

Univerzita Hradec Králové

Přírodovědecká fakulta

Katedra biologie

**Analýza mikroplastových částic z vybraných druhů
odpadních vod, čistírenského kalu a půdy**

Diplomová práce

Autor: Bc. Barbora Piskačová
Studijní program: Biologie a ekologie
Studijní obor: Biologie a ekologie – specializace experimentální biologie
Vedoucí práce: RNDr. Alena Myslivcová Fučíková, Ph.D.



Zadání diplomové práce

Autor: Bc. Barbora Piskačová

Studium: S21BI020NP

Studijní program: N0588A030001 Biologie a ekologie

Studijní obor: Experimentální biologie

Název diplomové práce: **Analýza mikroplastových částic z vybraných druhů odpadních vod, čistírenského kalu a půdy**

Název diplomové práce AJ: Analysis of microplastic particles from selected types of wastewater, sewage sludge and soil

Cíl, metody, literatura, předpoklady:

Diplomová práce se zabývá analýzou mikroplastových částic v odpadních vodách, v čistírenském kalu a v půdě. Teoretická část uvádí základní informace o odpadních vodách, čištění odpadních vod a zpracování kalů. Jsou zde také uvedeny poznatky o mikroplastech a jejich výskytu v různých typech prostředí. Metodická část se věnuje aplikaci metod na analýzu mikroplastových částic, které jsou identifikovány skenovacím elektronovým mikroskopem a energiově disperzní spektrometrií. Cílem práce je najít vhodný postup na rozklad organických látek v kalu i půdě, a umožnit tak detekci mikroplastových částic.

Klíčová slova

Elektronová mikroskopie, mikroplasty, kal, odpadní voda, vakuová filtrace, zemědělská půda

Koelmans AA, Mohamed Nor NH, Hermsen E, Kooi M, Mintenig SM, De France J. Microplastics in freshwaters and drinking water: Critical review and assessment of data quality. *Water Res.* 2019 May 15;155:410-422. doi: 10.1016/j.watres.2019.02.054. Epub 2019 Feb 28. PMID: 30861380; PMCID: PMC6449537.

Dey TK, Uddin ME, Jamal M. Detection and removal of microplastics in wastewater: evolution and impact. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2021 Apr;28(14):16925-16947. doi: 10.1007/s11356-021-12943-5. Epub 2021 Feb 25. PMID: 33634402; PMCID: PMC7906573.

Zadávací pracoviště: Katedra biologie,
Přírodovědecká fakulta

Vedoucí práce: RNDr. Alena Myslivcová Fučíková, Ph.D.

Datum zadání závěrečné práce: 7.2.2020

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem na celé diplomové práci pracovala samostatně a uvedla jsem všechny použité prameny a literaturu.

V Hradci Králové dne

.....

Podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucí své práce RNDr. Aleně Myslivcové Fučíkové, Ph.D. za věnovaný čas, cenné rady a ochotnou pomoci při zpracování diplomové práce. Dále bych chtěla poděkovat panu Ing. Zdeňku Zelenému za možnost přístupu do prostor Čistírny odpadních vod Havlíčkův Brod a odběru potřebného množství vody a kalu. Za pomoc a odborné rady při obsluze skenovacího elektronového mikroskopu bych ráda poděkovala panu Bc. Marku Vojtovi. Poděkování patří také RNDr. Markétě Bohunické, Ph.D. za zařazení nalezených rozsivek a řas do druhu.

Anotace

Název: Analýza mikroplastových částic z vybraných druhů odpadních vod, čistírenského kalu a půdy

PISKAČOVÁ, B., 2023 Analýza mikroplastových částic z vybraných druhů odpadních vod, čistírenského kalu a půdy. Hradec Králové, 2023. Přírodovědecká fakulta Univerzity Hradec Králové, Vedoucí diplomové práce RNDr. Alena Myslivcová Fučíková, Ph.D. 156 s.

Diplomová práce se zabývá analýzou mikroplastových částic v odpadních vodách, v čistírenském kalu a v půdě. Teoretická část uvádí základní informace o odpadních vodách, čištění odpadních vod a zpracování kalů. Jsou zde také uvedeny poznatky o mikroplastech a jejich výskytu v různých typech prostředí. Metodická část se věnuje aplikaci metod na analýzu mikroplastových částic, které jsou identifikovány skenovacím elektronovým mikroskopem a energiově disperzní spektrometrií. Cílem práce je analyzovat mikroplastové částice z odebraných materiálů a najít vhodný postup na rozklad organických látek v kalu i půdě.

Klíčová slova

Elektronová mikroskopie, kal, mikroplasty, odpadní voda, vakuová filtrace, zemědělská půda

Annotation

Title: Analysis of microplastic particles from selected types of wastewater, sewage sludge and soil

PISKAČOVÁ, B., 2021 Analysis of microplastic particles from selected types of wastewaters, sludge and soil. Hradec Králové, 2021. Faculty of Science, University of Hradec Králové, Thesis supervisor RNDr. Alena Myslivcová Fučíková, Ph.D. 156 pp.

The diploma thesis deals with the analysis of microplastic particles in wastewater, sludge and soil. The theoretical part presents basic information about wastewater, wastewater treatment and sludge processing. Knowledge about microplastics and their occurrence in different types of environments is also presented here. The methodological part is devoted to the application of methods for the analysis of microplastic particles, which are identified by a scanning electron microscope and energy dispersive spectrometry. The aim of the work is to analyze microplastic particles from the collected materials and to find a suitable procedure for the decomposition of organic substances in sludge and soil.

Keywords

Agricultural land, electron microscopy, microplastics, sludge, vacuum filtration, wastewater

Obsah

Úvod.....	9
1 Teoretická část.....	12
1.1 Voda a její vlastnosti	12
1.1.1 Odpadní vody.....	12
1.1.2 Kalové hospodářství.....	23
1.1.3 Čistírna odpadních vod v Havlíčkově Brodě.....	30
1.2 Kompostování v kompostárnách.....	31
1.2.1 Proces kompostování.....	31
1.2.2 Hodnocení kompostu.....	34
1.2.3 Využití kompostu.....	34
1.3 Plasty	35
1.3.1 Mikroplasty.....	37
1.4 Metody analýzy mikroplastů	52
1.4.1 Metody úpravy odebraných substrátů	52
1.4.2 Metody pozorování mikroplastových částic.....	53
1.5 Legislativa.....	55
2 Metodická část.....	56
2.1 Odběr vzorků	56
2.1.1 Místa odběru vzorků	57
2.1.2 První odběr	61
2.1.3 Druhý odběr.....	61
2.2 Způsob zpracování odebraného materiálu.....	62
2.2.1 Vakuová filtrace.....	62
2.2.2 Rozklad vzorků kalu a půdy	64
2.3 Postup přípravy a značení vzorků	67
2.3.1 Omezení kontaminace	67
2.4 Uchování vzorků.....	67
2.5 Naprášení vzorků	68
2.6 Pozorování vzorků	69
2.6.1 Postup detekce mikročástic pomocí skenovacího elektronového mikroskopu	70
2.6.2 Postup identifikace částic pomocí elektronové disperzní spektrometrie ..	73
3 Výsledky	74
3.1 Identifikace mikroplastových částic.....	74

3.1.1	Identifikace na základě velikosti.....	74
3.1.2	Identifikace na základě tvaru.....	75
3.1.3	Identifikace na základě EDS detektoru.....	75
3.2	Typy nalezených mikroplastových částic.....	76
3.3	Vyhodnocení analýz prvního odběru.....	77
3.3.1	Voda ze sušičky na prádlo.....	78
3.3.2	Voda z přítoku.....	81
3.3.3	Voda z odtoku.....	84
3.3.4	Rozložený kal.....	87
3.3.5	Voda z potoka.....	92
3.3.6	Rozložená nekontaminovaná půda.....	95
3.4	Vyhodnocení analýz druhého odběru.....	98
3.4.1	Voda ze sušičky na prádlo.....	99
3.4.2	Voda z přítoku.....	102
3.4.3	Voda z odtoku.....	105
3.4.4	Rozložený kal.....	108
3.4.5	Voda z potoka.....	113
3.4.6	Rozložená nekontaminovaná půda.....	116
3.5	Velikost nalezených mikroplastových vláken.....	119
3.6	Shrnutí výsledků.....	126
3.7	Další nalezený neplastový materiál.....	127
4	Diskuse.....	130
4.1	Komplikace.....	130
4.2	Porovnání výsledků s publikovanými články.....	132
	Závěr.....	136
	Citovaná literatura.....	138
	Seznam obrázků.....	146
	Seznam tabulek.....	149
	Seznam grafů.....	151
	Seznam zkratk.....	152
	Seznam chemikálií.....	153
	Seznam přístrojů.....	153
	Seznam použitého materiálu a pomůcek.....	154
	Přílohy.....	155

Úvod

S rozvojem společnosti a spotřební ekonomiky začalo extrémní využívání plastových materiálů. Jedná se o látky s vhodnými vlastnostmi především pro spotřebitele, kteří si chválí jejich pevnost, odolnost i pružnost. V současnosti jsou součástí každodenních činností a řada lidí si bez nich nedokáže představit ani jediný den. Tento původně zázračný materiál dnes působí řadu problémů a řada dalších se bude časem objevovat.

Plast se vlivem vnějších faktorů rozpadá na menší kusy, které se jednoduše šíří životním prostředím. Takto vzniklým částicím se říká sekundární mikroplasty. Mikroplasty se začaly vyrábět také jako pelety v průmyslu nebo části do produktů osobní péče (peelingy, zubní pasty), ty označujeme jako primární mikroplasty. Mikroplasty mají velikost menší než 5 mm a mohou mít různý tvar - vlákna, fragmenty, kuličky a pelety. Primární i sekundární mikroplasty se mohou působením přírodních podmínek rozpadat na ještě menší částice, které se nazývají nanoplasty. Fragmentace je velice snadná a dnes již víme, že není v našich silách odstranit všechny plasty a z nich vzniklé mikroplasty v životním prostředí, i kdyby se jejich výroba zastavila a už by žádné další plasty nevznikaly.

Málo diskutovaným problémem je mikroplastová kontaminace zemědělských polí. I v rozvojově vyspělých zemích dochází k aplikaci čistírenských kalů na zemědělská pole a zanášení životního prostředí cizorodými částicemi. Kal z čistíren odpadních vod obsahuje ve velké míře mikroplastové částice, které se do něj dostaly z domácností, ale i vlivem atmosférické depozice a splachy ze zemského povrchu. Půda je tou nejcennější částí, kterou zde na Zemi máme. Měli bychom si ji chránit, a ne ji dobrovolně kontaminovat. Jsou známy možnosti akumulace mikroplastových částic v rostlinách, příjem se uskutečňuje především kořenovými vlásky, ale zaznamenány byly i případy příjmu rostlinnými průduchy. Mikroplasty se hromadí v rostlinách a následným zpracováním se mohou stát i součástí potravin, které lidé konzumují. V roce 2020 byly objeveny mikroplastové částice i v lidském těle (krev, gastrointestinální trakt, placenta, mateřské mléko i stolice). Jejich původ se dá velmi těžko odhadnout, protože s plastovými částicemi lidé manipulují každý den a expozice může být skrz potraviny, vzduch i poraněnou pokožku. Potraviny mohou být kontaminovány vnitřně, ale i vlivem využívání plastových obalů. Dnes je většina potravin zabalena v plastu z důvodu zajištění vhodných přepravních podmínek. Z obalů se však mohou například vlivem teplotních výkyvů uvolňovat mikroplastové fragmenty a kontaminovat potraviny. Značný problém

působí také kontaminace vodních zdrojů. Mikroplastové částice prostupují půdními vrstvami a mohou se dostat až k podzemním zdrojům vody. Pitná voda se v České republice získává právě především z podzemních zdrojů a balená voda v plastových obalech také obsahuje mikroplasty.

Voda, která jakýmkoliv způsobem změnila svoje vlastnosti se označuje jako voda odpadní. Odpadní vody se dělí do několika kategorií podle vzniku a míry znečištění. Čistírny odpadních vod mají za úkol odpadní vodu vyčistit na požadovanou kvalitu. Zároveň ale nejsou vybaveny žádným specializovaným zařízením, které by mikroplastové částice zachytávalo. Jsou místa, kde se mikroplasty dokážou zachytit, jde především o česle a čistírenský kal. Zachycený materiál na hrubých i jemných česlích je ve většině případů odvážen na skládky. Čistírenský kal se zpracovává různě, nesmí se sice skládkovat, ale je možné ho kompostovat. Z vytvořeného zemědělského kompostu se ale mikroplasty mohou uvolňovat do půdy.

Studii a výzkumů již byla provedena celá řada, stále více vědců se tímto aktuálním globálním problémem zabývá. Stále ale nejsou objasněny všechny mechanismy transportu mikroplastů ani jejich působení na živé organismy.

Cílem diplomové práce je:

- Zpracovat literární přehled o mikroplastech, jejich výskytu, transportu a odstranění. Zmínit základní informace o odpadních vodách, čištění odpadních vod a zpracování kalu. Uvést poznatky, o metodách sloužících k analýze mikroplastů.
- Pomocí elektronového mikroskopu zjistit:
 - zda se mikroplasty uvolňují ze syntetického oblečení a je možné jejich nalezení v odpadní vodě z domácí sušičky na prádlo
 - jaké množství mikroplastů projde ČOV na přítoku
 - jaké množství mikroplastů odeče do recipientu – řeky Sázavy
 - zda ČOV dokáže zachytit mikroplasty, pokud ano, tak v jaké fázi čistícího procesu
 - jaké množství mikroplastů lze nalézt v odvodněném kalu
 - jaké množství mikroplastů je možné nalézt na zemědělské půdě, kde nedochází k aplikaci zemědělského kalu
 - jaké množství mikroplastů je možné nalézt na zemědělské půdě, kde dochází k aplikaci zemědělského kalu
 - zda se mikroplasty nachází v menších tocích bez přítomnosti ČOV
- Posunout znalosti získané během zpracování bakalářské práce. Nabýt nových teoretických poznatků v oblasti mikroplastů. Rozšířit praktické zkušenosti při práci v laboratoři.
- Potvrdit výskyt mikroplastů skenovacím elektronovým mikroskopem a elektronově disperzní analýzou vzorku.

1 Teoretická část

V teoretické části jsou zmíněny základní informace o odpadních vodách a o procesech, vedoucích k jejich vyčištění. Větší část je věnována plastovým částicím, ze kterých vznikají mikroplastové a nanoplastvé částice škodlivé pro životní prostředí a v něm žijící organismy.

1.1 Voda a její vlastnosti

Voda je velmi důležitou **součástí života** na Zemi, bez vody by život neexistoval a je z velké části také součástí všech živých organismů. Je limitujícím faktorem pro lidský život a tvorbu osídlení (Pošta & kolektiv, 2005). Zacházení s vodními zdroji odpovídá kulturnímu, sociálnímu i ekonomickému stupni rozvoje dané společnosti (Hlavínek, et al., 2003). Lidé vodu využívají, ale nikdy ji zcela nespotřebují a poté se z ní stává voda **odpadní** (Herle & Bareš, 1990).

Hydrosféra je označení veškerého vodstva na Zemi (Pošta & kolektiv, 2005). Zahrnuje vodu podzemní, povrchovou, atmosférickou a vodu vázanou ve sněhu i ledu (Sojka, 2013). Má různé vlastnosti, většina z nich závisí na prostředí, ve kterém se vyskytuje. Takto funguje například teplota, na základě které rozlišujeme vodu **podzemní, termální a hypertermální**. Nebo i barva, zákal, průhlednost, pach i chuť vody. Mimo jiné je i velmi dobrým polárním rozpouštědlem (Pošta & kolektiv, 2005).

Změna klimatu a neustále se rozšiřující znečištění životního prostředí způsobují nedostatek pitné vody pro velkou část světové populace (Sojka, 2013). Pitná voda se získává především z **podzemních**, ale i **povrchových** vodních zdrojů. Její dostatečné zásoby jsou stále větším celosvětovým problémem z důvodu zvyšující se poptávky a rostoucímu znečištění vodních zdrojů (Pošta & kolektiv, 2005).

1.1.1 Odpadní vody

Jako odpadní vody jsou označovány všechny vody, které během použití změnilly svoji **jakost**, tzn. chemické a fyzikální vlastnosti (Hlavínek, et al., 2003). Ve většině případech se jedná o vody z domácností, zdravotnictví i zemědělství. Je možné sem zařadit i vody srážkové, které by mohly ohrozit kvalitu vod podzemních, vody ze skládek odpadu i vody průmyslové (Sojka, 2013).

1.1.1.1 Znečišťující látky odpadních vod

Odpadní vody jsou druhem vod znečištěných různými **přírodními i antropogenními** látkami. Jedná se o látky a částice rozpustné i nerozpustné, organické i anorganické. Konkrétně lze uvést například barviva, těžké kovy, bakterie, písek, hlínu, brusný prach a spoustu dalších. Nejzávažnější problémy ve vodě způsobují nerozpuštěné látky, které se ve vodním toku usazují a tvoří kalové lavice. Následným anaerobním vyhníváním mohou zapříčinit úhyn vodních živočichů. Hodnotu znečištění lze stanovit pomocí fyzikálních, chemických, radiologických, biologických i ekologických ukazatelů (Pošta & kolektiv, 2005).

Znečišťující látky pochází buď z bodových nebo plošných zdrojů. **Bodové** zdroje jsou velmi snadno lokalizovatelné, protože znečištění přichází do vodního zdroje jedním konkrétním proudem. **Plošné** zdroje mají většinou nízké koncentrace znečišťujících látek, které přitékají z několika různých míst (Švehla, et al., 2004).

Množství odpadních vod se neustále zvyšuje, a to především z důvodu rozvíjejícího se průmyslu a rostoucího počtu obyvatel. Z těchto důvodů přirozené samočistící procesy nestačí a voda musí být čištěna v čistírnách odpadních vod (Hoffman & Novák, 2002).

1.1.1.2 Druhy odpadních vod

Existuje několik druhů odpadních vod.

Vody splaškové

Splaškové vody jsou odpadními vodami ze sociálních zařízení a kuchyní z domácností, restaurací, hotelů a nemocnic (Pošta & kolektiv, 2005). Jsou silně zakalené, šedé až šedohnědé s teplotou 5 – 20 °C (Hlavínek, et al., 2003). V případě, že ve městě není žádný průmysl, jedná se o vody městské (Chudoba, et al., 1991). Jsou vypouštěny do veřejné kanalizace (Malý, 1997). Pokud by byla tato voda vypouštěna bez vyčištění do přírody, mohla by způsobit značné ekologické škody (Sojka, 2013). Skládají se z produktů metabolismu, produktů lidských činností (prací prostředky, zbytky jídel) nebo pitné vody, kterou je obyvatelstvo zásobováno (Malý, 1997).

Vody srážkové

Zdrojem srážkových vod jsou srážky (dešťové, sněhové), které dopadají na zemský povrch. Jsou odváděny do kanalizační sítě z ulic, střech, parkovišť i nezpevněných ploch (Hlavínek, et al., 2003). Kvalita srážkových vod se liší v závislosti na okolním prostředí.

Například v zimních měsících obsahují zbytky solí z tajícího sněhu (Sojka, 2013). Jejich množství závisí na intenzitě srážek a velikosti odvodněné plochy (Malý, 1997).

Vody podzemní

Podzemní vody jsou sice důležitým zdrojem pitné vody, ale v některých případech se dostávají do kanalizační sítě. K tomuto může dojít buď neúmyslně v případě, že dochází ke špatnému těsnění stokové sítě, nebo úmyslným svedením (Pošta & kolektiv, 2005).

Vody průmyslové

Průmyslové vody vznikají jako odpadní produkty z procesů průmyslové výroby. Odpadní vody z průmyslových zařízení, které se výrazně liší od splaškových vod, jsou čištěny přímo u zdroje znečištění v podnikových čistírnách nebo mají speciální přívod na ČOV. Tímto způsobem fungují například lakovny, textilky a kalírny (Pošta & kolektiv, 2005). Složení průmyslových odpadních vod odpovídá druhu výroby a výrobní technologii (Sojka, 2013). Velkou část průmyslových odpadních vod tvoří odpadní vody z potravinářského průmyslu. Při výrobě piva vznikají zbytky kvasnic, mláta, chmelu a pluchy. Odpadní vody z mlékáren obsahují zbytky mléka. Z toho vyplývá, že potravinářský průmysl je zdrojem až 50 % organického znečištění (Pošta & kolektiv, 2005). Kvalita průmyslových vod se velmi těžko posuzuje, vždy je velmi důležité zjistit, zda neobsahují toxické, hořlavé nebo výbušné látky, které by ohrozily fungování ČOV (Hlavínek, et al., 2003). Průmyslové vody se lépe čistí, pokud jsou smíchány se splaškovými vodami a obsah znečištění se mírně zředí (Sojka, 2013).

Vody zemědělské

Zemědělské odpadní vody jsou produkovány během různých procesů v zemědělství a spadají pod vody průmyslové (Chudoba, et al., 1991).

Vody městské

Městské vody vznikají kombinací vod splaškových, srážkových, průmyslových i podzemních vod. Převažují však vody splaškové (Pošta & kolektiv, 2005). Kvalita a složení městských vod se výrazně liší v závislosti na množství jednotlivých druhů odpadních vod, kterými je tvořena (Hlavínek, et al., 2003).

1.1.1.3 Čištění odpadních vod

Lidé si začali všimnout, že samočistící procesy v přírodě jsou již nedostačující a voda je ve vodních tocích znečištěná. Proto na přelomu 19. a 20. století začaly být budovány první čistírny odpadních vod. Nejprve se jednalo o **mechanické** čistírny odpadních vod, postupem času s dalším rozvojem měst a průmyslu, začaly být budovány i **biologické** části čistíren (Hoffman & Novák, 2002).

Vzhled i složení čistírny odpadních vod (ČOV) závisí na několika faktorech. Jeden z nejdůležitějších je velikost čistírny, která je vyjádřena počtem ekvivalentních obyvatel. **Malé** čistírny mají odlišné uspořádání od velkých i středních a ekvivalentních obyvatel mají do 5 000. **Střední** mají počet nad 5 000 a **velké** nad 20 000 (Pošta & kolektiv, 2005). Aby ČOV mohla správně fungovat, nesmí být do kanalizační sítě vypouštěny radioaktivní, infekční, hořlavé, výbušné látky a látky ohrožující život (Hoffman & Novák, 2002).

Na ČOV jsou odpadní vody přiváděny **stokovým systémem**. Potrubí je vyrobeno nejčastěji z betonu, železobetonu, sklolaminátu nebo plastu. Materiál musí být vodotěsný a odolný proti mechanickým, chemickým i biologickým vlivům (Hlavínek, et al., 2003). Kvalita odpadních vod je značně proměnlivá a kolísá i jejich množství. Pravidelnosti v průtoku je možné objevit jen u vod průmyslových a městských. Maxima bývají od 11 do 15 hodin a minima v noci (Malý, 1997).

1.1.1.3.1 Přítok na ČOV

Míra znečištění i složení znečišťujících látek se během dne, týdne i roku mění. U menších měst bývají výkyvy znatelnější než u velkých měst. Roční maxima i minima závisí na počtu obyvatel (turismu) a na počtu průmyslových podniků. Během dne se maxima objevují v odpoledních hodinách a minima v noci (Chudoba, et al., 1991).



Obrázek 1 - přítok na ČOV

1.1.1.3.2 Mechanické čištění odpadních vod

Mechanické čištění odpadních vod je základní součástí čistícího procesu, jde o první stupeň čištění (Pošta & kolektiv, 2005). Slouží jako ochranný stupeň pro biologické fáze čištění (Hoffman & Novák, 2002). Protože se zde ze surové vody odstraňují nerozpuštěné velké či malé předměty, jejichž přítomnost by komplikovala další fáze čištění a jejich výskyt je tedy nežádoucí (Chudoba, et al., 1991).

Mechanické čištění zajišťuje několik zařízení a každé se specializuje na odstranění jiných nevhodných látek (Pošta & kolektiv, 2005).

Česle

Česle jsou mříží tvořené rámem a česlicemi, jsou skloněné pod úhlem $30^\circ - 60^\circ$. Dělí se na velké, střední a jemné. Plovoucí materiál zachytávají podle velikosti (Pošta & kolektiv, 2005). Na některých čistírnách mohou být použity nejdříve velké česle pro zachycení velkých plovoucích materiálů jako jsou větve, plastové láhve, kusy oblečení, papír apod (Čížek, 1963). Následovány jsou jemnými česlemi, které zachytávají ten drobnější nerozložitelný materiál. Průtok česlemi by měl být dostatečný, aby nedocházelo k usazování písku (Pošta & kolektiv, 2005). Zachycený materiál se stírá strojně nebo ručně a produktem jsou shrabky (Švehla, et al., 2004). Velké česle se čistí obvykle jedenkrát denně, jemné se musí čistit častěji. V případě, že jsou nečistoty tekuté, mohou být odváděny pomocí drénu. V ostatních případech se lisují, spalují anebo ukládají na skládkách (Hoffman & Novák, 2002).



Obrázek 2 - hrubé a jemné česle

Lapáky štěrku

Lapáky štěrku zachytávají hrubé a těžké materiály, které jsou sunuty po dně stokové sítě (Chudoba, et al., 1991). Mají využití za velkých dešťů, kdy se do vodních toků mohou dostat dlažební kostky, cihly a štěrk. Jedná se o jímku, do které je tento materiál ukládán. Jsou většinou součástí pouze velkých ČOV (Pošta & kolektiv, 2005).

Lapáky písku

Lapáky písku zachytávají pevné látky těžší než voda. Jedná se především o písek, který působí značné komplikace v částech biologického čištění odpadních vod (Čížek, 1963). Nalézt je možné i kusy skla, kovů a kostí (Hoffman & Novák, 2002). Do kanalizační sítě se dostávají s deštěm, od vody se oddělí na základě gravitačních sil a z úložiště se musí pravidelně odvázet (Pošta & kolektiv, 2005). Lapáky písku mohou být s horizontálním i vertikálním průtokem anebo s příčnou cirkulací (Švehla, et al., 2004).

Lapáky tuků

Lapáky tuků a odlučovače olejů využívají vztlakovou sílu a také rozdílnou hustotu k oddělení jednotlivých složek (Pošta & kolektiv, 2005). Zachytávají látky lehčí než voda, které se vznášejí na hladině (Čížek, 1963). Čistírny odpadních vod je obsahují velmi omezeně, protože je technologicky i ekonomicky výhodnější likvidovat tuky i oleje přímo v průmyslových subjektech, kde je koncentrace těchto látek nejvyšší (Chudoba, et al., 1991). V případě, že jsou jejich koncentrace nízké, odstraňují se spolu s ostatními plovoucími částicemi v usazovacích nádržích (Švehla, et al., 2004). Tuky je nutné odstraňovat, protože při nižších teplotách chladnou a ztrácejí svoji tekutost, zachytávají se na stěnách kanalizační sítě a komplikují průtočnost (Hoffman & Novák, 2002).

Usazovací nádrže

V usazovacích nádržích dochází k sedimentaci usaditelných látek (Chudoba, et al., 1991) a slouží také k oddělení primárního organického znečištění (Pošta & kolektiv, 2005). Sedimentace je zajištěna gravitačními silami na základě tvaru a velikosti částic a na hustotě kapaliny (Švehla, et al., 2004).

Produktem je primární kal, který je energeticky velmi cenný. Velké ČOV ho využívají na výrobu bioplynu (Pošta & kolektiv, 2005). Kal se z nádrží musí pravidelně odvádět, jinak by došlo k jeho vyhnívání (Hoffman & Novák, 2002).



