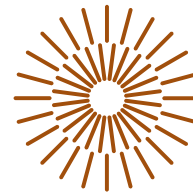
Bc. Barbora Horčíková

Vedoucí práce:

prof. Ing. Jakub Wiener, Ph.D.

Katedra materiálového inženýrství

Liberec 2025



Zadání diplomové práce

Stanovení vlákenných mikroplastů v sedimentech

Jméno a příjmení:

Bc. Barbora Horčíková

Osobní číslo:

T22000046

Studijní program:

N0723A270003 Průmyslové inženýrství

Zadávací katedra:

Katedra hodnocení textilií

Akademický rok:

2024/2025

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte rešerši na téma vlákenných mikroplastů v sedimentech povrchových vod
2. Navrhněte a ověřte metodiku stanovení vlákenných mikroplastů v sedimentech povrchových vod, zaměřte se zejména na metodiku separace jednotlivých složek sedimentu
3. Stanovte obsah vlákenných mikroplastů v reálných vzorcích sedimentů povrchových vod v okolí Liberce
4. Výsledky diskutujte z ekologického hlediska

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování práce:

tištěná/elektronická

Jazyk práce:

čeština

Seznam odborné literatury:

1. Crawford, C.B., a Brian Quinn. 2017. *Microplastic Pollutants*. Elsevier Science. ISBN: 978-0-12-809406-8.
2. Chen, Yuling, Yifei Leng, Xiaoning Liu, a Jun Wang. 2020. "Microplastic pollution in vegetable farmlands of suburb Wuhan, central China". *Environmental Pollution* 257 (únor):113449. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113449>.
3. Harrison, Jesse, Jesús Ojeda, a Maria Romero-Gonzalez. 2012. "The applicability of reflectance micro-Fourier-transform infrared spectroscopy for the detection of synthetic microplastics in marine sediments". *The Science of the total environment* 416 (únor):455–63. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.11.078>.
4. Van Cauwenberghe, Lisbeth, Lisa Devriese, François Galgani, Johan Robbens, a Colin R. Janssen. 2015. "Microplastics in sediments: A review of techniques, occurrence and effects". *Marine Environmental Research, Particles in the Oceans: Implication for a safe marine environment*, 111 (říjen):5–17. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2015.06.007>.

Vedoucí práce:

prof. Ing. Jakub Wiener, Ph.D.

Katedra materiálového inženýrství

Datum zadání práce:

16. prosince 2024

Předpokládaný termín odevzdání:

10. ledna 2025

L.S.

doc. Ing. Vladimír Bajzík, Ph.D.
děkan

doc. Ing. Maroš Tunák, Ph.D.
garant studijního programu

V Liberci dne 6. ledna 2025

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci jsem vypracovala samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Jsem si vědoma toho, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má diplomová práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědoma následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

Anotace

Diplomová práce se zaměřuje na problematiku mikroplastů v prostředí, jejich toxicitu, metody separace a analýzu, se zvláštním důrazem na sedimenty vodních toků. Práce je rozdělena na teoretickou a experimentální část. Teoretická část poskytuje komplexní přehled o velikostním rozdělení plastů, charakterizuje různé typy plastů, včetně syntetických polymerů, bioplastů a oxo-degenerovatelných plastů. Dále se zaměřuje na mikroplasty a nanoplasty, jejich původ a dopady na životní prostředí i lidské zdraví. Významnou částí jsou také metody separace mikroplastů, jako je centrifugace, chemická digesce a elektrostatická separace.

V experimentální části práce jsou uvedeny metody přípravy a analýzy vzorků sedimentů, včetně testování odolnosti vláken proti oxidaci a experimentů s definovanými vzorky sedimentů. Práce se rovněž zaměřuje na analýzu skutečných vzorků sedimentu z vodních toků, včetně podmínek vzorkování, skladování a úpravy vzorků. Výsledky experimentů ukazují na potenciální vlákenné mikroplasty v sedimentu a jejich vliv na ekologickou rovnováhu. Závěr práce shrnuje význam této problematiky pro ochranu životního prostředí a zdraví.

Klíčová slova

vlákenné mikroplasty, syntetické polymery toxicita mikroplastů, sedimenty, analýza sedimentu, separace mikroplastů, hustotní flotace, chemická digesce, detekce mikroplastů, filtrace mikroplastů

Abstract

The thesis focuses on the issue of microplastics in the environment, their toxicity, separation methods, and analysis, with a particular emphasis on sediment from water bodies. The work is divided into theoretical and experimental parts. The theoretical section provides a comprehensive overview of the size distribution of plastics, characterizing various types of plastics, including synthetic polymers, bioplastics, and oxo-degradable plastics. It further concentrates on microplastics and nanoplastics, their origin, and their impact on the environment and human health. A significant part is dedicated to microplastic separation methods such as centrifugation, chemical digestion, and electrostatic separation.

The experimental part of the thesis details methods for the preparation and analysis of sediment samples, including testing the resistance of fibers to oxidation and experiments with defined sediment samples. It also focuses on the analysis of real sediment samples from water bodies, covering sampling conditions, storage, and sample processing. The results of the experiments indicate the presence of potential fibrous microplastics in the sediment and their impact on ecological balance. The conclusion summarizes the importance of this issue for environmental protection and health.

Keywords

microfibers, synthetic polymers, microplastics toxicity, sediments, sediment analysis, microplastic separation, density flotation, chemical digestion, microplastic detection, microplastic filtration

Poděkování

Ráda bych poděkovala svému vedoucímu práce, prof. Ing. Jakobovi Wienerovi Ph.D., za jeho odborné vedení, cenné rady a trpělivost. Mé poděkování patří zároveň také mému zaměstnavateli, Mgr. Renatě Sochorové, za podporu a pochopení při skloubení pracovních povinností se studiem. V neposlední řadě děkuji svému manželovi Martinu Horčíkovi, který mi byl po celou dobu velkou oporou, bez níž by bylo dokončení diplomové práce mnohem obtížnější.

Seznam použitých zkratk

- ABS – butadien styrenový kaučuk
- BPA – bisfenol A
- DDT – dichlorfenyltrichlorethan
- EBSD – difrakce zpětně odražených elektronů
- EDX – energeticky disperzní rentgenová spektroskopie
- FTIR – Fourierova transformační infračervená spektroskopie
- LDPE – nízkohustotní polyethylen
- MCE – směs esterů celulózy
- PBAT - polybutylen tereftalátadipát
- PBS - polybutylen sukcinát
- PE – polyethylen
- PES – polyester
- PHA - polyhydroxyalkanoát
- PLA - kyselina polyléčná
- PP - polypropylen
- PVC – polyvinyl chlorid
- PS - polystyren
- PTFE – polyethylen tereftalát
- SEM – rastrovací elektronový mikroskop
- UV – ultrafialové záření
- WDS – vlnově disperzní rentgenová spektroskopie

Obsah

1	Úvod	11
	Teoretická část	12
2	Velikostní rozdělení plastů	12
2.1	Plasty	12
2.1.1	Syntetické polymery	12
2.1.2	Bioplasty	13
2.1.3	Oxo-degenerovatelné plasty	13
2.1.4	Polysiloxany	14
2.1.5	Polysilany	14
2.1.6	Anorganické a hybridní polymery	14
2.2	Mikroplasty	14
2.3	Vlákněný mikroplast	15
2.4	Nanoplasty	15
3	Produkce plastů	16
3.1	Dlouhodobá prognóza produkce plastů	16
3.2	Zdroje mikroplastů v životním prostředí	17
4	Toxicita mikroplastů	18
4.1	Vliv mikroplastů na životní prostředí	18
4.2	Vliv mikroplastů na lidské zdraví	18
5	Metody odběru vzorku ze sedimentu	20
6	Metody separace mikroplastů ze sedimentu	22
6.1	Proces chemické digesce	22
6.1.1	Provedená chemická digesce pomocí H ₂ O ₂ podle zahraniční studie	23
6.1.2	Provedená chemická digesce pomocí KOH podle zahraniční studie	23
6.2	Centrifugace a hustotní flotace	24
6.2.1	Proces hustotní flotace podle zahraniční studie	25
6.3	Elektrostatická separace	26
7	Analýza mikroplastů	28
7.1	Vizuální identifikace	28
7.2	Skenovací elektronová mikroskopie (SEM)	29
7.3	Spektroskopické metody	30
7.4	Infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací (FTIR)	31
7.5	Ramanova spektroskopie	31

Experimentální část	32
8 Použité přístroje, materiály a chemikálie	33
8.1 Přístroje.....	33
8.2 Materiály.....	33
8.3 Chemikálie.....	33
9 Příprava vzorku sedimentu	34
10 Chemická oxidace roztokem H₂O₂	35
11 Test odolnosti vláken proti oxidaci	38
11.1 Test odolnosti vláken s definovaným vzorkem sedimentu (PES, Viskóza)	38
12 Experiment s definovaným vzorkem sedimentu s kontaminantem	40
12.1 Vyhodnocení experimentu s definovaným vzorkem sedimentu.....	41
13 Stanovení vlákenných mikroplastů v reálném vzorku sedimentu	43
13.1 Zájmová lokalita	43
13.2 Nástroj pro vzorkování	43
13.3 Skladování vzorků	44
13.4 Chemická oxidace pomocí H ₂ O ₂	45
13.5 Hustotní flotace.....	46
13.6 Filtrace	48
13.7 Podmínky skenování.....	49
14 Výsledky.....	50
14.1 Nalezená potenciální vlákenné mikroplasty	51
14.2 Snímání vzorků pomocí mikroskopu Bresser.....	53
14.3 Snímání vzorků pomocí SEM.....	56
15 Laboratorní postup pro přípravu vzorku sedimentu.....	61
16 Závěr	63
17 Použitá literatura	65
18 Seznam použitých obrázků	68
19 Seznam použitých tabulek	69

1 Úvod

V současné době čelíme nejen narůstajícímu povědomí o devastujících dopadech plastového znečištění na naše životní prostředí, ale také naléhavé potřebě porozumět jeho důsledkům, zejména mikroplastům. Znečištění mikroplasty představuje komplexní problém, jehož významnou složkou je akumulace těchto drobných částic v sedimentech vodních ekosystémů. Toto téma je zásadní nejen z globálního hlediska, ale také pro Českou republiku a Evropu, kde stále přibývá studií zaměřených na stav vodních toků a znečištění mikroplasty.

V Evropě se plastové znečištění stalo jedním z klíčových ekologických problémů. Vodní toky, jako je Dunaj, nebo dokonce menší řeky v Česku, například Vltava a Labe, byly identifikovány jako významné cesty přenosu mikroplastů do moří a oceánů. Téma mikroplastů v sedimentu je důležité nejen kvůli ekologickým rizikům, ale i kvůli ohrožení lidského zdraví, například kontaminací potravního řetězce. I přestože legislativní opatření a recyklační systémy v Evropě patří k nejpokročilejším na světě, množství plastů, které unikají do přírody, je stále alarmující.

Mikroplasty představují specifický problém z hlediska jejich trvalosti. Jsou odolné vůči biologickému rozkladu a mohou přetrvávat v prostředí po desítky až stovky let. Podobně jako jiné části Evropy, i české sladkovodní toky fungují jako „sběrače“ těchto materiálů, které se usazují v sedimentech.

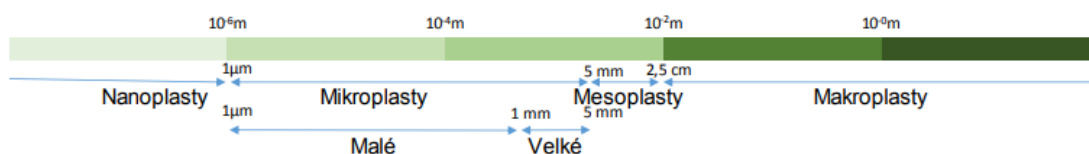
Přestože plastové materiály přinesly revoluci ve způsobu našeho života a významně přispěly k modernizaci společnosti, jejich dlouhodobý dopad na životní prostředí představuje jednu z největších výzev současnosti. Studie odhalují, že každý rok přibývají miliony tun plastů, a přestože Evropa snižuje svou produkci jednorázových plastů, stále se potýkáme s historickým zatížením z minulých dekad. Tento problém podtrhuje potřebu nových technologií a přístupů ke snížení plastového znečištění.

Tato práce se zabývá analýzou mikroplastů v sedimentech sladkovodních toků. Nejprve je uvedena teoretická část, která se zaměřuje na definici a vlastnosti mikroplastů, jejich dopad na životní prostředí a přehled současných výzkumů v České republice a Evropě. Experimentální část pak popisuje odběr vzorků sedimentů, jejich úpravu, separaci mikroplastů a jejich identifikaci a kvantifikaci. Pro tento postup je třeba navrhnout a otestovat metodiku na přesně definovaném vzorku sedimentu, který poté bude možné použít na reálný vzorek z vodního toku.

Teoretická část

2 Velikostní rozdělení plastů

V životním prostředí se plasty nacházejí ve všech možných rozměrech, které se pohybují od nanometrů až po metry. V běžném životě se setkáváme s makroplasty. Hrozbou pro životní prostředí jsou ale také menší částice plastů. Z hlediska velikosti se plasty dělí do čtyř skupin: makroplasty, mesoplasty, mikroplasty a nanoplasty (1).



Obrázek 1: Velikostní rozdělení plastů

2.1 Plasty

Plasty jsou syntetické polymerní sloučeniny, které se v současné době řadí mezi nejpoužívanější materiály. Nejjednodušší definice polymeru je něco, co se skládá z mnoha jednotek. Polymery jsou řetězce molekul. Každý článek řetězce je obvykle vyroben z uhlíku, vodíku, kyslíku. Vyrábí se z organických látek, do kterých patří především celulóza, uhlí, zemní plyn a ropa. Obsahují však mnoho dalších chemikálií pro zlepšení vlastností. Pro vytvoření polymerů se ropa a další produkty zahřívají za kontrolovaných podmínek a rozkládají se na menší molekuly zvané monomery. Tyto monomery jsou stavební jednotky pro polymery (2).

Plasty lze rozdělit do dvou hlavních kategorií: termosety a termoplasty. Termoset je polymer, který po zahřátí nevratně tuhne. Jsou užitečné pro svou odolnost a pevnost, a proto se používají především v automobilech a stavebních aplikacích. Další použití jsou lepidla, inkousty a nátěry. Termoplast je polymer, ve kterém jsou molekuly drženy pohromadě slabými vazbami, čímž vznikají plasty, které působením tepla měknou a vrací se do původního stavu při pokojové teplotě. Termoplasty lze snadno tvarovat do produktů, jako jsou džbány na mléko, podlahové krytiny, kreditní karty nebo vlákna koberců.

2.1.1 Syntetické polymery

Díky svým vlastnostem mohou syntetické polymery nahradit nejen přírodní polymery, ale i materiály jako kov, keramiku a sklo. Vyrábějí se z relativně

levných a dostupných surovin a naleznou uplatnění především ve stavebnictví, elektrotechnice, automobilovém průmyslu, textilním průmyslu a výrobě předmětů běžné spotřeby, obalů, lepidel, laků a nátěrových hmot.

Hlavní surovinou pro výrobu syntetických polymerů je ropa. Mezi nejznámější syntetické polymery patří polyethylen (PE), polypropylen (PP), polyvinylchlorid (PVC), polystyren (PS), polytetrafluoretylen (PTFE), fenoplasty, polyestery a epoxidové pryskyřice. Tyto polymery mají různé vlastnosti, a proto se využívají pro různé aplikace v průmyslu a v běžném životě (3).

2.1.2 Bioplasty

Rozlišujeme plasty vyrobené z přírodních zdrojů, jako je cukrová třtina, kukuřice nebo celulóza, a biodegradovatelné plasty. (4) Bioplasty můžeme rozdělit do tří hlavních skupin:

1. Nebiodegradovatelné plastické hmoty z přírodních zdrojů, jako je bio-PE, bio-PP nebo bio-PET. Tyto plasty jsou vyrobeny z obnovitelných surovin, ale nejsou samy o sobě biodegradovatelné.
2. Biodegradovatelné plasty z přírodních zdrojů, jako je kyselina polymléčná (PLA), polyhydroxyalkanoáty (PHA) a polybutylen sukcinát (PBS). Tyto plasty jsou biodegradovatelné, což znamená, že se mohou rozkládat přirozenými mikroorganismy a prostředím.
3. Zcela biodegradovatelné plasty, které jsou vyrobeny z fosilních zdrojů, například polybutylen tereftalátadipát (PBAT). Tyto plasty jsou také schopny biodegradace a jsou často používány jako alternativa k tradičním plastům založeným na ropě (3).

2.1.3 Oxo-degenerovatelné plasty

Oxo-degradabilní plasty jsou materiály vyráběné z běžných polymerů, které jsou doplněny o aditiva, jež zvyšují jejich biodegradovatelnost. Proces rozkladu může být spuštěn různými mechanismy, jako je teplota, UV záření nebo mechanické napětí. Tyto plasty jsou ze své podstaty hydrofobní, což jim brání v biologickém rozkladu. Avšak pokud jsou narušeny oxidací, stávají se postupně hydrofilními a tím i biologicky rozložitelnými. Během biologického rozkladu je plast mineralizován (3).

Ve vodních tocích je rozklad oxo-degradabilních plastů dosud nedostatečně prozkoumán. Protože přibližně 80 % plastů zanesených do vodních toků, jezer a moří se hromadí na březích, kde jsou vystaveny slunečnímu svítu a teplotě, je možné očekávat, že

oxo-degradabilní plasty pomohou snížit znečištění okolí vodních ploch. Tento proces je založen na rozpadu plasty na menší fragmenty, které jsou následně odbourávány mikroorganismy nebo jinými přírodními procesy (4).

2.1.4 Polysiloxany

Polysiloxany jsou organo-křemičité sloučeniny, které mají v hlavním řetězci střídající se křemíkové a kyslíkové atomy. Délka hlavního řetězce a připojené organické skupiny na křemíkové atomy ovlivňují vlastnosti těchto látek. Jsou známé pro svou širokou škálu chemických forem, které mohou být pevné, kapalné nebo těkavé sloučeniny.

Polysiloxany mají různé viskozity, od podobné vodě až po velmi hustou hmotu, jako jsou oleje, vazelíny, gely, gumy a pryskyřice. Tato variabilita je způsobena změnami v délce a struktuře organických skupin připojených k hlavnímu řetězci, což umožňuje vytváření polysiloxanů s různými fyzikálními vlastnostmi (3).

2.1.5 Polysilany

Polysilany tvoří lineární řetězce, kde hlavní řetězec obsahuje pouze atomy křemíku. Jsou to v podstatě křemíkové analogy uhlíkatých polymerů. V polysilanech mohou být křemíkové atomy navázány různými substituenty. Tyto látky mají schopnost vést elektrický proud a při jejich pyrolýze vznikají karbidy křemíku (SiC). Tyto karbidy křemíku najdou uplatnění jako technická keramika, například v brusných materiálech, žáruvzdorných cihlách, izolantech a dalších aplikacích (3).

2.1.6 Anorganické a hybridní polymery

Na rozdíl od klasických polymerů na ropné bázi, základní řetězce anorganických polymerů nejsou tvořeny uhlíkem, ale skládají se z anorganických monomerů. Existují také tzv. hybridní polymery, které kombinují anorganické a organické složky. Obě tyto kategorie polymerů vytvářejí materiály, které mají podobné vlastnosti jako materiály vyrobené z organických polymerů (5).

2.2 Mikroplasty

Mikroplasty jsou malé plastové částice, které mají velikost v rozmezí od několika mikrometrů až po 5 milimetrů. Mikroplasty se podle velikosti dělí na malé mikroplasty, které jsou do velikosti 1 milimetru a velké mikroplasty, které mají svou velikost v rozmezí od 1 do 5 milimetrů. Tyto částice mohou vznikat různými způsoby. Rozpadem větších plastových předmětů či textilních vláken, odplavováním mikroplastických

částic z kosmetických a čisticích produktů nebo plastového odpadu z pevniny do vodních toků.

V životním prostředí jsou v zásadě k dispozici dva typy mikroplastů – primární a sekundární. Primární mikroplasty jsou vedlejšími produkty emisí částic uvolňovaných z průmyslové výroby, uvolňování plastového prachu z plastových výrobků. Sekundární mikroplasty jsou větší plastové částice. V důsledku povětrnostních vlivů se větší plastový materiál rozpadá na menší fragmenty. Mikroplasty jsou obsaženy ve všech formách biosféry (6).

2.3 Vlákný mikroplast

Jedná se o specifický typ mikroplastického znečištění, který má podobu jemných vláken. Tato vlákna mohou být vyrobena z různých polymerů, jako je polyester, polypropylen nebo nylon, a obvykle pocházejí z textilních materiálů, rybářských sítí nebo syntetických oděvů. Vlákné mikroplasty se uvolňují například při praní oděvů nebo rozpadu větších plastových produktů a mohou být nalezeny ve vzorcích sedimentů, vody či organismů. V rámci laboratorních analýz jsou vlákné mikroplasty obvykle identifikovány na základě jejich tvaru, barvy a dalších fyzikálních vlastností, a to pomocí mikroskopických nebo spektroskopických technik (7).

Vlákné mikroplasty nemají striktní velikostní parametry, ale obecně jsou charakterizovány následujícími vlastnostmi:

- Obvykle spadají do rozsahu několika mikrometrů až několika milimetrů. Vědecké studie často uvádějí vlákna menší než 5 mm, což odpovídá definici mikroplastů.
- Vlákna mají průměr často menší než 10 μm .
- Vlákna jsou charakteristická tím, že mají vysoký poměr délky k průměru, což je odlišuje od jiných forem mikroplastů, jako jsou fragmenty nebo pelety.
- Vlákné mikroplasty jsou obvykle barevné (modré, červené, černé) a mají vláknitý nebo nitkový tvar.

2.4 Nanoplasty

Další plastové částice jsou nanoplasty. Jedná se o plastové úlomky, které jsou menší než 100 nm. Nanoplasty jsou tak malé, že mohou snadno projít jakýmkoli běžným procesem čištění vody, což z nich dělá mnohem větší hrozbu pro životní prostředí. U takto malých částic dosud neexistují efektivní metody pro jejich identifikaci a kvantifikaci, jelikož je jejich odběr a analýza mnohem náročnější, než u mikroplastů (8).

3 Produkce plastů

Plasty jsou dnes považovány za jedny z nejpoužívanějších a nejvšestrannějších materiálů moderní doby, což vedlo k jejich enormnímu nárůstu výroby, aby uspokojily stále rostoucí poptávku. V roce 1950 činila roční světová produkce plastů pouhých 1,5 milionu tun. Navzdory krátkodobým poklesům způsobeným například ropnou krizí v roce 1973 či finanční krizí v roce 2007, vzrostla do roku 2009 produkce plastů na 250 milionů tun ročně. Tento trend pokračoval exponenciálně a v roce 2014 dosáhla celosvětová produkce 311 milionů tun ročně, což představovalo nárůst o 25 % během pouhých pěti let. Za období 65 let, od roku 1950 do roku 2014, se tak roční produkce plastů zvýšila o neuvěřitelných 20 000 % (9).

Do roku 2014 byly největšími světovými producenty plastů Čína (26 %), Evropa (20 %) a Severní Amerika (19 %). V Evropě pět zemí – Německo, Itálie, Francie, Spojené království a Španělsko – spotřebovalo dohromady téměř dvě třetiny veškeré evropské poptávky. Mezi nejžádanějšími plasty dominovaly polyethylen a polypropylen, přičemž největšími odběrateli byla balicí průmyslová odvětví (9).

Od roku 2014 pokračoval trend růstu světové produkce plastů. Do roku 2022 překročila tato produkce hranici 400 milionů tun ročně. Mezi lety 2010 a 2020 rostla produkce tempem přibližně 3 % ročně, což odpovídalo zvýšení z 270 milionů na 370 milionů tun ročně. Prognózy naznačují, že do roku 2025 by mohla globální produkce plastů dosáhnout až 445 milionů tun a do roku 2050 přibližně 590 milionů tun (10).

Tento kontinuální růst podtrhuje nejen význam plastů v moderním průmyslu a každodenním životě, ale také výzvy spojené s jejich likvidací a environmentálním dopadem. Jak produkce stále roste, stává se naléhavější potřeba rozvoje efektivních recyklačních strategií a hledání udržitelnějších alternativ k tradičním plastům.

3.1 Dlouhodobá prognóza produkce plastů

Současné dlouhodobé prognózy naznačují, že produkce plastových materiálů nejeví žádné známky zpomalení a očekává se, že exponenciálně poroste. Celosvětová populace by měla do roku 2100 vzrůst přibližně na 10,85 miliardy, což představuje nárůst o více než 50 % oproti současnému stavu. Do roku 2050 se proto předpokládá, že bude vyrobeno dalších přibližně 33 miliard tun plastů, přičemž roční globální produkce se bude pohybovat mezi 850 miliony a 1124 miliony tun (9).

Předpovědi tohoto typu je ovšem obtížné provádět s vysokou přesností, zejména při pohledu na vzdálenější budoucnost. Taková úroveň produkce může dnes znít nereálně. Stačí si však představit reakci člověka v roce 1950, kdyby mu bylo řečeno, že výroba plastů vzroste z tehdejších 1,5 milionu tun na 311 milionů tun za pouhých 65 let. Pravděpodobně by reagoval s údivem nebo nevěřícími. Proto i když mohou tyto odhady v současnosti působit nepravděpodobně, pohled na historický vývoj a současné tempo produkce naznačuje, že tyto prognózy mohou být nejen přesné, ale možná i příliš konzervativní (9).

3.2 Zdroje mikroplastů v životním prostředí

Mikroplasty se do životního prostředí dostávají z různých zdrojů. Jmenovitě je to například kosmetický a textilní průmysl a plastové odpady.

Kosmetické výrobky obsahují částice plastových polyethylenových mikročástic, které vstupují do kanalizačních systémů a mohou se skrze čističky odpadních vod dostat do přírodních toků.

V současné době obsahují textilie větší poměr syntetických, než přírodních vláken. Práním syntetických oděvů se do odpadních vod dostává nezanedbatelné množství vlákných mikroplastů. Vysoký počet uvolněných vláken byl zaznamenán u polyesteru. Při běžném praní prádla, které obsahuje polyesterové tkaniny, se může uvolnit vysoké množství vlákných mikroplastů (1). Dalšími zdroji jsou například opotřebované pneumatiky, silniční barvy, chirurgické roušky, respirátory a rukavice, jejichž spotřeba v posledních letech rapidně vzrostla (11).

4 Toxicita mikroplastů

Mikroplasty jsou nebezpečný plastový odpad. Syntetické vláknenné mikroplasty jsou velmi škodlivá pro mořský i sladkovodní život. Složení plastů a jejich spojitost s lidskou činností má závažné dopady na fungování ekosystémů. Například pouhé zemědělské půdy mohou obsahovat více mikroplastů než oceán. V půdě mohou mikroplasty setrvat déle než 100 let kvůli podmínkám s nedostatkem světla a kyslíku. Tyto plastické mikročástice interagují s půdní faunou, která je transportuje jak horizontálně, tak vertikálně. Například expozice mikroplastů může u žížal způsobit strukturální změny v jejich kanálcích, což má přímý vliv na funkci půdy a půdní agregaci (12).

4.1 Vliv mikroplastů na životní prostředí

Znečišťující látky putují z řek do moří nebo oceánů. Mořští živočichové někdy konzumují takový plastový odpad a člověk poté konzumuje mořské plody, které obsahují mikroplasty. Toxické látky se tak dostávají do krevního oběhu a přímo ovlivňují zdraví. Velikost mikroplastů o velikosti menší než 5 mm je považována za jednu z největších hrozeb pro mořské prostředí na celém světě. Pro mnoho vodních druhů to vypadá jako potrava a konzumují ji (13). Transport kontaminantů z plastů do organismu může nastat několika cestami, nejčastěji inhalačně, perorálně nebo skrze pokožku. Hlavní zdrojová cesta se liší podle typu organismu a fyzikálně-chemických vlastností kontaminující látky. U mořských organismů však převládá přenos nebezpečných látek při požití plastu. Malé plovoucí plasty na hladině oceánu jsou často omylem rybami a ptáky považovány za potravu (14).

4.2 Vliv mikroplastů na lidské zdraví

Mikroplast může také fungovat jako transportní médium pro jiné toxické prvky, jako je například DDT a hexachlorbenzen. Tyto nebezpečné látky pak mohou nakonec skončit v těle živého organismu, který je konzumuje. A proto takový kontaminant představuje potenciální hrozbu pro životní prostředí a lidstvo. Současná fáze výzkumu jakékoli nejmenší částice se provádí s 63 μm , což je jen přibližně velikost lidského vlasu, ale hlavní hrozbou je, že velikost mikroplastu je mnohem menší než 63 μm a může snadno projít jakoukoli membránovou strukturou. Vyřazené syntetické polymery, jako je vysokohustotní a nízkohustotní polyethylen, nylony, polyvinylchlorid atd., představují značnou hrozbu pro životní prostředí (14).

Jednou z chemických složek plastů je barvivo, což je jedním z nově se objevujících kontaminantů. Celý svět se potýká s problémem syntetických barviv, jako je brilantní zeleň, krystalová violet, safraninová barviva atd. Existují různé technologie pro kontrolu škodlivého účinku barviv, jako je např. adsorpční technologie (15).

Dosavadní závěry o vlivu mikroplastů na lidské zdraví vycházejí z výsledků studií z jiných oborů, jako je nanotoxikologie a výzkum znečištění ovzduší. Provádění přímého sledování vlivu těchto částic na člověka není možné. Podobně jako u živých organismů, i u člověka představují velké nebezpečí nejen samotné mikroplasty, ale také toxické látky, které se na ně váží. Tyto toxiny mohou způsobovat závažné zdravotní potíže (16).

Díky akumulaci plastových mikročástic v tělech všech vodních organismů je i člověk vystaven tomuto nebezpečí, zejména skrze konzumaci mořských potravin. Vstup mikroplastických částic do lidského organismu je prokázán nálezem těchto částic v lymfatických uzlinách, játrech a slezině. Hlavními cestami, jak se tyto částice dostávají do těla člověka, jsou požití a inhalace.

I když jsou plasty z biochemického hlediska považovány za inertní kvůli své velké molekulové velikosti, více než polovina plastů je spojena s nebezpečnými monomery, aditivy a chemickými vedlejšími produkty. Během výrobních procesů jsou polymerizační reakce často nedokončeny. Což vede k přítomnosti zbytkových monomerů, jako je například vinylchlorid, bisfenol A (BPA) a styren v hotových výrobcích.

Tyto látky mají tendenci volně migrovat z plastových výrobků do okolního prostředí díky své nízké molekulové hmotnosti a mohou tak kontaminovat například tekutiny uvnitř plastových nádob. Plasty jako polystyren, polyvinylchlorid a polykarbonát uvolňují toxické monomery, které jsou spojeny s onkologickými a reprodukčními problémy u lidí i bezobratlých (17).

Chemikálie jako bisfenol A a styren jsou podezřelé z narušování endokrinního systému a jsou sledovány vědeckými studii. Bisfenol A byl nalezen v moči, krvi, mateřském mléce a tkáňových vzorcích. Existuje stále více důkazů o existenci dalších látek obsažených v plastech, které mohou negativně ovlivňovat lidské zdraví, včetně expozice spojené s reprodukčními problémy.

Ftaláty, které se nacházejí v plastech, mohou způsobovat vývojové anomálie a ovlivňovat reprodukční schopnosti, těhotenství a dýchací cesty. Stejně jako u Bisfenolu A se i ftaláty nacházejí v moči a krevních vzorcích (18).

5 Metody odběru vzorku ze sedimentu

V různých studiích se pro odběr sedimentů k analýze mikroplastů používají různé metody, které závisí na prostředí a cílech výzkumu. V intertidální zóně se často používá metoda odběru pomocí kvadrátu, kde se sediment sbírá do hloubky 5 cm a následně prochází sítím o velikostech ok 1 mm a 5 mm. Tento postup umožňuje oddělit mikroplasty od ostatního materiálu. V některých studiích se také používá selektivní náhodný odběr, který pomáhá minimalizovat variabilitu způsobenou různými fyzickými prvky, jako jsou kameny nebo vegetace (19).

V sublitorálních zónách, tedy oblastech pod hladinou vody, se využívají grabovací zařízení (Ekman nebo Van Veen grab), která umožňují sběr sedimentu z povrchu mořského dna. Pro podrobnější vzorkování se používají jádrové nástroje, které odebírají vzorky z různých vrstev sedimentu, což poskytuje lepší přehled o akumulaci mikroplastů v čase.

V hlubokomořských zónách, kde je odběr sedimentů náročnější, se používají epibentické sítě, které se táhnou po mořském dně až do hloubky 4 km. Tento nástroj umožňuje sběr mikroplastů i makroplastů a poskytuje vizualizaci podmínek na dně. Pro odběr z větších hloubek se používají sedimentové megakorery, které umožňují získání vzorků z hloubek až 3500 m.

Po odběru vzorků se obvykle suší nebo zmrazují a uchovávají v temnu, než jsou připraveny k separaci mikroplastů. Každá metoda má své výhody a omezení, které závisí na typu prostředí a potřebách konkrétní studie (19).

Podle studie (20) odběr sedimentů proběhl 16. července 2012 na třech lokalitách v oblasti Eastern Passage v Novém Skotsku, Kanadě. Konkrétně se jednalo o pláž McCormack's Beach (N44.609°, W63.493°), exponovanou část pláže Rainbow Haven Beach a chráněnou lagunu též na Rainbow Haven Beach (N44.648°, W63.417°). Tyto tři lokality se nacházejí ve vzdálenosti do 10 km od sebe. Region je charakterizován erodujícím přílivovým pobřežím s glaciálními usazeninami.

Na každé lokalitě byly sedimenty odebrány při odlivu z vysoké, střední a nízké přílivové linie. Pro odběr byly použity kovové lopatky, pomocí nichž byly vzorky odebrány z plochy 225 cm² do hloubky 3–4 cm. Každý vzorek byl umístěn do nových, sterilních mrazicích sáčků, které byly ihned po odběru uzavřeny, aby se zabránilo kontaminaci.

Vzorky byly označeny podle odběrových míst a uloženy do mrazáku při teplotě - 20 °C pro další zpracování v laboratoři. Z každé lokality a každé přílivové linie bylo odebráno několik zásobních vzorků, uložených v sáčcích. V laboratoři byly ze zásobních vzorků vytvořeny vzorky o hmotnosti 10 g. Tyto vzorky sloužily k dalším analýzám, jako například odstranění organické hmoty pomocí peroxidu vodíku a izolaci mikroplastů pomocí solného roztoku.

Vzorky byly odebrány tak, aby byly reprezentativní pro danou přílivovou zónu a zahrnovaly různé typy sedimentů (písčité na exponovaných lokalitách a bahnité v chráněných oblastech). Celkový počet vzorků byl dostatečný pro statistickou analýzu mikroplastické kontaminace v závislosti na lokalitě a úrovni přílivu.

6 Metody separace mikroplastů ze sedimentu

Úspěšná separace vyžaduje vhodnou volbu metody, která efektivně oddělí mikroplasty od komplexní matrice, jako jsou sedimenty nebo vodní vzorky. Tento proces využívá fyzikálních a chemických vlastností mikroplastů, včetně jejich hustoty, elektrostatických vlastností, velikosti, tvaru a rozměru. Nejčastějšími technikami jsou hustotní separace kombinovaná s fluidizací a flotací, které umožňují efektivní izolaci mikroplastů od těžších anorganických částic.

Důkladná separace není jen technickým krokem, ale je zásadní pro přesnou analýzu a kvantifikaci mikroplastů, což je nezbytné pro pochopení jejich role v ekosystémech a pro navržení strategií na snížení jejich dopadu. Efektivní metody separace umožňují získat reprezentativní data potřebná pro hodnocení environmentálních rizik a hledání řešení v oblasti udržitelného nakládání s plasty.

6.1 Proces chemické digesce

Proces chemické digesce je technika využívající k extrakci mikroplastů z půdních a sedimentových vzorků. Tento proces je nezbytný k efektivnímu oddělení mikroplastů od organických materiálů, které mají podobnou hustotu jako plasty. V mnoha půdních a sedimentových vzorcích se nachází organické látky, jejichž hustota je blízká hustotě plastových částic, což ztěžuje jejich vizuální identifikaci. Chemická digesce tedy nabízí způsob, jak odstranit příměsi organických materiálů a umožnit tak lepší separaci mikroplastů pro další analýzu (21).

Během chemické digesce se používají silné kyseliny, zásady a oxidační činidla k rozkladu organických složek a uvolnění mikroplastů. Mezi nejběžněji používané chemikálie patří peroxid vodíku (H_2O_2), který je silným oxidačním činidlem. Peroxid vodíku se často využívá k rozpouštění organických látek přítomných ve vzorcích. Jeho použití je efektivní, protože peroxid vodíku rozkládá organické sloučeniny na jednodušší složky, což umožňuje uvolnění mikroplastů a jejich následné oddělení. Tato metoda je šetrná k mikroplastům, pokud jsou použity správné koncentrace a reakční podmínky. Peroxid vodíku je tak ideální pro zachování integrity plastových částic při jejich extrakci.

Další běžně používanou chemikálií je kyselina dusičná (HNO_3), která se ukázala jako účinná při odstraňování organických látek. Nicméně, její použití může způsobit rozklad některých plastových polymerů, jako je polyamid, PET (polyethylentereftalát) a ABS (akrylonitrilbutadien-styren). Tento rozklad může

ovlivnit následnou analýzu mikroplastů, což je důležitý aspekt, který je třeba při použití chemické digesce zohlednit (22).

Kromě kyseliny dusičné a peroxidu vodíku se také využívají Fentonovy reakce, které kombinují peroxid vodíku s železitými solemi. Fentonova reakce je účinná při odstraňování organických látek a má minimální vliv na samotné mikroplasty, což ji činí vhodnou pro tento účel. Při použití Fentonovy reakce je důležité kontrolovat pH (optimálně kolem 3) a teplotu reakce, která by neměla přesáhnout 40 °C. I při použití Fentonových reagensů je nutné si být vědom toho, že některé chemikálie mohou ovlivnit fyzikálně-chemické vlastnosti plastů, například způsobit změny barvy, deformace tvaru nebo dokonce sloučení plastových částic (23).