Obrázek 3 - usazovací nádrž

Zahušťovací nádrže

Úkolem zahušťovacích nádrží je zahušťování a skladování kalů. Uložený kal je odčerpáván ze dna nádrže a následně zpracováván. Z usazovacích nádrží proudí kal do zahušťovacích nádrží, kde se zahustí na 5-10 % (Pošta & kolektiv, 2005).

1.1.1.3.3 Biologické čištění odpadních vod

Ve fázi, kdy jsou z vody odstraněny hrubé nečistoty a usaditelné látky přechází voda na biologický stupeň čištění odpadních vod (Chudoba, et al., 1991). **Biologické čištění** probíhá za pomoci mikroorganismů, které dokážou znečišťující látky ve vodě rozkládat (Sojka, 2013). Snažíme se pro ně vytvářet ideální podmínky a urychlovat tak přirozenou samočisticí schopnost vody (Herle & Bareš, 1990). Mezi **mikroorganismy** zahrnujeme mikroskopické houby, plísňe, kvasinky, sinice, měňavky, vířníky, roztoče a další (Chudoba, et al., 1991). Rozkladné procesy jsou složité a jejich rychlost závisí na několika činitelích (pH, teplota, obsah kyslíku, míra znečištění ...). Aktivačním činidlem je **aktivovaný kal** z aktivačních nádrží nebo biofilm (nárost mikroorganismů). Existují dva základní druhy biologického čištění, a to aerobní a anaerobní. Aerobní proces vyžaduje pro správné fungování kyslík, anaerobní probíhá v prostředí bez kyslíku (Sojka, 2013). Procesy, při kterých se využívají mikroorganismy na čištění odpadních vod a zpracování odpadu, označujeme jako biotechnologie (Švehla, et al., 2004).

Aktivace

Aktivace probíhá v aktivačních nádržích, ve kterých dochází ke kultivaci biomasy a recyklaci kalu. Odpadní voda se smísí s vratným aktivovaným kalem a vzniká **aktivační směs**. Kal je v těchto nádržích provzdušňován a poté oddělen od čisté vody v dosazovacích nádržích (Švehla, et al., 2004). Z dosazovacích nádrží je **aktivovaný kal** následně transportován zpět do aktivačních nádrží jako **vratný kal**. Vzniklý přebytečný kal je ze systému odstraněn (Pošta & kolektiv, 2005). Aktivovaný kal je od vyčištěné odpadní vody oddělen, protože je nutné ho vrátit zpět do systému jako inokulum (Wanner, 1997).

Voda, která přitéká na ČOV obsahuje živiny. Mikroorganismy využívají živin v kalu na tvorbu kalových vloček - shluku bakterií (Herle & Bareš, 1990).

Provzdušňování je velmi důležité pro udržení aktivovaného kalu ve vzhledu (udržení kontaktu kalu a čisté vody). Kyslík je dodáván buď ve formě čistého plynu nebo ze vzduchu (Sojka, 2013).

Mikroorganismy tvořící aktivovaný kal by měly mít dobré **flokulační vlastnosti**. Vytvořením velkých, pevných a kompaktních vloček aktivovaného kalu jsou zajištěny dobré sedimentační a zahušťovací vlastnosti. Dobře sedimentující kal by neměl zaujímat velkou část objemu a v dosazovacích nádržích by se měl zahustit na 1 % sušiny. Vločky jsou tvořeny vločkotvornými mikroorganismy, ty produkují extracelulární polymery, které jsou matricí pro buňky mikroorganismů a zajišťují jejich pevnou fixaci. Vlákenné mikroorganismy tvoří kostru vloček a jejich povrch je porostlý vločkotvornými mikroorganismy (Wanner, 1997).



Obrázek 4 - aktivační nádrž

Dosazovací nádrže

Dosazovací nádrže fungují stejně jako usazovací nádrže, ale zařazují se až do biologického stupně čištění (Pošta & kolektiv, 2005). Dochází v nich k separaci sekundárního kalu z aktivačních nádrží od čisté vody (Hlavínek, et al., 2003). Jedná se o poslední článek technologické linky, a i proto je zde kladen důraz na kvalitu a důslednost v čištění odpadní vody (Chudoba, et al., 1991). Obvykle mají větší hloubku než usazovací nádrže a dochází zde také k zahuštění kalu na potřebnou hodnotu pro udržení správné koncentrace biomasy v aktivačních nádržích. (Pošta & kolektiv, 2005). Existují tři základní typy dosazovacích nádrží a to kruhové, pravoúhlé a vertikální (Hlavínek, et al., 2003).



Obrázek 5 - dosazovací nádrž

Terciální čištění odpadních vod

V rámci biologického čištění odpadních vod dochází také k odstranění nutrientů. Obecně se jedná o všechny chemické prvky, které jsou stavebními kameny buňky a dělí se na makronutrienty a mikronutrienty (Pošta & kolektiv, 2005). V rámci čištění odpadních vod se jedná o sloučeniny dusíku a fosforu. Jejich zvýšený výskyt působí značné problémy v recipientu. Jedná se například o toxické působení amoniaku na vodní organismy nebo eutrofizaci povrchových vod (Wanner, 1997).

Na většině ČOV se dusík a fosfor odstraňují společně. Jejich limity bývají ale na většině ČOV překročeny, protože každý prvek potřebuje trochu jiné podmínky pro mikroorganismy, které je likvidují. Tudíž jejich společné odstranění je komplikované (Hlavínek, et al., 2003).

Dusík

V odpadních vodách se dusík vyskytuje v organické i anorganické formě. Nejčastěji se jedná o amoniakové, dusitanové i dusičnanové formy (Sojka, 2013). Vyšší koncentrace dusíku způsobují eutrofizaci povrchových vod a v případě většího výskytu v pitných vodách by ohrožovala zdraví dětí kojeneckého věku. Z odpadních vod se odstraňuje pomocí nitrifikace (Chudoba, et al., 1991). Cílem procesů je oxidace redukováného dusíku na dusitany a následné oxidace dusitanů na dusičnany (Pošta & kolektiv, 2005).

Fosfor

Fosfor se v odpadních vodách vyskytuje ve formě orthofosforečnanů, polyfosforečnanů a vázaný (Pošta & kolektiv, 2005). Zdrojem polyfosforečnanů jsou především prací prášky, přípravky na ochranu povrchů apod (Sojka, 2013). Biologické procesy produkují vázaný fosfor a do orthofosforečnanů se fosfor přeměňuje hydrolýzou polyfosforečnanů. Existuje cca 30 druhů bakterií, které tento proces umí, nejznámější je *Acinetobacter*. Výskyt vyšších hodnot fosforečnanů je nežádoucí především z důvodu eutrofizace, zároveň je fosfor limitujícím prvkem (Chudoba, et al., 1991).

Ve stavu, kdy odpadní voda prošla úplným biologickým čištěním včetně terciálního čištění, dosáhne kvality mnohdy lepší, než je voda v recipientu (Švehla, et al., 2004).

1.1.1.3.4 Chemické a fyzikálně - chemické metody čištění odpadních vod

Opadní vody je možné čistit také pomocí **fyzikálních a chemických metod** čištění. Tyto procesy jsou využívány především pro průmyslové odpadní vody lišící se znečišťujícími látkami (Hoffman & Novák, 2002). V rámci chemicko-fyzikálního čištění se využívá **sedimentace**, **flotace**, magnetická separace, koagulace, **neutralizace**, srážení i oxidace a redukce (Pošta & kolektiv, 2005). Během těchto procesů čištění vzniká chemický kal (Sojka, 2013).

Sedimentace

Sedimentace je proces, kterým se dají zachytit částice větší než 10 μm a probíhá na základě zákona o povrchovém zatížení. Rychlost sedimentace se řídí velikostí a hustotou daných částic (Pošta & kolektiv, 2005).

Filtrace

Filtrace je založena na zadržení znečišťujících částic na přepážce nebo ve vrstvě zrnitého materiálu. Zrnitý materiál dokáže vodu velmi dobře vyčistit, ale i tak voda obsahuje malé množství nerozpuštěných látek. Zrnitým materiálem bývá nejčastěji křemičitý písek.

Druhý typ filtrace využívá jako přepážku například papírové vložky, speciální textilie nebo plasty (Pošta & kolektiv, 2005).

Flotace

Tento druh fyzikálně - chemické metody se využívá v případě, že se hustota znečišťujících látek velmi podobá hustotě vody a částice nelze oddělit sedimentací (Pošta & kolektiv, 2005). Tato metoda používá mikrobublínky plynu, na které se navážou znečištěné částice a stoupají k povrchu, kde vytváří flotační pěnu, která se z hladiny sklízí nebo odsává (Hlavínek, et al., 2003).

Neutralizace

Průmyslové vody mívají velmi často odlišné pH od povolených vodohospodářských limitů. Většinou se jedná o kyselé vody, ale vyskytnout se mohou i alkalické. Vody je možné neutralizovat pomocí neutralizačních filtrů anebo pomocí různých činidel. V případě, že je známé složení míchaných vod a nenacházejí se tam toxické látky, je možné oba druhy vod smísit dohromady (Pošta & kolektiv, 2005).

Znečišťujících látek je celá řada a neexistuje jeden jediný způsob, jakým všechny kontaminanty odstranit (Švehla, et al., 2004). Každá čistírna odpadních vod si zvolí takové metody, které jí nejvíce vyhovují na čištění takových druhů odpadních vod, které mají zastoupené v největším množství (Pošta & kolektiv, 2005).

1.1.1.3.5 Recipient

Vyčištěná odpadní voda ve většině případech odtéká do **recipientu**. Příjemcem vyčištěné vody jsou vodní toky, nádrže nebo rybníky (Herle & Bareš, 1990). Voda tekoucí z ČOV musí být dostatečně čistá, aby nedošlo k poškození vodního útvaru. Pokud by odpadní voda nebyla dostatečně vyčištěná, mohlo by docházet k vyčerpání rozpuštěného kyslíku, zanášení koryta nerozpuštěnými látkami, kontaminaci vody toxickými látkami, eutrofizaci vody, zvýšení obsahu solí, změně teploty a mnoha dalším změnám (Švehla, et al., 2004).

Mikroorganismy ve vodním toku rozkládají zbytky znečištění na látky minerální a zajišťují tak **samočištění vody** (Sojka, 2013). Aby mohla být vyčištěná odpadní voda vypuštěna do recipientu, musí mít ČOV povolení od vodohospodářského orgánu. Vodní zákon uvádí, že pokud jsou odpadní vody vypouštěny do povrchových nebo podzemních vod, jejich stav musí odpovídat současnému technickému pokroku (Hoffman & Novák, 2002).

1.1.2 Kalové hospodářství

Při čištění odpadních vod nevyhnutelně vzniká odpadní produkt kal. Je to materiál, do kterého jsou koncentrovány nevhodné složky z vody během procesu čištění (Pošta & kolektiv, 2005). Kal se většinou dále zpracovává a nejčastějším cílem jeho úpravy je eliminace negativních dopadů na životní prostředí a lidské zdraví (Dohányos, 2006). V rámci kalového hospodářství se kal zahušťuje, zneškodňuje, uskladňuje pro další použití nebo likviduje (Hoffman & Novák, 2002). Koncentrace vhodných i nežádoucích látek závisí na počáteční kvalitě odpadní vody a také na technologii, kterou je voda vyčištěna. Likvidace kalů je velmi nákladným procesem, který zaujímá více než polovinu celkových nákladů na čištění odpadních vod (Pošta & kolektiv, 2005). Čím budou přísnější nároky na životní prostředí, tím budou náklady na zpracování kalu vyšší. V rámci Evropské unie se eliminuje ukládání odpadů a podporuje se předcházení vzniku odpadů. Také je snaha o jejich minimalizaci a recyklaci. Kaly budou produkovány během procesů čištění neustále, pomocí modernějších technologií je však možné zmenšit jejich množství. Požadavky na kvalitu vypouštěné vyčištěné vody se budou zvyšovat (Dohányos, 2006), do budoucna by mohl být důležitým surovinovým zdrojem zejména pro obsah fosforu (Havelka, 2019).

1.1.2.1 Charakteristika kalů

Kal je suspenze pevných látek a zaujímá 1-2 % objemu odpadních vod. V kalu je koncentrováno až 80 % celkového znečištění odpadní vody (Hlavínek, et al., 2003). Koncentrace kalu je vyjádřena obsahem sušiny kalu v gramech na litr nebo v procentech. Složení kalu je dáno druhem odpadních vod a charakterem znečištění (Dohányos, 2006). Kal vzniká v usazovacích i dosazovacích nádržích a část zbytkového kalu je odváděna i z biologického reaktoru (Hoffman & Novák, 2002).

Surový kal je označován jako nebezpečný odpad, z důvodu možného výskytu patogenních mikroorganismů. Přímo na čistírnách odpadních vod je pak surový kal zpracováván tak, aby byl přeměněn z nebezpečného odpadu na stabilizovanou hmotu, která bude dále využita (Dohányos, 2006). Obsahuje netoxické organické látky, těžké kovy, pesticidy, dioxiny, polychlorované bifenyly, mikroorganismy i anorganické sloučeniny a spoustu dalších (Pošta & kolektiv, 2005).

Druhy kalu

- **primární** – v usazovacích nádržích je oddělen od surové vody (Švehla, et al., 2004). Jeho složení je dáno složením přitékající odpadní vody a je především biologického charakteru (Hlavínek, et al., 2003).
- **biologický** (sekundární) – v biologickém stupni čištění je oddělen v dosazovacích nádržích z aktivační směsi (Švehla, et al., 2004). Jedná se o přebytečný biologický kal, který obsahuje nerozložené organické látky a biomasu (Hlavínek, et al., 2003).
- **chemický** – kal, který vzniká chemickým srážením fosforu (Michalová, 2005).
- **upravený kal** – jedná se o kal, který byl tepelně, chemicky nebo biologicky upraven, byl dlouhodobě skladován nebo upraven tak, že došlo k výraznému snížení počtu patogenních organismů (Michalová, 2005).

1.1.2.2 Doprava kalu

Kal je v prostorách čistírny transportován šetrně na základě hydrostatické výšky. Aby ČOV fungovala správně, kal musí rychle sedimentovat a musí být zajištěno také snadné odvodnění. Doprava kalu může být zajištěna pomocí **membránových** nebo **šnekových** čerpadel, která by neměla poškodit jeho strukturu (Hoffman & Novák, 2002).

1.1.2.3 Zahuštění kalu

Kal je zahušťován v **usazovacích nádržích** přibližně z 1 % na cca 10 % sušiny. Ve velkých ČOV se používají zahušťovací nádrže. Aby se zlepšily sedimentační vlastnosti kalu, je možné přidat flokulační činidla (Hoffman & Novák, 2002). Cílem zahuštění kalu je snížení objemu kalové suspenze tak, že se odstraní volná voda (Hlavínek, et al., 2003). Kal nadále zůstává v tekuté konzistenci a je přepravován čerpáním. Zahuštěn může být gravitační, flotační a strojní metodou (Hlavínek, 1997).

1.1.2.4 Stabilizace kalu

Stabilizovaný (vyhnilý) kal je nepáchnoucí, odvodnitelný a hygienicky nezávadný. Jedná se o heterogenní směs suspendovaných a koloidních látek (Švehla, et al., 2004). Tmavá až černá barva je způsobena sulfidem železnatým. Obsahuje organické i anorganické látky, vylepšuje strukturu půdy a po methanizaci je vhodný ke kompostování nebo použití jako hnojivo. Negativně může působit na zemědělské půdě zvyšováním obsahu těžkých kovů (Chudoba, et al., 1991).

Stabilizovaný kal je tedy takový kal, který nepoškozuje životní prostředí, nevyvolává zdravotní problémy při manipulaci s ním a biologicky se nerozkládá (Pošta & kolektiv, 2005). Rozkladu lze zabránit snížením rozložitelných organických látek aerobní nebo anaerobní fermentací. Hlavním cílem je však hygienická stabilizace a té lze dosáhnout odstraněním nebo snížením počtu patogenních mikroorganismů (Dohányos, 2006). Jedná se především o bakterie, protozoa, červy a jejich vajíčka, které se nacházejí v městských i splaškových odpadních vodách a v odpadních vodách pocházejících z chovu a zpracování zvířat (Hlavínek, 1997).

Stabilizace a hygienizace kalu nemusí být provedena tou stejnou technologií a zároveň pokud je kal hygienizovaný, tak nemusí být stabilizovaný a naopak (Dohányos, 2006). Hygienizace kalu zahrnuje různé metody (fyzikální, chemické), kterými dojde k likvidaci mikroorganismů (Pošta & kolektiv, 2005).

Aby mohl být **stabilizovaný kal** dále využit, musí být odvodněn na 25-30 % sušiny. Nejpoužívanější metodou bylo odvodňování na kalových polích. Tato metoda je značně náročná na prostor a ovlivňují ji sezonní i klimatické faktory. Ekonomicky výhodnější metodou je mechanické odvodňování, které probíhá přidáním solí hliníku nebo železa. Mezi nejznámější metody patří odvodňování centrifugací, vakuovou filtrací, filtrací na kalolisech a síťopásových lisech (Chudoba, et al., 1991).

Stabilizace kalu je ve většině případech nezbytná, protože umožňuje jeho další zpracování, odstraňuje patogenní organismy i nepříjemný zápach a zajišťuje lepší fyzikální vlastnosti (Hlavínek, 1997).

Stabilizace kalu je:

- biologická (aerobní, anaerobní)
- chemická
- termická (sušení)

1.1.2.4.1 Anaerobní stabilizace kalu

Anaerobní stabilizace kalu je jinými slovy methanizace kalu nebo vyhnívání. Jedná se o procesy probíhající bez přístupu kyslíku, ve kterých za pomoci mikroorganismů dochází k rozkladu organických látek a produkci bioplynu (Hlavínek, 1997). Probíhá ve vyhnívacích nádržích při psychrofilní, mesofilní i mírně termofilní teplotě (Švehla, et al., 2004). Vnitřní materiál nádrží je neustále nebo přerušovaně promícháván pomocí čerpadel nebo míchadel (Hlavínek, 1997).

Hlavním cílem **methanizace kalu** je zlikvidovat organické znečištění a stabilizovat organickou hmotu. Jde o procesy důležité na ochranu životního prostředí (Chudoba, et al., 1991), jedná se o dokonalý způsob úpravy kalů, v rámci kterého dochází k úbytku hmotnosti i objemu, uvolnění uhlíku v plynné formě a usmrcení patogenní mikroorganismů (Švehla, et al., 2004).

Bioplyn

Bioplyn (kalový plyn) je produktem methanizace při anaerobním čištění odpadních vod i při anaerobní stabilizaci kalu. Jedná se o hodnotnou **energetickou surovinu**, vznikající jako vedlejší produkt procesu (Pošta & kolektiv, 2005). Složení bioplynu se liší v závislosti na složení substrátu, ve většině případech převládá CH_4 a CO_2 doplněné menším množstvím H_2 , N_2 , H_2S . Stopově se zde může nacházet i voda, amoniak a mastné kyseliny (Švehla, et al., 2004). Hlavní součástí bioplynu je methan, který je bezbarvý, bez zápachu a se vzduchem tvoří výbušnou směs. Bioplyn obsahuje různé příměsi, a proto má charakteristický zápach (Chudoba, et al., 1991).

- **čištění bioplynu**

Na čistotu bioplynu jsou kladeny velké nároky, ve většině případech je nutné odstranit H_2S a CO_2 , které působí nepříznivě. Sulfan působí korozivně na materiál, se kterým přijde do styku, a to především na zařízení, ve kterých je spalován (Chudoba, et al., 1991).

- **využití bioplynu**

Bioplyn je ušlechtilým zdrojem energie (Pošta & kolektiv, 2005). Může být využíván na vyhřívání methanizačních nádrží, k tvorbě tepla, teplé vody a k sušení. Přebývajících část se spaluje na hořácích, protože vysoké hodnoty methanu neumožňují jeho přímé uvolnění do ovzduší (Švehla, et al., 2004).



Obrázek 6 - plynojem

Kalová voda

Kalová voda je odpadním produktem methanizace kalu, uvolňuje se od stabilizovaného kalu při zahušťování a odvodňování kalu (Chudoba, et al., 1991). Kvalita i množství kalové vody závisí na několika faktorech (kvalita a koncentrace surového kalu, teplota, stabilizace ...). Kalová voda se čistí v nočních hodinách přivedením před aktivační nádrž, kdy není ČOV zatížená průmyslovými odpadními vodami (Švehla, et al., 2004).

1.1.2.4.2 Aerobní stabilizace kalu

Aerobní stabilizace probíhá za přítomnosti kyslíku, organická hmota je rozkládána autooxidačními procesy. Aerobní stabilizace je z hlediska rozložené organické hmoty srovnatelná s anaerobní stabilizací (Hlavínek, 1997). Procesy mají vyšší energetickou spotřebu, není produkován bioplyn a výsledný stabilizovaný kal nemá tak dobré odvodňovací vlastnosti (Hlavínek, et al., 2003).

1.1.2.4.3 Chemická stabilizace kalu

Chemická stabilizace kalu spočívá ve zvýšení pH suspenze na 12 i více, udržení teploty nad 55 °C déle než dvě hodiny (Pošta & kolektiv, 2005). Tímto zvýšením dojde k likvidaci patogenních organismů, ale zachování organické hmoty. Provádí se pomocí oxidu nebo hydroxidu vápenatého (Hlavínek, 1997).

1.1.2.4.4 Termická stabilizace kalu

Nejčastějším způsobem, který umožňuje aplikaci kalu na zemědělskou půdu po zpřísnění požadavků, je zpracování kalu **sušením**. V rámci tohoto procesu dojde ke snížení množství a vody, zajistí se tím také hygienizace a zabrání se růstu mikroorganismů. Usušený kal je možné využít energeticky i materiálově (Havelka, 2019). Termicky upravený kal obsahuje pouze jednotky procent vody (Hlavínek, 1997).

1.1.2.5 Úprava kalu

Upravený kal je kal, který byl biologicky, chemicky nebo tepelně upraven, aby se snížilo množství patogenních organismů a došlo ke snížení zdravotního rizika (Havelka, 2019).

1.1.2.6 Odvodnění kalu

V kalu se voda nachází v několika formách. Jedná se o **volnou vodu**, která není vázaná na žádné částice a nelze ji oddělit sedimentací. **Kapilární vodu**, která je vázaná kapilárními silami mezi vložkami. **Povrchovou vodu**, která je fixovaná adhezivními a absorpčními silami na povrchu buněk a vodu **vázanou v buňkách** nebo v molekulární struktuře (Hlavínek, et al., 2003).

Odvodněním kalu se snižuje jeho objem a odstraní se všechna volná a částečně i kapilární voda (Pošta & kolektiv, 2005). Kal může být odvodněn přirozeně nebo mechanicky. K přirozenému odvodnění dochází na kalových polích a lagunách. Volná voda se filtruje do půdy a odpařuje do atmosféry. K mechanickému odvodnění dochází v odstředivkách, síťopásových lisech nebo v bubnových filtrech (Hoffman & Novák, 2002). Odvodněním kalu dochází k oddělení vody ze suspenze, vzniká kal, se kterým lze zacházet jako se zeminou. Obsah sušiny je 20-50 % (Hlavínek, 1997).



Obrázek 7 - odvodněný kal

1.1.2.7 Využití kalu

Cílem zpracování kalu je jeho přeměna na neškodnou, využitelnou formu, která je hygienicky nezávadná. Během procesů dochází k odvodňování, zahušťování, vyhnívání a stabilizaci kalu v aerobních i anaerobních nádržích i na kalových polích. Konečný produkt se díky úpravám může dále využívat (Hoffman & Novák, 2002).

S kaly se smí nakládat podle zákona č. 541/2020 Sb. a existuje i vyhláška č. 273/2021 Sb. o podrobnostech nakládání s odpady (Havelka, 2019). Kal může být využit jako hnojivo, v některých případech je vhodný ke kompostování, lze ho spalovat nebo v případě, že se v něm vyskytují nebezpečné látky je ukládán do uzavřených nádob (Hoffman & Novák, 2002). Kal může být spalován v teplárnách a elektrárnách spolu s energeticky bohatším palivem (Dohányos, 2006). Spalují se především kaly s vyšším obsahem olejů nebo toxických organických látek. Spalováním kalu se zmenší jeho množství, zničí se všechny patogenní organismy a rozloží se toxické látky (Hlavínek, 1997). Podle zákona je možné na zemědělskou půdu aplikovat pouze upravený kal v případě, že nedojde ke zhoršení kvality půdy, podzemních i povrchových vod a s ohledem na nutriční potřeby rostlin (Havelka, 2019). V případě vhodných vlastností může být použit v zemědělství na přímé hnojení zemědělských půd, anebo ke kompostování. Při aplikaci kalu na zemědělskou půdu je důležité zabránit kontaminaci zemědělské půdy cizorodými látkami, zárodky patogenních mikroorganismů a těžkými kovy (Dohányos, 2006). Existuje vyhláška č. 437/2016 Sb. o podmínkách použití upravených kalů na zemědělskou půdu. Aby byla zajištěna bezpečná aplikace kalů do půdy, existují normy pro množství mikroorganismů na jeden gram sušiny kalu (Pošta & kolektiv, 2005).

1.1.3 Čistírna odpadních vod v Havlíčkově Brodě

Vlastníkem čistírny odpadních vod v Havlíčkově Brodě je akciová společnost **Vodovody a kanalizace Havlíčkův Brod**, která byla založena v roce 1993. Společnost nakládá s nebezpečnými odpady, zajišťuje nákup a prodej zboží a provozuje 9 čistíren odpadních vod, 708 km vodovodní sítě, 162 km kanalizační sítě. Součástí jsou laboratoře na rozbory pitné, surové, podzemní i odpadní vody.

Jedná se o **mechanicko-biologickou** čistírnu, jejíž součástí je anaerobní stabilizace a odvodnění kalu. Čistírna obsahuje jemnobublinný aerační systém a dvě kogenerační jednotky. Součástí čistírny jsou také dešťové oddělovače a proti zpětnému vniknutí vody z řeky Sázavy je čistírna opatřena hradítky.

Odpadní vody z domácností, škol, úřadů a obchodů jsou odváděny jednotnou kanalizací, do které ústí i všechny dešťové vody ze zpevněných městských ploch. Městský průmysl je sveden do oddělené kanalizační sítě a přiveden přímo na ČOV. Jedná se o havlíčkobrodský pivovar, firmu Pleas a Amylon. Z firmy Amylon přichází na ČOV především odpadní voda z výroby škrobu, lepidel a potravinářských ingrediencí. Firma Pleas a.s. se specializuje na výrobu, barvení a prodej textilií. Bohužel se nejedná pouze o výrobu oblečení z přírodních materiálů, používají i syntetická vlákna (polyamid, polyester), která jsou pravděpodobně hlavním zdrojem mikroplastových vláken ve vodách čistírny. Čistírna je výrazně zatížena těmito průmyslovými odpadními vodami a její zatížení se během roku značně mění. Vyčištěná odpadní voda ústí do řeky Sázavy, pokud nejsou všechny mikroplasty zachyceny v čistírně, dostávají se do recipientu a mají negativní vliv na organismy.

Nyní na ČOV dochází k výstavbě nového deemulgačního zařízení pro likvidaci a úpravu kapalných odpadů (ropných látek a olejů).

1.2 Kompostování v kompostárnách

Kompostování je proces, kterým jsou biologicky rozložitelné odpady za přístupu kyslíku a mikroorganismů přeměňovány na kompost (Plíva & kolektiv, 2016). Jedná se o významnou ekologickou metodu, v rámci které dochází ke zpracování vzniklého odpadu, který se nikde nehromadí (Barrena, et al., 2014). A zároveň je zajištěn návrat organické hmoty a živin zpět do půdy (Plíva & kolektiv, 2016).