6.1.1 Provedená chemická digestce pomocí H₂O₂ podle zahraniční studie

Podle studie (20) byl každý vzorek sedimentu o hmotnosti 10 g zpracován pomocí peroxidu vodíku (H₂O₂) za účelem odstranění organické hmoty. Na každý vzorek bylo přidáno přibližně 150 ml 30% roztoku H₂O₂. Proces probíhal ve vzduchotěsně uzavřených nádobách umístěných na ohřevných deskách, které byly nastaveny na teplotu mezi 55–65 °C. Teplo urychlovalo rozklad organické hmoty, což vedlo k tvorbě bublinek a postupnému uvolňování plynů.

Peroxid vodíku reaguje s organickou hmotou tím, že ji oxiduje na jednodušší sloučeniny, jako je voda a oxid uhličitý. Tento proces zajišťuje, že v sedimentu zůstávají pouze anorganické složky, které jsou důležité pro další analýzy mikroplastů.

Během zpracování byly některé vzorky vystaveny vyšší koncentraci organické hmoty, což způsobilo pění a přilnutí sedimentu na stěny nádob. Tento efekt mohl snížit celkovou účinnost odstranění organické hmoty, ale většina sedimentů byla zpracována úspěšně. Výsledkem byla čistá, organicky nezatížená vzorková hmota vhodná pro následné analýzy, jako je separace mikroplastů.

6.1.2 Provedená chemická digestce pomocí KOH podle zahraniční studie

Další možností chemické digesce je použití roztoku hydroxidu draselného (KOH). Během této metody byly kompletní zažívací trakt ryb (jícen, žaludek a střeva) nebo obsah těchto orgánů umístěny do nádob a zality 10% roztokem KOH. Objem přidaného roztoku byl minimálně třikrát větší než objem biologického materiálu.

Nádoby byly uchovávány při pokojové teplotě po dobu 2–3 týdnů, dokud nebylo pozorováno úplné rozpuštění organického materiálu. Aby se zabránilo poškození plastových částic tvrdými žaludečními komponenty, nádoby nebyly během procesu

míchány. Po dokončení digesce byl obsah nádob přefiltrován přes síto s velikostí pórů 0,2 mm za účelem zachycení nestrávitelných zbytků, které byly následně analyzovány pomocí stereomikroskopu.

Během této metody bylo prokázáno, že plastové částice odolávají působení 10% KOH, což bylo potvrzeno předchozími testy. Vzorky byly zpracovávány ve sterilním prostředí, aby se minimalizovala kontaminace textilními vlákny, která byla v některých případech zjištěna (24).

6.2 Centrifugace a hustotní flotace

Centrifugace a hustotní separace jsou klíčovými metodami pro extrakci mikroplastů z anorganických sedimentů. Centrifugace využívá zrychlení k oddělení částic podle jejich hmotnosti nebo velikosti. Těžší částice, například anorganické sloučeniny s hustotou kolem 2,65 g/cm³, se usazují na dně, zatímco lehčí částice, jako jsou mikroplasty s hustotou v rozmezí 0,01–1,45 g/cm³, zůstávají na povrchu (25). Aby se efektivně oddělily mikroplasty od sedimentu, přidává se do vzorku nasycený roztok, například chlorid zinečnatý, který zvyšuje hustotu média a umožňuje extrakci širší škály mikroplastů. Tímto postupem lze zvýšit rychlost i účinnost separace, přičemž optimalizace parametrů, jako je rychlost otáčení a doba centrifugace, je zásadní pro přesnost metody. Nesprávné nastavení může vést k neúplnému oddělení částic nebo rozptýlení mikroplastů.

Další běžnou metodou je hustotní separace pomocí nasycených solných roztoků, které využívají rozdíl hustoty mezi plastovými částicemi a anorganickými sedimenty. Nejčastěji se používá chlorid sodný (NaCl) díky jeho nízké ceně a minimální zátěži pro životní prostředí. Tento roztok umožňuje extrakci mikroplastů s hustotou nižší než 1,2 g/cm³, což zahrnuje většinu běžných plastů, jako polyethylen ($\rho_{PE} = 0,96$ g/cm³) a polypropylen ($\rho_{PP} = 0,92$ g/cm³). Nicméně chlorid sodný není dostatečně hustý pro separaci mikroplastů s vyšší hustotou, například polyvinylchloridu ($\rho_{PVC} = 1,38$ g/cm³) a polyethylentereftalátu ($\rho_{PET} = 1,38$ g/cm³). Pro tyto plasty jsou vhodnější roztoky s vyšší hustotou, jako je jodid sodný (NaI) nebo chlorid zinečnatý (ZnCl₂), které umožňují extrakci mikroplastů s hustotou až 1,8 g/cm³ (26).

Proces separace často zahrnuje třepání vzorku sedimentu s roztokem, což umožňuje těžším anorganickým částicím usadit se na dně, zatímco mikroplasty zůstávají ve vrchní vrstvě roztoku (supernatantu). Tyto částice se následně separují filtračním papírem, vysuší a podrobí dalším analýzám. Přestože je metoda s chloridem sodným široce používaná, studie ukazují, že dokáže oddělit pouze 40 % částic menších než 1 mm. Proto se stále častěji kombinuje s hustotními metodami využívajícími těžší roztoky, což umožňuje efektivnější detekci a extrakci mikroplastů z různých typů sedimentů.



Obrázek 2: Hustotní separace pomocí $ZnCl_2$

V zemědělských a přírodních půdách hraje mikroplastická kontaminace důležitou roli. Nejčastějším zdrojem mikroplastů jsou zde netkané mulčovací textilie z polyethylenu (LDPE) a polypropylenu (PP), jejichž hustota je nižší než 1 g/cm^3 . Pro jejich separaci od půdního sedimentu je ideální destilovaná voda, zatímco pro složitější směsi lze využít kombinace organických rozpouštědel, jako je methanol a dichlormethan. Výsledné plovoucí částice se filtrují a analyzují (27).

6.2.1 Proces hustotní flotace podle zahraniční studie

Podle studie (20) byla k separaci mikroplastů použita metoda hustotní flotace se solným roztokem. Po odstranění organické hmoty byl na každý vzorek sedimentu o hmotnosti 10 g přidán 100 ml koncentrovaného roztoku chloridu sodného (NaCl) s hustotou přibližně $1,2 \text{ g/cm}^3$. Roztok byl připraven rozpuštěním 250 g NaCl v 1 litru destilované vody.

Každý vzorek byl důkladně promíchán pomocí magnetického míchadla po dobu 1–2 minut, aby se mikroplasty uvolnily ze sedimentu. Následovalo usazení sedimentu, které trvalo 3–6 minut v závislosti na koncentraci suspendovaného materiálu. Supernatant obsahující mikroplasty byl poté odsát pomocí pipety a filtrován přes membránové filtry s velikostí pórů 0,8 μm .

Po prvním kole extrakce byl přidán další objem 100 ml solného roztoku a postup byl zopakován. Tento proces byl proveden celkem dvakrát až třikrát, aby byla zajištěna maximální separace mikroplastů z každého vzorku. V některých případech bylo nutné použít více filtrů, pokud byl supernatant silně znečištěn sedimentem.

Výsledkem této metody byla účinná separace lehčích plastů, jako jsou polyethylen a polypropylen, které se vznášely na povrchu solného roztoku. Hustší polymery mohly zůstat v sedimentu, což představuje omezení této metody. Filtry s extrahovanými mikroplasty byly následně uloženy do sterilních Petriho misek a vysušeny při pokojové teplotě pro další analýzy.

6.3 Elektrostatická separace

Elektrostatická separace je inovativní metodou pro oddělování mikroplastů od jiných částic v analyzovaných vzorcích, která využívá rozdílných elektrických vlastností materiálů. Tento přístup spočívá v aplikaci elektrostatického pole na vzorek, kde jsou jednotlivé částice nabíjeny třením nebo kontaktem s vhodnými materiály. Mikroplasty díky své polymerní povaze získávají odlišný elektrický náboj než anorganické částice, což umožňuje jejich separaci. Jednotlivé materiály reagují na elektrostatické síly různě, zatímco některé mikroplasty mohou být odpuzovány, jiné jsou přitahovány k elektrostaticky nabitě elektrodě.

Proces elektrostatické separace je zpravidla realizován pomocí rotačního elektrostatického separátoru. Vzorek se jemně rozdrobí, aby byly minimalizovány aglomerace částic, a následně je dávkován na povrch rotujícího bubnu. Elektrostatické pole vytvořené mezi bubnem a elektrodou způsobuje oddělení částic na základě jejich nabití. Mikroplasty se buď přichytí na povrch elektrody, nebo jsou odvedeny do sběrného prostoru, zatímco anorganické částice s odlišnými elektrickými vlastnostmi zůstávají neovlivněny.

Tato metoda je efektivní především u plastových částic, které mají dostatečně odlišné elektrostatické vlastnosti od okolní matrice. Její výhodou je absence potřeby chemikálií, což ji činí ekologicky přívětivou a šetrnou k životnímu prostředí. Navíc

umožňuje zpracování větších objemů vzorků v relativně krátkém čase. Mezi nevýhody patří závislost na homogenitě vzorku a možný vliv vlhkosti, která může ovlivnit nabíjení částic. Pro zvýšení efektivity je proto třeba vzorky důkladně vysušit a optimalizovat podmínky elektrostatického pole (28).

7 Analýza mikroplastů

Pro určení tvaru a barvy větších vláken není nezbytné použít pokročilé analytické metody, stačí běžně používaný optický mikroskop. Při dostatečném zvětšení lze rozlišit objekty o velikosti několika desítek mikrometrů. Nicméně samotné pozorování těchto částic nepostačuje k jednoznačnému určení, zda se jedná o mikroplasty. K potvrzení je nutné využít jiné specifické analytické metody (1).

7.1 Vizuální identifikace

Nejjednodušší metodou identifikace mikroplastů je vizuální identifikace. Přestože je tato technika časově náročnější, často je nejvhodnější, zejména pro vzorky s velkým objemem, kde jsou k dispozici omezené zdroje, a přístup k drahým analytickým přístrojům není možný. Pro usnadnění spolehlivé identifikace mikroplastů při vizuálním zkoumání byla navržena následující přísná kritéria, která se nejlépe hodí pro mikroplasty v rozmezí velikostí 0,5–5 mm (29).

- Částice nebo vlákno nesmí vykazovat žádné viditelné organické nebo buněčné struktury.
- V případě vláken by průměr měl být konzistentní po celé délce, bez známek zužování nebo ohýbání v trojrozměrném prostoru.
- U červeně zbarvených vláken je nutné další důkladné zkoumání pomocí mikroskopie s vysokým zvětšením, fluorescenční mikroskopie a barvení chloroplastů, aby bylo možné vyloučit přítomnost řasových výhonků.
- Částice by měly být průhledné a rovnoměrně zbarvené.
- U průhledných, neprůhledných nebo bílých částic je nutné další mikroskopické zkoumání při vysokém zvětšení, stejně jako fluorescenční mikroskopie, aby se vyloučila možnost biologického původu.

Průhledná a bílá vlákna jsou často zaměňována s organickými vlákny, které se běžně nacházejí v environmentálních vzorcích. Tato záměna může vést k chybnému zahrnutí organických struktur, které jsou považovány za mikroplasty, což je eliminováno vyloučením těchto typů vláken z kritérií pro identifikaci. Tento postup však může vést k podcenění množství mikroplastů ve vzorku. Pokud je požadováno zahrnutí těchto vláken do analýzy, je nutné provést podrobnější vyšetření, využívající mikroskopii s vysokým zvětšením, fluorescenční mikroskopii a barvicí techniky k potvrzení jejich plastové složení. V některých případech může být nezbytné použít skenovací elektronový mikroskop (SEM), aby byla zajištěna přesnost identifikace (29).

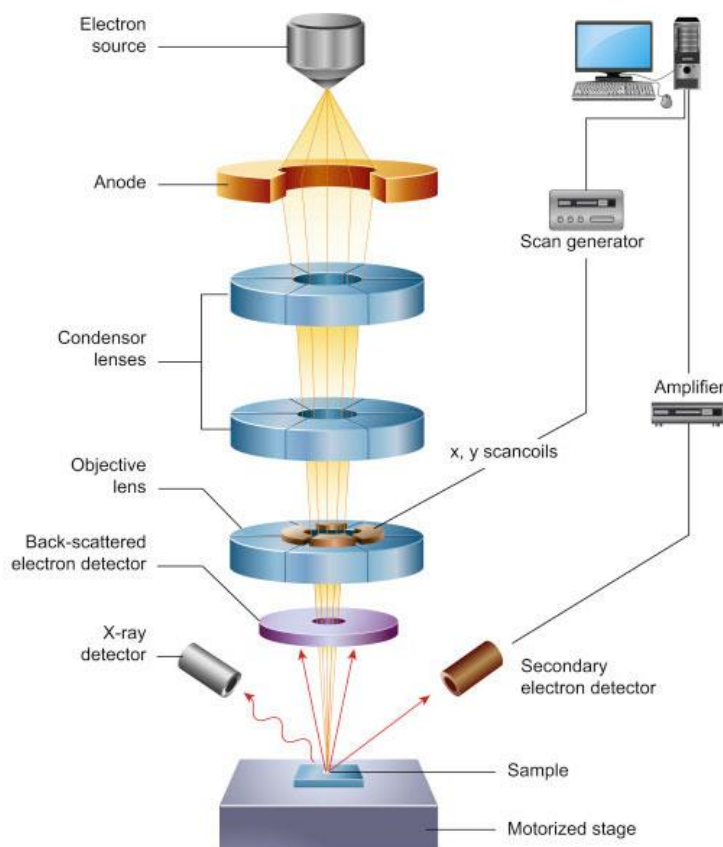
7.2 Skenovací elektronová mikroskopie (SEM)

Skenovací elektronový mikroskop (SEM) je přístroj využívaný k tvorbě obrazu malých povrchů vzorků prostřednictvím vysoce intenzivního svazku elektronů, který skenuje povrch ve vzoru připomínajícím rastr. Díky elektronům dosahuje SEM rozlišení až 0,5 nm, což je mnohem vyšší detail než u optických mikroskopů, které poskytují praktické zvětšení do přibližně 1000×. SEM umožňuje zvětšení až 2 000 000×. Elektrony jsou generovány buď termionickou emisí z rozžhaveného wolframového vlákna zahřátého na 2700 °C, nebo pomocí emisí pole, která využívá kvantového tunelování a produkuje elektrony s úzkým rozsahem energií.

Svazek elektronů je soustředěn pomocí elektromagnetických čoček na vzorek a skenovací cívky řídí pohyb svazku přes povrch. Elektrony zpětně odražené od vzorku jsou detekovány a poskytují obraz založený na atomových číslech prvků – oblasti s vyšším atomovým číslem jsou jasnější. Kromě toho jsou emitovány sekundární elektrony, které zlepšují zobrazení povrchových detailů, a generují se také rentgenové paprsky, umožňující analýzu složení vzorku pomocí energie disperzní rentgenové spektroskopie (EDX).

SEM poskytuje detailní trojrozměrný obraz díky velké hloubce ostrosti a umožňuje analýzu morfologie i složení povrchu. Pro zobrazení však musí být povrch vzorků vodivý, což se zajišťuje nanesením tenké vrstvy kovu, například zlata nebo platiny. Tato technika je nákladná, vyžaduje zkušenou obsluhu a stabilní prostředí bez elektromagnetického rušení.

SEM je široce využíván v analýze mikroplastů v environmentálních vzorcích, kde umožňuje rozlišit plastové a neplastové materiály. Přístroj vybavený EDX dokáže odhalit chemické složení vzorků včetně přísad v plastech. Díky tomu se SEM ukazuje jako účinný nástroj pro charakterizaci a identifikaci mikroplastů v přírodních materiálech (29).



Obrázek 3: Schéma skenovací elektronové mikroskopie (SEM) (30)

7.3 Spektroskopické metody

Při analýze mikroplastů se využívají různé spektroskopické metody. Výběr vhodné metody závisí na konkrétních požadavcích analýzy. Některé výzkumy vyžadují detailní informace o chemickém složení, počtu jednotlivých mikroplastů a kvalitní snímky jejich struktury. Zatímco jiné studie potřebují pouze identifikaci přítomnosti mikroplastů a určení skupiny polymerů. Důležitým faktorem je také cena analýzy (31).

Jednou z často používaných metod je rastrovací elektronová mikroskopie (SEM). Tato metoda využívá svazek primárních elektronů, který vyráží sekundární elektrony z povrchu analyzovaného vzorku. Tyto sekundární elektrony a další signály jsou zachytávány detektorem. Nejčastěji používaný detektor sekundárních elektronů poskytuje obraz povrchu vzorku s rozlišením v řádu několika nanometrů.

V analýze mikroplastů se také používá detektor rentgenového záření (EDS), který umožňuje energeticky disperzní spektroskopii. Tato metoda poskytuje informace o zastoupení jednotlivých prvků na povrchu analyzované látky. SEM s EDS je velmi užitečná pro vědecké účely, protože poskytuje vysoce

kvalitní a detailní výstupy. Nicméně pro běžnou laboratorní praxi je tato metoda často příliš složitá a nákladná (32).

7.4 Infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací (FTIR)

Další často používanou metodou je infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací (FTIR). Tato technika využívá infračervené záření k detekci odrazu nebo absorpce, čímž popisuje vibrační přechody v molekulách. Výstupem měření je interferogram, který se následně interpretuje pomocí Fourierovy transformace, pokročilé matematické metody. Výsledné spektrum lze použít jak pro kvalitativní, tak pro kvantitativní analýzu. FTIR je obzvláště užitečná pro identifikaci funkčních skupin v molekulách, což umožňuje přesné určení chemického složení vzorku. Tato metoda je velmi citlivá na různé druhy chemických vazeb a může být použita k analýze pevných, kapalných i plyných vzorků. Kromě toho FTIR nabízí rychlé a neinvazivní měření, což je výhodné pro analýzu citlivých nebo cenných vzorků. Díky své přesnosti a relativně nízkým nákladům je FTIR široce využívána ve výzkumu i průmyslu, například při kontrole kvality materiálů, identifikaci neznámých látek a monitorování chemických reakcí. Pro účely experimentální části této práce byla FTIR vybrána jako dostatečně přesná a zároveň finančně dostupná metoda, která poskytuje detailní informace o chemickém složení mikroplastů (31).

7.5 Ramanova spektroskopie

Tato metoda, podobně jako infračervená spektroskopie, sleduje změny ve vibračních přechodech molekul. Na rozdíl od infračervené spektroskopie však Ramanova spektroskopie nepracuje s absorpcí záření, ale s jeho rozptylem. Při tomto procesu dochází k tomu, že molekuly rozptylují dopadající laserové světlo, čímž se získávají informace o jejich vibračních stavech. Ramanova spektroskopie je zvláště vhodná pro analýzu složitějších vzorků, protože dokáže poskytnout detailní informace o chemické struktuře a složení materiálů. Tato metoda je vysoce citlivá na molekulární symetrii a může být použita k identifikaci různých chemických sloučenin. Kombinace obou metod, Ramanovy a infračervené spektroskopie, poskytuje komplexní a kvalitní analýzu materiálu, protože Ramanova spektra doplňují informace získané z infračervených spekter. Toto synergické použití umožňuje detailnější a přesnější charakterizaci vzorků, což je klíčové pro mnoho vědeckých a průmyslových aplikací, včetně identifikace mikroplastů, studia biologických vzorků a analýzy krystalových struktur (32).

Experimentální část

Experimentální část této práce se zaměřuje na analýzu vlákných mikroplastů v sedimentech sladkovodních toků, přičemž klíčovou oblastí zkoumání je efektivní odstranění kontaminantů a identifikace mikroplastů ve vzorcích sedimentu. Jsou zde podrobně popsány jednotlivé kroky navržené metodiky, která zahrnuje ověření účinnosti chemické oxidace, testování odolnosti vlákných mikroplastů vůči chemickým procesům a následnou aplikaci ověřených postupů na reálné vzorky sedimentů.

Nejdříve bylo třeba ověřit účinnost chemické oxidace pomocí 10% peroxidu vodíku (H_2O_2) pro odstranění organických složek z biologicky kontaminovaného sedimentu. Tato fáze byla nezbytná k zajištění, že organické složky neovlivní další analýzu, zatímco vlákné mikroplasty, zejména polyesterová (PES), zůstanou nedotčena. Rovněž bylo tedy důležité zhodnotit odolnost vláken polyesteru a viskózy vůči agresivnímu působení H_2O_2 , aby bylo možné vyloučit poškození analyzovaných částic během zpracování.

Dalším krokem experimentu bylo testování metodiky na přesně definovaném kontrolním vzorku sedimentu, který obsahoval biologický kontaminant a známé množství vláken PES. Tato fáze umožnila optimalizovat navržený postup, včetně chemické oxidace, separace anorganických částic hustotní flotací a filtrace vzorků. Díky těmto testům bylo možné odstranit většinu kontaminantů a získat vzorky vhodné pro analýzu vlákných mikroplastů.

Po ověření metodiky na kontrolním vzorku byly použity reálné vzorky sedimentu odebrané z Harcovského potoka. V této části jsou detailně popsány postupy zahrnující oxidaci, hustotní flotaci a filtraci, následované digitální analýzou vlákných mikroplastů. Práce se dále zaměřuje na metody skenování vzorků, kvantifikace vlákných mikroplastů na základě skenování a jejich identifikace pomocí spektroskopických metod.

Tato experimentální část poskytuje základní informace o metodách stanovení vlákných mikroplastů v sedimentech. Jejím cílem je poskytnout přehled o efektivitě zvolené metodiky a zdůraznit význam jednotlivých kroků v kontextu řešení environmentálních problémů spojených s mikroplasty.

8 Použité přístroje, materiály a chemikálie

8.1 Přístroje

- Laboratorní váha Core Portable Compact Balances-CQT 202
 - maximální hmotnost – 200 g
 - přesnost – 0,01 g
- Membránová vývěva KNF
 - průtok 6 l/min
- Digitální mikroskop BRESSER USB digital DST-1028
 - rozlišení: 5 MPx
 - zvětšení: 10-280x
 - software s funkcí měření
- elektronový mikroskop TESCAN VEGA3
 - zdroj: wolframové vlákno s termoemisí
 - rozsah zvětšení: 2,5 až 1 000 000x
 - detektory: sekundárních elektronů, zpětně odražených elektronů
 - možnost rozšíření: EDS, WDS, EBSD

8.2 Materiály

- polyesterová mikrovlákná
 - délka vláken: 250 μm
 - barva: růžová
- mikrovlákná viskózy
 - délka vláken: 250 μm
 - barva: bílá

8.3 Chemikálie

- Peroxid vodíku 10% roztok
 - dodavatel: FUNCHEM s.r.o
- chlorid zinečnatý bezvodý
 - dodavatel: P-LAB
 - čistota: min. 98 %

9 Příprava vzorku sedimentu

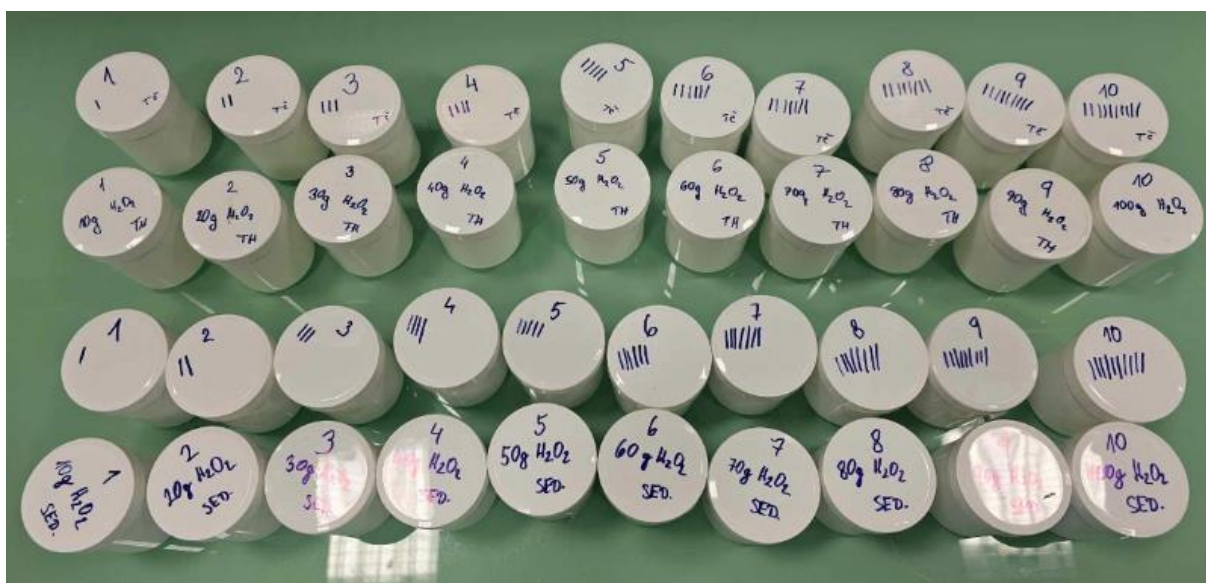
Pro získání vzorků byl hromadně odebrán sediment z vodního dna. Jedná se o nenáročný odběr, který nevede k další kontaminaci životního prostředí. Výhodou je, že vzorek může obsahovat všechny mikroplasty bez ohledu na jejich velikost. Tento typ odběru však vede k získání nežádoucích velkých anorganických a organických látek, které je potřeba ze vzorku odstranit. Do vzorku se po odebrání musí zasáhnout minimálně. Hmotnost vzorku je snižována proséváním, které odstraní velké anorganické objekty. Vzorky sedimentů je vhodné nabírat do skleněných lahví určitého objemu na různých místech testované oblasti. Po hrubé předúpravě lze odebranou směs zamrazit pro budoucí experimenty.

Při vzorkování je důležité vyvarovat se kontaminaci vzorku. Veškeré vybavení je potřeba nejprve umýt. Také je důležité zamezit tomu, aby se do vzorku dostala látka z oděvu nebo okolního prostředí.

10 Chemická oxidace roztokem H₂O₂

Cílem bylo určit množství oxidačního činidla potřebného k odstranění nežádoucích organických látek a také stanovit dobu, po kterou měla reakce probíhat. Jako oxidační činidlo byl použit 10% roztok peroxidu vodíku. Pro účely simulace biologické kontaminace byl připraven umělý kontaminant, který byl vytvořen rozmixováním trávy s přidanou vodou. Tento kontaminant byl následně uložen v mrazničce pro budoucí využití.

Vzhledem k tomu, že se jednalo o první experiment, bylo vhodné připravit větší počet vzorků. Ty byly rozděleny do dvou skupin, přičemž první skupina obsahovala pouze připravený kontaminant. Druhá skupina byla v podobě reálného sedimentu. Jednotlivé vzorky o hmotnosti 10 g byly umístěny do plastových nádob.



Obrázek 4: Vzorky testu oxidace pro zjištění množství peroxidu vodíku

Experiment v hmotnostní a časové variantě byl naplánován na deset dní.

V této variantě byl H₂O₂ dávkován jednorázově v okamžiku zahájení pokusu (10 %) o určité hmotnosti podle posloupnosti 10 g. Vzorků bylo připraveno celkově deset v rozmezí od 10 do 100 g přidaného oxidačního činidla. První den byly vzorky připraveny a poté již ponechány pro pozorování. Během sedmého dne už i vzorek s nejnižším množstvím oxidačního činidla nevykazoval známky viditelných nečistot způsobenými organickými látkami. Jednotlivé hmotnosti této varianty jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1: Jednorázové dávkování H₂O₂

Vzorek	Hmotnost vzorku trávy s vodou[g]	Hmotnost peroxidu [g]	Den ukončení oxidace
1	10,22	10,32	7
2	10,11	20,45	6
3	10,13	30,24	6
4	10,01	40,33	6
5	10,05	50,12	5
6	10,14	60,55	5
7	10,23	70,14	4
8	10,14	80,22	4
9	10,06	90,01	3
10	10,22	100,12	3

Varianta postupného přidávání je založena na dávkování H₂O₂ (10 %) o stále stejných hmotnostech v určitých intervalech. Jako interval byl zde zvolen jeden den, ve kterém bylo přidáno 10 g H₂O₂ (10 %). Do prvního vzorku se tedy zasáhlo pouze v prvním dnu a poté byl ponechán pouze pro pozorování. Naopak do desátého vzorku se plánovalo zasahovat vždy po dobu deseti dnů. Postupné přidávání H₂O₂ (10 %) je zaznamenáno v tabulce 2.

Tabulka 2: Dávkovací varianta testu oxidace

Vzorek		Dávkovaná hmotnost H ₂ O ₂ (10 %) [g]					Den ukončení oxidace
Vzorek	Hmotnost vzorku [g]	Den 1	Den 2	Den 3	Den 4	Den 5	
1.	10,11	10,21	10,11	10,11	10,11	10,11	7
2.	10,02	10,34	10,16	10,02	10,02	10,02	7
3.	10,21	10,33	10,09	10,18	10,21	10,21	6
4.	10,12	10,14	10,17	9,96	9,97	10,12	6
5.	10,13	10,01	10,95	10,17	11,06	10,05	5
6.	10,01	10,32	10,56	10,01	10,37	10,22	5
7.	10,14	10,21	10,24	10,19	9,95	11,01	5
8.	10,02	10,32	10,17	10,13	11,22	9,91	5
9.	10,23	10,13	10,22	10,24	10,98	9,97	5
10.	10,11	10,12	10,61	10,28	10,82	10,32	5

Během experimentu se prokázalo, že už po sedmi dnech se v prvním vzorku nenacházely viditelné stopy organické složky. Vzorky s vyšší hmotností H₂O₂ (10 %) prokázaly, že hmotnostní varianta má vyšší účinnost, než časová s výjimkou prvního vzorku, který je pouze hmotnostní. Na začátku pátého dne se ve vzorku nacházelo nepatrné množství nečistot. Po přidání H₂O₂ (10 %) se ještě tento den ukázalo, že vzorky

neobsahují organickou složku. Pátý den bylo tedy provedeno poslední přidání oxidačního činidla. Experiment byl celkově ukončen sedmý den.

Obě metody mají stejnou účinnost v rámci přidaného množství oxidačního činidla, ale efektivnější je provést jednorázové přidání H_2O_2 (10 %). Časová varianta je uživatelsky náročnější pro každodenní zásah do vzorku. Ukázalo se také, že vyšší množství H_2O_2 (10 %) odstranilo organickou složku rychleji, avšak na úkor vyšší spotřeby oxidačního činidla. Den, ve kterém již nebyly zaznamenány žádné známky organické složky, je uveden v posledním sloupci tabulek 1 a 2.



Obrázek 5: Vzorky trávy a sedimentu před oxidací a po oxidaci

11 Test odolnosti vláken proti oxidaci

Vzhledem k potencionálnímu riziku možnosti poškození vláken během oxidace za přítomnosti peroxidu vodíku bylo nutné ověřit, zda testovaná vlákna těmto podmínkám odolají. Byl tedy proveden jednoduchý test, při kterém byl k vláknům polyesteru přidán pouze H_2O_2 (10 %). Hmotnost vláken byla 0,01 g. Tento vzorek byl uchován po dobu sedmi dnů a poté byl peroxid vodíku vysušen. Vlákna byla neporušená. Tento test byl tedy úspěšný. Hmotnost vláken po provedení testu byla opět 0,01 g.



Obrázek 6: Vlákněné mikroplasty PES s peroxidem vodíku

Test neprobíhal za přítomnosti žádného katalyzátoru, který je za běžných podmínek obsažen v sedimentu ve formě železitých sloučenin. Z toho důvodu je tedy třeba provést další test, ve kterém budou přítomny takovéto příměsi.

11.1 Test odolnosti vláken s definovaným vzorkem sedimentu (PES, Viskóza)

Tento test byl proveden z důvodu zjištění, zda vlákna odolají oxidační reakci, kterou vyvolá peroxid vodíku ve vzorku definovaného sedimentu a také zda bude ze vzorku odstraněna tráva, která představuje nežádoucí organickou složku. Při tomto pokusu byl použit 10 % H_2O_2 .

Vzorky byly uchovávány po dobu jednoho týdne v plastových nádobách a lišily se přítomností jistého druhu vláken. V jedné skupině vzorků byla vlákna polyesteru a v druhé viskózy. Vzorek měl simulovat odebraný sediment. Měl by tedy obsahovat anorganickou i organickou složku, spolu s vlákny. Jako anorganická složka byl zvolen promytý písek. Organickou část poté tvořila rozmixovaná tráva. Množství peroxidu vodíku bylo úměrné hmotnosti písku. Další složkou byl také chlorid železitý, který sloužil jako katalyzátor oxidační reakce.

Do plastových nádob bylo vždy naváženo určité množství vláken, peroxidu, písku, popřípadě trávy a chloridu železitého. Hmotnosti jednotlivých složek jsou uvedeny v tabulce 3.

Po uplynutí jednoho týdne byly vzorky přezkoumány. Vlákna nebyla rozpuštěná a byla ve stejné podobě, jako před zahájením experimentu. Vzorek bylo však potřeba vysušit. V této fázi se vlákna vpekla do sedimentu a následně je poté nebylo možné oddělit. Závěrem tedy je, že po oxidační reakci je nutná separace vláken od anorganické složky pomocí hustotní flotace.

Jednotlivé vzorky jsou vyobrazeny na Obrázku 7.

Tabulka 3: Test odolnosti vlákenných mikroplastů proti oxidaci v definovaném vzorku sedimentu

Vzorek [typ vláken]	$m_{\text{vláken}}$ [g]	$m_{\text{H}_2\text{O}_2}$ (10%) [g]	$m_{\text{písek}}$ [g]	$m_{\text{tráva}}$ [g]	m_{FeCl_3} [g]
PES (1)	0,43	10,26	10,18	-	1,93
Viskóza (1)	0,41	12,26	11,32	-	1,98
PES (2)	0,17	11,21	10,01	9,86	1,86
Viskóza (2)	0,21	11,82	10,26	10,08	2,13



Obrázek 7: Vlákenné mikroplasty PES a Viskózy v přesně definovaném vzorku sedimentu

12 Experiment s definovaným vzorkem sedimentu s kontaminantem

Před zahájením experimentální části s reálným vzorkem, který bude odebrán z vodního toku, bylo potřeba ověřit efektivitu navržené metodiky na přesně definovaném vzorku. Testovaná byla vlákna polyesteru o délce 250 μm . Hmotnost vláken byla stanovena na 0,01 g. Vzorek dále obsahoval anorganickou složku ve formě promytého písku a organickou složku ve formě směsi rozmixované trávy a vody. Nevyužitá rozmixovaná tráva byla zamražena pro případ dalších experimentů. Oxidačním činidlem byl zvolen H_2O_2 (10 %), jehož účelem bylo odstranění nežádoucí organické složky v podobě trávy.

Na základě testu oxidace hmotnostní varianty podle tabulky 1 a 2, byly připraveny právě tři vzorky, do kterých bylo přidáno množství peroxidu vodíku (zaznamenáno v tabulce 4). Rozdíl hmotností peroxidu byl vždy 20 g v závislosti na rozdílných dnech ukončení oxidace, kdy již nebyla zpozorována přítomnost nežádoucích organických látek v podobě rozmixované trávy.

Tabulka 4: Hmotnosti složek definovaného vzorku

Vzorek	$m_{\text{vlákna}}$ [g]	m_{pisek} [g]	$m_{\text{tráva}}$ [g]	$m_{\text{H}_2\text{O}_2 \text{ 10\%}}$ [g]
1.	0,01	10,02	5,11	9,98
2.	0,01	10,01	5,05	30,16
3.	0,01	9,97	5,06	52,41

Experiment probíhal sedm dní, což byla doba stanovená pro úspěšný průběh oxidace i pro vzorek s nejnižší hmotností peroxidu vodíku.