Kompostováním se získává organická hmota s humusovými látkami, která se vpravuje do půdy a zajišťuje rozvoj půdních organismů. Vpravená hmota se v půdě rozkládá na minerální látky a dodává energii i živiny pro mikroorganismy a rostliny. Humifikované humusové látky napomáhají urychlovat tvorbu kvalitní půdy, která bude mít správnou strukturu, kyprost i biologické vlastnosti. **Kompost** má pozitivní vliv na zvýšení odolnosti rostlin proti škůdcům, protože budou mít dostatek živin a zabraňuje také erozi půdy, kterou se odnáší svrchní úrodná část půdy (Plíva & kolektiv, 2016).

Suroviny pro kompostování musí být biologicky rozložitelné a dělí se do dvou základních skupin. Do první skupiny patří odpady, které se musí přeměnit, aby mohly být dále využity. Jde o produkty pocházející z úpravy krajiny, potravinářství i domácností. Do druhé skupiny řadíme takové suroviny, které kompostárny vyhledávají pro lepší průběh procesu – například slámu. Kompostovat se dá travní hmota, sláma, dřevo, digestát, hnůj, kejda, kaly z čistíren odpadních vod, popel i bioodpad z domácností (Plíva & kolektiv, 2016).

1.2.1 Proces kompostování

Před zahájením samotného procesu je nezbytné zajistit **homogenizaci** všech surovin, které budou použity. Týká se to především dřevin, které není možné zpracovávat celistvé, ale musí se rozdrtit na menší kusy. Malá velikost je žádaná především z důvodu větší styčné plochy umožňující zajistit proces velmi účinným (Plíva & kolektiv, 2016).

Tvorba kompostu je závislá na několika faktorech – poměru C : N, vlhkosti, teplotě, obsahu kyslíku, obsahu fosforu, charakteru biomasy i použité technologii. Kompost se vytvoří při ideálních podmínkách během několika týdnů. Aby se mohl vytvořit správně, musí být zajištěna správná vlhkost po celou dobu procesu. Hodnota vlhkosti se liší podle druhu vstupních surovin (Plíva & kolektiv, 2016). Poměr uhlíku k dusíku má velký vliv na činnost mikroorganismů a ovlivňuje dobu zrání a kvalitu kompostu.

Zralý kompost by měl mít hodnotu poměru 25:1 (Kalina, 2004). I pH má značný vliv na výsledný kompost, mělo by mít hodnotu 6,0 – 8,5 (Plíva & kolektiv, 2016).

Dnes již existují speciální programy, které dokáží podle vstupních surovin vyhodnotit potřebnou skladbu surovin, velikost plochy pro kompostování, kapacitu jímky na splaškovou vodu, náklady na tvorbu kompostu apod... (Plíva & kolektiv, 2016).

Materiál ke kompostování se sveze na jedno místo, kde dojde k homogenizaci celé hromady. Používají se na to různé drtiče a štěpkovače, které jsou finančně i energeticky nákladné (Váňa, 2002). Jedná se o nepostradatelnou část, tudíž je důležité její absolvování. Rozdrcením surovin dochází k zvětšení oxidační a styčné plochy, potřebné pro mikroorganismy a ty následně zahajují degradační procesy (Plíva & kolektiv, 2016).

1.2.1.1 Faktory pro správné kompostování

Velmi důležité je při kompostování sledovat tyto podmínky, které jsou nezbytné pro správné fungování mikroorganismů (Kalina, 2004).

- **teplota**

Teplota je jednou ze základních faktorů pro monitorování stavu kompostovacího procesu (Hejátková & kolektiv, 2007). Je nutné ji správně nastavit již při zakládání kompostu a sledovat ji po celou dobu z důvodu zrání i určení správné zralosti kompostu (Plíva & kolektiv, 2016). Nízké teploty zpomalují rozkladné procesy, které se mohou i zcela zastavit (Pears, 2011).

- **vlhkost**

Mikroorganismy ke svému životu potřebují určité množství vody, kterou si odebírají z vlhkosti (Plíva & kolektiv, 2009). Pokud by dostatečná vlhkost chyběla, došlo by k přerušení jejich činnosti, pokud by byla v nadbytku, docházelo by k nežádoucím hnilobným procesům (Kalina, 2004).

- **obsah kyslíku**

Při kompostování přeměňují mikroorganismy organické látky a k tomu potřebují dostatek kyslíku, zároveň produkují oxid uhličitý (Plíva & kolektiv, 2016), kyslík potřebují především pro počáteční fázi rozkladu (Kalina, 2004). Aerobní podmínky musí být zajištěny pro fungování mikroorganismů, výměna plynů mezi kompostem a okolním prostředím je nezbytná (Plíva & kolektiv, 2016). Množství vzdušného kyslíku se v kompostu dá velmi snadno zjistit. V případě, že je kyslíku málo, bude kompost silně

zapáchat, protože produkty metabolismu mikroorganismů nebudou plně oxidovány (Plíva & kolektiv, 2009).

1.2.1.2 Technologie kompostování

Technologie kompostování je velmi podobná, ve všech případech musí být zajištěny vhodné podmínky pro každou kompostovací technologii. Existují dva základní druhy kompostovací technologie. Jedná se o kompostování v otevřených a uzavřených prostorách (Hejátková & kolektiv, 2007).

1.2.1.2.1 Kompostování v otevřených prostorách

V případě **kompostování na volné ploše** musí být k dispozici zpevněná plocha o dostatečné velikosti podle množství produkce kompostu, dále by měla být zajištěna ochrana podzemních i povrchových vod (Plíva & kolektiv, 2016).

Kompostování na poli - kompostování přímo na poli se provádí v případě zpracování surovin, které vznikly v jeho blízkém okolí. Vytvořený kompost se následně aplikuje přímo na dané pole nebo v jeho blízkosti. Plocha ke kompostování je pouze dočasná (2- 3 roky) a není vodohospodářsky zabezpečená (Plíva, et al., 2013).

Kompostování ve vaku – jedná se sice o uzavřený vak, ale stále jde o kompostování na volné ploše. K tomuto způsobu kompostování se používají polyetylenové uzavíratelné vaky (Plíva & kolektiv, 2016).

1.2.1.2.2 Kompostování v uzavřených systémech

Požadavky na kvalitu kompostu se neustále zvyšují, a proto se velmi často využívá **kompostování v uzavřených prostorách**. V těchto zařízeních se dá dobře kontrolovat průběh procesu a lze dosáhnout vyšší kvality. Takováto zařízení také neobtěžují okolní obydlí zápachem (Plíva & kolektiv, 2016).

Kompostování v hale – při kompostování v hale se dají dobře kontrolovat emise, které během procesu vznikají a díky tomu neunikají do ovzduší. Technologie využívá kombinaci provzdušňování hromad zakládky s řízenou vzduchotechnikou. Vzniklé emise jsou odváděny vzduchotechnikou přímo do biofiltru (Plíva & kolektiv, 2016).

Kompostování v kontejnerech – jednotlivé mobilní kontejnery se naplní v hale zakládkou a následně jsou situovány mimo halu. Jsou připojeny k přívodu vzduchu a na zařízení pro odvod nadbytečné vlhkosti a odpadního vzduchu. Kontejnery mají specifické dno, kterým je přiváděn vzduch a ten vytváří vhodné aerobní podmínky.

Veškerý vzduch je veden přes biofiltr a okolí není znečištěno zápachem. Suroviny jsou v kontejnerech uloženy 14-20 dní (Plíva & kolektiv, 2016).

1.2.2 Hodnocení kompostu

U vytvořeného kompostu se hodnotí především jeho biologická stabilita, chemické vlastnosti, mikrobiologické znaky, obsah spalitelných látek, obsah dusíku, vlhkost, poměr C:N, hodnota pH, hmotnost, pórovitost a zrnitost. Mezi hlavní faktory patří zralost kompostu. Pokud je kompost zralý, živiny se z něj uvolňují pozvolna a jejich uvolňování probíhá několik let. Má pozitivní vlastnosti na kvalitu půdy, nezapáchá a vytváří unikátní složení půdy (Plíva & kolektiv, 2009).

1.2.3 Využití kompostu

Produktem kompostovacího procesu je **kompost** (organické hnojivo). Díky svým obsahovým látkám se využívá jako zdroj živin pro rostliny, zlepšuje půdní úrodnost a zušlechťuje vlastnosti půdy (Hejátková & kolektiv, 2007).

Kompost vytvořený v kompostárnách se využívá především **v zemědělství**, protože díky svým vlastnostem má pozitivní dopad na půdu. Zvyšuje produkci zemědělských plodin a zkvalitňuje úrodu. Naše půdy jsou v degradačním stavu a aplikací kompostu na zemědělskou půdu by se tato situace měla výrazně zlepšit. Kompost se do půdy zapravuje během vegetačního období, a to maximálně do hloubky 15 cm. Jde totiž o vrstvu ornice, která se pravidelně obdělává. Vytvořený kompost se nevyužívá pouze v zemědělství a **zahradnictví**, svoje uplatnění našel také při **revitalizaci krajiny**, **rekultivaci** skládek odpadů, rekultivaci starých ekologických zátěží nebo při údržbě cest a veřejné zeleně (Plíva & kolektiv, 2016).

1.3 Plasty

První syntetický polymer vytvořený z fosilních paliv v roce 1907 byl **bakelit**. Umožnil nové možnosti ve výrobě i v každodenních činnostech, všechno se stalo snadnější a rychlejší (Ballent, et al., 2016). Masová výroba plastů a syntetických polymerů započala v roce 1950 (Gavigan, et al., 2020). Od této doby jejich množství stále narůstá a tento „zázrak“ je po sto letech spíše noční můrou velké části obyvatelstva (Dorey, 2020). Plastová kontaminace je uvedena jako druhý nejzávažnější problém hned po globálním oteplování a je označována jako bílé znečištění (Azeem, et al., 2021). To všechno především z důvodu naší závislosti na něm, neschopnosti ho recyklovat nebo opakovaně využívat (Dorey, 2020).

Termínem plast se rozumí takový materiál, který je v určité fázi výroby schopný téct. Dá se lisovat, odlévat i vytlačovat. Je to velice univerzální materiál – je levný, lehký, pevný, trvanlivý a odolný (Thompson, et al., 2009), přirozeně se nerozkládá, nemizí, a ještě se rozpadá na zákeřnější částičky menších velikostí. Každý kus plastu, který byl vyroben, je tu s námi stále a bude ještě hodně dlouho (Dorey, 2020).



Obrázek 8 - plast v přírodě

Syntetické polymery vznikají z monomerů, to jsou dlouhé molekuly obsahující uhlík, kyslík, vodík, dusík a síru (Azeem, et al., 2021), procesem polymerace. Monomery se získávají z ropy nebo plynu a plasty se z nich vyrábí přidáním určitých chemických látek (Thompson, et al., 2009). Za posledních 13 let byla vyrobena právě polovina ze všech vyrobených plastů, žádný z umělých materiálů nebyl nikdy takto masově produkován (Gavigan, et al., 2020). Současné využívání plastových výrobků je neudržitelné, na výrobu plastů se používají až 4 % z celkového množství celosvětově

vytěžené ropy a stejné množství je využito na energii potřebou k procesu (Thompson, et al., 2009). To všechno pro výrobu obalů, plastových lahví a igelitových tašek, které se používají jen několik desítek minut, ale rozkládají se stovky let (Azeem, et al., 2021). Degradace plastů je pomalejší v chladnějších oblastech a také v případě, že jsou plasty ukryty pod sedimenty a uchráněny slunečnímu záření a dalším vnějším vlivům (Zbyszewski & Corcoran, 2011).

Vhledem k aktuální situaci s nedostatkem fosilních paliv a zhoršující se kvalitě životního prostředí je toto využívání plastů s krátkou životností nezvládnutelné (Thompson, et al., 2009).

Negativní vlastností plastu je jeho schopnost uvolňovat chemikálie nebo vázat na sebe přirozeně se vyskytující **toxiny** (Dorey, 2020). Organismy na nižších stupních potravního řetězce mohou plasty požírat, a ty se pak přirozeně dostávají do vyšších živočišných pater, a i proto představují plasty hrozbu pro **životní prostředí**. Tento řetězec může velmi výrazně ovlivňovat zdraví všech ekosystémů (Ballent, et al., 2016).

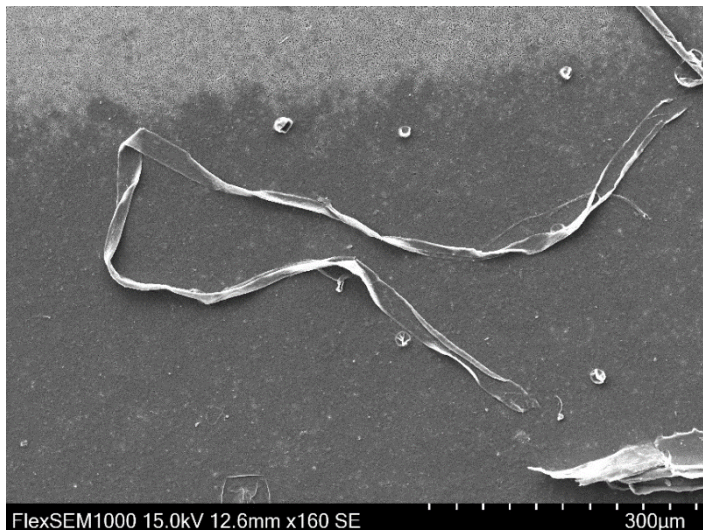
Velmi zásadním krokem by bylo zastavení neomezené výroby a spotřeby plastů, protože jinak všechny skončí v oceánech a s každým novým přílivem naplní pláže. Stále častějšími jevy se v oceánech stávají odpadkové víry velkých rozměrů, kde mikroplasty tvoří rotující vodní sloupec. Nejznámější z těchto skvrn je **Velká tichomořská odpadková skvrna**, jejíž rozloha je v současnosti 1 500 000 čtverečních kilometrů (Dorey, 2020). Odpadkové skvrny vznikají tak, že plastové znečištění (sítě, bóje, lahve) je unášeno povrchovými proudy od pobřeží do oceánu, kde je odpad zachycen rotujícími proudy. Jedná se o ukázkou lidské bezohlednosti, na kterou si organismy musejí zvyknout a naučit se s ní žít. Existuje již několik rostlin i živočichů, pro které je skvrna domovem. Zmínit lze sasanky, hvězdice, mořské houby nebo kraby. Tyto organismy se většinou vyskytují při pobřeží, ale svým výskytem na odpadkové skvrně ukazují, že otevřené oceány nejsou zase tak velkou fyzickou ani biologickou bariérou pro migraci (Karlík, 2021). Plastové úlomky se do oceánů dostávají jednak z řek, které protékají městy a do kterých ústí vyčištěná voda z čistíren odpadních vod. Také pomocí větru, který vane z vnitrozemí směrem k vodním tokům, nebo z přepravních kontejnerů, které vlny při bouřce přinutí opustit lodní prostor a vysypou se do vody. Některé plasty pochází z rybářských lodí nebo se vyplaví při velkých deštích ze skládek odpadu. **Ve všech případech ale platí, že 100 % plastového odpadu pochází od nás, od lidí** (Dorey, 2020).

1.3.1 Mikroplasty

Mikroplasty jsou globálním problémem, a to nejen proto, že jsou velmi snadno šířitelné, ale i z důvodu jejich ekologických účinků. Jsou to kontaminanty úzce spojené s lidskou činností. Je nutné vytvořit a podporovat opatření na snížení mikročástic v životním prostředí a také zlepšit celkové nakládání s plastovým odpadem (Xiong, et al., 2022).

V 70. letech 20. století začaly vznikat první studie, které se týkaly mikroplastů v mořském prostředí. Od této doby uplynula již řada let a výzkumů stále přibývá, přibývá i informací o mikroplastech. Dnes už víme, že se mikroplasty nachází nejen v mořském prostředí ale i ve sladkovodních ekosystémech, půdě, atmosféře, organismech... Kontaminace plasty je **globálním problémem** především z důvodu nízké míry recyklace nebo nedostačující oběhové hospodářské politiky (Ballent, et al., 2016).

Mikroplast i nanoplast jsou termíny, které se používají pro plastové částice určitých velikostí. Mikroplast (MP) je plastová částice o rozměrech do 5 mm, spodní hranice definovaná není. Nanoplast (NP) je částice menší než 1 μm . V nanotechnologiích může mít nanoplast velikost menší než 100nm (Leslie, et al., 2022). Novější výzkumy přicházejí s novou klasifikací mikroplastových částic, ve které je mikroplast částice o velikosti 1 mm až 1000 μm a nanoplast s rozměry od 1 μm do 100 nm (D'Avignon, et al., 2021).



Obrázek 9 - mikroplastové vlákno

Mikroplasty mohou být primární anebo sekundární. **Primární mikroplasty** vznikají jako předvýrobní pelety nebo jsou součástí výrobků v kosmetickém průmyslu (Ballent, et al., 2016). Primární mikroplastové kuličky měly za úkol nahradit přírodní peelingové materiály jako jsou pemzy, ovesné vločky a ořechové slupky v kosmetických

produktech. Nacházely se nejčastěji v šamponech, obličejových i tělových peelingách a zubních pastách. Některé země výrobu a prodej kosmetických přípravků obsahujících mikroplasty již zakázaly (Ballent, et al., 2016). Používá se i pojem nanokuličky pro materiál v nano velikostech. Až 93 % kuliček je vyrobeno z polyethylenu, oblíbeným materiálem je ale také nylon, polypropylen, polyethylentereftalát nebo polymethylmethakrylát (Napper, et al., 2015). **Sekundární mikroplasty** vznikají fyzikálními, chemickými a biologickými procesy v životním prostředí, působením UV záření nebo mechanickými procesy. Sekundární mikroplasty se vyznačují nepravidelným tvarem, zubatým vzhledem a ostrými konci. Při výrobě plastů se k nim přidávají určité chemické látky ke zlepšení plasticity a výkonu produktu. Může se jednat o bisfenol A, ftaláty, polychlorované bifenylly a další. Pokud nedojde ke zreagování monomerů nebo oligomerů použitých chemických látek mohou působit toxicky. Pokud se z plastů uvolňují těkavé látky (benzen, toluen, styren), může dojít ke vzniku chronických onemocnění (Padervand, et al., 2020).

1.3.1.1 Výskyt mikroplastů

Celosvětová ekonomika vyprodukuje za rok více než 350 milionů tun plastu. Mikroplastové částice již byly nalezeny **téměř všude** – od Himaláje až po odlehlá místa Antarktidy. Z celkového počtu plastů se do oceánů dostane až 12,7 milionů tun za rok, a to má negativní dopad na ekosystémy i lidskou společnost. Pokud nedojde k zavedení vhodných řešení, která budou fungovat, do roku 2050 bychom mohli mít v oceánech více plastových výrobků než ryb (Soldatova, 2022). V mořích a oceánech se vyskytují především vlákna o velikosti 1 μm – 5 mm (Gaylarde, et al., 2021). Po celém světě probíhají neustále výzkumy a studie mikroplastových částic v různých prostředích, jedná se především o vodu, vzduch, sediment, biotu i potraviny (Leslie, et al., 2022). V 90 % všech světových povrchových vod byly nalezeny mikroplasty, z toho jich 91 % tvořila mikroplastová vlákna. Množství nalezených plastů je také snadno ovlivnitelné například množstvím srážek v dané oblasti (Gaylarde, et al., 2021). Plastové částice jsou všudypřítomné a ohrožují zdraví všech živých organismů, včetně člověka (Leslie, et al., 2022).

1.3.1.1.1 Mikroplasty ze sušičky prádla

Během sušení textilií ze syntetických materiálů se uvolňuje velké množství mikroplastových vláken (Carpenter, 2022). **Syntetická textilní vlákna**, mezi která se řadí lineární polymery, jsou využívána při výrobě oděvů. Nejčastěji používané materiály jsou polyester, polypropylen, akryl a nylon (Danyang, et al., 2022). Syntetické mikrovlákno je typem mikroplasty, jeho velikost je menší než 5 mm a vzniká degradací nebo fragmentací syntetických vláken (Gavigan, et al., 2020). Celosvětový oděvní trh využívá z 55 % polyesterová vlákna, jejich spotřeba představuje 76 milionů tun ročně (Danyang, et al., 2022). Syntetické textilie tvoří 34,8 % celosvětového znečištění mikroplasty (Durán, 2020).

Způsoby uvolňování syntetických mikroplastů:

Během praní i sušení podléhají vlákna v oblečení mechanické fragmentaci a tím dochází k jejich odlamování a uvolňování do vody nebo do okolí (Gavigan, et al., 2020). Z vody odchází vlákna v lepším případě do čistíren odpadních vod, v horších případech přímo do vodního zdroje (Carpenter, 2022). I v současné době u nás můžeme objevit potrubí, které vedou z rekreačních chat a slouží jako výpust' odpadní vody z pračky i sušičky do potoka, nebo do jiného vodního zdroje (Gavigan, et al., 2020).

Z některých sušiček prádla se mohou mikroplastová vlákna uvolňovat do vzduchu, a to působí také problémy. Polyesterová vlákna se neshlukují, jsou lehká, schopná uvolnit se do ovzduší (Carpenter, 2022) a transportovat chemické znečišťující látky jak v ovzduší, tak i ve vodě (Danyang, et al., 2022). Vlákna nemohou být zachycena v čistírnách odpadních vod a vzduchovými proudy jsou unášena po celém světě (Carpenter, 2022).

Sušičky prádla jsou schopny uvolnit větší množství mikrovláken než pračky. Ze studií vyplývá, že sušením 1 kg 100 % polyesterových textilií se uvolní až 31×10^5 mikrovláken během jednoho cyklu. Kapacita domácí sušičky se pohybuje kolem cca 6-7 kg (Danyang, et al., 2022). Vlákna ze syntetického oblečení se během sušení uvolňují podle několika kritérií - zvolený program sušení, použité prací prostředky, opotřebení spotřebiče, stáří a chemické složení textilie. Ze studií vyplývá, že většina mikrovláken se ze syntetického oblečení uvolňuje během prvních 15 minut sušení (Gaylarde, et al., 2021).

Některé studie dokazují, že se mikroplastová vlákna uvolňují do ovzduší pouhým nošením syntetického oblečení. Čím je textilie obnošenější, tím dochází k většímu uvolňování vláken (Falco, et al., 2020). Poškozením textilií se uvolňují úlomky vláken až 30x rychleji než při běžném nošení, úlomky poté mají ve většině případech inhalovatelnou velikost (Carpenter, 2022).

Při nákupu oblečení je důležité si uvědomit, z jakého materiálu je ten daný kus textilu vyrobený (Durán, 2020). Textilie se vyrábí z **přírodních vláken** (bavlna, vlna, len), ze **syntetických vláken** (nylon, polyester, akryl) nebo kombinací přírodních a syntetických materiálů (polyester – bavlna). Polyesterové i akrylové oblečení propouští více vláken než polyesterové vlákno s příměsí bavlny. Tato vlákna nejsou jen součástí oblečení, ale i kobereců, povlečení, prostěradel, utěrek na nádobí apod... (Napper & Thompson, 2016).

Velkým trendem se poslední dobou stávají **recyklované materiály**, kterým může být například recyklovaný polyester. Jedná se ale stále o polyester – syntetické vlákno vyrobené poprvé v roce 1941 z polyethylentereftalátu. Polyesterové textilie jsou levné, odolné a snadno dostupné, ale bohužel velice neudržitelné (Durán, 2020). Velkou nevýhodou přírodních vláken (vlna, bavlna, hedvábí) je, že často žmolkuje. Rychlost i rozsah žmolkování určují fyzikální vlastnosti vláken, k tomuto procesu dochází nejčastěji během praní nebo nošení dané textilie. Vlákna vyčnívající z povrchu se shlukují a vytváří žmolky, které se drží na povrchu tkaniny. Ta se mohou odlomit mechanickým působením (praní, sušení v sušičce) nebo během nošení. Při průmyslové výrobě oblečení je žmolkování nežádoucí, protože snižuje pevnost látky a zároveň kazí vzhled a tím se snižuje i použitelnost daného materiálu. Syntetické materiály z části tento problém vyřešily, protože se vyznačují vyšší pevností – nežmolkuje, mají také nízké ceny a všestranné využití. Příkladem je oblečení tvořené ze směsi bavlna a polyester. Polyester se do směsi přidává z toho důvodu, že snižuje náklady na daný kus a zvýší houževnatost materiálu neboli zamezí deformování a tvorbu trhlin (Napper & Thompson, 2016).

Na životní prostředí má nepříznivý vliv také barvení syntetické textilie, protože likvidace chemikálií při barvení nejsou vždy zcela ekologické (Durán, 2020).

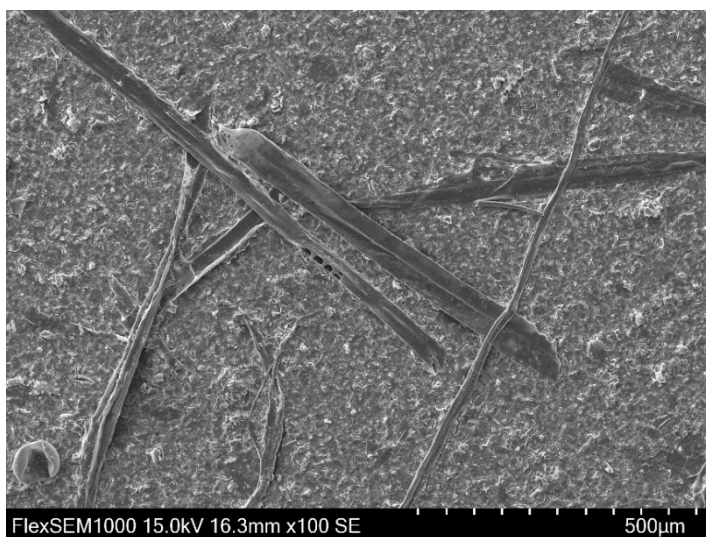
Pokud chceme snížit množství mikroplastů v životním prostředí, je nutné vybírat vhodné materiály pro naše oblečení (Durán, 2020). Dále je nezbytně nutné hledat vhodné zdroje

pro výrobu oblečení šetrného k životnímu prostředí a zároveň zajistit životnost a odolnost materiálů pro výrobu oděvů (Danyang, et al., 2022).

1.3.1.1.2 Mikroplasty v kalu z ČOV

Voda je jednou ze základních surovin nezbytných pro živé organismy. Není potřebná pouze pro přežití, ale využíváme ji také pro zemědělské a průmyslové účely. Proto je kladen důraz na její čistotu, případně vyčištění. Několik desítek let i století trvalo vynalézt správné technologie, které vodu vyčistí a nebudou energeticky ani finančně náročné (Hossain, et al., 2019).

Než se mikroplastová vlákna dostanou do vodních toků, procházejí čistírnou odpadních vod. V čistírnách odpadních vod dochází k akumulaci mikroplastů, pocházejících z průmyslu, domácností i okolního prostředí. Část těchto mikroplastů je právě zachycena v **čistírenském kalu**, část odchází ve vyčištěné vodě do recipientu (Mahon, et al., 2017).



Obrázek 10 - mikroplastová vlákna nalezená v kalu z ČOV

Částice, které pochází z domácností jsou tvořeny mikrokuličkami z kosmetických přípravků anebo syntetickými vlákny uvolněnými z textilií (Gouveia, et al., 2017). Průmyslové vody obsahují částice vznikající například lisováním plastů nebo výrobou, barvením a úpravou stříhu syntetických tkanin. Částice vznikající automobilovou dopravou i opotřebením pneumatik se uvolňují do atmosféry, nebo jsou při deštích spláchnuty do kanálu. Odtamtud míří přímo **do čistírny odpadních vod** (Long, et al., 2019). Ze skládek odpadu může docházet k uvolňování mikroplastů. V tuhém komunálním odpadu se nachází značné množství plastů, které se samozřejmě vlivem vnějších podmínek rozpadají na menší a menší částice, ty mohou být poté součástí

skládkové odpadní vody (Gao, et al., 2022). Kal může být spálen, kompostován anebo aplikován na zemědělskou půdu (Gaylarde, et al., 2021).

Mikroplasty proudí spolu s vodou a procházejí primárními i sekundárními procesy čištění a částečně i těmi terciálními. **Primární čištění** je mechanické a zachytává především velké plasty jako jsou PET lahve. **Sekundární procesy** jsou biologické a tím se odstraňují znečišťující a toxické látky, které by se na mikroplasty mohly navázat. **Terciálním čištěním** poté dojde k dezinfekci vody (Freeman, et al., 2020). Z některých studií vyplývá, že i terciální čištění přispívá k odstranění mikroplastů, některé tento výrok však nepodporují. Průměrná účinnost čistíren na zachycení mikroplastů se pohybuje od 60 % do 90 % (Gao, et al., 2022). Nejúčinnější se zdá být primární čištění a místem, kde se mikroplasty zachytávají je čistírenský kal (Talvitie, et al., 2017). Čistírny ale doposud nemají žádné speciálně navržené zařízení, které by bylo schopno mikroplasty zachytit. Část z nich je zachycena v kalu nebo na jemných česlích a část odchází do recipientu (Gao, et al., 2022).

Kal obsahuje řadu organických i anorganických látek, mikroplastů a znečišťujících látek. Mikroplasty umí vázat těžké kovy, antibiotika i organické polutanty, které se vyskytují v odpadní vodě. Následný transport na pole a pohlcení rostlinami může způsobit značné problémy, mikrovlna jsou v těchto půdách detekována i po 17-ti letech (Gavigan, et al., 2020). V kalu se nejčastěji nachází mikroplasty z polyesteru, polystyrenu, polyamidu, polyethylenu i akrylu. Jedná se o druhy, které jsou součástí každodenního života. Tvarově se zde nacházejí především vlákna, filmy a koule (Mahon, et al., 2017). Existuje řada různých výsledků, kolik mikroplastů se v kalu i odpadní vodě nachází, ale neexistuje žádná plně standardizovaná metoda pro separaci a charakterizaci MP (Gao, et al., 2022).

1.3.1.1.3 Mikroplasty na zemědělské půdě

Kal je často používán jako **hnojivo na zemědělskou půdu**, protože obsahuje spoustu živných látek, ale zároveň do půdy dodává mikroplasty. Mikroplasty mohou ovlivnit vlastnosti půdy, ukládají se v půdě a mohou půdou prostupovat do větších hloubek a kontaminovat podzemní vodu. Nejčastěji ovlivňují její fyzikální a chemické vlastnosti, mohou podporovat také aktivaci půdních enzymů. Množství mikroplastů, které se dostane na zemědělskou půdu je veliké. Většina zemí povoluje vyvážení kalu na pole a možností kontaminace mikroplasty se nikdo nezabývá. Mikroplasty se v půdě spojují s půdními agregáty a tvoří **mikroagregáty**. Tím se stává degradace mikroplastů omezenější a pomalejší než v jiném prostředí (Gao, et al., 2022).

To, jak se budou mikroplasty v půdě pohybovat, závisí na jejich velikosti, struktuře půdy a půdních organismech. Špatná migrační schopnost mikroplastů byla objevena v jednozrných homogenních půdách, naopak jim k migraci vyhovuje pravidelná zemědělská činnost. V některých studiích bylo zjištěno, že i půdní organismy jsou schopny transportovat MP částice hlouběji do půdy (Ren, et al., 2021). Půda je trvalým úložištěm plastů jako takových a ty mají velký vliv na půdní biotu. Půdní ekosystémy jsou velmi náchylné k plastové kontaminaci a o účinku na rostliny toho víme zatím velmi málo (Azeem, et al., 2021).



Obrázek 11 - plastové částice na zemědělské půdě

Plasty se do půdy dostávají z plastových obalů, aplikací kalů z čistíren odpadních vod, z mulčování a z atmosférických zdrojů (Ren, et al., 2021). Využitím kalů z čistíren odpadních vod jako organického hnojiva dochází ke kontaminaci půdy a zvýšení rizika pro živé systémy (Lambert & Wagner, 2016). V posledních letech se objevuje plastové

mulčování. Jedná se o využití nízkohustotních plastů ke zvýšení produkce zeleniny a ovoce. Sice přináší krátkodobé výhody (regulace plevelu a efektivní hospodaření s vodou), ale především velkou nevýhodou, a to kontaminaci cenných půdních zdrojů plasty (Brodhagen, et al., 2016). Jakmile se plast dostane do půdy, je víceméně nemožné ho z půdy odstranit (Azeem, et al., 2021). Transport mikroplastů ve vrstvách půdy podporují nejen půdní organismy (roztoci, žížaly), ale také většina zemědělských procesů. Jedny z největších problémů způsobuje hluboká orba. Na zapracování mikroplastů do půdy se může podílet i zvěř a člověk manipulací se sklizní (Ren, et al., 2021). Velký vliv mají i suchá léta, při kterých dochází k popraskání půdy a transportu MP do hlubších vrstev mnohdy až k pramenům podzemních vod (Azeem, et al., 2021).

Biologická dostupnost mikroplastů v půdě závisí na půdních vlastnostech a mikroplasty dokážou měnit dostupnost některých kovů v půdě (Scherer, et al., 2017). Toxické látky navázané na mikroplastech se vlivem pH půdy, UV záření, obsahu kyslíku i teploty vylouhují do podloží a následně ovlivňují rostliny i zelené řasy (Azeem, et al., 2021).

Vliv mikroplastů i nanoplastů na rostliny

Plastové částice nesou náboj, který jim umožňuje adsorpci do rostlinných kořenů a ovlivňuje příjem živin pro rostlinu. Je to způsobeno tím, že rostliny vylučují svými kořeny specifické látky (**exsudáty**), které mění vlastnosti půdy kolem rostliny. Tyto exsudáty zajišťují příznivý stav pro příjem živin, protože zlepšují strukturu půdy (Abbasi, et al., 2020). Pokud jsou biochemické procesy v půdě narušeny mikroplasty s navázanými toxickými látkami, mají negativní vliv na příjem živin do rostliny a její fungování. **Nanoplasty** mají schopnost vstupovat do buněčné membrány a působit cytotoxicky. Mají také schopnost ukládání v půdních organických strukturách a negativně působit na mikroorganismy (Azeem, et al., 2021). Rostoucí množství MP a NP v půdě může mít za následek změnu mikrobiálního společenstva a ovlivnit životní prostředí ve formě agregátů (Maity & Pramanick, 2020).

MP i NP jsou rostlinnou absorbovány **kořenovým systémem**, především kořenovými vlásky. Mají vliv na klíčení i vývoj kořenů rostlin (Bosker, et al., 2019). Byly prováděny studie o tom, jak se MP i NP dostanou do rostliny a kde se akumulují. Bylo zjištěno že MP jsou veliké částice a buněčné stěny rostliny jim brání ve vstupu. Naopak nanoplasty o velikosti 20-40 nm mohou vstupovat přímo do buněčných stěn, velikost ale nesmí být větší než uvedené rozhraní, protože pak nastává stejný problém jako s mikroplasty.

Ze studií vychází, že NP i MP jsou schopny se dostat až do apikálního meristému přes epidermální vrstvy, do cévních svazků kořene, do **listů, květů, plodů**, nalezeny byly i v pórech **semen**. Bylo zjištěno, že NP může rostlina přijímat průduchy a hromadit je v listech, nebo transportovat do kořene (Azeem, et al., 2021). Z kořene do listů jsou přeneseny transpiračním proudem. Vstupují do epidermální tkáně a přes pericykl jsou přesunuty do xylému. Tím jsou transportovány do nadzemní části rostliny. MP i NP jsou schopné dosáhnout takového stavu, aby cestovaly extracelulárními kanály sloužícími pro transport vody a tím se dostat do stonku, listu i plodů (Schwab, et al., 2020). Možný příjem je i pomocí průduchů, kdy NP se zachytí na průduchu a pomocí floému je transportován z listu do kořene. Dnes již víme, že se MP i NP mohou dostat z půdy do rostlin, ale nevíme, jaký na ně mají účinek a jak bude působení vypadat do budoucna. Je potřeba spousta dalších výzkumů, které by nám účinky působení ukázaly (Azeem, et al., 2021).

Analýzou kořenových meristémů bylo zjištěno, že působí **cytotoxicky** i **genotoxicky** – jde o negativní účinky na okolní buňky i genetický materiál (Giorgetti, et al., 2019). Z několika málo provedených výzkumů bylo zjištěno, že MP i NP snižují rychlost klíčení semen, protože ucpávají póry pro příjem vody. Nebo mají negativní vliv na průměr, tvar i růst kořene. Až o 15 % snižují výšku rostliny a o 8 % snižují hmotnost listů. Tyto informace pochází jen z několika málo výzkumů, proto je zapotřebí dalšího zkoumání zemědělských ploch (Azeem, et al., 2021).



Obrázek 12 - mikroplast v půdě

1.3.1.1.4 Mikroplasty v jezerech

Mikroplastové částice se nacházejí velmi často také na **odlehých místech světa** jako jsou některá jezera evropských alpských regionů nebo i v amerických národních parcích (Xiong, et al., 2022). Sladkovodní jezera jsou polouzavřené systémy a je u nich velmi obtížné najít místa vstupu (Sighicelli, et al., 2017). Mikroplasty se do jezera mohou dostat pomocí plastového odpadu, který v blízkosti povodí zanechají turisté a odpad se vlivem abiotických podmínek začne rozpadat na mikroplasty, které jsou transportovány do jezera. Dalším zdrojem mohou být řeky nebo atmosférické proudy. Bylo zjištěno, že mikroplasty se mohou atmosférickým transportem přenášet až na vzdálenost 95 km (Xiong, et al., 2022). Výskyt mikroplastů v jezerech je dynamický, ovlivňuje ho odtok vody, srážky, proudění i tání sněhu. Ze studií vyplývá, že ve sladkovodních oligotrofních jezerech převládají vláknité mikroplasty (D'Avignon, et al., 2021).

1.3.1.1.5 Mikroplasty ve sněhu

Mikroplasty v čerstvém sněhu na Antarktidě byly nalezeny kolem roku 2020 poprvé. Jednalo se přibližně o 29 částic na litr roztátého **sněhu**. Částice pocházely z 12 různých druhů plastového odpadu a největší zastoupení měl PET, který se hojně využívá na výrobu plastových lahví (Soldatova, 2022). Nejzastoupenějším typem bylo vlákno a složení částic bylo potvrzeno infračervenou spektroskopií s Fourierovou transformací (Aves, et al., 2021). Před dopadem na zemský povrch prochází sníh atmosférou, kde na sebe váže znečišťující látky i vzdušné částice. Z tohoto důvodu se předpokládá, že mikroplasty nalezené ve sněhu pocházejí z atmosféry (Bergmann, et al., 2019).

1.3.1.1.6 Mikroplasty v lidském organismu

První výzkumy zabývající se mikroplasty **v lidském těle** začaly vznikat až v roce 2020 a výsledky se zveřejňovaly o rok později. Mikroplastové částice znečišťují životní prostředí a zasahují také do potravních řetězců většiny organismů (Leslie, et al., 2022).

Expozice u člověka může být vdechnutím, požitím i dermálním způsobem v případě, že je pokožka poškozena. Mikroplasty mohou v těle působit toxicky a způsobit řadu negativních důsledků. Jde především o zásah do metabolických procesů, ale způsobují i záněty, oxidativní stres nebo ovlivňují funkce imunitního systému (Wu, et al., 2022).

V lidském organismu byly mikroplasty objeveny například **v krvi**. Výzkum ukázal výskyt celkem **čtyři** druhů **polymerů** (polyethylentereftalát, polyethylen a dva polymery styrenu). Jedná se o polymery, se kterými přicházejí lidé do každodenního kontaktu, jsou

součástí textilu i potravin. Z dostupných vzorků lidské krve bylo zjištěno 1,6 µg/ ml. To je důkaz, že plastové částice mohou pronikat do krevního oběhu. Vzhledem k nálezům mikroplastových částic v krevním řečišti je velmi pravděpodobný jejich transport do **orgánů celého těla** (Leslie, et al., 2022). V rámci lidského těla byly mikroplasty dále nalezeny **ve stolicích** pomocí infračervené spektroskopie s Fourierovou transformací, což poukazuje na to, že některé plastové částice mohou být z těla vyloučeny gastrointestinálním traktem. Nalezeny byly také ve vzorcích **tlustého střeva** nebo **placenty** (Harvey & Watts, 2018). Vdechováním se MP částice velmi jednoduše dostávají do **plic**, kde zvyšují riziko respiračních onemocnění, rakoviny plic a zánětlivých reakcí. Zdravotní problémy nastávají také z důvodu schopnosti mikroplastů na sebe vázat toxické látky, těžké kovy a další (Blackburn & Green, 2021).

Pro posouzení schopnosti akumulace mikroplastů v těle, jejich toxických účinků i vlivu na fungování organismu jsou potřeba další studie, které by již získané poznatky rozšířily (Leslie, et al., 2022).

1.3.1.2 Transport mikroplastů

Mikroplasty jsou všudypřítomné a hojné, v různých typech prostředí mohou mít podobné **mechanismy transportu** (Eerkes-Medrano, et al., 2014). Jsou nezanedbatelným ekologickým rizikem pro všechny ekosystémy, a to především kvůli velmi snadnému přenosu (Cai, et al., 2021).

Mikroplastové pelety se hojně vyskytují poblíž firem na výrobu a zpracování plastů, mají velmi dobrou schopnost transportu na větší vzdálenosti. Některé druhy plastů, jsou přímo navrženy tak, aby v životním prostředí fragmentovaly (Hidalgo-Ruz, et al., 2012). Sekundární mikroplasty většinou bývají spojeny s místy s vyšší hustotou obyvatelstva a průmyslovými zónami (Browne, et al., 2011). Každý materiál se vyznačuje jinými vlastnostmi, a tudíž není stoprocentně známá rychlost fragmentace a degradace plastů i mikroplastů. Na degradaci má značný vliv UV záření. Pomocí **elektronové mikroskopie** je možné pozorovat stupně degradace a zjistit, zda byla způsobena mechanickými procesy, oxidačním zvětráváním nebo organismy. Vliv na šíření sekundárních mikroplastů má také způsob nakládání s odpady, velikost měst a okolních vesnic, způsob čištění odpadních vod, turismus apod... (Eerkes-Medrano, et al., 2014).

Mikroplasty mohou mít vyšší i nižší hustotu než voda, tudíž mohou procházet celým vodním sloupcem a zaujmout pelagickou nebo bentickou část (Cole, et al., 2011).

Vliv na transport má roční období, rychlost proudění, hloubka vody, typ substrátu i struktura dna (D'Avignon, et al., 2021). Dále je ovlivněn antropogenní činností, povodněmi, přívalovými dešti a bouřkami. Salinita, hustota i druh náboje spolu můžou interagovat a kumulovat mikroplasty v místech, kde se sladká voda setkává se slanou (Eerkes Medrano, et al., 2014).

Velkým problémem spojeným s mikroplasty je to, že neexistuje žádná spolehlivá metoda, kterou by bylo možné identifikovat, charakterizovat a detekovat mikroplasty ve všech typech prostředí (Eerkes-Medrano, et al., 2014).

1.3.1.3 Metody odstranění mikroplastů ze životního prostředí

Ze životního prostředí se dají mikroplastové částice odstranit v čistírnách odpadních vod, s využitím řas nebo moderními technologiemi.

Robotická ryba

Vědci z čínské univerzity vytvořili robotickou rybu malé velikosti (13 mm), která je schopna zachytávat mikroplasty. Pohybuje se pomocí senzoru na světlo a rychlostí 4 cm/s. Ryba zatím dokáže fungovat pouze v mělkých vodách, ale na rozvoji se neustále pracuje. Při drobných poškozeních se dokáže sama opravit a pokud by jí pozřel nějaký živočich bez problému by ji dokázal strávit. Je totiž vyrobena z biokompatibilního materiálu (Soldatova, 2022).

Řasa

Bylo zjištěno, že mořská řasa *Fucus vesiculosus* dokáže absorbovat mikroplasty do rostlinné buňky. Záleží ale na náboji mikroplastů. Řasa lépe pohlcuje částice s pozitivním nábojem, protože obsahuje v chemické struktuře aniontový polysacharid (Padervand, et al., 2020).

Čistírny odpadních vod

Čistírny odpadních vod, které využívají pískové filtrace mají účinnost odstranění mikroplastů větší než 90 %. Některé druhy mikroplastů mají větší hustotu než voda, jedná se především o polybutylentereftalát (PBT), polyethylen (PET) a polyvinylchlorid (PVC). Tyto druhy mikroplastů by se měly dát velmi dobře odstranit procesy fyzikální sedimentace. Naopak mikroplasty s nízkou hustotou jako je polypropylen (PP) a polyethylen (PE) se dají dobře odstranit vzduchovou flotační metodou. Existují i mikroplasty které mají střední hustotu – polyamid (PA) a polystyren (PS). Odstranění mikroplastů vzduchovou flotací spočívá v tom, že se elektrolyzou,

provzdušňováním a úpravou atmosférického tlaku vytváří drobné vzduchové bubliny, na které se navážou mikroplasty a vytvoří komplex **mikroplast – bublina**. Ten má nižší hustotu než voda a stoupá k povrchu, kde se utvoří pěna, která uvnitř sebe uzavře mikroplasty a odstraní je ze suspenze odpadní vody. V případě, že by se zkombinovala sedimentace a flotace, daly by se odstranit mikroplasty s vyšší i nižší hustotou (Xu, et al., 2020).

Jedny z hlavních zdrojů MP jsou vlákna textilního průmyslu, produkty osobní péče a obalové materiály. Sekundární mikroplasty se mohou tvořit přímo v prostorách čistírny odpadních vod. A to tak, že větší kusy plastů se mechanickými procesy (míchání, čerání, bubláni) rozpadají na menší a menší částice (Xu, et al., 2020).

Nízké koncentrace mikroplastů mohou být odstraněny pomocí zooplanktonu, mořských hub a bakterií. Mořské houby například požírají mikroplasty jako zdroj uhlíku, zooplankton akumuluje mikroplasty ve svém těle a mořské škeble ho ukládají na svých schránkách (Padervand, et al., 2020).



Obrázek 13 - zachycený plastový materiál na jemných česlích ČOV

1.3.1.4 Negativní důsledky plastů na životní prostředí

Mikroplastová kontaminace životního prostředí je již značně rozsáhlá, není možné ochránit živočichy, rostliny ani lidskou populaci. U živých organismů není možné zajistit, aby mikroplastové částice nepožírali (Carpenter, 2022). Stovky tisíc živočichů umírají každý rok z důvodu pozření, uškrcení a zamotání se do plastových výrobků. Velmi často jsou nalezeni mrtví ptáci, mořští savci nebo ryby se žaludky plnými plastů, které jim znemožnily další konzumaci potravy a způsobily úmrtí v bolestech a hladu (Dorey, 2020). Nebezpečné není pouze pozření plastového materiálu, velký vliv má schopnost mikroplastů být vektorem pro přenos chemikálií do organismu a jeho následné poškození (Xu, et al., 2020).

Plasty se málokdy vyrábějí čisté, ve většině případů se k nim přidávají další složky (pigmenty), které jsou následným **nosičem** pro toxické nebo jinak škodlivé látky (polychlorované bifenoly, těžké kovy, léčiva) (Xu, et al., 2020). Výsledný účinek na zdravotní stav živočicha má typ polymeru, navázané toxiny i četnost setkání (Napper & Thompson, 2016).

Požítí mikroplastů je velmi běžné. Bylo zjištěno, že z vodního prostředí mikroplasty konzumují slávky, mořské okurky, zooplankton i dospělé a larvální druhy. V suchozemském prostředí se jedná o ptáky, lachtany i tuleně, kteří je do sebe dostávají pravděpodobně konzumací ryb, mikroplasty mohou v těle těchto živočichů způsobit značné zdravotní problémy. Pozřením dochází k vnitřním i vnějším tržným ranám, dušení, tvorbě vředů, hladovění, oslabení a smrti. V žaludcích organismů může docházet ke spojování mikroplastů a tvorbě shluků, ty pak mohou být zadržovány ve specifických částech těla nebo mohou ucpávat tělní struktury. Mikroplasty nemají žádnou nutriční hodnotu, a tak energeticky oslabují organismus a zvyšují riziko zánětlivých onemocnění. Někdy to může způsobit falešné nasycení a uhynutí. Některé druhy *dafnií* dokážou mikroplasty translokovat do kapiček zásobních olejů. Kapacita pro sorpci kontaminantů se u různých materiálů liší, například polyethylen je schopný absorbovat větší koncentrace kontaminantů než jiné polymery (Eerkes-Medrano, et al., 2014).

Povrch mikroplastů je negativně nabitý, a tudíž MP mají schopnost absorbovat kationty kovů. Nejčastěji se jedná o kadmium, chrom, měď, nikl a olovo. Schopnost tvorby této vazby je různá, například fragmenty polyvinylchloridu mají vyšší adsorpční kapacitu pro měď než mikrokuličky PVC (Gao, et al., 2022). Některé studie uvádí, že přítomnost MP

ve vodním prostředí může měnit směr průchodu světla vodním sloupcem a ovlivnit tak děje v těchto ekosystémech. Mohou ovlivňovat také životní cyklus a jednotlivé fáze u určitých skupin živočichů. Ranná stádia ryb jsou náchylnější k negativním účinkům než dospělci (Eerkes-Medrano, et al., 2014).

Miller říká, že hlavní myšlenka, kterou je nutné si uvědomit, je to, že všichni jsme propojeni s přírodním světem. Věci se dají velmi těžko **úplně odstranit**. Pokud odpad odvezeme na skládku nebo znečištěnou vodu vylejeme do kanálu, neznamená to, že jsme to odstranili (Miller, et al., 2017).

1.4 Metody analýzy mikroplastů

Vědci se začali zabývat mikroplastovým znečištěním kolem roku 2005 a našli je postupně ve všech typech prostředí (Renner, et al., 2018), mikroplasty se staly globálním problémem a je nezbytné jejich důkladné prozkoumání. Odběr, identifikace i kvantifikace mikroplastů z různých typů životního prostředí je komplikovaná (Silva, et al., 2018) a zároveň ještě nedošlo ke standardizaci metod, které se v některých případech velmi odlišují (Renner, et al., 2018). Existuje však několik postupů, které se při studiu mikroplastových částic v životním prostředí jeví jako účinné (Shim, et al., 2017).

1.4.1 Metody úpravy odebraných substrátů

Mikroplasty je možné analyzovat z vody, ze sněhu, z půdy, z kalu, ze sedimentů, z buněk i tkání a spousty dalších substrátů. Než se může nějaká z uvedených metod pozorování použít, je většinou nutné si odebraný materiál upravit (Silva, et al., 2018). Zároveň je nutné zajistit, aby po odebrání materiálu k analýze nedošlo k sekundární kontaminaci, která je způsobena především oblečením z umělých materiálů, vzdušnou kontaminací, používáním plastových pomůcek nebo nedostatečnou čistotou pracoviště (Lusher, et al., 2017).

Kapalné vzorky jsou ve většině případech filtrované přes různě veliká síta podle velikosti mikroplastových částic. Používá se prostá filtrace, vakuová filtrace nebo filtrace za sníženého tlaku (Wright, et al., 2013).

Pokud odeberme vzorek sedimentu k mikroplastové analýze, je vhodné využít hustotní separaci. Tato metoda je založena na rozdílné hustotě sedimentu a mikroplastových částic, separaci pomůže také přidání NaI nebo $ZnCl_2$ (Van Cauwenberghe, et al., 2015).

U materiálů s vysokým obsahem organických látek (kal, půda, sediment) je žádoucí organické znečištění odstranit buď pomocí vhodných chemikálií nebo jiným způsobem. Účinnou chemikálií je Fentonovo činidlo, které vzniká ze síranu železnatého smícháním s kyselinou sírovou a peroxidem vodíku. Tímto způsobem jsou organické složky velmi dobře rozloženy a nebrání dalšímu zpracování, kterým bývá nejčastěji filtrace (Harley Nyang, et al., 2022). Tento typ materiálu je také možné rozprostřít na dřevěné podnosy a sušit v horkovzdušné sušárně, poté prosít přes kovová síta požadované velikosti a nalezené částice identifikovat (Corradini, et al., 2019).

1.4.2 Metody pozorování mikroplastových částic

Jednou z možností identifikace mikroplastů o velikosti 1-5 mm je pozorování pouhým okem. Většinou tak lze analyzovat barevné částice, které lidské oko zaujmou. Menší částice jsou zkoumány speciálními přístroji (Silva, et al., 2018). Mezi nejpoužívanější pozorovací metody se řadí – optická, elektronová mikroskopie, Ramanova spektroskopie a infračervená spektroskopie (Gao, et al., 2022).

Druh mikroskopie posuzujeme podle druhu paprsku nebo sondy. Na základě těchto parametrů rozlišujeme světelnou mikroskopii, elektronovou mikroskopii, nebo mikroskopie skenovací sondou (Němeček, 2018).

1.4.2.1 Elektronová mikroskopie

Elektronová mikroskopie se od světelné liší v několika bodech. Mezi ty zásadní patří náhrada fotonů za elektrony a skleněné čočky jsou nahrazeny elektromagnetickými čočkami (Jäger & Gärtnerová, 2017). Elektrony prochází ve vakuu a krátká vlnová délka paprsku zajišťuje zvětšení až milion krát a zlepšuje rozlišovací vlastnosti (Vernon - Parry, 2000). Zdrojem elektronů je elektronové dělo. Rozlišujeme dva základní typy elektronových mikroskopů (Němeček, 2018). Skenovací elektronový mikroskop a transmisní elektronový mikroskop, který má lepší rozlišovací schopnosti, ale složitější přípravu vzorků (Jäger & Gärtnerová, 2017). Nevýhodou těchto elektronových mikroskopů je vysoká pořizovací cena a nutnost vakua (Cais, 2015).

1.4.2.1.1 Skenovací elektronový mikroskop (SEM)

Vzorek je zobrazen pomocí sekundárních elektronů nebo zpětně odražených elektronů. Je možné pozorovat vodivé i nevodivé vzorky, které jsou suché a zbavené organických nečistot (Němeček, 2018). Poskytuje informace o topografii povrchu, krystalové struktuře i chemickém složení vzorku. Velikost vzorku je omezena pouze velikostí mikroskopové komory (Vernon - Parry, 2000).

Aby byla zajištěna dobrá rozlišovací schopnost u SEM, musí být vzorek dostatečně vodivý. To je zajištěno pokrytím vzorku tenkou vrstvou kovového materiálu. Nejčastěji se používá zlato nebo platina. Nanesení materiálu zajišťuje iontové naprašování, je velmi výhodné, protože materiál je na povrchu vzorku pokryt rovnoměrně (Cais, 2015).

Proces naprašování spočívá v tom, že mezi elektrodami dojde k doutnavému náboji, ten ionizuje částice plynu a vznikne plasma. Následně dojde k reakci mezi kationty a záporně nabitou katodou a elektrony s anodou. Ionty emitované výbojem bombardují plíšek

a vyraží z něj částice, které se usazují na vzorku. Tím dochází k vytvoření homogenního vodivého povrchu (Eremenko, et al., 2019).