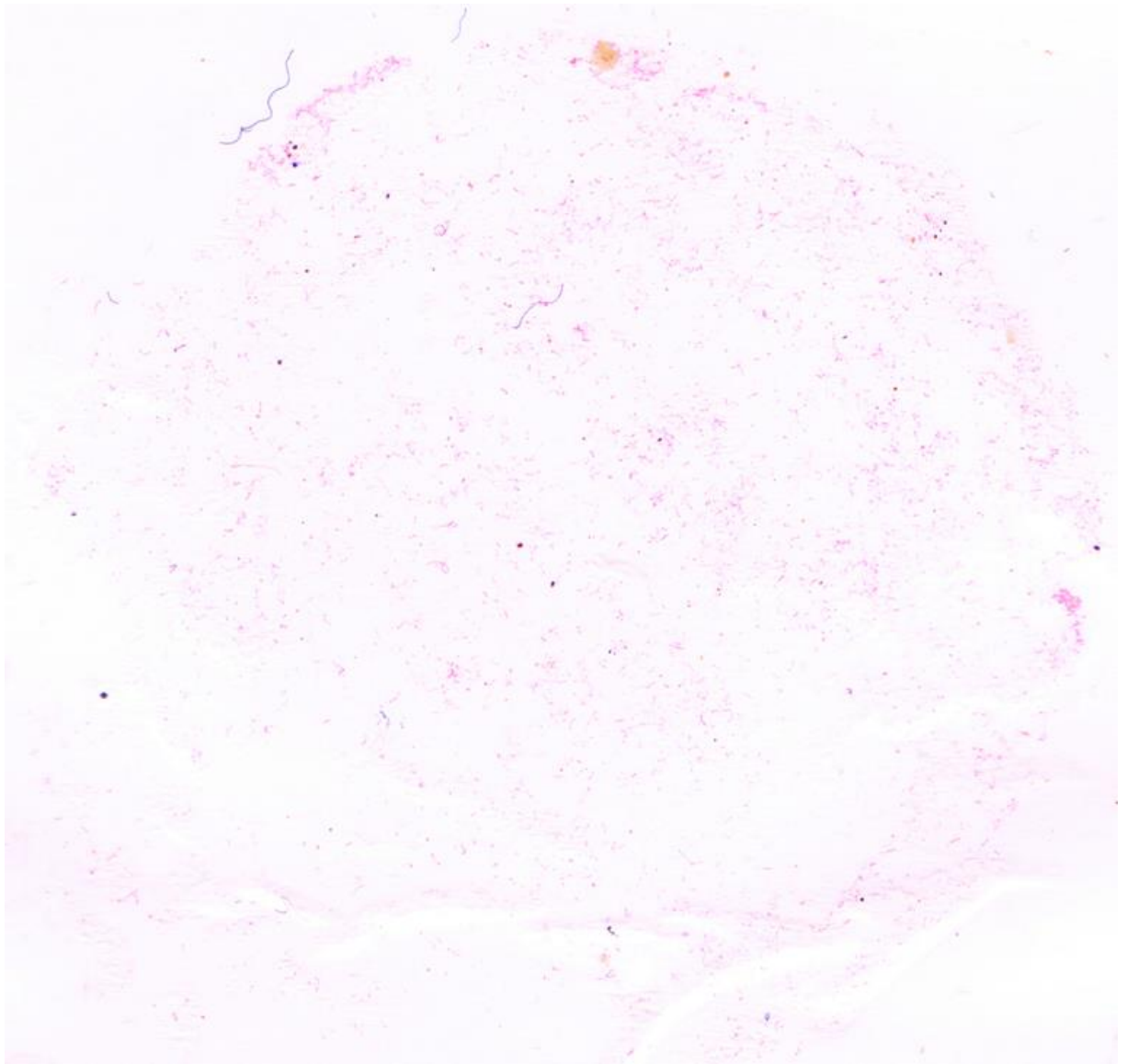
Obrázek 8: Vzorek 3. před zahájením oxidační reakce (vlevo) a po sedmi dnech od zahájení oxidační reakce (vpravo)

12.1 Vyhodnocení experimentu s definovaným vzorkem sedimentu

Cílem experimentu s přesně definovaným vzorkem sedimentu bylo ověřit účinnost oxidační reakce za použití různých koncentrací peroxidu vodíku (10% H_2O_2) a následné separace jednotlivých složek sedimentu. Experiment probíhal sedm dní, během kterých byly denně pozorovány změny v sedimentu u tří vzorků, z nichž každý obsahoval odlišné množství oxidačního činidla. Nejdelsí reakční doba byla zaznamenána u prvního vzorku s nejnižší koncentrací H_2O_2 , zatímco u dalších dvou vzorků s vyššími koncentracemi byla doba reakce srovnatelná. Na základě těchto pozorování bylo stanoveno, že optimální množství (10%) H_2O_2 pro experiment pro 11 g sedimentu je 20–30 g. Zároveň je potřeba podotknout, že reakce byla úspěšná i pro první vzorek, kde bylo použito nejmenší množství oxidačního činidla.

Fotodokumentace experimentu (viz Obrázek 8.) zdůrazňuje rozdíl mezi vzorky před a po oxidaci. Na fotografii vzorku před oxidací je kapalina zeleně zbarvená, což indikuje přítomnost organických kontaminantů v podobě rozmixované trávy. Po provedení oxidační reakce je kapalina šedá, což značí, že organické složky byly úspěšně odstraněny a zbývají pouze anorganické části sedimentu. Tato vizuální proměna potvrzuje účinnost metody chemické oxidace.

Po ukončení oxidační fáze byla na vzorcích aplikována hustotní flotace, která umožnila oddělení jednotlivých složek sedimentu na základě jejich hustoty. Anorganické složky sedimentu klesly ke dnu, zatímco lehčí vlákně mikroplasty polyesteru (PES) vystoupala ke hladině. Následně byla část roztoku z hladiny, kde se očekával výskyt vláken, odebrána pomocí injekční stříkačky. Tento obsah byl přefiltrován přes membránový filtr, na kterém byla vlákna PES jasně viditelná. Obsah membránového filtru se následně zabezpečil pomocí lepicí pásky na papír. Výsledek je zachycen na Obrázku 9.



Obrázek 9: Vlákna polyesteru po provedení experimentu s definovaným vzorkem sedimentu

Tento komplexní experiment poskytl důležité informace pro optimalizaci metodiky, která zajišťuje účinné odstranění organických složek a separaci vlákenných mikroplastů ze sedimentu. Kombinace oxidační reakce a hustotní flotace se ukázala být efektivní pro přípravu vzorků k analýze. Dosažené výsledky tak potvrzují vhodnost navrženého postupu pro následné aplikace v reálných podmínkách.

13 Stanovení vlákenných mikroplastů v reálném vzorku sedimentu

13.1 Zájmová lokalita

Zvolený vodní tok pro odběr vzorků byl Harcovský potok, který v Liberci ústí do Nisy. Odběrná místo na tomto toku bylo před Harcovskou přehradou. První lokalita se nachází v místě za větším množstvím rodinných domů. Zájmová lokalita je znázorněna na Obrázku 10.



Obrázek 10: Lokality odebíraných vzorků

13.2 Nástroj pro vzorkování

Pro snadný a efektivní odběr vzorku sedimentu byla použita teleskopická tyč, která byla zakončena vyměnitelnou nádobou určitého objemu. Zakončení tyče bylo možné přizpůsobit široké škále geometrií díky variabilitě nastavitelného úhlu sklonu kloubu. Maximální úhel sklonu byl 90° . Délka tyče byla až 6 metrů, což umožňovalo pohodlné odebrání vzorku sedimentu ze břehu vodního toku. Po odebrání byl získaný obsah přemístěn do připravených nádob.



Obrázek 11: Teleskopická tyč pro odběr vzorků

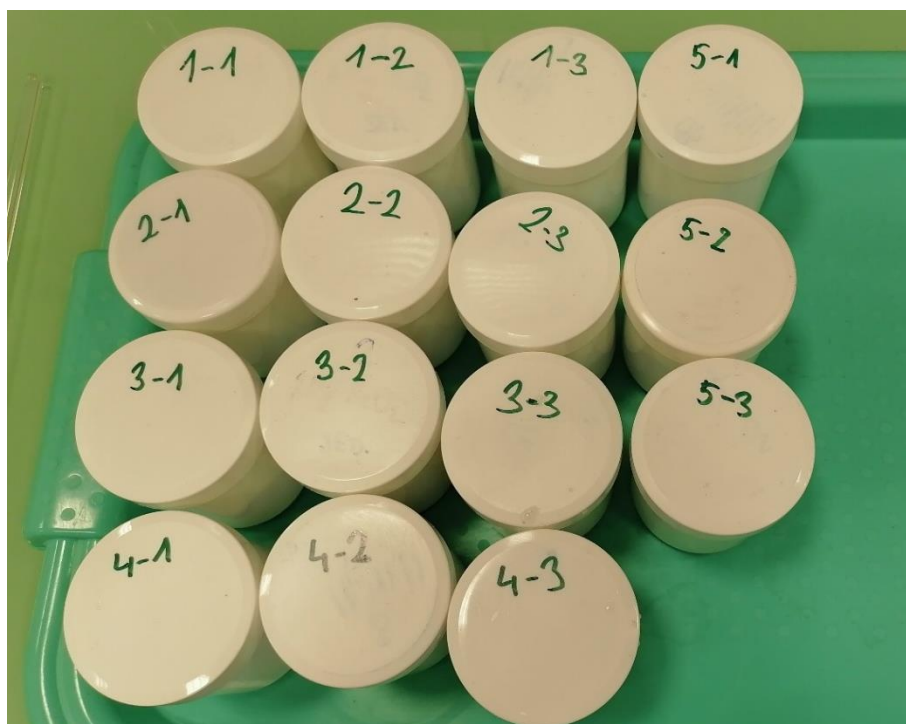
13.3 Skladování vzorků

Vzorek byl vždy převeden do skleněné nádoby o objemu 350 ml a uzavřen hermeticky pomocí víčka se závitem. Takto bylo uskutečněno pomocí teleskopické tyče celkem pět odběrů a vytvořeno tedy pět zásobních vzorků.



Obrázek 12: Odebrané vzorky sedimentu

Z jedné skleněné nádoby bylo následně odebráno přibližně 11 g vodného sedimentu. Před odběrem byl vzorek dostatečně homogenizován. Takto se z každé nádoby vytvořily vždy tři vzorky, které byly uloženy v uzavíratelných plastových nádobách. Celkem tedy bylo připraveno patnáct vzorků, které budou podrobeny celému procesu stanovení obsahu vlákných mikroplastů podle navržené metodiky. V těchto nádobách byl vzorek podroben následné oxidaci H_2O_2 (10%). Plastové nádoby byly očíslovány. První číslo představuje sklenici zásobního vzorku a druhé číslo vyjadřuje pořadí. Například označení 2-3 znamená třetí vzorek ze druhé sklenice s odebraným zásobním sedimentem.



Obrázek 13: Vzorčky sedimentu uložené v plastových uzavíratelných nádobách

13.4 Chemická oxidace pomocí H_2O_2

Do každé plastové nádoby, ve které bylo umístěno 11 g vodného sedimentu, bylo následně přidáno 20 g H_2O_2 (10%). Vzorčky byly uschovány a oxidace byla ponechána probíhat po dobu jednoho týdne, což je doba, která byla určena pro úspěšné odstranění nežádoucího bio organický kontaminantu podle předchozích experimentů.

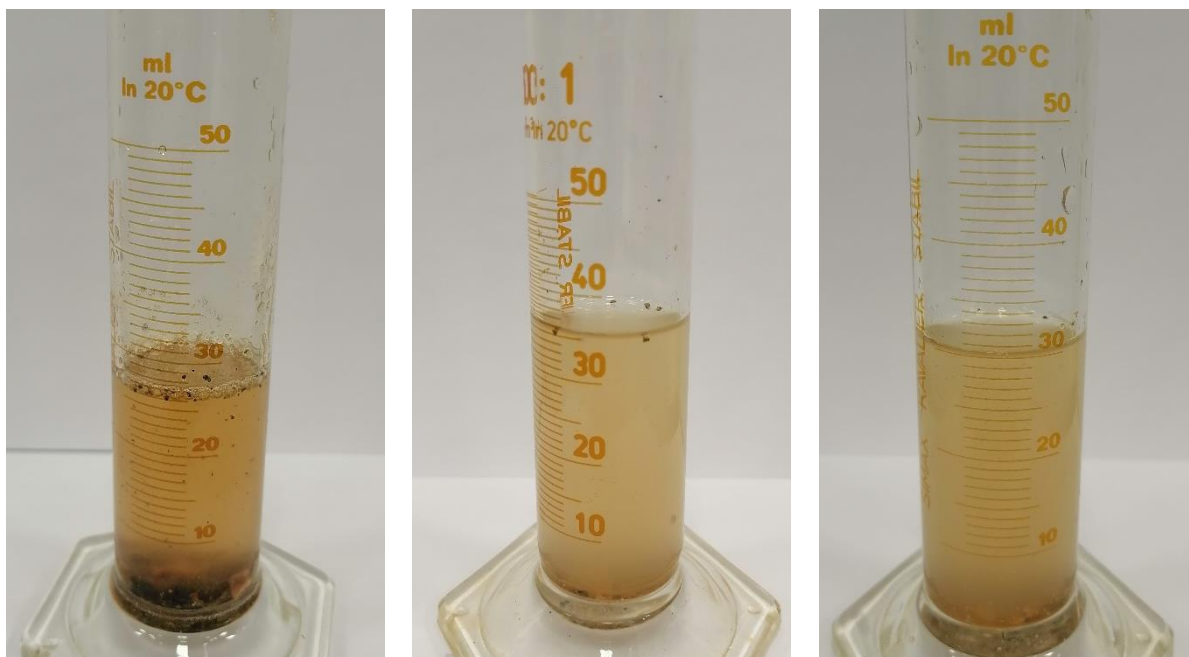


Obrázek 14: Vzorek sedimentu

13.5 Hustotní flotace

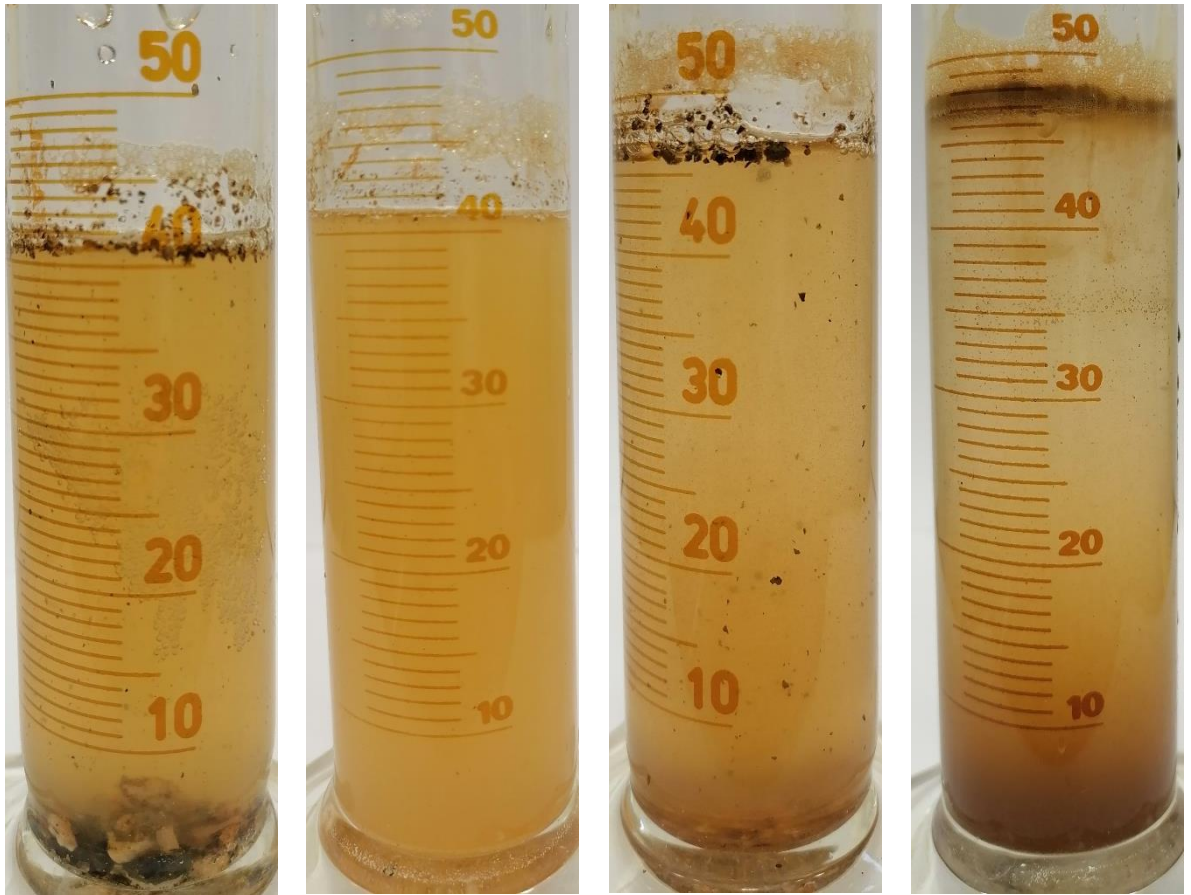
Po proběhnutí chemické oxidace byly vzorky prohlédnuty, zda byl odstraněn veškerý bio organický kontaminant. Vodný sediment s přidaným oxidačním činidlem po proběhnutí reakce ztratil nazelenalý odstín. Celá směs měla světlý šedý odstín. Následně bylo tedy potřeba jednotlivé složky směsi oddělit pomocí hustotní flotace.

Jednotlivé vzorky byly převedeny do 50ml odměrných válců (viz. Obrázek 15).



Obrázek 15: Vzorky po provedené oxidaci, připravené pro hustotní separaci (označení vzorků: 1.1, 2.3, 4.1)

Pro hustotní separaci byl následně do vzorků přidáván chlorid zinečnatý. Bylo potřeba dosáhnout hustoty přibližně mezi 1,5 - 1,7 g/ml, tedy do nasycení roztoku. Chlorid zinečnatý bylo potřeba v mnoha případech nadrtit v třecí misce s tloučkem. Během přidávání byl vzorek neustále promícháván, a pokud došlo k tomu, že se chloridu zinečnatého přidalo větší množství, než bylo potřeba, tak se přestal rozpouštět. Tento fakt není chybný. Tato nerozpuštěná sůl se následně usadila na dně odměrného válce a vedlo to k jasnému vizuálnímu důkazu, že roztok je již nasycený. Jednotlivé hmotnosti, které byly do odměrných válců postupně přidávány, jsou znázorněny v Tabulce 5. Zde je také uveden kontrolní výpočet hustoty směsi. Obsah v odměrných válcích se nechal přibližně 10 minut odstát. To zapříčinilo, že potenciální vlákna vyplavala na povrch roztoku.



Obrázek 16: Vzorky po přidání $ZnCl_2$ (označení vzorků: 1.2, 1.3, 2.3, 4.2)

Na Obrázku 16 je znázorněna situace po nasycení jednotlivých roztoků a jejich odstání. U některých vzorků zůstaly na vodní hladině malé kousky slídy, která odmítala podléhat sedimentaci. Nejspíše k tomu docházelo z toho důvodu, že tyto fragmenty jsou velice lehké a mohou obsahovat vzduchové bubliny.

Tabulka 5: Hmotnosti jednotlivých složek vzorku a jeho výsledná hustota pro hustotní separaci

Číslo vzorku	Hmotnost sedimentu [g]	Hmotnost H ₂ O ₂ (30%) [g]	Hmotnost ZnCl ₂ [g]	Celková hmotnost [g]	Celkový objem [ml]	Hustota vzorku [g/cm ³]
1.1	11	19,128	14,289	45,171	27	1,673
1.2	11	24,837	28,112	63,394	41	1,546
1.3	11	20,743	40,012	71,931	41	1,754
2.1	11	19,917	41,623	72,657	45	1,615
2.2	11	22,914	44,213	78,365	49	1,599
2.3	11	23,935	38,582	73,185	47	1,557
3.1	11	31,332	43,522	86,119	54	1,595
3.2	11	24,411	37,755	72,772	48	1,516
3.3	11	28,612	43,941	83,001	49	1,694
4.1	11	19,278	34,025	63,82	40	1,596
4.2	11	24,270	42,714	77,565	48	1,616
4.3	11	20,840	44,623	76,582	46	1,665
5.1	11	29,810	43,508	83,472	50	1,669
5.2	11	25,915	39,995	76,811	46	1,670
5.3	11	30,082	36,523	78,787	50	1,576

13.6 Filtrace

Po dostatečném odstání vzorků v odměrných válcích bylo pomocí 30 ml injekční stříkačky z povrchu odstátého roztoku odebráno 30 ml vzorku, který byl následně přefiltrován pomocí membránové vývěvy, na kterou byl umístěn přesně definovaný membránový filtr o průměru 47 mm a velikostí pórů 0,8 μm. Během filtrace byla filtrační aparatura promývána destilovanou vodou, aby žádná část vzorku nezůstala na stěně filtrační aparatury a na povrch membránového filtru se tak převedly všechny získané artefakty.



Obrázek 15: Přefiltrovaný reálný vzorek po hustotní separaci



Obrázek 16: Slída přítomná po hustotní separaci a filtraci

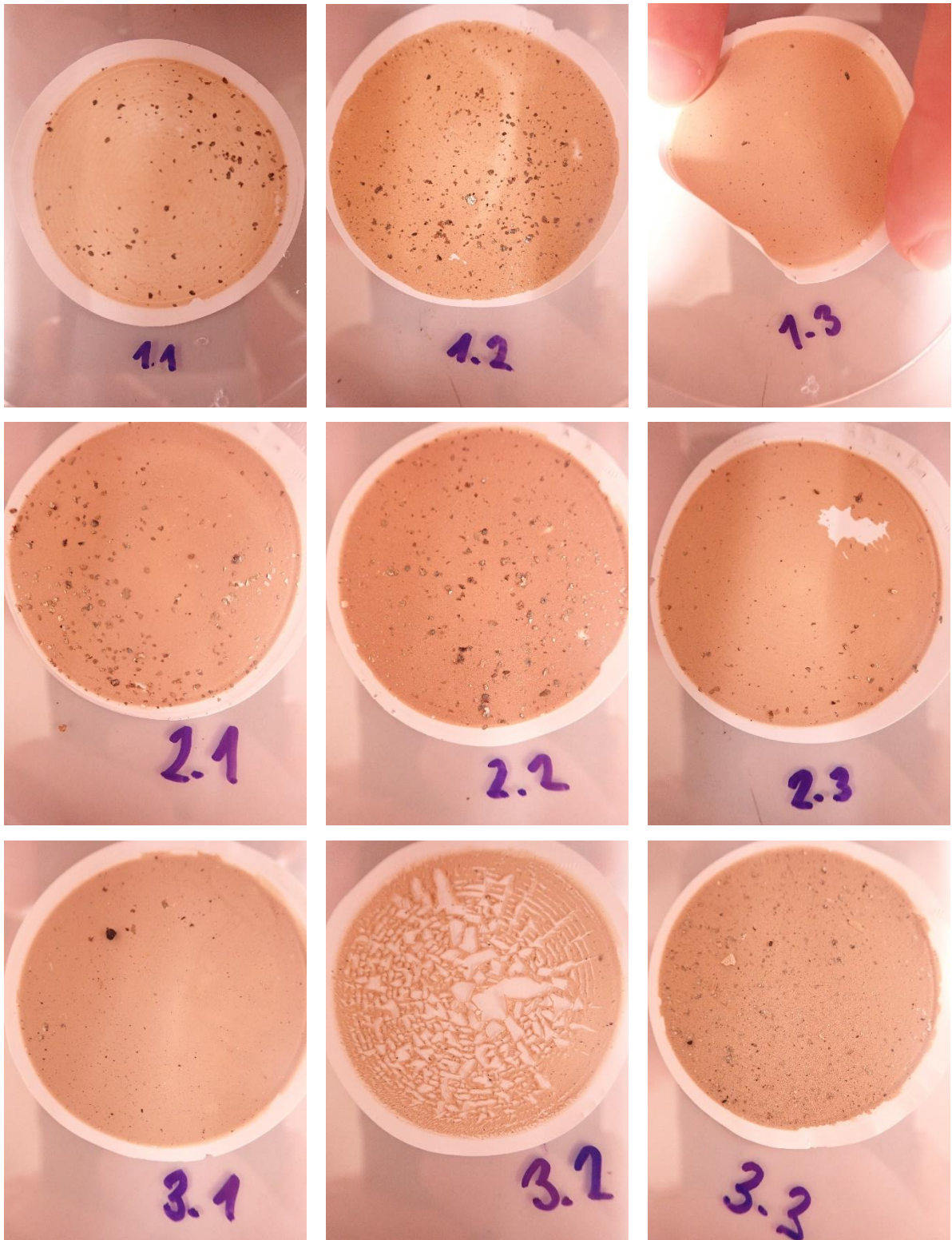
Na Obrázku 15 je znázornění přefiltrovaného vzorku po provedené hustotní separaci. Tento konkrétní vzorek jasně obsahuje menší anorganické částice. Pro následnou potenciální identifikaci nalezených vláken nepředstavují větší překážku. Ze snímku není patrná přítomnost vláknenných mikroplastů. Obsah na filtru však lze pečlivě prozkoumat pouhým okem z krátké vzdálenosti a některá vlákna byla tímto způsobem již viditelná. Jednotlivé vzorky byly následně umístěny do plastových Petriho misek.

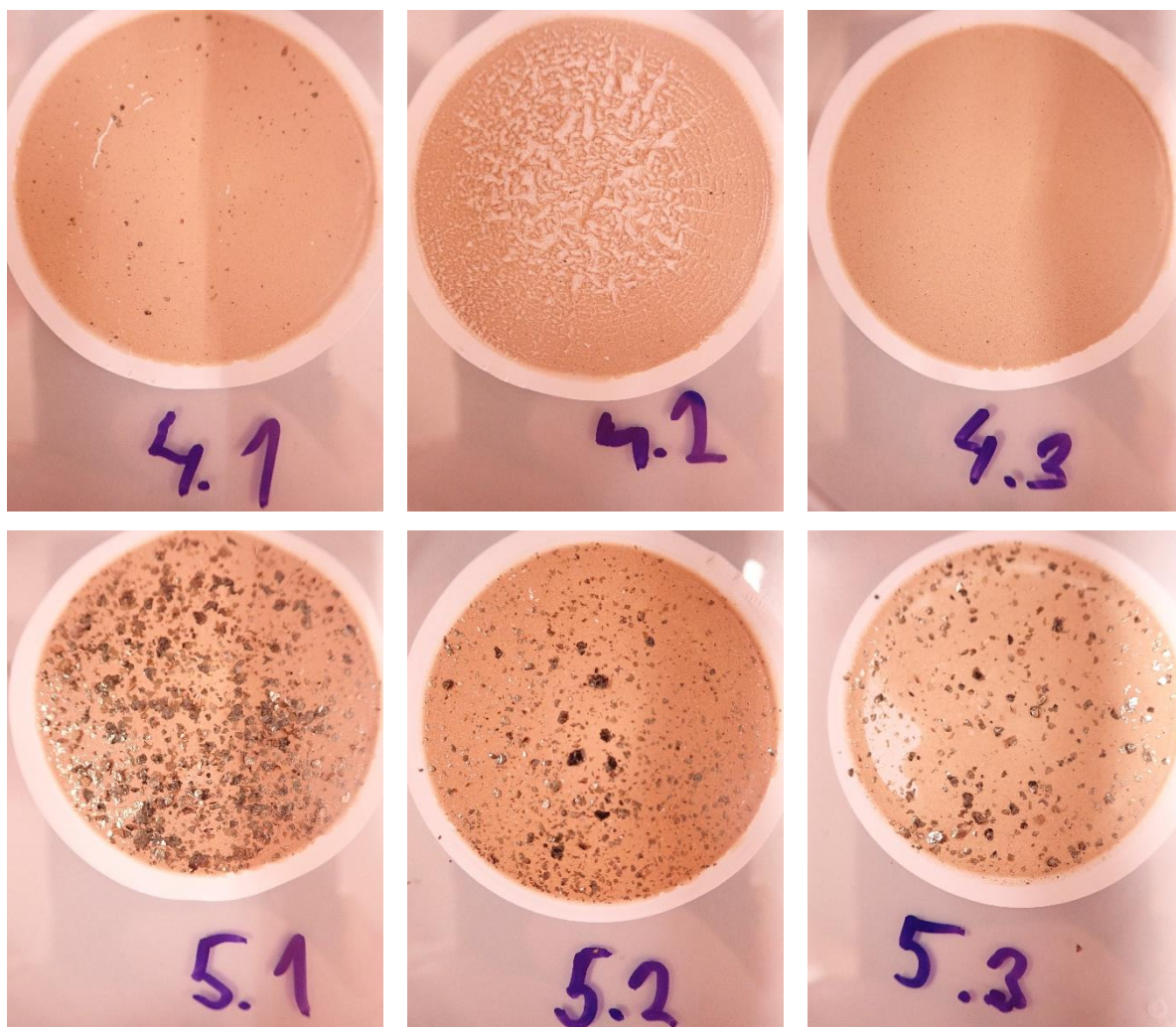
13.7 Podmínky skenování

Před skenováním bylo potřeba nechat jednotlivé filtry vysušit, aby je bylo možné rovněž umístit na skenovací prostor. Vzorek se nesměl jakkoliv kroutit. Aby bylo možné vláknenné mikroplasty vhodně zobrazit, musela být místa s jejich potenciálním výskytem dostatečně přiblížena a zaostřena.

14 Výsledky

Pomocí skenování a fotoaparátu byly pořízeny snímky zobrazené na Obrázku 17. Při jejich bližším zkoumání bylo možné spatřit nalezené vlákněné mikroplasty.





Obrázek 17: Jednotlivé vzorky po provedené filtraci

14.1 Nalezená potenciální vláknenné mikroplasty

Tabulka 6: Četnost nalezených vláken ze snímků jednotlivých vzorků

Číslo vzorku	Počet vláken	Číslo vzorku	Počet vláken
1.1	4	3.3	0
1.2	2	4.1	2
1.3	2	4.2	0
2.1	1	4.3	0
2.2	2	5.1	3
2.3	0	5.2	5
3.1	3	5.3	0
3.2	0		

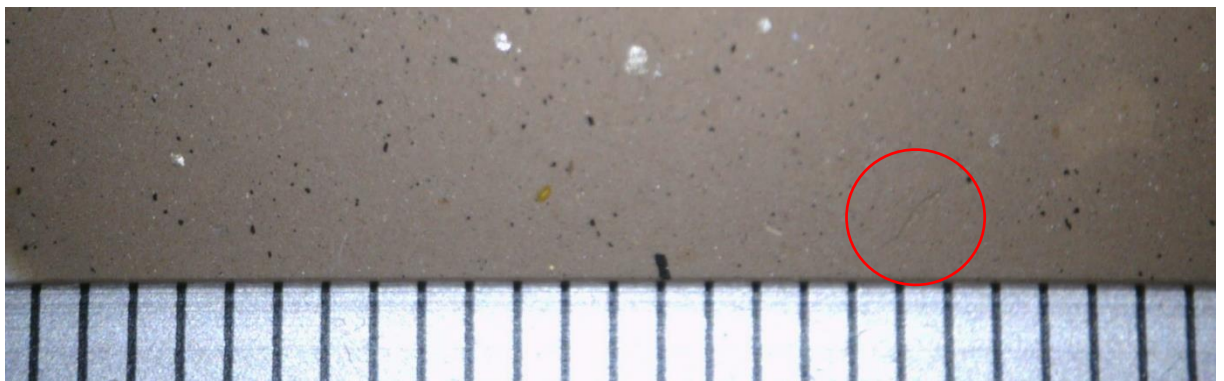
V tabulce 6 je shrnuta četnost nalezených vláknenných mikrovláken. Téměř na každém vzorku byla zaznamenána přítomnost vláken. Celkově jich bylo napočítáno 24.



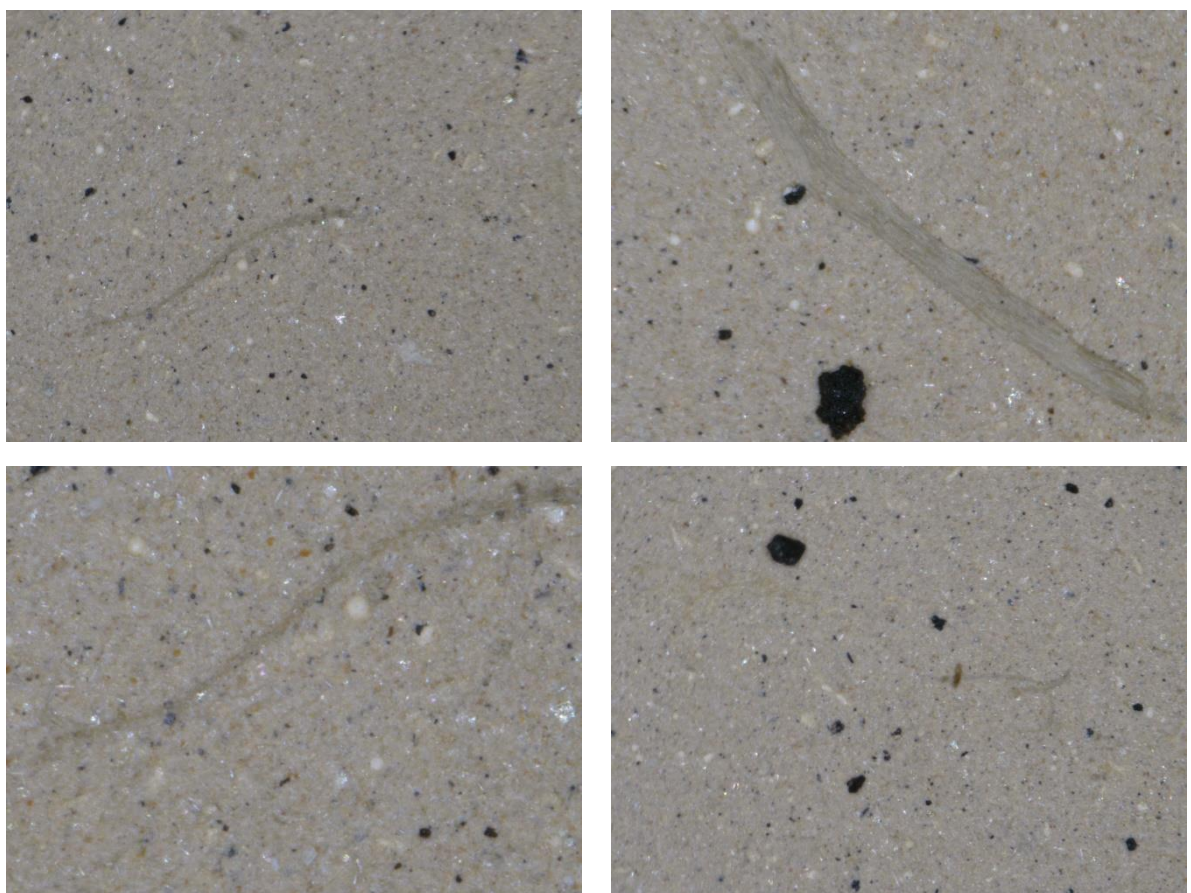
Obrázek 18: Bližší záběr nalezených vlákněných mikroplastů u vzorků 1.2, 2.2, 5.1, 5.2

Obsah filtru byl vždy důkladně prohlédnut při dostatečném přiblížení. Na Obrázku 18 jsou znázorněny podmínky identifikace. Tento náhled poskytuje možnost nalézt potenciální vlákněné mikroplasty. Bylo však potřeba získat kvalitnější důkazy. Z tohoto důvodu byly vzorky prohlédnuty a nafoceny ještě pomocí mikroskopu Bresser. Použité zvětšení bylo až 280x. Oblast snímání byla opatřena také milimetrovým měřítkem, pomocí kterého bylo také možné, alespoň přibližně, určit rozměry nalezených vlákněných mikroplastů. Pro každé přiblížení byla tedy vykonána kalibrace a snímky pořízené tímto mikroskopem byly opatřeny měřítkem. Názorný snímek vzorku s přiloženým měřítkem je uveden na Obrázku 19.

14.2 Snímání vzorků pomocí mikroskopu Bresser

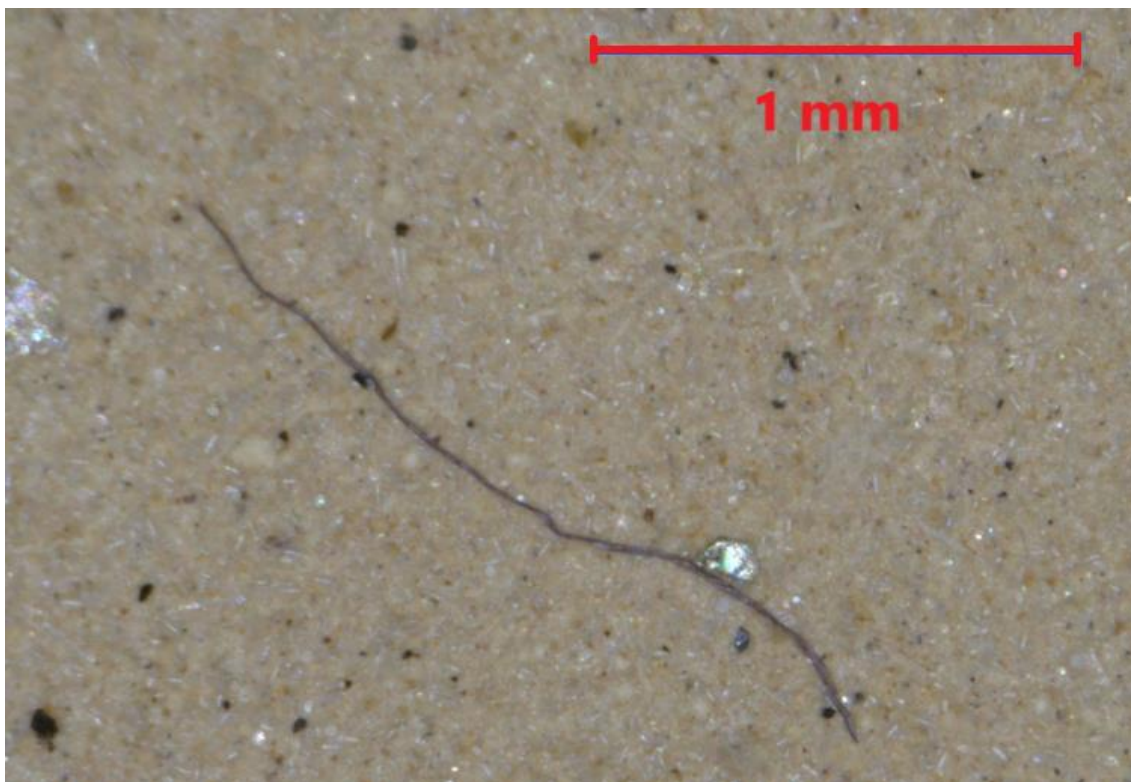


Obrázek 19: Snímek, s nalezeným vlákněným mikroplastem, pořízený mikroskopem Bresser s přiloženým milimetrovým měřítkem

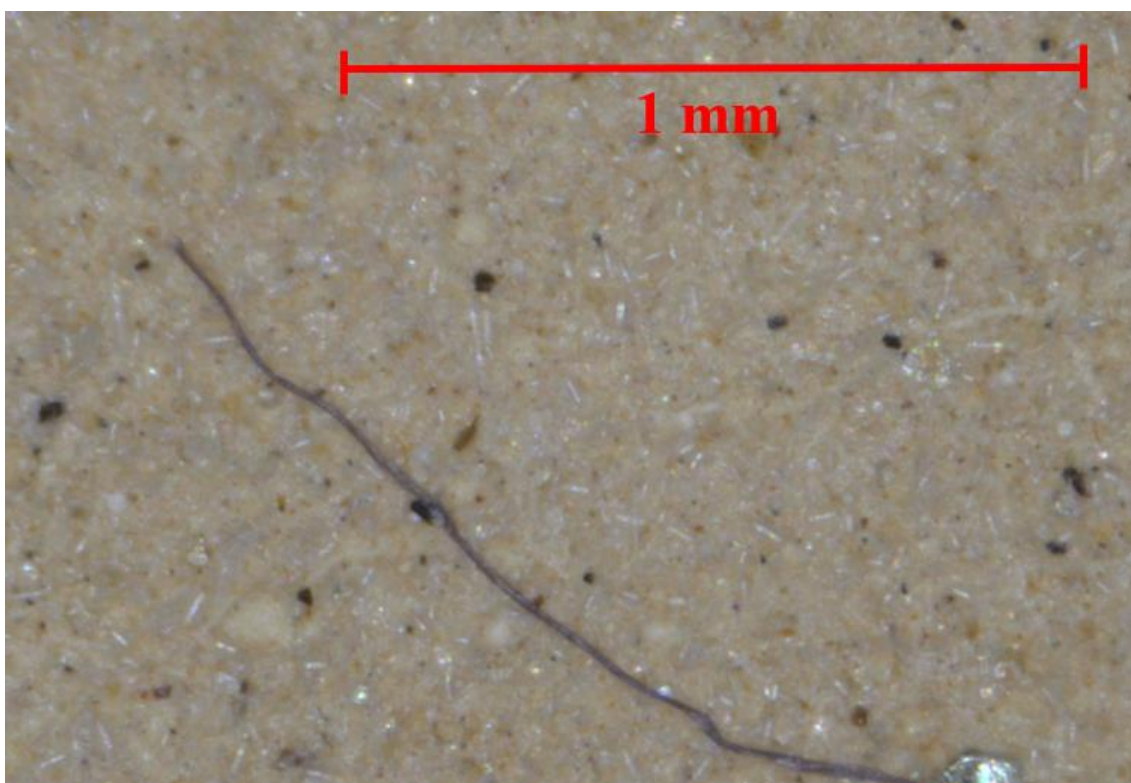


Obrázek 20: Snímky nalezených vlákněných mikroplastů při zvětšení: 130x, 180x, 280x

Snímky pořízené mikroskopem Bresser poskytují velmi kvalitní možnost identifikace vlákněných mikroplastů a různých nalezených artefaktů, které jsou na membránových filtrech umístěny. Na Obrázku 20 je několik snímků, které zachycují nalezená vlákna a na Obrázcích 21 a 22 je jedno konkrétní vlákno ze vzorku označeného jako 4.1. Takto zobrazenému vláknu lze určit i délkový rozměr a přibližně určit tloušťku vlákna.