1.4.2.1.2 Transmisní elektronový mikroskop (TEM)

V rámci transmisního elektronového mikroskopu je vzorek zobrazen pomocí elektronů, které prochází skrz (Němeček, 2018). Proto je velmi důležité dodržet tloušťku vzorku, která musí být jen několik desítek nanometrů (Cais, 2015). Využívá se především pro analýzu vnitřní struktury vzorku a zobrazení jednotlivých atomů (Jäger & Gärtnerová, 2017).

Elektrony mohou být zviditelněny několika detektory. **SE detektor** je detektorem sekundárních elektronů. Množství zaznamenaných elektronů závisí na úhlu dopadu primárního svazku na vzorek. Poskytuje především topografické informace (Němeček, 2018). **BSE detektor** odhaluje zpětně odražené elektrony a podává informace o materiálové kontrastu. Prvky s vyšším atomárním číslem se zobrazují jako světlejší. **TE detektor** zapisuje údaje o prošlých elektronech a podává morfologická data (Cais, 2015). **EDS detektor** je využíván především pro získání informací o chemickém složení vzorku, díky němu se dají zjistit přesné údaje o prvcích v určitém místě vzorku. Výstupem je pak spektrum četností rentgenového signálu, protože detektor dokáže detekovat specifické RTG záření (Němeček, 2018).

1.4.2.2 Ramanova spektroskopie

Ramanova spektroskopie je optická metoda, která využívá rozptyl světla. Při interakci světla s hmotou je určitá část světla rozptýlena vibrujícími molekulami. Proto toto rozptýlené světlo nese informaci o molekulární struktuře materiálu i data o krystalické mřížce (Iri, et al., 2021).

Princip Ramanovi spektroskopie spočívá v tom, že dochází k interakci světla s molekulami v plynu, kapalině nebo pevné látce. Během této reakce se fotony rozptýlí se stejnou energií jako dopadající fotony. Tomuto jevu se říká pružný rozptyl. Velmi malé množství fotonů se rozptýlí při jiné frekvenci, než je frekvence dopadajícího fotonu a tomu se říká neelastický rozptyl. Využití Ramanovi spektroskopie je široké, od lékařské diagnostiky až po diagnostiku materiálů (Hicks & Wittkamp, 2020).

1.5 Legislativa

- Zákony týkající se vod

Čistírny odpadních vod jsou vodohospodářským dílem, zabývají se čištěním odpadních vod podle zákona o vodách a řídí se zákonem o vodovodech a kanalizacích (Michalová, 2005).

Zákon o vodách (vodní zákon) 254/2001 Sb. se zabývá především ochranou povrchových i podzemních vod, protože jde o nenahraditelné složky životního prostředí. Jeho účelem je také ochrana vodních ekosystémů a na ně vázaných suchozemských ekosystémů.

Zákon č. 271/2001 Sb. o vodovodech a kanalizacích řídí výstavbu, provoz i rozvoj vodovodů a kanalizací sloužících veřejné potřebě.

- Zákon o odpadech

Čistírny odpadních vod produkují nevyhnutelný odpad, který zpracovávají na základě zákona o odpadech (Michalová, 2005).

Zákon č. 541/2020 Sb. o odpadech se zabývá zpracováním kalů a jejich dalším využitím. Na základě tohoto zákona je v České republice skládkování kalů z ČOV zakázané (MŽP, 2021). Tímto zákonem se také řídí aplikace kalů na zemědělskou půdu. Kal může být na zemědělskou půdu aplikován v případě, že není ohrožena kvalita zemědělské půdy, povrchových i podzemních vod. Musí být zohledněny nutriční potřeby rostlin a může ho aplikovat pouze osoba, která půdu užívá. Zároveň existuje i několik hledisek, při kterých kal nemůže být aplikován na zemědělskou půdu (ÚKZÚZ, 2020). Existuje i vyhláška o podmínkách použití upravených kalů na zemědělskou půdu **č. 437/2016 Sb.** (Michalová, 2005).

- Zákon o hnojivech

Kompostování a nakládání s kompostem má také svá vlastní pravidla, která se řídí **zákonem č. 461/2004 Sb. o hnojivech**, pomocných půdních látkách a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd (Plíva & kolektiv, 2009).

2 Metodická část

Metodická část se specializuje na praktické poznatky získané odběrem vzorků, jejich zpracováním a analýzou. Jsou zde podrobněji popsána místa, ve kterých byly vzorky odebrány. Popisuje metodu, která se jeví jako nejúčinnější pro rozložení organických látek ve vzorku kalu i půdy a udává informace o pozorování zpracovaných vzorků elektronovým skenovacím mikroskopem.

2.1 Odběr vzorků

Během roku 2022 se uskutečnily celkem dva veliké odběry. První odběr byl proveden 29. 3. 2022 a druhý odběr 29. 9. 2022. Termíny na jaře a na podzim byly vybrány záměrně z důvodu nežádoucí kontaminace biologickým materiálem (řasami, sinicemi), který by komplikoval zpracování vzorků. Druhým důvodem byla manipulace se zemědělskou půdou, žádaná byla zoraná pole před setbou a po sklizni.

Odpadní vody byly odebírány do skleněných borosilikátových laboratorních lahví Duran s barevným šroubovacím uzávěrem. Jedná se o teplotně velmi odolné lahve s objemem 1 l. Lahve byly před použitím nejprve umyty v myčce na nádobí a následně vysterilizovány v autoklávu, aby se zabránilo vnitřní kontaminaci. Kal i zemědělská půda byly odebrány taktéž do skleněných lahví, ale s větším ústím, aby se usnadnila manipulace s odebraným materiálem.



Obrázek 14 - odebrané vzorky vody

2.1.1 Místa odběru vzorků

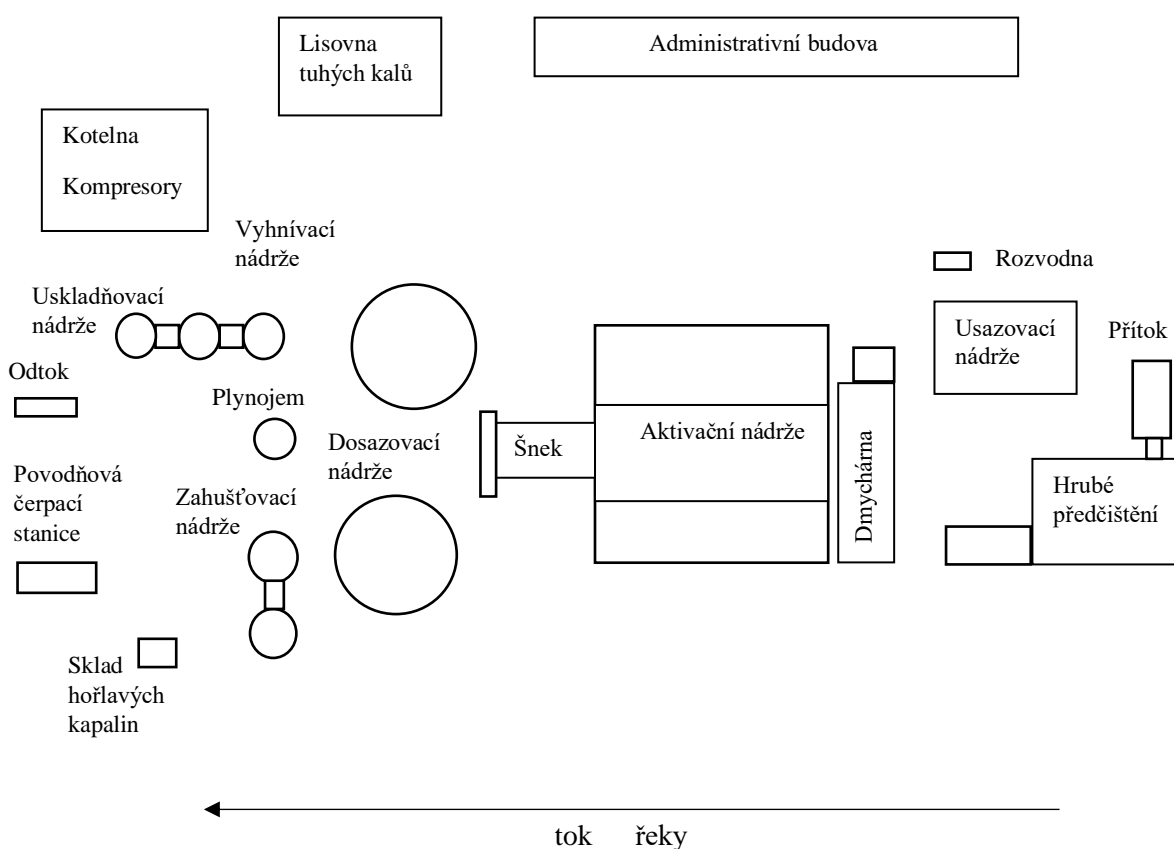
Vzorky byly odebrány na Čistírně odpadních vod v Havlíčkově Brodě, z domácí sušičky na prádlo, z potoka, z nekontaminovaného pole i z kontaminovaného pole.

Čistírna odpadních vod Havlíčkův Brod

Jedná se o mechanicko-biologickou čistírnu, která se specializuje na čištění odpadních vod z Havlíčkova Brodu a okolí (viz. 1.1.3.) Spolupráce s čistírnou byla navázána již při tvorbě bakalářské práce a pokračovala i při tvorbě práce diplomové.

Odpadní voda na ČOV byla odebírána proškoleným personálem, který měl k dispozici šoufek (odběrový kyblíček) s dostatečně dlouhou násadou, aby pro vodu dosáhl. Sklenice byly popsány podle místa odběru a po naplnění ihned uzavřeny, aby nedošlo k sekundární kontaminaci. Čerstvý kal byl odebrán lopatou přímo z výrobního pásu. Vzorky byly odebírány v ranních hodinách a ve stejný den byly odvezeny na Univerzitu Hradec Králové a uloženy do lednice. Během následujících čtyř týdnů byly zpracovány.

Schéma Čistírny odpadních vod Havlíčkův Brod



Obrázek 15 - Čistírna odpadních vod Havlíčkův Brod

Na obrázku č. 15 je vyobrazeno schéma ČOV Havlíčkův Brod. Jsou zde vidět všechna zařízení, která čistírna odpadních vod využívá a v jakém pořadí na sebe navazují. Důležitými místy jsou přítok, odtoková oblast i lisovna tuhých kalů, protože přesně v těchto místech byly vzorky odebrány.

Domácí sušička na prádlo

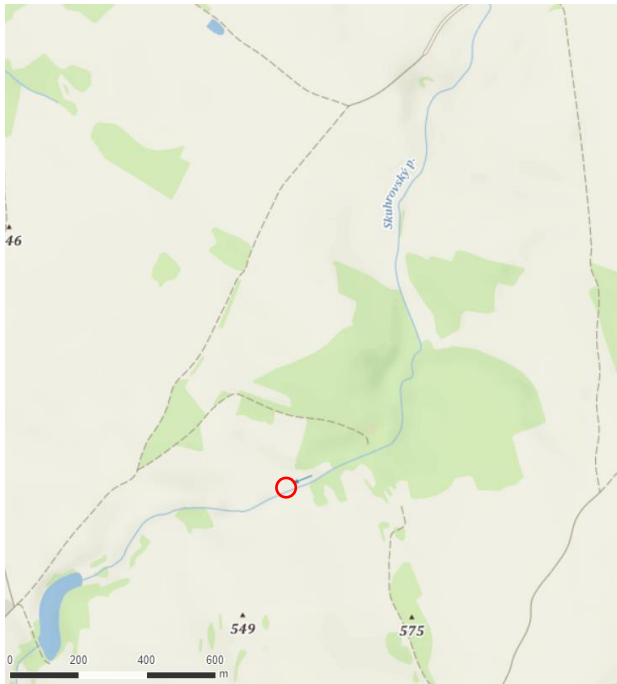
Z domácí sušičky na prádlo značky AEG byla získána odpadní voda. Sušička má v horní části plastový zásobník na odpadní vodu, který se po několika procesech sušení musí vyprazdňovat, aby se tam voda ze sušeného prádla mohla znovu ukládat.

Voda pro zpracování byla získána sušením čerstvě vypraného tmavého a barevného prádla. Jednalo se o směs domácího i společenského oblečení různého stáří, kvality i složení - například sako se složením 65 % polyester, 31 % viskóza, 4 % elastan, tričko ze 100 % bavlny, mikina se složením 77 % bavlna, 23 % polyester a džíny s obsahem 8 % bavlna, 28 % polyester, 2 % elastan, 2 % viskóza. Prádlo bylo vypráno v pracím prášku spolu s aviváží a sušeno na program bavlna ECO po dobu 124 minut.

Dalším typem prostředí, ve kterém měly být vzorky odebrány byl potok, nekontaminované a kontaminované pole. Tato místa byla vybrána proto, že se v úvodu práce uvádí výskyt mikroplastových částic v různých typech prostředí. Bylo tedy žádané alespoň některá z nich analyzovat a výskyt potvrdit nebo vyvrátit.

Potok

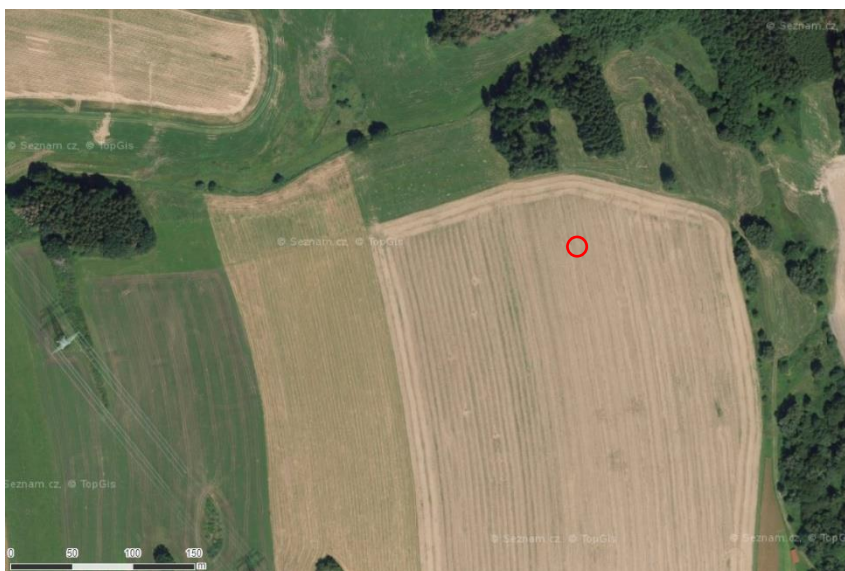
Výběr potoka byl proveden na základě jeho lokalizace (viz obrázek č. 16 červený kruh). Potok se nachází mezi loukami a lesy, tudíž se nepředpokládá antropogenní kontaminace, jeho voda pochází z podzemních zdrojů a ústí do rybníka. Kontaminován může být splachy z polí anebo částicemi ze vzduchu. Potoky jsou důležitým zdrojem vody v krajině, tudíž je nutné zajistit jejich čistotu. Pokud by se MP nacházely v těchto vodách, mohlo by to ohrozit okolní ekosystémy a mít negativní vliv na rostliny i živočichy.



Obrázek 16 - odběrové místo potoka (Mapy.cz)

Pole nekontaminované čistírenským kalem

Pole v okolí vybraného potoka nejsou kontaminovaná čistírenskými kaly. Akciová společnost, která je vlastníkem okolních polí, neaplikuje na zemědělskou půdu zemědělský kompost složený z čistírenských kalů. Na pole se vyváží pouze digestát z bioplynové stanice, tedy by se v odebrané půdě mikroplasty vyskytovat neměly. Pokud by se tam vyskytly, jednalo by se o atmosférickou kontaminaci. Pole má délku 560 m, na libovolném místě byl odebrán vzorek půdy, který bylo nutné nejprve usušit, aby mohl být dále rozložen a filtrován. Místo odběru je vyznačené na obrázku č. 17 červenou značkou.



Obrázek 17 - pole s odběrovým místem (ortofoto, Mapy.cz)

Pole kontaminované čistírenským kalem

Kal z čistírny odpadních vod v Havlíčkově Brodě se pravidelně odváží na nedalekou kompostárnu, kde se kompostuje a vytváří se z něj zahradnický a zemědělský substrát. K prodeji je pouze v tunovém množství a ani po telefonickém kontaktu nebyl umožněn prodej několika málo gramů na výzkum. Výsledný kompost není vytvářen pouze z čistírenských kalů, používá se i městská zeleň a další materiály, které mikroplasty neobsahují. Bylo by určitě zajímavé zjistit, jak moc se mikroplastové částice v tomto materiálu zředí a zda by je bylo možné vůbec objevit. Bohužel tato část výzkumu nebyla společností umožněna. Nebyly poskytnuty ani informace o zemědělských podnicích, které tento kompost aplikují na svá pole, a tudíž vzorek kontaminovaného pole nemohl být zahrnut v analýze. Produkty, u nichž je podezření z kontaminace by neměly být na zemědělskou půdu vůbec aplikovány.

2.1.2 První odběr

Pro výzkum byly odebrány vzorky odpadní vody z Čistírny odpadních vod, z domácí sušičky na prádlo a z potoka. Malé množství půdy bylo odebráno z pole nekontaminovaného čistírenským kalem (29. 3. 2022).

Na čistíreně odpadních vod byly odebrány:

- 4 litry vody z přítokové části
- 4 litry vody z odtokové oblasti
- 100 g suchého kalu

V domácnosti byly odebrány:

- 4 litry vody z domácí sušičky na prádlo

V přírodě byly odebrány:

- 4 litry vody z potoka
- 100 g vzorku půdy z pole nekontaminovaného čistírenským kalem

2.1.3 Druhý odběr

Druhý odběr byl proveden 29. 9. 2022 a odebráno bylo stejné množství ze všech míst jako při prvním odběru. Odebírala se odpadní voda i odvodněný kal z čistírny odpadních vod, voda z domácí sušičky na prádlo, voda z potoka i z nekontaminovaného pole.

Celkem bylo odebráno:

- 4 litry vody z přítokové části
- 4 litry vody z odtokové oblasti
- 100 g suchého kalu
- 4 litry vody z domácí sušičky na prádlo
- 4 litry vody z potoka
- 100 g vzorku půdy z pole nekontaminovaného čistírenským kalem

Odebraná voda, kal i půda byly nejprve pozorovány pouhým okem, zda se v nich nenachází větší kusy plastových částic, které by byly viditelné. Ani v jedné lahvi žádné takovéto částice nalezeny nebyly a materiál byl podroben zpracování.

2.2 Způsob zpracování odebraného materiálu

Všechn materiál ke zpracování byl uložen v lednici, aby nedocházelo k růstu a rozvoji mikroorganismů. Materiál byl před filtrací vyjmut z lednice a umístěn na čistý laboratorní stůl, kde byla také připravena vakuová filtrační aparatura. Všechny vzorky byly převedeny před filtrací do kapalného stavu, aby je bylo možné zfiltrovat. Filtrace trvala různě dlouho v závislosti na typu kapaliny a velikosti pórů na filtru. V tabulce č. 55 je uveden seznam všech zpracovaných vzorků i s časem filtrace, typem filtrů a množstvím kapaliny, které přes daný filtr proteklo. Při zpracování všech vzorků byl udržován tlak na vývěvě od 300 do 600 mbar.

2.2.1 Vakuová filtrace

Hlavní metodou separace mikroplastových částic od kapaliny byla vakuová filtrace. Jedná se o druh filtrace, která probíhá za sníženého tlaku a je tvořena specifickou aparaturou. Nižší tlak je zajištěn pomocí vývěvy. K dispozici byla filtrační aparatura Duran 2000 ml/500 ml s vývěvou. Aparatura je vyrobena ze silného borosilikátového skleněného filtračního zařízení, do kterého lze umístit membránové filtry o velikosti 47- 50 mm.



Obrázek 18 - vakuová filtrační aparatura

2.2.1.1 Průběh vakuové filtrace

Vakuové filtrační zařízení je sestaveno z nálevky o objemu 500 ml, láhve o objemu 2000 ml a nálevkou se zábrusem. Součástí je také teflonová podložka, do které se umísťuje skleněná podložka pod filtr a samotný filtr. Teflonová podložka je spojena se zábrusem nálevky hliníkovou svorkou. Princip je založen na skutečnosti, že částice menší než póry filtru projdou do filtrátu (přefiltrovaná látka) a větší částice zůstávají na jeho povrchu.

Vakuovou filtrační aparaturu je nutné nejprve správně sestavit. Následně se do nálevky nalije tekutina, kterou chceme zfiltrovat a zapne se vývěva na požadovaný tlak. Experimentálně bylo zjištěno, že ideální tlak je 300–600 mbar. Při vyšším tlaku se filtr prorazil a tím byla analýza znemožněna. Tekutina začne překapávat přes vybraný filtr uložený v teflonové podložce na skleněném kotouči do spodní nálevky o objemu 2 l. Aby tekutina mohla správně protékat, musí být teflonový držák spojen hliníkovou svorkou s vrchní nálevkou. Do nálevky se zábrusem ústí hadička z vývěvy odsává vzduch a vytváří podtlak. Tím je celá filtrace výrazně urychlena.

2.2.1.2 Filtry

Pro procesy vakuové filtrační analýzy jsou potřebné filtry, přes které voda protéká a na kterých se mikroplasty zachytávají. V rámci bakalářské práce s názvem Analýza mikroplastových částic ve vodách Čistírny odpadních vod Havlíčkův Brod bylo vyzkoušeno několik filtrů a jako nejvhodnější byl vybrán filtr polyetylenový s póry 0,4 μm . S tímto filtrem bylo i nadále pracováno při psaní diplomové práce. Jako nový, byl vyzkoušen filtr hliníkový s póry 0,2 μm . Tento filtr je vytvořen z hliníku, tudíž ho není nutné naprašovat, protože je sám o sobě dostatečně vodivý a zjednoduší postup zpracování o jeden krok. Menší velikost póru byla vybrána z hlediska dostupnosti, protože i tak se na dodání tohoto filtru čekalo 8 měsíců. Jinak velikost 0,2 μm nebo 0,4 μm nehraje v případě pozorování mikroplastů žádnou roli. Mikroplasty jsou velké částice, které se na filtru s póry o velikosti 0,4 μm 100 % zachytí. Menší póry na filtru způsobují výrazně pomalejší průtok vody skrz filtr. Například filtrace vody z potoka na 0,4 μm PE filtru trvala v průměru 15 minut, při použití 0,2 μm PE filtru voda tekla 60 minut. Byla vyzkoušena také zpětná filtrace vody, která nejprve protekla filtrem s většími póry a následně byla filtrována filtrem s menšími póry. Při pozorování nebyly nalezeny žádné mikroplasty, které by filtrem s většími póry prošly a zachytily se na filtru s menšími póry.



Obrázek 19 - používané filtry

2.2.2 Rozklad vzorků kalu a půdy

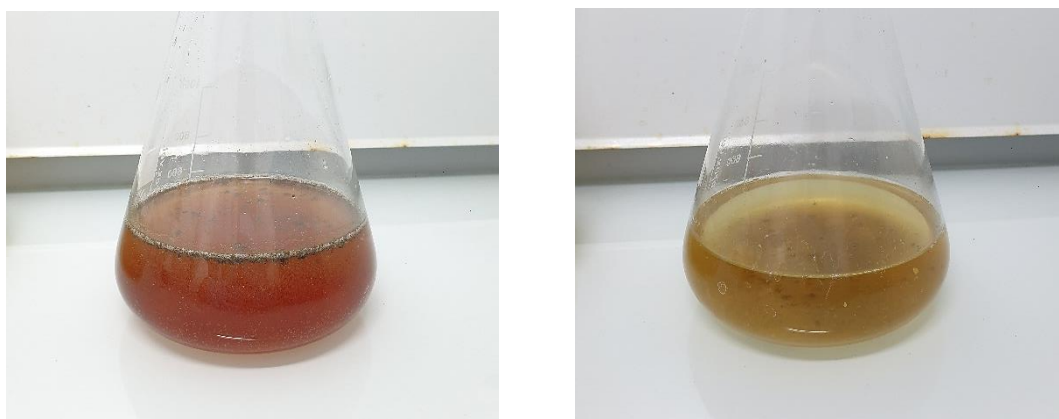
Organické nečistoty bylo nutné nějakým způsobem rozložit, aby mohla proběhnout analýza vzorků. Nejúčinnější se jevilo Fentonovo činidlo, protože na rozdíl od různých kyselin, neničilo mikroplastové částice.

Suchý kal z čistírny odpadních vod i vzorek půdy byly rozkládány stejným způsobem pomocí Fentonova činidla. Postup je ukázán na suchém kalu a na přípravu roztoku byla použita pouze destilovaná voda a všechno nádobí bylo čisté, umyté v myčce na nádobí. S materiály bylo pracováno v laboratoři v laminárním boxu, aby byl zajištěn správný odtah vzduchu. To bylo zcela nezbytné, protože se pracovalo s chemikáliemi a vysoce reaktivním Fentonovým činidlem. Postup rozkladu byl nalezen v článku „*Investigation and analysis of microplastics in sewage sludge and biosolids: A case study from one wastewater treatment works in the UK*“.

Rozklad suchého **vzorku** spočíval v tom, že se nejdříve připravil roztok FeSO_4 . Na to bylo potřeba 1000 ml destilované vody, která byla odměřena ve velkém odměrném válci a následně přelita do skleněné lahve z borosilikátového skla. K tomu bylo přidáno 15 g $\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$. Na automatické váhy se umístila 100 ml kádinka a pomocí kovové lžičky se odebralo 15 g hyptahydrátu síranu železnatého. Ten byl opatrně přesypán do destilované vody a celý roztok byl zamíchán skleněnou tyčinkou. Následně se vytvořený roztok přemístil do laminárního boxu, kde byla připravena skleněná pipeta, pipetovací nástavec a koncentrovaná kyselina sírová (95 %). Do roztoku se napipetovaly 3 ml kyseliny sírové a výsledný roztok byl zase zamíchán skleněnou tyčinkou. Kyselina sírová se přidává z důvodu, aby nedošlo k tvorbě železitých usazenin.

Následovala **příprava kalu** a jeho rozklad. Nejprve byly na automatických vahách naváženy 2 g suchého kalu do malé kádinky, ty se následně přesunuly do 1000 ml

Erlenmayerovy baňky. Pomocí 300 ml odměrného válce bylo odměřeno 250 ml peroxidu vodíku a ten byl nalit do baňky s kalem. Kal se začal pomalu rozpouštět a započala probíhat reakce. Roztok byl průhledný s malými kousky rozpouštějícího se kalu. Cca po 5 minutách bylo k tomuto roztoku opatrně po skleněné tyčince přidáno 300 ml roztoku FeSO_4 vytvořeného v přechodním kroku. Po zamíchání začala reakce pomalu probíhat a barva roztoku byla červeno-hnědá. Roztok začal nejprve pomalu bublat a postupem času se zahřívat. Po 15-30 minutách se zahřál natolik, že ho bylo nezbytné umístit do mísy s ledem, aby se zchladil. Teplota byla neustále kontrolována pomocí doteku. Ideální bylo přerušované chlazení, které zabránilo vypěnění roztoku ven z baňky. Intenzivní reakce probíhala přibližně 20 minut a poté se nechala samovolně doběhnout. Po ukončení reakce se barva roztoku změnila na světle žlutou. S vytvořeným roztokem se pracovalo až druhý den, aby se reakce dokončila a roztok vychladl. Tímto postupem bylo rozloženo celkem 12 g vzorku kalu (i půdy).



Obrázek 20 - ukázka změny barvy během reakce

Následující den byl roztok okometricky prozkoumán, zda se v něm nenacházejí větší kusy, které by filtr ucply. V případě, že by se tam částice nacházely, byl by roztok přefiltrován přes jemné kovové sítko. V případě, že nebyly nalezeny žádné velké částice, byl filtrován vakuovou filtrační aparaturou stejně jako vzorky přítoku, odtoku i vody ze sušičky na prádlo. Filtrovalo se 800 ml tekutiny svrchní části, poté 800 ml střední části a nakonec 800 ml spodní části. Filtrace probíhala velmi rychle a byla rozdělena na tyto tři části z důvodu, že MP částice mohou být lehčí, ale i těžší než voda.

Se zbylými 200 ml tekutiny byla snaha dále pracovat. Hledaly se metody, které by umožnily zpracování zbylé tekutiny. Především se zjišťovalo množství, které bude ideální pro filtraci, aby se nevytvořila velká vrstva nerozloženého materiálu, která by byla nepoužitelná pro pozorování. Nejprve se vyzkoušelo zfiltrovat celých 200 ml tekutiny

s velmi jemným materiálem na dně. Filtrace probíhala rychle, ale bohužel se na filtru vytvořila cca centimetrová vrstva jemného materiálu. Takto vytvořený filtr byl nepoužitelný pro elektronovou mikroskopii a materiál z filtru byl opatrně seškrábnut zpět do nádoby a nechal se usadit.

Druhý způsob spočíval v použití pipetovacího nástavce s 25, 10 a 2 ml skleněnou pipetou. Suspenze se nejprve řádně rozmíchala, aby se částice pěkně rozmělnily a následně se nabralo požadované množství. Napoprvé bylo vyzkoušeno 25 ml kalové suspenze a 175 ml destilované vody. Po přefiltrování zůstala na filtru velká krusta částic, která byla stále nepoužitelná pro další zpracování. Následně bylo vyzkoušeno 10 ml kalové suspenze se 190 ml destilované vody. Po zfiltrování se i v tomto případě vytvořila velká krusta. Ideální se proto zdálo být množství 2 ml kalové suspenze doplněné jen malým množstvím destilované vody. Takto bylo vytvořeno 5 vzorků, které byly následně pozorované elektronovým mikroskopem. Pozorování však stále komplikoval vyskytující se nerozložený materiál, a proto nebylo zbylé množství tekutiny v tomto výzkumu dále použito.



Obrázek 21 - rozkládající se kal v ledové lázni a rozložený kal

2.3 Postup přípravy a značení vzorků

Po přefiltrování daného množství odpadní vody (většinou se jednalo o 400–500 ml) byl filtr opatrně vyndán pinzetou do skleněné **Petriho misky**. Ta byla pro přehlednost nadepsána základními informacemi. Každý vytvořený vzorek byl číslován, opatřen datem i druhem filtru a množstvím tekutiny, které skrz něj proteklo. Víčko se chvíli nechalo jen mírně pootevřené, aby mohl filtr volně schnout a druhý den se vzorek uzavřel a umístil do exsikátoru. Dlouhodobější otevření Petriho misky by mohlo způsobit kontaminaci vzorků mikroplasty ze vzduchu.



Obrázek 22 - vytvořené vzorky

2.3.1 Omezení kontaminace

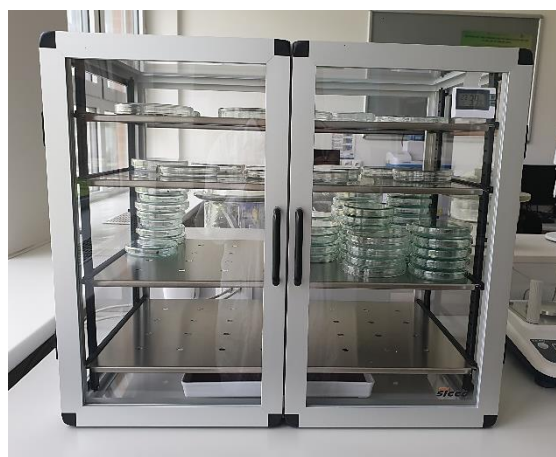
Po celou dobu manipulace se vzorky byly nasazeny nitrilové rukavice a bavlněný laboratorní plášť. K výzkumu byl použit pouze skleněný materiál, který byl před použitím vyčištěn v myčce na nádobí a vysterilizován v autoklávu. Všechny nádoby byly před použitím promyty deionizovanou vodou. Pracovní stůl byl čištěn pomocí válečku s lepidlovým povrchem, aby se odstranil všechen prach. Během analýz vzorku byly připraveny také kontrolní vzorky, zda nedošlo během procesu ke kontaminaci.

2.4 Uchování vzorků

Všechny vytvořené vzorky byly uchovávány v **exsikátoru**. Jedná se o zařízení, které slouží k uložení vzorků citlivých na vlhkost. K dispozici byly dva typy, první v pořadí byl klasický **tlustostěnný** skleněný **exsikátor** složený ze dvou částí. Vzorky se ukládají dovnitř na perforovanou destičku, pod kterou se nachází miska se sušidlem. Sem byly vloženy vzorky po vakuové filtraci. Druhý dostupný byl **skříňový exsikátor**, sloužící

k dlouhodobému uchování vzorků. Má stěny z průhledného plexiskla, tudíž je na vzorky velmi dobře vidět a je opatřen hliníkovým rámem. V pravém horním rohu je vlhkoměr, který ukazuje aktuální vlhkost a teplotu uvnitř. Do tohoto typu byly vzorky ukládány až po naprášení nebo pozorování ve skenovacím elektronovém mikroskopu. Doba, potřebná k úplnému vyschnutí vzorku byla cca 48 hodin.

Uložení vzorků v exsikátoru bylo nezbytné, protože pro pozorování ve skenovacím elektronovém mikroskopu musí být vzorek zcela suchý. Pokud by tomu tak nebylo, došlo by vlivem vody k potrhání filtru a pozorování by nebylo možné.



Obrázek 23 - tlustostěnný a skříňový exsikátor

2.5 Naprášení vzorků

Naprašování je elementární metoda, která složí k homogenizaci vzorků a přípravě nevodivých nebo špatně vodivých preparátů. Tvorba takovýchto vzorků je nutná pro pozorování v elektronovém skenovacím mikroskopu. Vzhledem k tomu, že vytvořené vzorky na polyethylenovém filtru nebyly vůbec vodivé, bylo zcela nezbytné jejich naprášení specifickým přístrojem **Leica EM ACE 200**. Přístroj obsahuje komoru s vysokým vakuem (dodáváno vývěvou) a tlakem (používán argon), dále stůl, na který je umístován vzorek a plíšek kovu, ze kterého dochází k uvolňování částic.

Vzorky byly pinzetou opatrně vyndány ze skleněné Petriho misky a umístěny na stůl uvnitř komory. Upevnily se držáky, aby se filtr při naprašování neposouval. Zapnul se přívod pro plyny a na přístroji se nastavila tloušťka naprášení. Všechny vzorky byly naprašeny **zlatem** o tloušťce **9 nm**. Zkoušelo se i naprašování platinou, ale v porovnání se zlatem nebyl patrný žádný rozdíl.

2.6 Pozorování vzorků

Připravené Petriho misky se vzorky k pozorování byly vyjmuty z exsikátoru a umístěny na pracovní plochu v laboratoři. Pro manipulaci se vzorky byly potřeba určité komponenty. Jednalo se především o posuvný stolek na vzorek do mikroskopu, o pinzety, uhlíkovou pásku a nůžky. **Stolek** bylo možné posouvat vertikálně v závislosti na výšce pozorovaného objektu. Používané filtry byly velmi tenké, tudíž byl stolek umístěn do té nevyšší polohy. Uhlíková **páska** slouží k uchycení filtru na posuvném stolku a zajišťuje také vodivé spojení se vzorkem. Veškerá manipulace se vzorky musí být prováděna v rukavicích.

Před manipulací se vzorkem byly nasazeny gumové laboratorní rukavice, vzorek byl z Petriho misky opatrně vyndán pinzetou a umístěn na mikroskopový stolek. Z obalu byla vyndána uhlíková páska, která se nastříhala na 3 tenké proužky. Těmi se pomocí **pinzety** upevnil filtr na stolek. Takto připravený filtr na stolku mohl být umístěn do skenovacího elektronového mikroskopu.

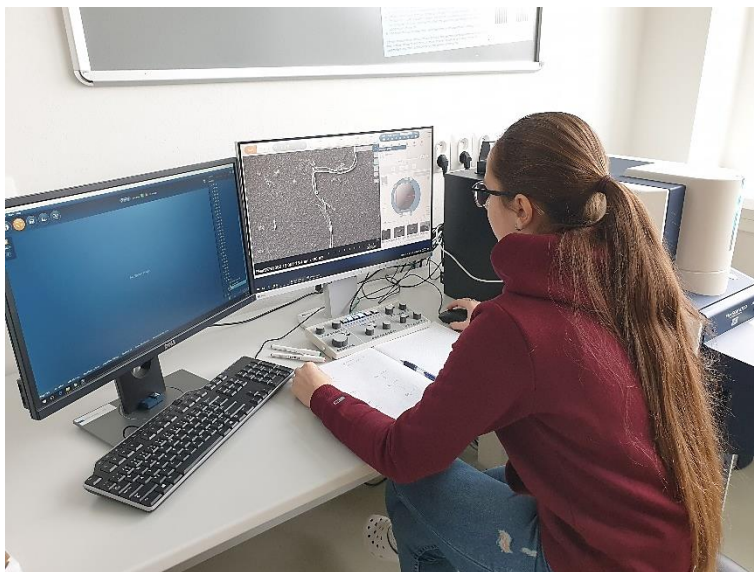


Obrázek 24 - potřebné vybavení k umístění vzorku na držák

2.6.1 Postup detekce mikročástic pomocí skenovacího elektronového mikroskopu

K pozorování vzorků byl použit **skenovací elektronový mikroskop (SEM)** HITACHI FlexSEM 1000. Jedná se o jeden ze dvou typů elektronových mikroskopů, který pro zobrazení vzorku používá sekundární elektrony. SEM je umístěn ve velké laboratoři, protože se jedná o rozměrově velké zařízení s vývěvou, zajišťující vytvoření vakua. Připravený stůl s filtrem byl umístěn do mikroskopové komory, následně došlo k vyfocení umístěného filtru a komora byla uzavřena. Pomocí vývěvy došlo k nafoukání vakua a vzorek mohl být pozorován ve specifickém programu na monitoru.

Vhledem k tomu, že se u odebraného materiálu předpokládal odlišný výskyt mikroplastů, byly stanoveny **dvě metody**, jakým se mikroplasty nalezené na filtrech analyzovaly. Provedeny byly také kontrolní vzorky, aby se zjistilo, zda je předpoklad správný a vybraná metoda bude pro analýzu vhodná.



Obrázek 25 - analýza MP částic v SEM

2.6.1.1 Zkoumání celého filtru

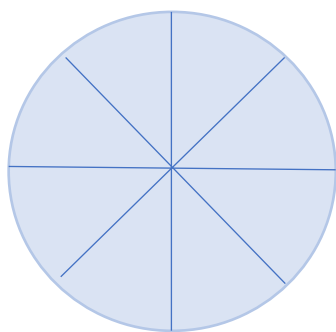
V případě, že se v odebraném vzorku nepřepokládal velký výskyt mikroplastových částic, byl filtr prozkoumán velmi detailně neboli úplně celý.

Tento postup byl proveden u:

1. Vzorků z přítoku. I přesto, že se zde předpokládal velký výskyt mikroplastů, vzorky byly velmi zaneseny organickým materiálem, tudíž bylo nezbytné podrobné prozkoumání celého filtru.
2. Vzorků z odtoku. Ve vzorkách se předpokládal malý nález mikroplastů a nenacházel se tam skoro žádný organický materiál.
3. Vzorků vody z potoka. Voda byla bez organického materiálu a výskyt mikroplastů se nepředpokládal.
4. Vzorků nekontaminované půdy. U vzorků vytvořených z půdy neobsahující kal nebyl předpoklad pro velké množství MP a organického materiálu tam bylo viditelné pouze malé množství.

Postup provedení:

Mikroplasty byly hledány na celém filtru v předem určených směrech. Základní byly horizontální a vertikální směry, které byly doplněny o další dva (viz obrázek č. 26). Zvolené zvětšení bylo vybráno na základě předchozích pozorování jako ideální pro odhalení velkých i menších mikroplastových částic, hodnota zvětšení byla 50x.



Obrázek 26 - směry pozorování mikroplastů ve vzorku

2.6.1.2 Statistická metoda

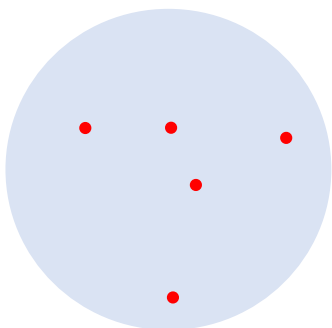
U vzorků, ve kterých se předpokládal velký výskyt mikroplastů, byla zvolena statistická metoda.

Jednalo se o:

1. Vzorky vody ze sušičky. Ve vzorcích se předpokládal velký výskyt MP, protože sušené textilie byly i z umělých materiálů.
2. Vzorky suchého kalu. Ten je předpokládán akumulátor MP, tudíž u všech vzorků byla zvolena statistická metoda.

Postup provedení:

Na každém filtru bylo náhodně vybráno celkem 5 míst, ve kterých byla spočítána všechna mikroplastová vlákna. Tento typ vláken byl vybrán hned z několika důvodů – jednalo se o nejčastěji se vyskytující druh mikroplastu, který je rozeznatelný na první pohled a měl by být nejvíce zastoupený v odpadních vodách a ve vodách ze syntetického oblečení. Místa analýzy byla při pozorování každého vzorku zvolena náhodně tak, aby se nepřekrývala a se zvětšením 50 x (viz obrázek č. 27).



Obrázek 27 - ukázka náhodných míst pro pozorování vláknitých mikroplastů

Pro tento typ analýzy se předpokládalo, že filtrovaná tekutina protékala přes filtr rovnoměrně. K filtraci byl použit polyethylenový filtr, který je homogenní a díky tomu to bylo možné. U všech vybraných míst bylo dodržováno stejné zvětšení, tudíž bylo snadné změřit velikost vybraného místa přímo v mikroskopu. Velikost filtru byla uvedena přímo na jeho obale.

Pomocí zjištěných hodnot byl vypočítán povrch filtru a obsah pozorovaného obdélníku. Pomocí poměru nebo trojčlenky byla vypočítána výsledná hodnota vláken nacházejících se na celém filtru. Jednalo se o nejlepší možné řešení pro zjištění počtu částic na filtru, kde se nacházelo takové množství částic, které by nebylo možné jednotlivě spočítat.

2.6.2 Postup identifikace částic pomocí elektronové disperzní spektrometrie

Elektronově disperzní spektrometrie (EDS) je metoda, kterou je možné identifikovat prvkové složení pozorované částice. V praxi to fungovalo tak, že obraz z SEM byl přenesen do EDS softwarové platformy AZtecOne. Tam byla vybrána částice vypadající jako mikroplast, na které se kurzorem označilo několik bodů. Právě v těchto místech bylo zjištěno prvkové složení analyzované částice. Na základě získaných dat, vizuálního zhodnocení a porovnání s odbornou literaturou bylo určeno, zda se o mikroplastovou částici jednalo nebo ne.



Obrázek 28 - EDS metoda

3 Výsledky

V této kapitole jsou prezentovány získané výsledky z vytvořených vzorků. Po odběru materiálu potřebného k výzkumu bylo nejprve nutné si vzorek pořádně prohlédnout, zda neobsahuje makroskopické plastové částice. To však bylo vyloučeno u každého z nich, a tak byly všechny vzorky podrobeny analýze mikroskopických plastových částic.

U vzorků kalu a zemědělské půdy bylo možné velmi dobře rozlišit, o jaké typy mikroplastů se z hlediska velikosti hustoty jedná. Protože se filtrace rozloženého materiálu prováděla po částech, bylo možné zjistit, jaké množství mikroplastů tvořily mikroplasty s nižší, střední i vyšší hustotou než má voda.

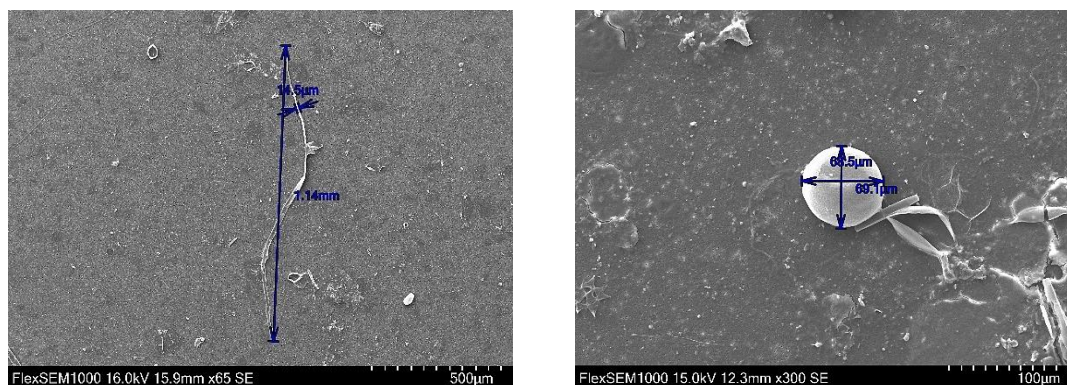
3.1 Identifikace mikroplastových částic

Nalezené mikroplastové částice byly identifikovány na základě tří kritérií. První dvě kritéria byla stanovena na základě okometrického posouzení - velikost a tvar. Pokud byla nalezena nějaká částice, která velikostně i tvarově odpovídala mikroplastové částici, byl použit EDS detektor, kterým se zkoumaná částice buď potvrdila jako mikroplastová nebo ne.

3.1.1 Identifikace na základě velikosti

Jak již bylo zmíněno v teoretické části o mikroplastech (1.3.1), mikroplasty jsou částice o velikostech menších než 5 mm. Při pozorování v elektronovém mikroskopu se však jedná o poměrně velké částice, které jsou mnohdy velmi dobře viditelné i při nízkém zvětšení. Toto platí především pro vlákna. Obtížněji se detekují mikroplastové fragmenty nebo kuličky, které mají menší velikost a je nutné využít možnost většího zvětšení.

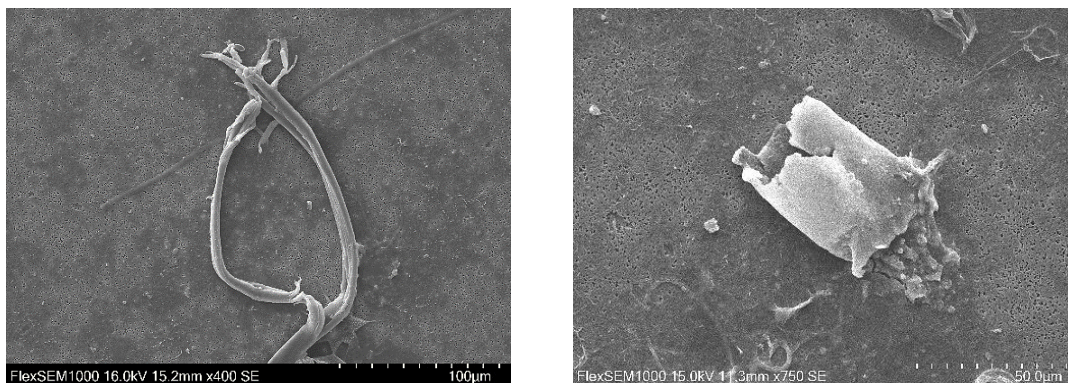
Velikost zkoumané částice se dá ověřit přímo během pozorování v SEM viz obr. č. 29.



Obrázek 29 - zobrazení velikosti mikroplastové částice

3.1.2 Identifikace na základě tvaru

Druhým kritériem, které bylo možné posoudit pouhým okem, byl tvar částice. Mikroplastové částice jsou většinou charakteristické svým vzhledem, a tudíž je lze relativně snadno detekovat. Ve většině případech mají roztřepené konce, nebo je na nich vidět, že se jedná o útržky.



Obrázek 30 - roztřepený tvar mikroplastových částic

3.1.3 Identifikace na základě EDS detektoru

EDS detektor byl posledním krokem k oficiálnímu vyhodnocení zkoumané částice. Jak již bylo zmíněno v kapitole 2.6.2. Jde o specifický detektor, díky kterému je možné zjistit prvkové složení konkrétního místa na hodnocené částici. Mikroplastová částice by ideálně měla obsahovat pouze kyslík a uhlík ve velkém počtu, ale většina částic nebyla takto čistá. Mikroplasty obsahovaly i stopy síry, dusíku, železa apod...

Na částici, kterou chceme detekovat, se označí jeden nebo několik bodů, ve kterých bude zjištěno prvkové složení (viz obrázek č. 31).



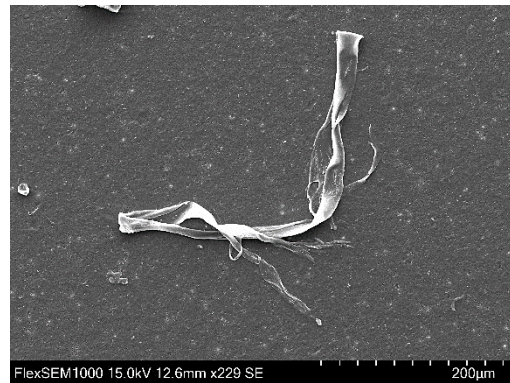
Obrázek 31 - EDS detektor při měření

3.2 Typy nalezených mikroplastových částic

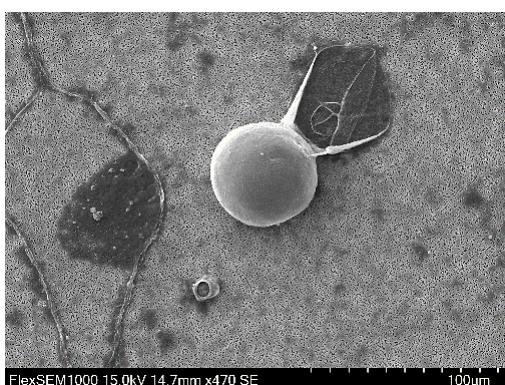
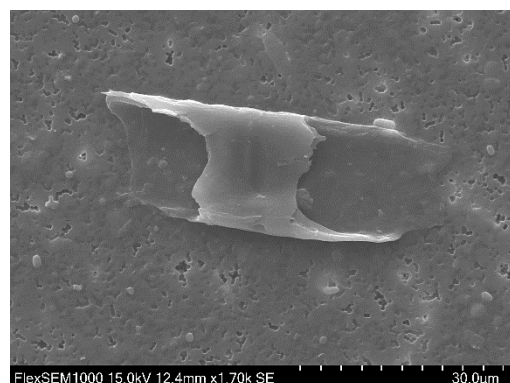
Nalezeny byly celkem tři druhy mikroplastových částic. Jednalo se o vlákna, která se vyskytovala nejčastěji a byla celkem snadno identifikovatelná. Druhým nejčastějším typem byly fragmenty a posledním druhem byly mikroplastové kuličky. Ty se definitivně potvrdily vždy až pomocí EDS detektoru, protože se snadno daly zaměnit se zrnky písku. EDS detektor je ale pomocí prvkového složení odlišil.



Obrázek 32 - mikroplastové vlákno



Obrázek 33 - mikroplastový fragment



Obrázek 34 - mikroplastová kulička



3.3 Vyhodnocení analýz prvního odběru

Ve všech vytvořených vzorcích z prvního odběru byly nalezeny mikroplastové částice různých tvarů i velikostí. V tabulce č. 1 jsou uvedeny výsledné počty vláken, fragmentů i kuliček. V prvním odběru byly odebrány 4 l odpadní vody z přítoku a odtoku, 12 g kalu i nekontaminované půdy, 4 l vody z domácí sušičky na prádlo a 4 l vody z potoka.

Z výsledků uvedených v tabulce č. 1 je patrné, že čistírna odpadních vod dokáže zachytit značné množství mikroplastů v kalu. I přesto byly nalezeny mikroplasty ve vyčištěné vodě v místě odtoku do recipientu. Dále je možné z výsledků zjistit, že naše příroda je kontaminovaná mikroplastovými částicemi i v místech, kde by neměly být žádné zdroje znečištění. Ve vodě z potoka bylo nalezeno nepatrné množství částic stejně jako v půdě ze zemědělského pole. Extrémní množství částic bylo nalezeno ve vzorcích vody z domácí sušičky na prádlo a tím bylo potvrzeno jejich uvolňování během sušení.

Tabulka 1 - výsledky z prvního odběru

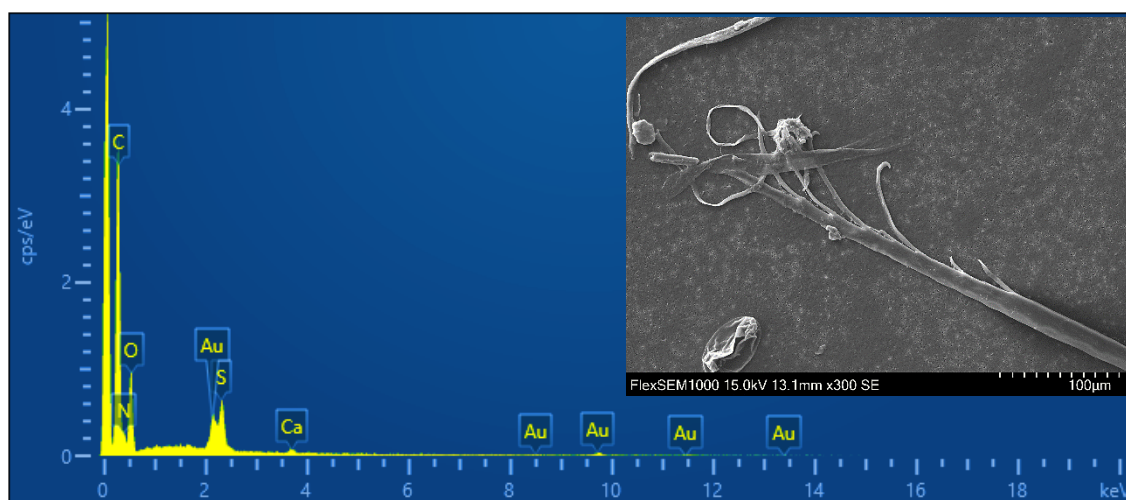
Druh odpadní vody, kal, půda	Počty mikroplastových částic a jejich druh
Voda ze sušičky na prádlo	47 255 vláken
Voda z přítoku na ČOV	381 vláken, 21 fragmentů, 1 kulička
Voda z odtoku z ČOV	111 vláken, 12 fragmentů, 8 kuliček
Rozložený kal	18 260 vláken
Voda z potoka	13 vláken, 6 fragmentů
Rozložená kontaminovaná půda	23 vláken, 2 fragmenty

Výsledky jsou prezentovány ve formě 4 analýz v rámci každé sekce odběrového materiálu. Z uvedených tabulek a obrázků je viditelné, že u mikroplastů převažují prvky kyslík a uhlík. Doplněny bývají nejčastěji železem, vápníkem, sodíkem nebo hliníkem. V nepatrném množství se mohou objevit i další prvky.

3.3.1 Voda ze sušičky na prádlo

Ve vodě ze sušičky na prádlo bylo nalezeno největší množství mikroplastových vláken ze všech odebraných substancí. Vlákna byla jasně viditelná, nepřekrýval je organický materiál ani jiné nečistoty. Měla charakteristický tvar i velikost, byla dostatečně dlouhá a často na koncích roztřepená. Ve 4 l vody bylo nalezeno 47 255 mikroplastových vláken. Výsledky naznačují, že vláken se během sušení syntetických textilií uvolní velké množství, které odchází do odpadních vod.