Obrázek 21: Přiblížení zachyceného vlákna při 180x zvětšení



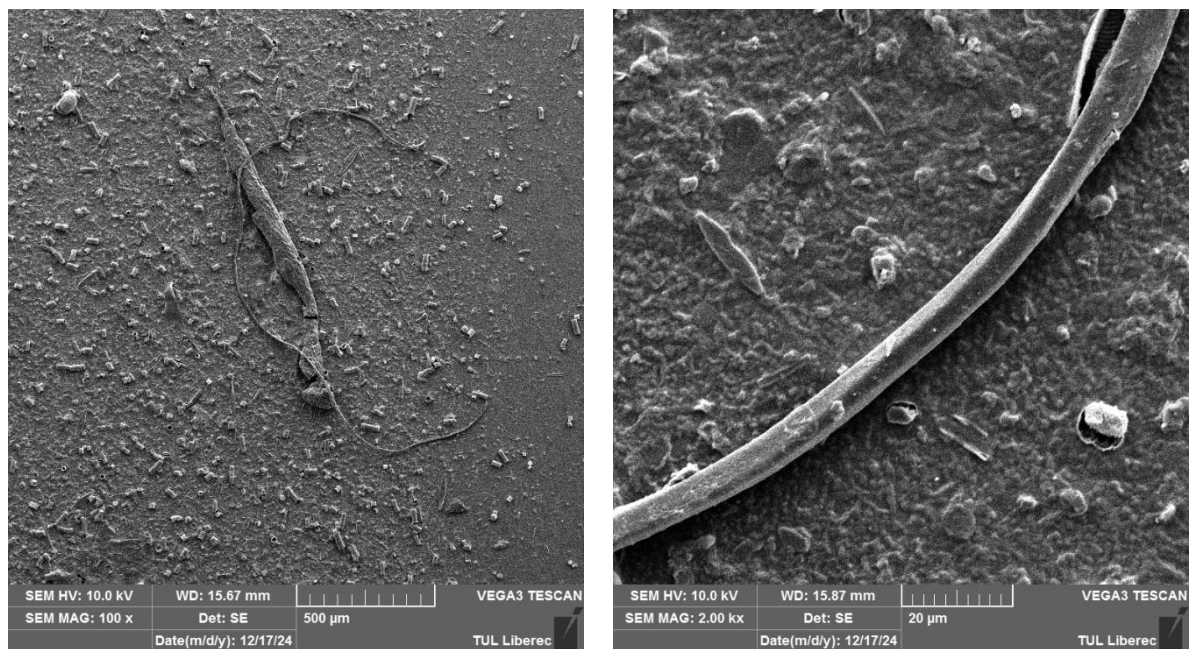
Obrázek 22: Přiblížení zachyceného vlákna při 280x zvětšení

Tvrzení, že se jedná o nalezený vláknový mikroplast, je nutné ověřit pomocí několika charakteristik. Mikroplasty mají často jasné barvy, jako je například modrá a červená. Na zachycených snímcích je jasně viditelné, že vlákno má modrou barvu. Tento fakt zvyšuje pravděpodobnost, že se skutečně jedná o mikroplast. Vlákna jsou navíc rovná, nebo mírně zakřivená a mají pravidelnou strukturu. Na koncích jsou hladká, nebo rovně zakončená. Přírodní vlákna bývají na koncích roztřepená. Současně lze zmínit další důkaz, a to že nalezené vláknové mikroplasty odolaly chemické digesti při použití H_2O_2 . Přírodní vlákno by se rozložilo na menší částice. Při pozorování mikroskopem také nebyly patrné žádné přirozené struktury, jako jsou trubičkovité nebo vláknité uzly, které jsou běžné u organických vláken. Z uvedených skutečností vyplývá, že se s velmi vysokou pravděpodobností jedná o vláknový mikroplast. Tímto způsobem, při kterém se pozorovali zmíněné vlastnosti, bylo zkoumáno všech 24 nalezených potenciálních vláknových mikroplastů.

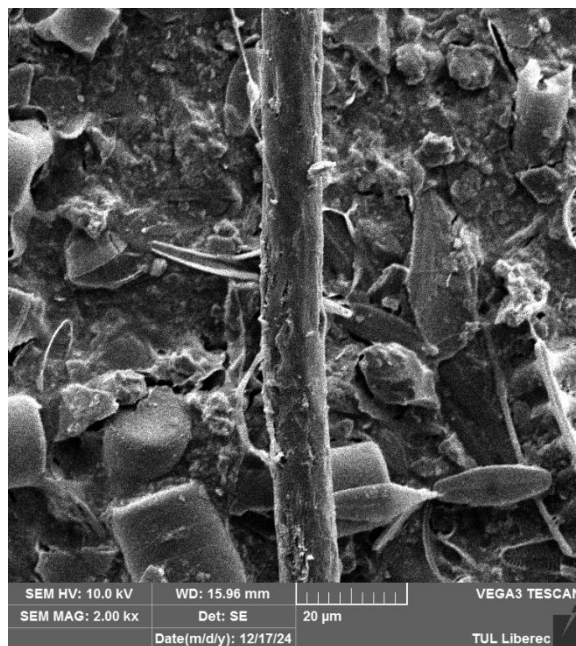
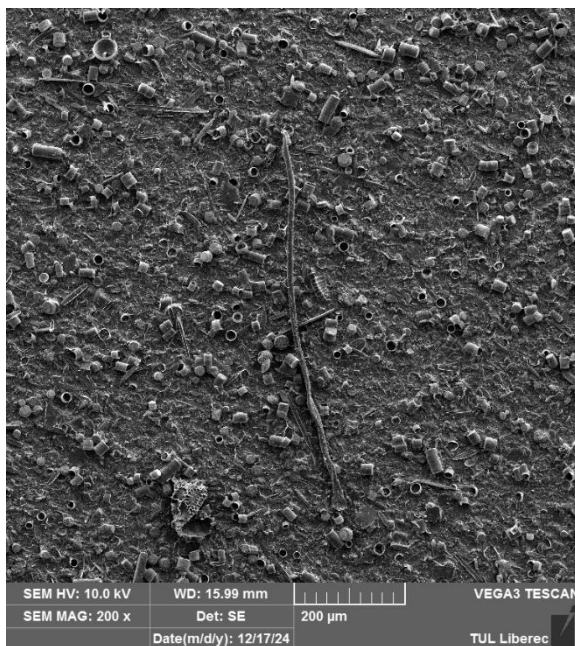
Současně existuje možnost, že se v některých případech může jednat o zbarvené vlákno bavlny. Avšak i v tomto ohledu se jedná o významný nález, jelikož barviva jsou další kontaminant životního prostředí.

14.3 Snímání vzorků pomocí SEM

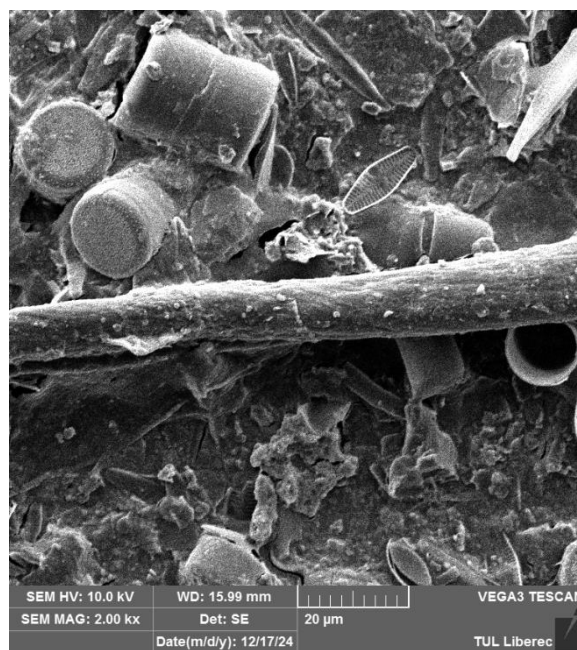
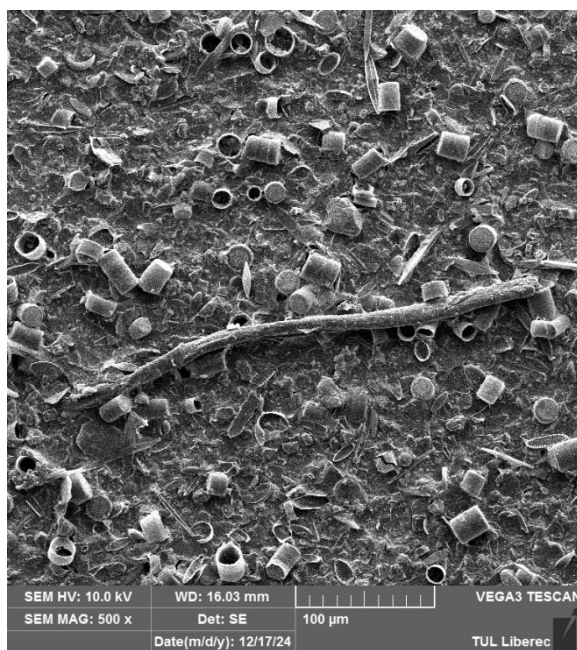
Pro velmi kvalitnější náhled na podobu nalezených vlákných mikroplastů byly vzorky podrobeny skenovací elektronové mikroskopii. Zde byly pořízeny snímky s různým zvětšením. Maximální zvětšení, které bylo adekvátní pro pořízení reprezentativního snímku, bylo 2000x. Během analýzy SEM byla vlákna potažena vodivým materiálem, který zabránil rozptýlení elektronů. Pro vlákné mikroplasty se však jedná o destruktivní metodu, jelikož už nejsou vhodná pro další výzkum, například pomocí spektroskopických metod.



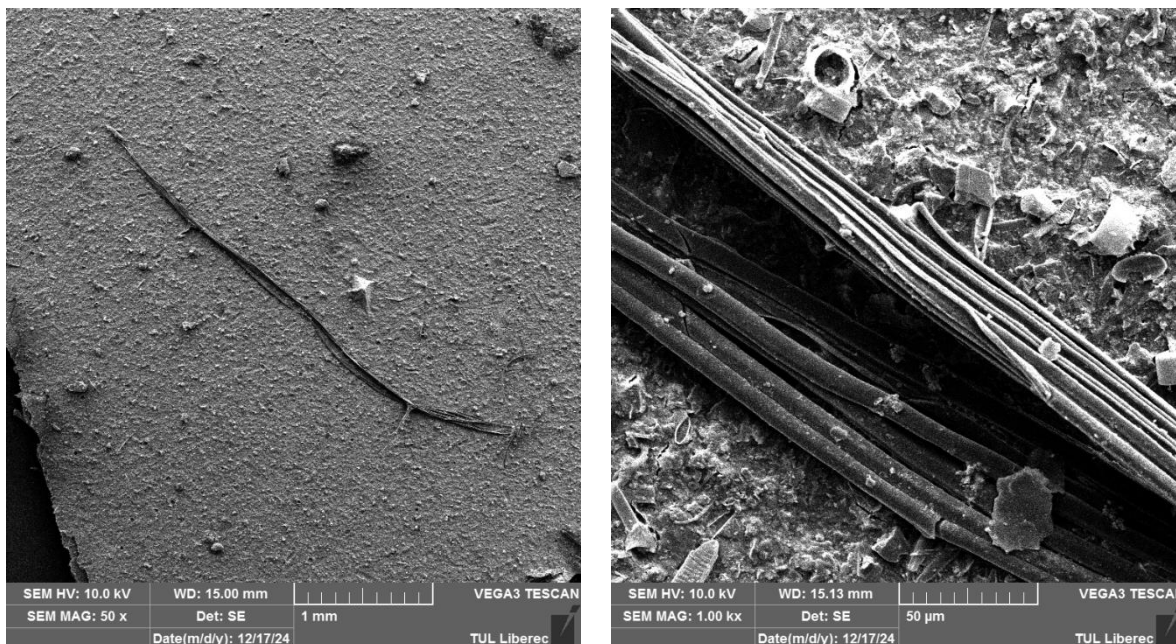
Obrázek 23: Vlákný mikroplast, nalezený na vzorku 1.1



Obrázek 24: Vlákenný mikroplast, nalezený na vzorku 2.3 (1)

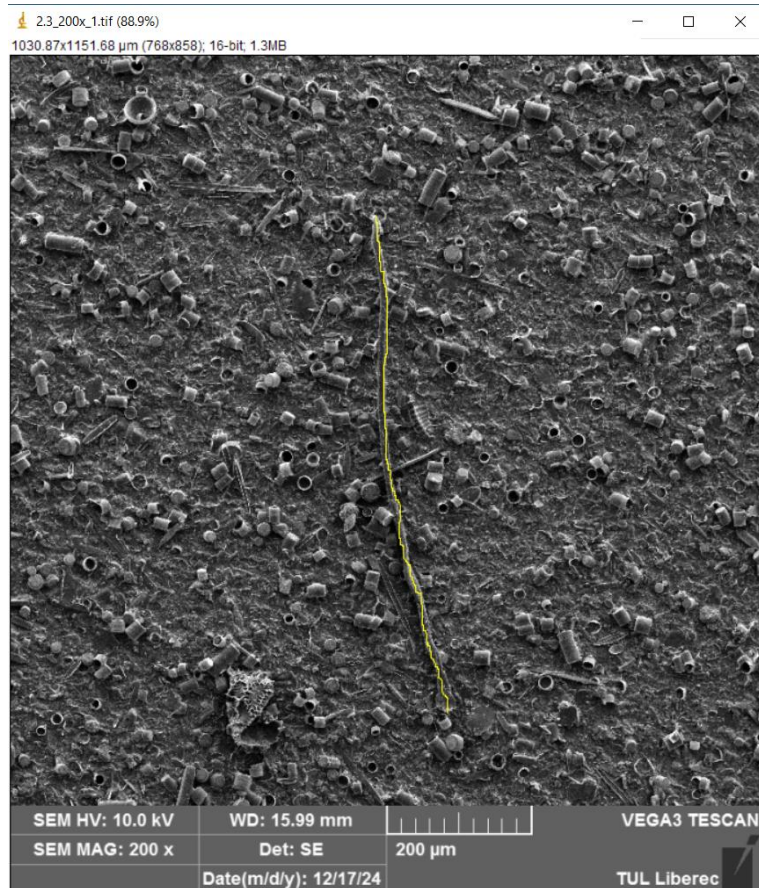


Obrázek 25: Vlákenný mikroplast, nalezený na vzorku 2.3 (2)

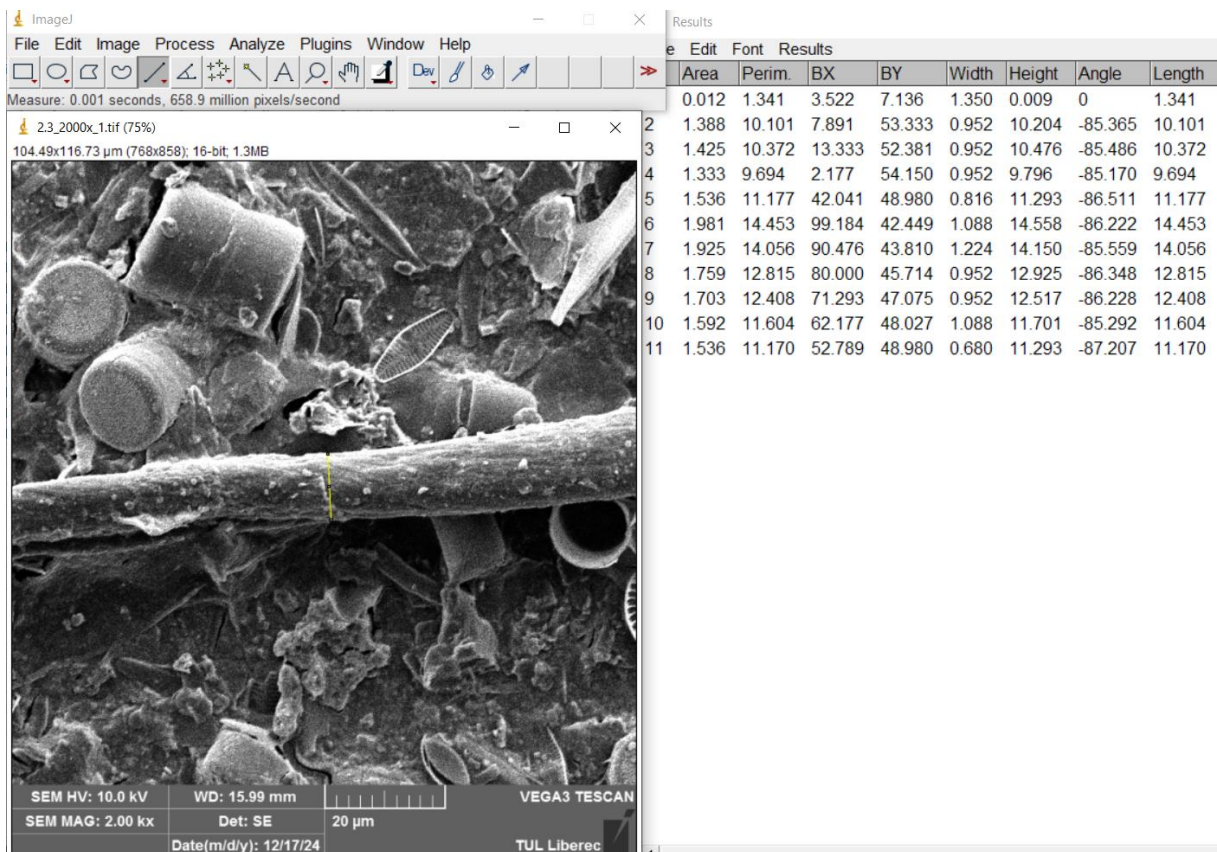


Obrázek 26: Vlákenný mikroplast, nalezený na vzorku 3.1

Snímky SEM následně poskytly možnost kvantifikovat délku a průměr jednotlivých vláken. Pro tento účel byl využit software ImageJ. Při každém měření byla provedena kalibrace měřítka. Z hlediska měření délky bylo použito měření pomocí volné křivky, které je znázorněné na Obrázku 27. Průměr vlákna byl naměřen vždy na deseti různých místech a jednotlivá data byla následně aritmeticky zprůměrována. Tento postup je znázorněn na Obrázku 28.