1. analýza

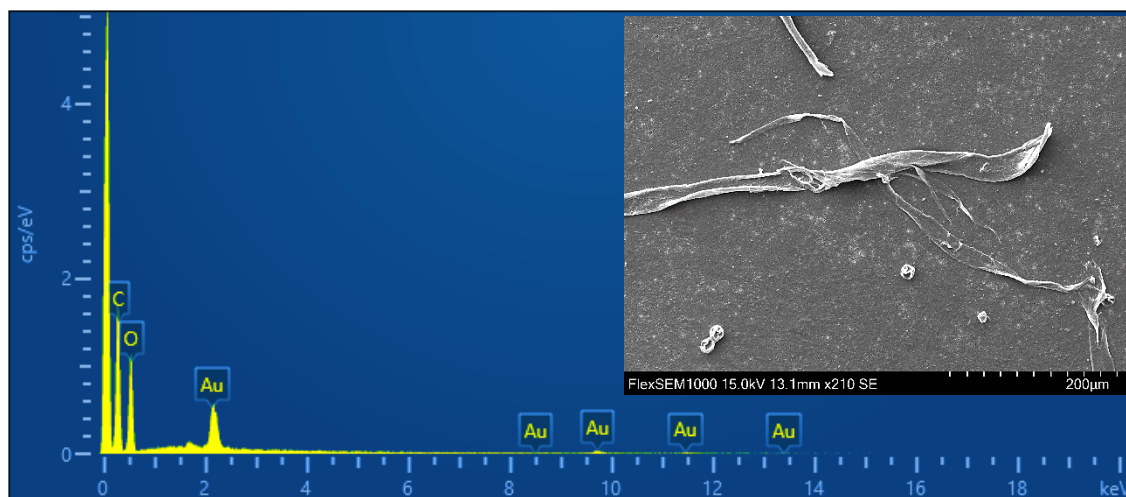


Obrázek 35 - EDS spektrum vody ze sušičky na prádlo 1

Tabulka 2 - prvkové zastoupení 1

druh prvku	zastoupení v %
C	59,05
O	22,17
S	1,02
Ca	0,12
N	17,65

2. analýza

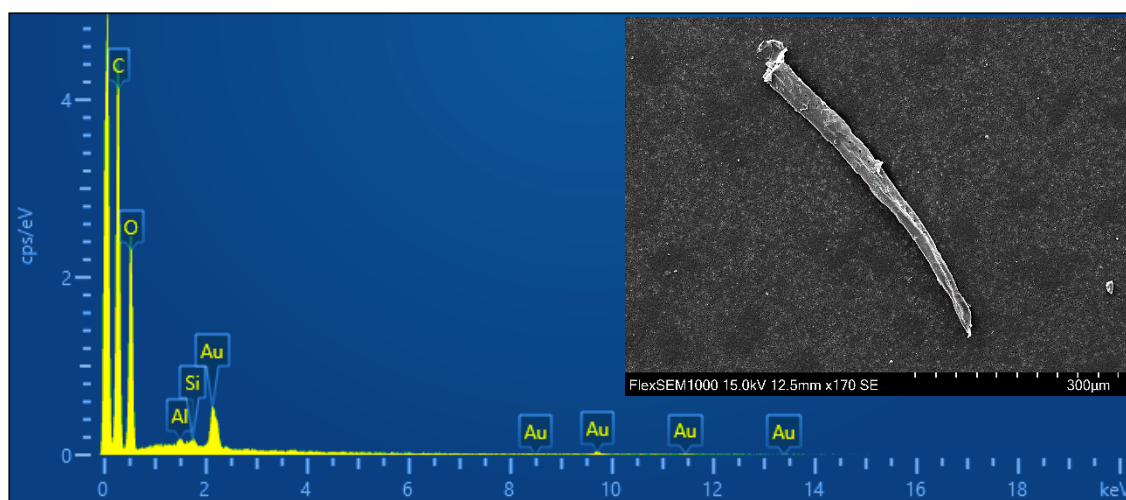


Obrázek 36 - EDS spektrum vody ze sušičky na prádlo 2

Tabulka 3 - prvkové zastoupení 2

druh prvku	zastoupení v %
C	61,64
O	38,13

3. analýza

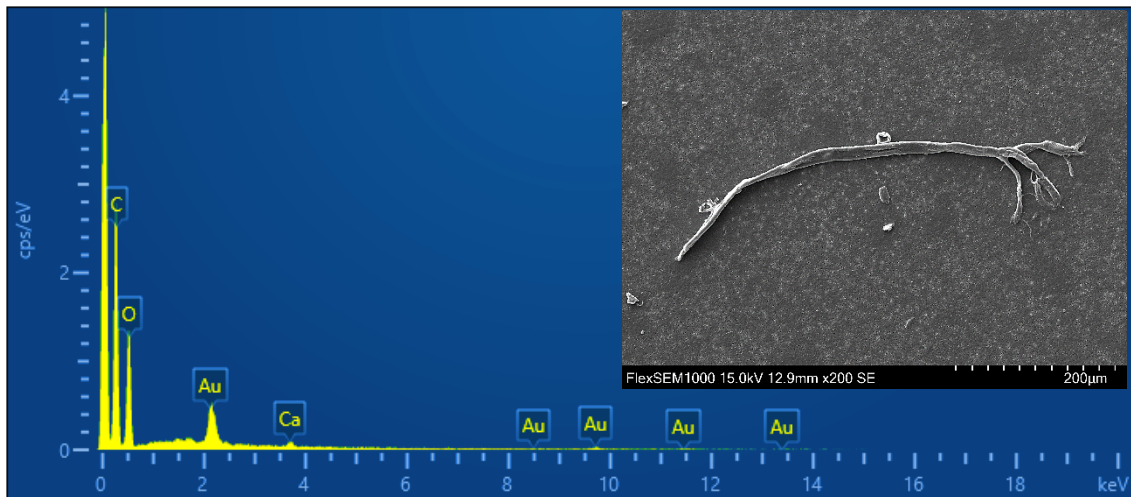


Obrázek 37 - EDS spektrum vody ze sušičky na prádlo 3

Tabulka 4 - prvkové zastoupení 3

druh prvku	zastoupení v %
C	61,64
O	38,13
Al	00,12
Si	0,11

4. analýza



Obrázek 38 - EDS spektrum vody ze sušičky na prádlo 4

Tabulka 5 - prvkové zastoupení 4

druh prvku	zastoupení v %
C	63,30
O	36,47
Ca	0,23

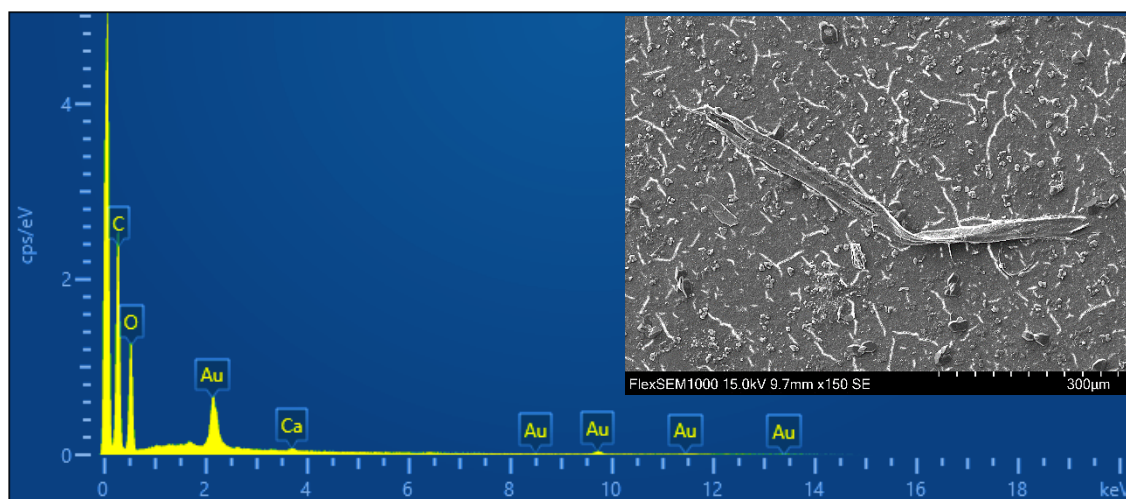
3.3.2 Voda z přítoku

Voda z přítoku byla největším problémem při zpracování i při pozorování. Vzorky byly zaneseny organickým materiálem, který zakryl řadu částic, které nebylo možné pozorovat a zahrnout do analýzy. I přesto se ve vzorkách podařilo objevit 402 mikroplastových částic, z toho 381 vláknitých mikroplastů. Vláknina měla charakteristický tvar i velikost.

Při pozorování nastaly problémy v případě, že byl filtr pokryt souvislou vrstvou organického materiálu, která po uschnutí popraskala. Organický materiál i po naprášení vzorku 9 nm zlata způsoboval značné nabíjení filtru a mikroplastové částice byly více osvětlené.

Mimo mikroplastové částice a organické znečištění byly ve vzorkách vody z přítoku nalezeny také některé druhy zelených řas.

1. analýza

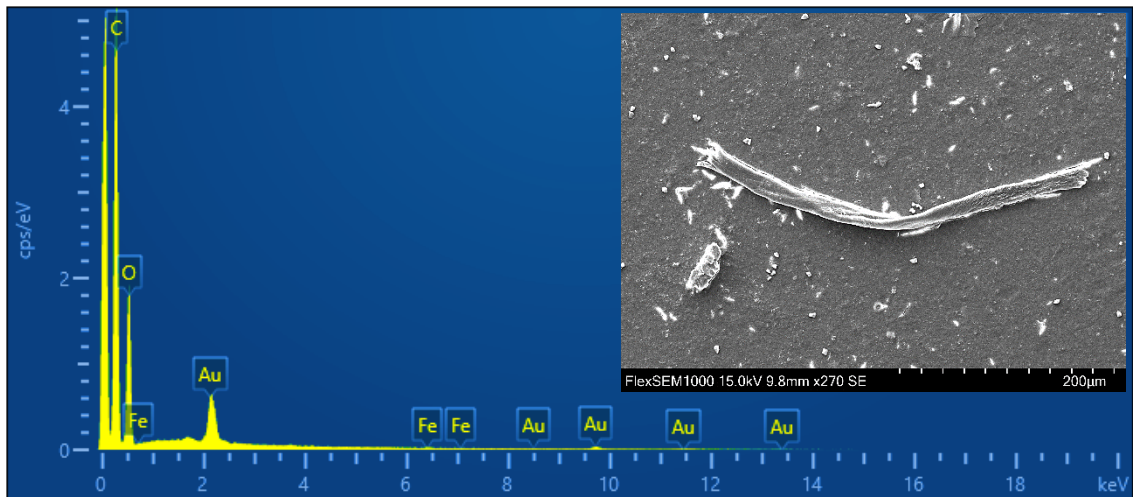


Obrázek 39 - EDS spektrum vody z přítoku 1

Tabulka 6 - prvkové zastoupení 1

druh prvku	zastoupení v %
C	63,15
O	36,72
Ca	0,13

2. analýza

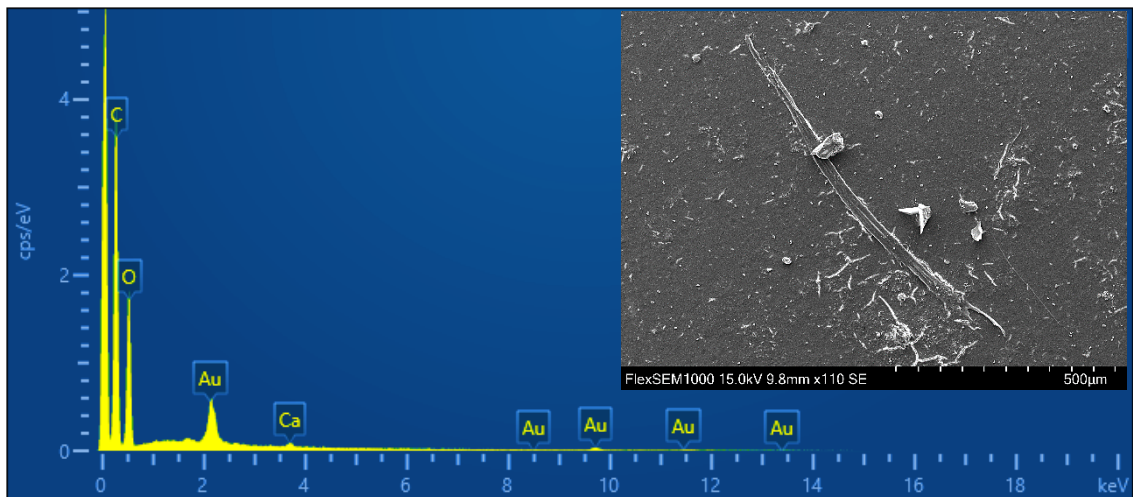


Obrázek 40 - EDS spektrum vody z přítoku 2

Tabulka 7 - prvkové zastoupení 2

druh prvku	zastoupení v %
C	67,78
O	32,15
Fe	0,07

3. analýza

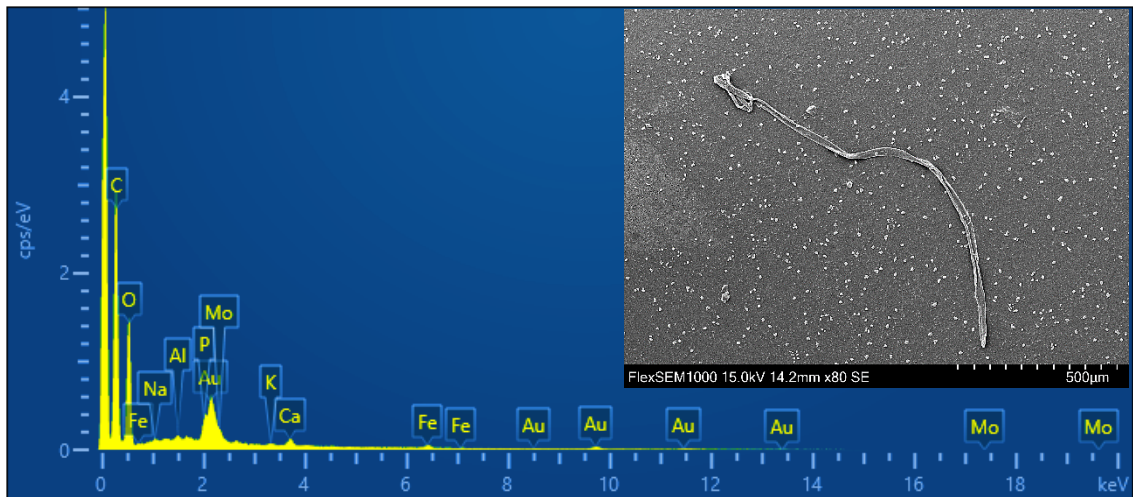


Obrázek 41 - EDS spektrum vody z přítoku 3

Tabulka 8 - prvkové zastoupení 3

druh prvku	zastoupení v %
C	64,28
O	35,59
Ca	0,12

4. analýza



Obrázek 42 - EDS spektrum vody z přítoku 4

Tabulka 9 - prvkové zastoupení 4

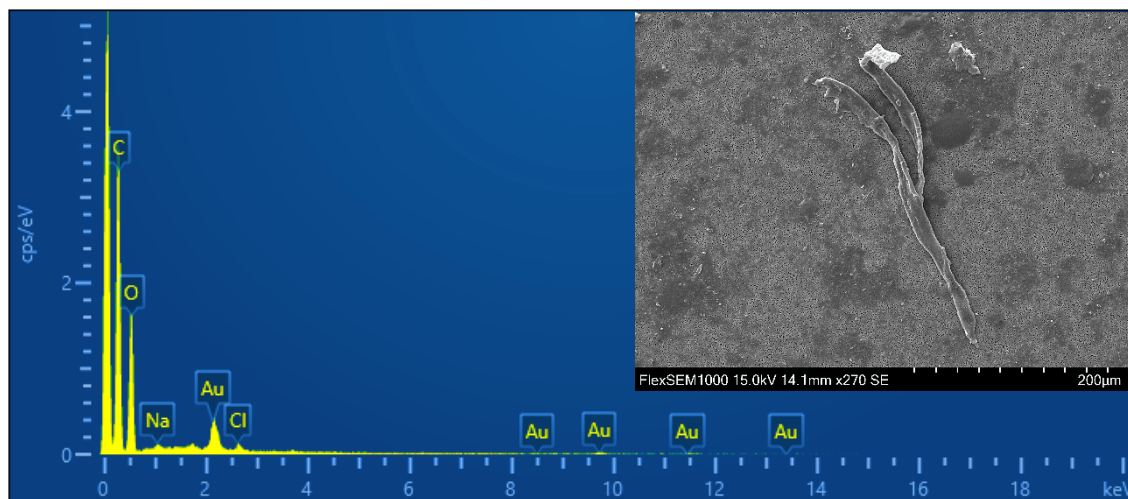
druh prvku	zastoupení v %
C	63,01
O	35,05
Ca	0,28
Fe	0,29
K	0,7
P	1,31

3.3.3 Voda z odtoku

V rámci prvního odběru byly analyzovány celkem 4 l odpadní vody z odtoku. Voda na první pohled neobsahovala žádné makroskopické částice a nebyla ani zbarvena. Filtrace netrvala dlouhou dobu jako u jiných typů odpadních vod. Ve 4 l bylo nalezeno celkem 111 vláken, 26 fragmentů, 8 kuliček. Mikroplastové částice byly na vzorcích hledány bez větších problémů, protože se zde nenacházelo tak velké množství organického znečištění. Částice měly charakteristický tvar i roztřepené konce.

Také zde byly nalezeny druhy zelených řas i některé krytenky z rodu *cercozoa*, které nebyly zachyceny nebo zničeny během procesu čištění.

1. analýza

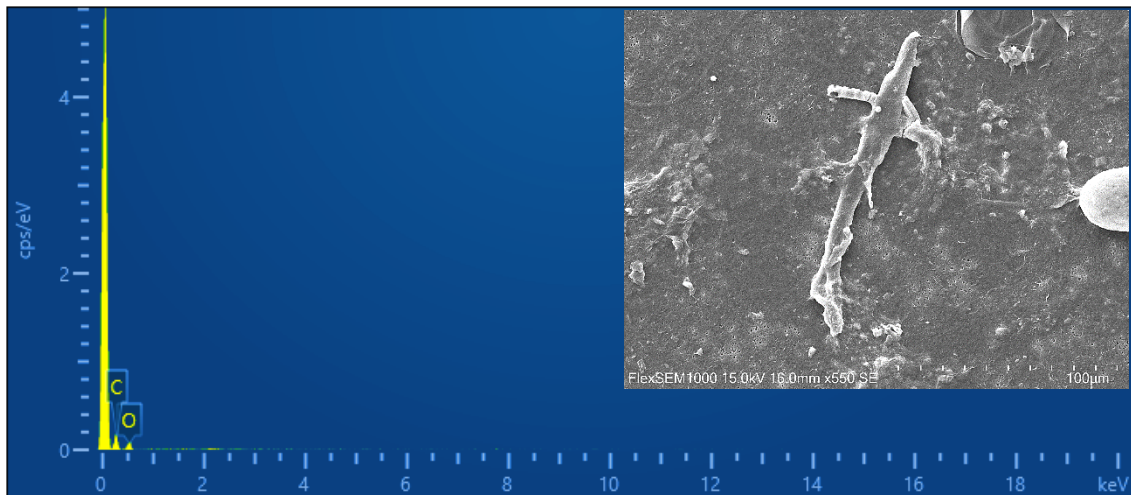


Obrázek 43 - EDS spektrum vody z odtoku 1

Tabulka 10 - prvkové zastoupení 1

druh prvku	zastoupení v %
C	74,31
O	24,41
Si	0,94
Ca	0,34

2. analýza



Obrázek 44 - EDS spektrum vody z odtoku 2

Tabulka 11 - prvkové zastoupení 2

druh prvku	zastoupení v %
C	71,86
O	28,14

3. analýza

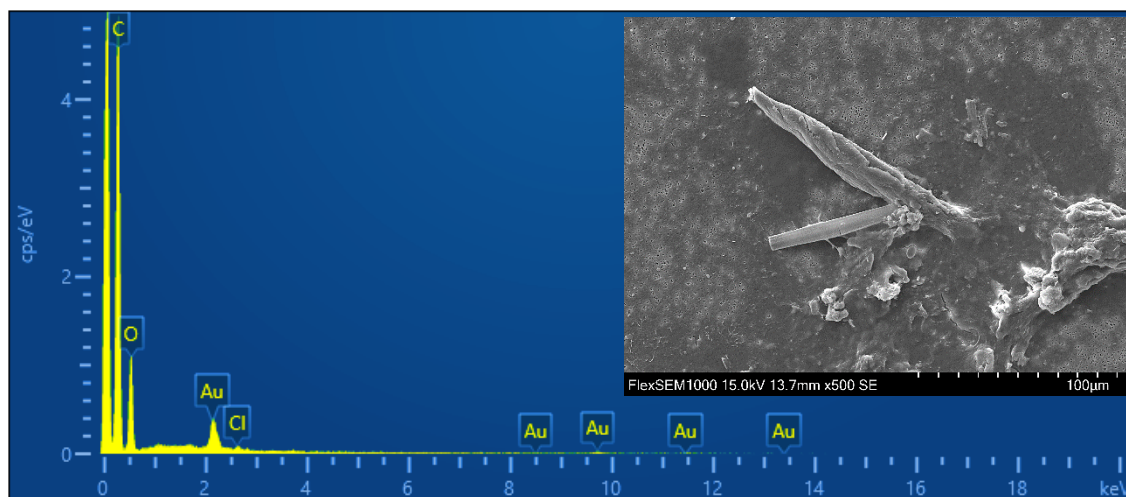


Obrázek 45 - EDS spektrum vody z odtoku 3

Tabulka 12 - prvkové zastoupení 3

druh prvku	zastoupení v %
C	68,46
O	31,54

4. analýza



Obrázek 46 - EDS spektrum vody z odtoku 4

Tabulka 13 - prvkové zastoupení 4

druh prvku	zastoupení v %
C	72,73
O	27,17
Cl	0,10

3.3.4 Rozložený kal

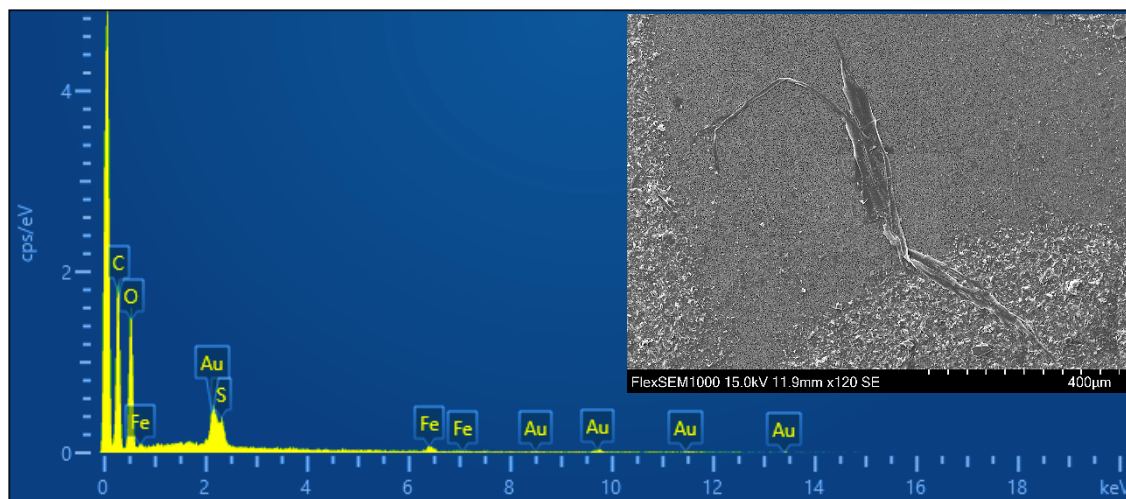
Rozložením 12 g kalu se vytvořilo 2600 ml tekutiny, která byla zfiltrována po 3 částech vakuovou filtrační aparaturou. Jednalo se o svrchní, střední a spodní vrstvu. Každá obsahovala 800 ml tekutiny. Rozděleno to bylo především z důvodu rozdílné hustoty plastových materiálů, ze kterých mikroplasty pocházejí. Hustotu mohou mít vyšší nebo nižší než voda, a proto se mohou nacházet na hladině nebo naopak u dna.

V každé vrstvě byly nalezeny mikroplastové částice, které měly roztržený vzhled. Ten byl pravděpodobně způsoben použitím Fentonova činidla. Analýza byla omezena pouze na mikroplastová vlákna, kterých se ve vzorcích nacházelo největší množství. Ve vzorku se však v malém zastoupení nacházely i jiné mikroplastové tvary.

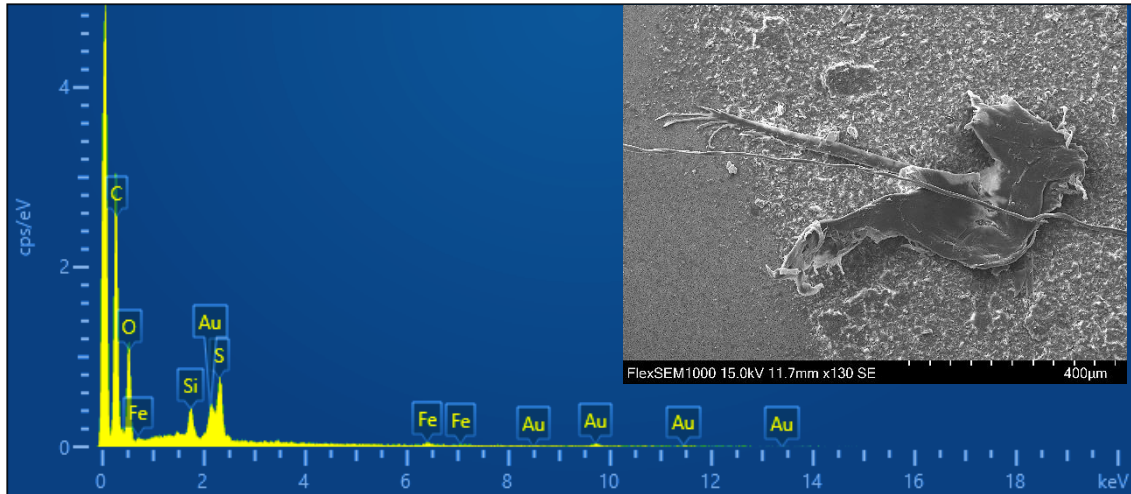
3.3.4.1 svrchní vrstva

Ve svrchní vrstvě bylo nalezeno největší množství mikroplastových vláken ze všech tří vrstev. Lze tedy říci, že většina mikroplastových vláken nacházejících se v čistírenském kalu má menší hustotu než voda a nachází se na jejím povrchu. V této vrstvě bylo nalezeno 12 337 vláken.