Obrázek 27: Měření délky vlákna pomocí volné křivky v aplikaci ImageJ



Obrázek 28: Měření průměru vlákna pomocí softwaru ImageJ

Tabulka 7: Měření délky a průměru pro čtyři vybrané vlákenné mikroplasty

Měření	Průměr vlákna [μm]			
	Vzorek 1.1	Vzorek 2.3	Vzorek 2.3	Vzorek 3.1
1.	6,819	11,081	10,101	6,555
2.	7,133	11,082	10,372	7,593
3.	7,504	10,814	9,694	7,124
4.	7,408	10,676	11,177	6,566
5.	7,327	11,216	14,453	6,465
6.	8,742	11,217	14,056	6,929
7.	7,055	11,622	12,815	6,834
8.	7,013	10,706	12,408	6,499
9.	7,547	10,427	11,604	5,695
10.	9,501	10,562	11,170	6,647
Průměr [μm]:	7,605	10,940	11,785	6,691
Délka vlákna [μm]:	2601,2	723,1	376,1	3852,6

Parametry vláken, která byla podrobněji analyzována, jsou uvedeny v tabulce 7. Ve všech případech se jedná o vlákenný mikroplast. Vlákna ze vzorků 1.1 a 3.1 jsou navíc v průměru užší než $10 \mu\text{m}$, což z nich činí mikrovlákná.

15 Laboratorní postup pro přípravu vzorku sedimentu

Úkoly

1. Získat vhodný vzorek sedimentu vodního toku.
2. Izolovat potenciální mikroplasty obsažené ve vzorku sedimentu.
3. Provést fotodokumentaci pomocí skeneru.

Pomůcky

teleskopická tyč, 500ml plastová kádinka, sklenice pro odběr vzorků, sítko (velikost oka 1,5 mm), 500ml kádinka, 100ml plastová uzavíratelná nádoba, 50ml odměrný válec, lžička, skleněná tyčinka, hmoždír a tlouček, laboratorní váha (0,001 g), stříčka, plastová injekční stříkačka, membránová vývěva a filtrační aparatura, membránový filtr MCE (průměr oka 0,8 μm), 200 μl mikropipeta, Petriho miska, skener

Chemikálie

H_2O_2 (10%), ZnCl_2 , destilovaná voda

Pracovní postup

1. Připravte zařízení pro odběr vzorku upevněním plastové kádinky na teleskopickou tyč. Zvolte vhodné prostředí pro odběr sedimentu.
2. Naberte vzorek sedimentu a umístěte jej do připravené sklenice. Pro reálnější výzkum zvoleného místa odebírejte sediment z různých míst a připravte takto například 5 sklenic.
3. Proveďte hrubou předfiltraci sedimentu pomocí sítko do kádinky.
4. Z kádinky odeberte přibližně 10 g sedimentu a umístěte jej do plastové uzavíratelné nádoby. Takto připravte alespoň tři vzorky, získané z jednoho odběru. Pokud bylo připraveno 5 sklenic se sedimentem, je tedy potřeba získat celkem 15 vzorků.
5. Ke každému vzorku přidejte 20-30 ml oxidačního činidla H_2O_2 (10 %). Uzavřete nádobu a nechte působit po dobu sedmi dnů.
6. Připravte si ZnCl_2 a případě potřeby jej nadrt'ete.
7. Obsah plastové nádoby po provedení oxidace převed'te do odměrného válce.
8. Přidávejte ZnCl_2 do nasycení roztoku, tedy do dosažení potřebné hustoty (1,6 g/cm^3).
9. Nechte obsah vzorku rozdělit podle velikosti hustoty, pod dobu třiceti minut.

10. Pomocí injekční stříkačky postupně odebírejte od hladiny kapalnou část vzorku, ve které by měly být separovány potenciální mikroplasty.
11. Obsah injekční stříkačky přefiltrujte pomocí membránové vývěvy skrze membránový filtr uhelón T 130 (velikost oka 0,8 μm). Filtraci doprovázejte proplachem pomocí destilované vody.
12. Pro zvýšení kvality vzorku pokapejte filtr 200 μl H_2O_2 .
13. Nechte vzorky vysušit v Petriho misce.
14. Proveďte fotodokumentaci pomocí skeneru, ze které vyhodnotíte přítomnost vlákných mikroplastů.
15. Vzorky lze dále předat a ke kvalitativní a kvantitativní analýze.

16 Závěr

V experimentální části zaměřené na stanovení vlákných mikroplastů v sedimentu bylo potřeba nejprve sestavit metodiku pro úspěšnou separaci nalezených vlákných mikroplastů ze vzorku. Bylo tedy potřeba provést test množství oxidačního činidla H_2O_2 pro odstranění organických složek a také zda vlákné mikroplasty této reakci odolají. Výsledky experimentu prokázaly, že vlákné mikroplasty této úpravě odolávají, což umožňuje jejich izolaci a identifikaci ze sedimentu. Vzorek byl následně podroben hustotní flotaci, přičemž byl do obsahu vzorku postupně přidáván ZnCl_2 , až do nasycení roztoku. Po provedených testech a sestavení kompletní metodiky, která je názorně předvedena v přiloženém laboratorním postupu, bylo možné tuto metodiku využít v reálných podmínkách.

Z Harcovského potoka bylo odebráno celkem 15 vzorků sedimentu. Tyto vzorky byly dále zpracovány podle navržené metodiky, která zahrnoval úpravu vzorků za použití chemických látek a mikroskopického pozorování.

Pro rozklad organické hmoty byl v metodice aplikován peroxid vodíku (H_2O_2) v koncentraci 10 % a množství 20 g na 11 g sedimentu, přičemž doba působení činila 7 dní. Pomocí hustotní flotace byly vlákné mikroplasty odebrány z hladiny vzorku a přefiltrovány na membránový filtr pomocí membránové vývěvy.

Pomocí optické mikroskopie (mikroskop Bresser) bylo potvrzeno, že ve vzorcích bylo nalezeno celkem 24 vlákných mikroplastů. U všech podezřelých nálezů byla pozorována barva, tvar, struktura, přibližná délka a nepřítomnost organických charakteristik. Tímto způsobem bylo stanoveno, zda se jedná o vlákné mikroplast. Velikost všech detekovaných částic nepřekročila 5 mm. Výsledky potvrzují, že navržená metodika umožňuje účinnou detekci a kvantifikaci vlákných mikroplastů v říčních sedimentech.

Podobnější analýza pomocí skenovací elektronové mikroskopie byla aplikována na čtyři konkrétní vlákna. U těchto vláken byla stanovena jejich délka a průměr, což umožnilo jejich lepší charakterizaci.

V patnácti vzorcích, které byly odebrány z harcovského potoka bylo nalezeno celkem 24 vlákných mikroplastů. Jeden vzorek, který představoval 11 g sedimentu, tedy průměrně obsahoval 1,6 vlákného mikroplastu.

Z ekologického hlediska jsou tyto výsledky významné. Přítomnost vlákných mikroplastů v sedimentech ukazuje na akumulaci plastového odpadu ve vodních

ekosystémech. Sedimenty fungují jako rezervoáry znečištění, odkud mohou být mikroplasty opět uvolňovány do vodního prostředí a dále ovlivňovat vodní organismy a potravní řetězce. Vlákněné mikroplasty mohou být snadno konzumovány drobnými organismy, což zvyšuje riziko bioakumulace a negativních dopadů. Navržená metodika a výsledky studie poskytují praktický nástroj pro monitorování mikroplastů v sedimentu a mohou být dále využity v environmentálních studiích a dlouhodobém sledování stavu vodních ekosystémů.

17 Použitá literatura

1. Havlíčková L. Detekce mikroplastů v životním prostředí. 3. září 2018 [citován 29. leden 2024]; Dostupné z: <https://dspace.cuni.cz/handle/20.500.11956/101242>
2. Halden RU. Plastics and Health Risks. *Annual Review of Public Health*. 2010;31(1):179–94.
3. Ducháček V. Polymery - výroba, vlastnosti, zpracování, použití. 2. Roč. 2006. Praha: VŠCHT; 2006.
4. Gross R, Kalra B. Biodegradable Polymers for the Environment. *Science (New York, NY)*. 1. září 2002;297:803–7.
5. Haas KH. Hybrid Inorganic–Organic Polymers Based on Organically Modified Si-Alkoxides. *Advanced Engineering Materials*. 1. září 2000;2:571–82.
6. Kameníková E. Osud mikroplastů v půdě [Internet] [Diplomová práce]. Vysoké učení technické v Brně; 2021 [citován 29. leden 2024]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/yf10bt/>
7. Andrady AL. Microplastics in the marine environment. *Mar Pollut Bull*. srpen 2011;62(8):1596–605.
8. Gigault J, Halle A ter, Baudrimont M, Pascal PY, Gauffre F, Phi TL, et al. Current opinion: What is a nanoplastic? *Environmental Pollution*. 1. duben 2018;235:1030–4.
9. Crawford CB, Quinn B. 3 - Plastic production, waste and legislation. In: Crawford CB, Quinn B, editoři. *Microplastic Pollutants* [Internet]. Elsevier; 2017 [citován 7. prosinec 2024]. s. 39–56. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128094068000037>
10. Statista. Statista. 2023 [citován 7. prosinec 2024]. Global share of plastic production by region 2023. Dostupné z: <https://www.statista.com/statistics/1484809/plastic-production-global-share/>
11. Zbytková T. Plasty v sedimentech sladkých vod [Internet] [Bakalářská práce]. Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta; 2022 [citován 29. leden 2024]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/9gkwj3/?zpet=%2Fvyhledavani%2F%3Fsearch%3DPlasty%20v%20s edimentech%20sladk%C3%BDch%20vod%20Tereza%20Zbytkov%C3%A1%26start%3D1;isshlet=Tereza%3BZBYTKOV%C3%81%3B>
12. Teuten EL, Saquing L, Knappe JM. Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife - PMC [Internet]. 2009 [citován 11. červen 2024]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2873017/>
13. Harrison J, Ojeda J, Romero-Gonzalez M. The applicability of reflectance micro-Fourier-transform infrared spectroscopy for the detection of synthetic microplastics in marine sediments. *The Science of the total environment*. 1. únor 2012;416:455–63.
14. Fuller S, Gautam A. A Procedure for Measuring Microplastics using Pressurized Fluid Extraction. *Environmental Science & Technology*. 12. květen 2016;50.

15. Kvaček R, Šmejkalová P, Hermanová S. Zavádění analytické metody pro kvalitativní stanovení mikroplastů ve vodách. ENTECHO. 31. prosinec 2020;(2):1–6.
16. Li J, Liu H, Chen J. Microplastics in freshwater systems: A review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection. *Water Research*. 1. prosinec 2017;137.
17. Wang J, Tan Z, Peng J, Qiu Q, Li M. The behaviors of microplastics in the marine environment. *Marine Environmental Research*. 1. únor 2016;113:7–17.
18. Browne MA, Crump P, Niven S, Teuten E, Tonkin A, Galloway T, et al. Accumulation of Microplastic on Shorelines Worldwide: Sources and Sinks. *Environmental science & technology*. 6. září 2011;45:9175–9.
19. Crawford CB, Quinn B. 8 - Microplastic collection techniques. In: Crawford CB, Quinn B, editoři. *Microplastic Pollutants* [Internet]. Elsevier; 2017 [citován 16. prosinec 2024]. s. 179–202. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128094068000086>
20. MATHALON A, HILL P. Microplastic fibers in the intertidal ecosystem surrounding Halifax Harbor, Nova Scotia. *Marine Pollution Bulletin*. 15. duben 2014;81(1):69–79.
21. Nabi I, Bacha AUR, Zhang L. A review on microplastics separation techniques from environmental media. *Journal of Cleaner Production*. 20. únor 2022;337:130458.
22. Chen Y, Leng Y, Liu X, Wang J. Microplastic pollution in vegetable farmlands of suburb Wuhan, central China. *Environmental Pollution*. 1. únor 2020;257:113449.
23. Tagg AS, Sapp M, Harrison JP, Sinclair CJ, Bradley E, Ju-Nam Y, et al. Microplastic Monitoring at Different Stages in a Wastewater Treatment Plant Using Reflectance Micro-FTIR Imaging. *Front Environ Sci* [Internet]. 25. srpen 2020 [citován 30. listopad 2024];8. Dostupné z: <https://www.frontiersin.org/journals/environmental-science/articles/10.3389/fenvs.2020.00145/full>
24. Foekema EM, De Gruijter C, Mergia MT, van Franeker JA, Murk AJ, Koelmans AA. Plastic in north sea fish. *Environ Sci Technol*. 6. srpen 2013;47(15):8818–24.
25. Kotasová E. Problematika mikroplastů v životním prostředí. *Microplastics in the environment* [Internet]. 2020 [citován 29. leden 2024]; Dostupné z: <https://dk.upce.cz/handle/10195/76253>
26. Van Cauwenberghe L, Devriese L, Galgani F, Robbens J, Janssen CR. Microplastics in sediments: A review of techniques, occurrence and effects. *Marine Environmental Research*. 1. říjen 2015;111:5–17.
27. Zhang S, Yang X, Gertsen H, Peters P, Salánki T, Geissen V. A simple method for the extraction and identification of light density microplastics from soil. *Science of The Total Environment*. 1. březen 2018;616–617:1056–65.
28. Prata JC, da Costa JP, Duarte AC, Rocha-Santos T. Methods for sampling and detection of microplastics in water and sediment: A critical review. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 1. leden 2019;110:150–9.

29. Crawford CB, Quinn B. 10 - Microplastic identification techniques. In: Crawford CB, Quinn B, editoři. *Microplastic Pollutants* [Internet]. Elsevier; 2017 [citován 7. prosinec 2024]. s. 219–67. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128094068000104>
30. Zhou W, Apkarian R, Wang ZL, Joy D. Fundamentals of Scanning Electron Microscopy (SEM). In: Zhou W, Wang ZL, editoři. *Scanning Microscopy for Nanotechnology: Techniques and Applications* [Internet]. New York, NY: Springer; 2007 [citován 21. prosinec 2024]. s. 1–40. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/978-0-387-39620-0_1
31. Shim WJ, Hong SH, Eo SE. Identification methods in microplastic analysis: a review. *Anal Methods*. 2. březen 2017;9(9):1384–91.
32. Li Y, Wu M, Li H, Xue H, Tao J, Li M, et al. Current advances in microplastic contamination in aquatic sediment: Analytical methods, global occurrence, and effects on elemental cycling. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 1. listopad 2023;168:117331.

18 Seznam použitých obrázků

Obrázek 1: Velikostní rozdělení plastů.....	12
Obrázek 2: Hustotní separace pomocí $ZnCl_2$	25
Obrázek 3: Schéma skenovací elektronové mikroskopie (SEM) (Zhou et al. 2007).....	30
Obrázek 4: Vzorky testu oxidace pro zjištění množství peroxidu vodíku.....	35
Obrázek 5: Vzorky trávy a sedimentu před oxidací a po oxidaci.....	37
Obrázek 6: Vlákenné mikroplasty PES s peroxidem vodíku.....	38
Obrázek 7: Vlákenné mikroplasty PES a Viskózy v přesně definovaném vzorku sedimentu.....	39
Obrázek 8: Vzorek 3. před zahájením oxidační reakce (vlevo) a po sedmi dnech od zahájení oxidační reakce (vpravo).....	40
Obrázek 9: Vlákna polyesteru po provedení experimentu s přesně definovaným vzorkem sedimentu.....	42
Obrázek 10: Lokality odebíraných vzorků.....	43
Obrázek 11: Teleskopická tyč pro odběr vzorků.....	43
Obrázek 12: Odebrané vzorky sedimentu.....	44
Obrázek 13: Vzorky sedimentu uložené v plastových uzavíratelných nádobách.....	45
Obrázek 14: Vzorek sedimentu.....	45
Obrázek 15: Vzorky po provedené oxidaci, připravené pro hustotní separaci (označení vzorků: 1.1, 2.3, 4.1).....	46
Obrázek 16: Vzorky po přidání $ZnCl_2$ (označení vzorků: 1.2, 1.3, 2.3, 4.2).....	47
Obrázek 17: Jednotlivé vzorky po provedené filtraci.....	51
Obrázek 18: Bližší záběr nalezených vlákenných mikroplastů u vzorků 1.2, 2.2, 5.1, 5.2.....	52
Obrázek 19: Snímek, s nalezeným vlákenným mikroplastem, pořízený mikroskopem Bresser s přiloženým milimetrovým měřítkem.....	53
Obrázek 20: Snímky nalezených vlákenných mikroplastů při zvětšení: 130x, 180x, 280x.....	53
Obrázek 21: Přiblížení zachyceného vlákna při 180x zvětšení.....	54
Obrázek 22: Přiblížení zachyceného vlákna při 280x zvětšení.....	54
Obrázek 23: Vlákenný mikroplast, nalezený na vzorku 1.1.....	56
Obrázek 24: Vlákenný mikroplast, nalezený na vzorku 2.3 (1).....	57
Obrázek 25: Vlákenný mikroplast, nalezený na vzorku 2.3 (2).....	57
Obrázek 26: Vlákenný mikroplast, nalezený na vzorku 3.1.....	58
Obrázek 27: Měření délky vlákna pomocí volné křivky v aplikaci ImageJ.....	59
Obrázek 28: Měření průměru vlákna pomocí softwaru ImageJ.....	59

19 Seznam použitých tabulek

Tabulka 1: Hmotnostní varianta testu oxidace	36
Tabulka 2: Časová varianta testu oxidace.....	36
Tabulka 3: Test odolnosti vlákenných mikroplastů proti oxidaci v definovaném vzorku sedimentu	39
Tabulka 4: Hmotnosti složek definovaného vzorku	40
Tabulka 5: Hmotnosti jednotlivých složek vzorku a jeho výsledná hustota pro hustotní separaci	48
Tabulka 6: Četnost nalezených vláken ze snímků jednotlivých vzorků	51
Tabulka 7: Měření délky a průměru pro čtyři vybrané vlákenné mikroplasty	60