1. analýza



2. analýza



Obrázek 48 - EDS spektrum rozloženého kalu 2

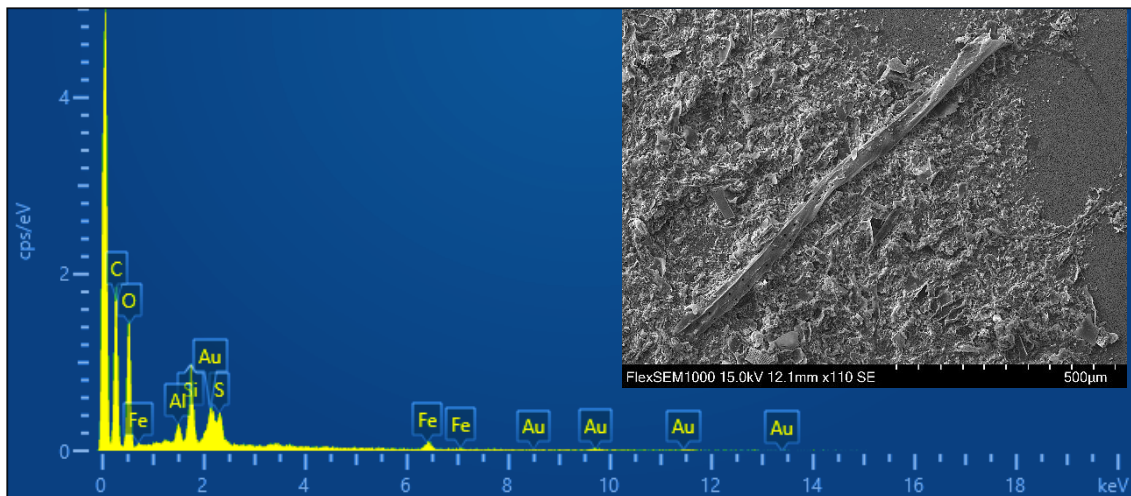
Tabulka 15 - prvkové zastoupení 2

druh prvku	zastoupení v %
C	70,01
O	27,50
S	1,64
Si	0,68
Fe	0,19

3.3.4.2 střední vrstva

Ve střední vrstvě se nacházelo cca poloviční množství mikroplastových vláken než ve svrchní vrstvě. Celkem zde bylo nalezeno 5 860 částic. Nalezená vlákna se žádným způsobem neodlišovala od vláken nalezených v první vrstvě.

1. analýza

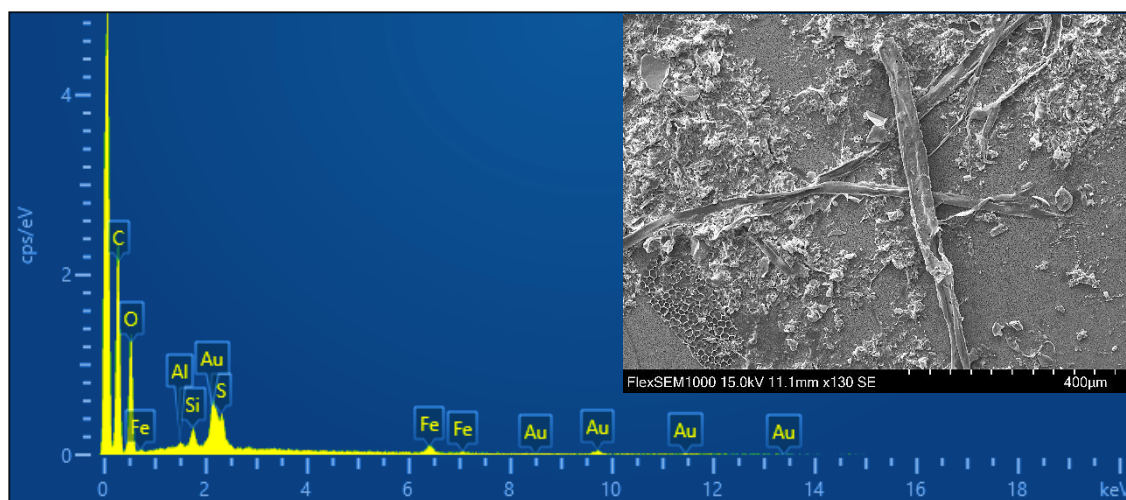


Obrázek 49 - EDS spektrum rozloženého kalu 1

Tabulka 16 - prvkové zastoupení 1

druh prvku	zastoupení v %
C	60,57
O	35,07
Si	2,17
Fe	0,77
S	0,86
Al	0,56

2. analýza



Obrázek 50 - EDS spektrum rozloženého kalu 2

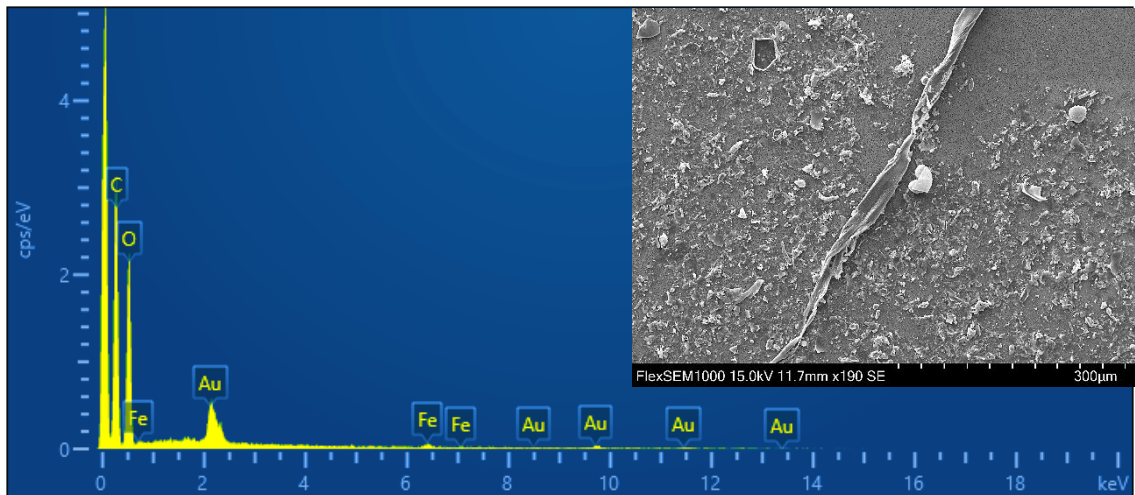
Tabulka 17 - prvkové zastoupení 2

druh prvku	zastoupení v %
C	64,79
O	32,94
Fe	0,76
Si	0,53
S	0,85
Al	0,13

3.3.4.3 spodní vrstva

V této vrstvě bylo nalezeno nejmenší množství částic – jednalo se o 63 mikroplastových vláken. Z tohoto výsledku je možné odvodit, že mikroplastové částice těžší než voda mají v kalu nejmenší zastoupení.

1. analýza

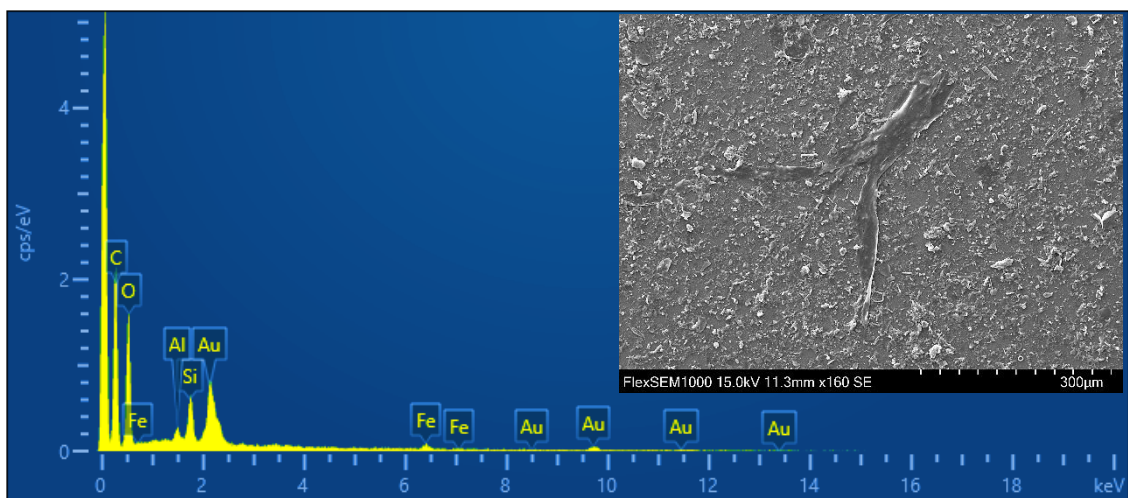


Obrázek 51 - EDS spektrum rozloženého kalu 1

Tabulka 18 - prvkové zastoupení 1

druh prvku	zastoupení v %
C	58,61
O	41,07
Fe	0,32

2. analýza



Obrázek 52 - EDS spektrum rozloženého kalu 2

Tabulka 19 - prvkové zastoupení 2

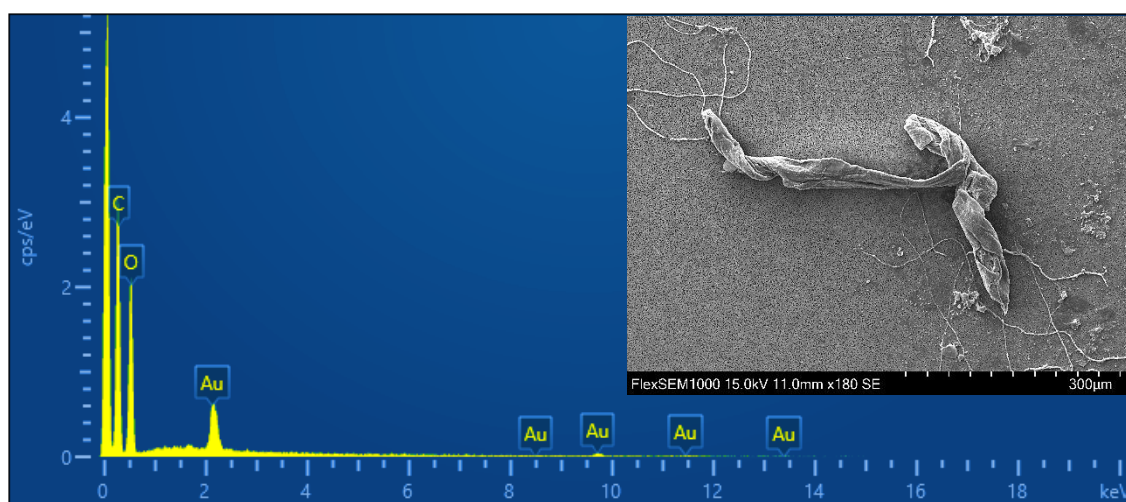
druh prvku	zastoupení v %
C	59,97
O	37,58
Fe	0,60
Si	1,44
Al	0,41

3.3.5 Voda z potoka

Přefiltrování 4 l vody z potoka na 4 filtry bylo unikátní a zcela jedinečné. V žádném dalším případě se nepodařilo přefiltrovat jeden litr vody přes jeden filtr. Mikroplasty ve vodě z potoka nebyly očekávané, a tudíž se s odběrem vody z potoka při druhém odběru nepočítalo. Po zpozorování vzorků bylo ale zjištěno, že se i ve vodě z potoka menší množství mikroplastových částic nachází, a tudíž byl proveden i druhý odběr, aby se výskyt potvrdil.

Ve vodě z prvního odběru bylo nalezeno celkem 13 mikroplastových vláken a 6 fragmentů. Jiné typy mikroplastů nalezeny nebyly. Částice byly velmi dobře pozorovatelné, protože voda v potoce je čistá a neobsahovala skoro žádné znečištění. Nalezeny zde byly rozsivky z rodu *Navicula*.

1. ukázka



Obrázek 53 - EDS spektrum vody z potoka 1

Tabulka 20 - prvkové zastoupení 1

druh prvku	zastoupení v %
C	59,38
O	40,62

2. ukázka

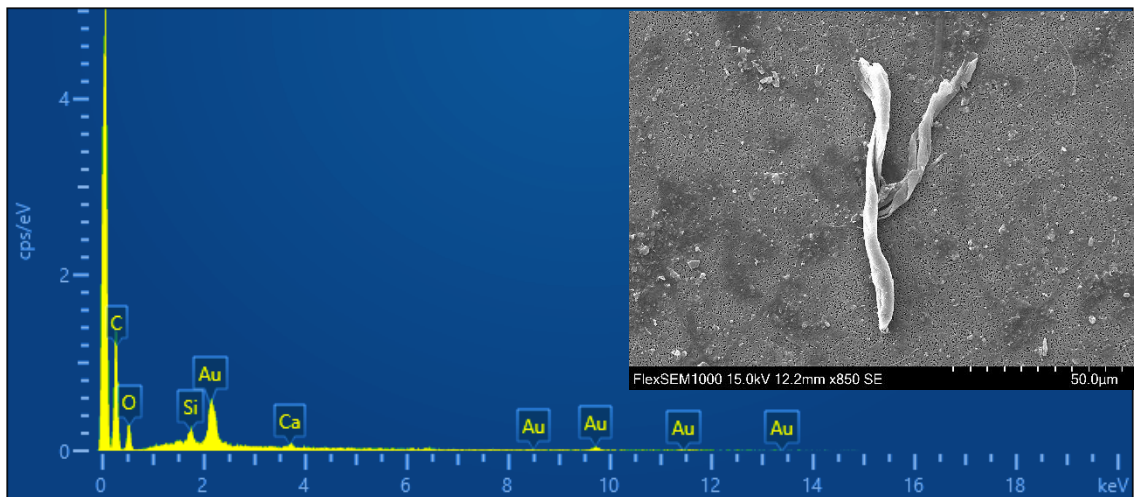


Obrázek 54 - EDS spektrum vody z potoka 2

Tabulka 21 - prvkové zastoupení 2

druh prvku	zastoupení v %
C	66,19
O	33,60
Si	0,21

3. analýza

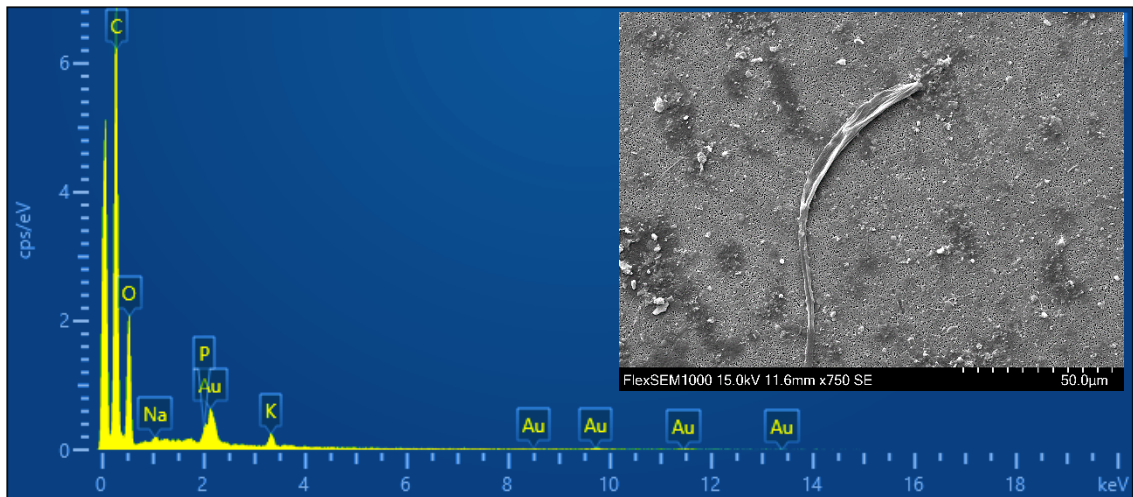


Obrázek 55 - EDS spektrum vody z potoka 3

Tabulka 22 - prvkové zastoupení 3

druh prvku	zastoupení v %
C	74,31
O	24,41
Si	0,94
Ca	0,34

4. analýza



Obrázek 56 - EDS spektrum vody z potoka 4

Tabulka 23 - prvkové zastoupení 4

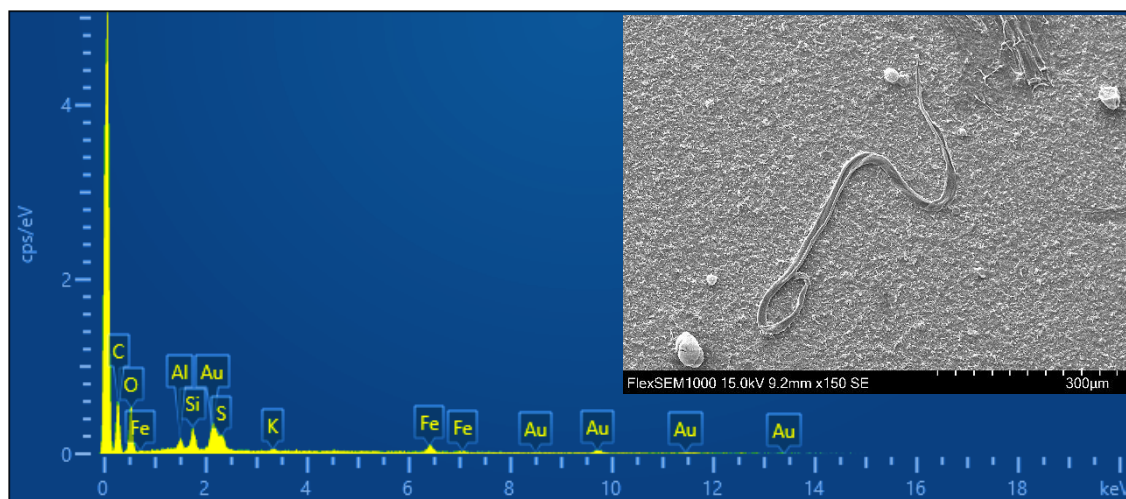
druh prvku	zastoupení v %
C	66,88
O	32,26
K	0,36
Na	0,21
P	0,29

3.3.6 Rozložená nekontaminovaná půda

Již po odpozorování prvního vytvořeného vzorku nekontaminované půdy bylo zřetelně viditelné, že se ve vzorkách nachází spousta velmi strukturovaných a členitých částic. Některé byly vláknité jako mikroplasty. Proto u nich byla provedena EDS analýza, která sice prokázala výskyt uhlíku a kyslíku ve velkém množství, ale tvarem, strukturou a velikostí se mikroplastovým částicím nepochodaly. Tudíž nebyly považovány za mikroplastové a nebyly zahrnuty do analýzy. Mikroplastových částic bylo ve vzorcích nalezeno jen nepatrné množství, a proto nejsou výsledky rozděleny do tří kategorií jako v případě kalu.

Mikroplastových částic s charakteristickým vzhledem bylo nalezeno jen 23.

1. analýza

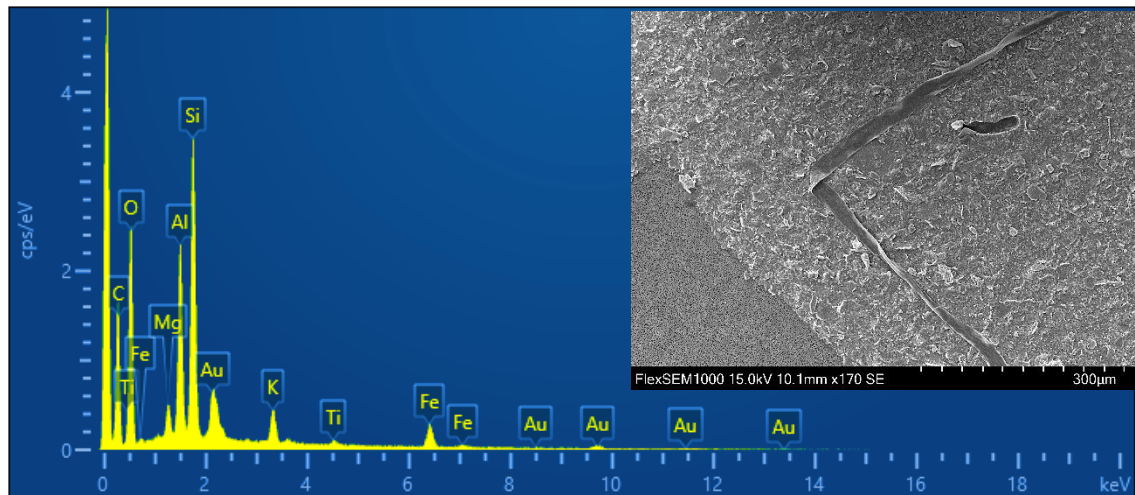


Obrázek 57 - EDS spektrum nekontaminované půdy 1

Tabulka 24 - prvkové zastoupení 1

druh prvku	zastoupení v %
C	57,82
O	35,53
Si	1,79
Fe	2,28
Al	0,91
S	1,68

2. analýza

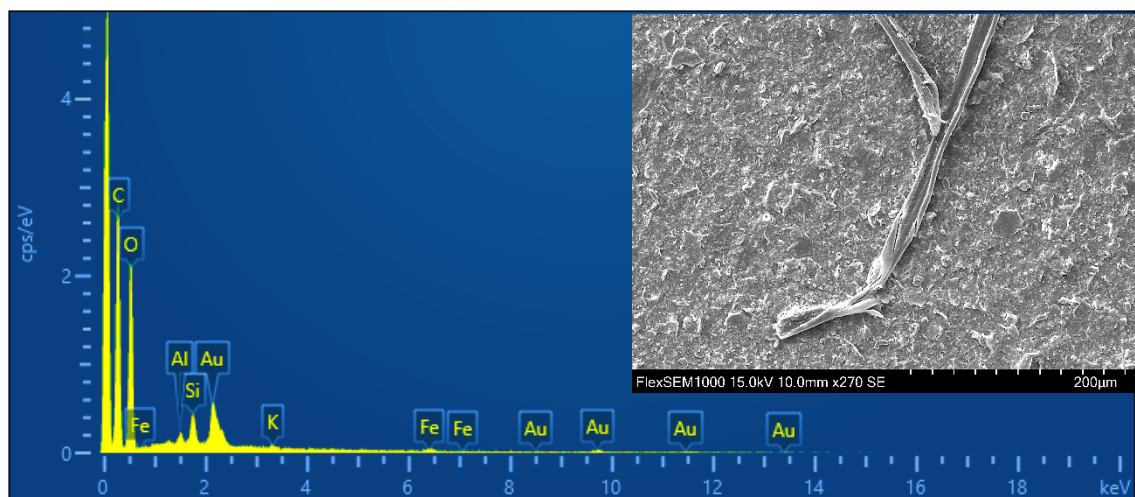


Obrázek 58 - EDS spektrum nekontaminované půdy 2

Tabulka 25 - prvkové zastoupení 2

druh prvku	zastoupení v %
C	48,81
O	37,35
Si	2,97
Fe	8,29
Al	0,91
S	1,67

3. analýza

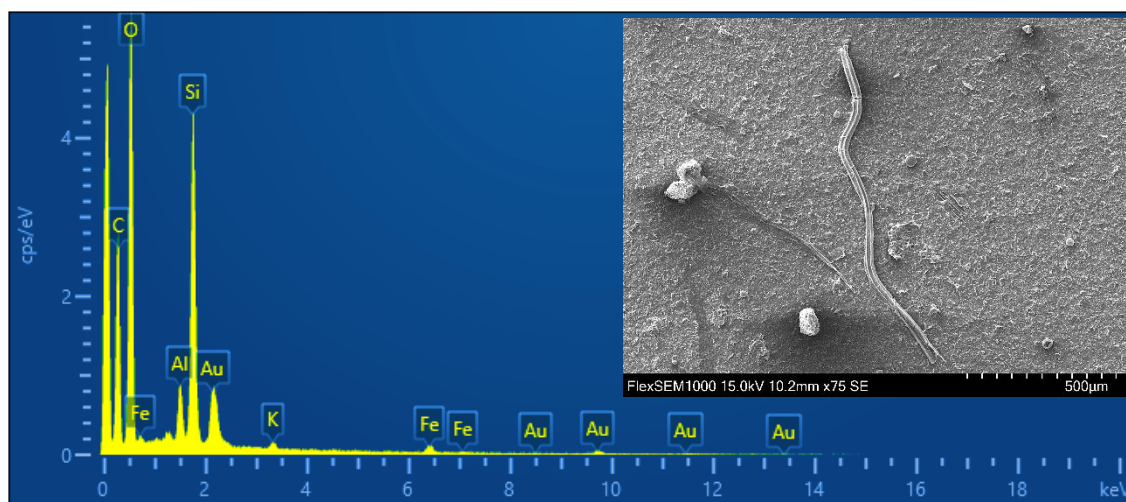


Obrázek 59 - EDS spektrum nekontaminované půdy 3

Tabulka 26 - prvkové zastoupení 3

druh prvku	zastoupení v %
C	56,50
O	42,13
Si	0,76
Fe	0,22
Al	0,29
K	0,10

4. analýza



Obrázek 60 - EDS spektrum nekontaminované půdy 4

Tabulka 27 - prvkové zastoupení 4

druh prvku	zastoupení v %
C	45,04
O	48,58
Al	0,91
Si	4,90
Fe	0,43
K	0,13

3.4 Vyhodnocení analýz druhého odběru

Ve všech vytvořených vzorcích z druhého odběru byly nalezeny mikroplastové částice. Výsledky byly srovnatelné se zjištěnými údaji z prvního odběru. Nejmenší množství bylo nalezeno ve vzorcích vody z potoka a nekontaminované půdy. Počet vláken ze vzorků vody z odtoku byl ve druhém odběru menší než v prvním odběru. Počty vláken nalezených v čistírenských materiálech, by mohly být ovlivněny provozem firmy Pleas a.s. V odpadní vodě z domácí sušičky na prádlo bylo nalezeno největší množství mikroplastových vláken z celého druhého odběru.

Vybraná vlákna, která prošla podrobnou analýzou, jsou uvedeny u každé kategorie. Zastoupení jednotlivých prvků v rámci jejich složení se nijak výrazně neliší od analýz z prvního odběru.

Tabulka 28 - výsledky z druhého odběru

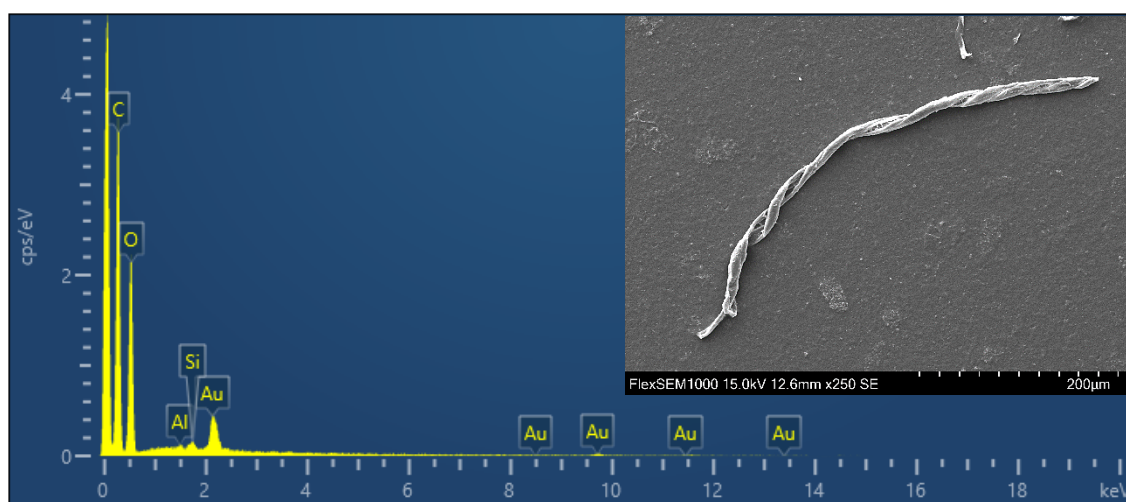
Druh odpadní vody, kal, půda	Počty mikroplastových částic a jejich druh
Voda ze sušičky na prádlo	44 857 vláken
Voda z přítoku na ČOV	368 vláken, 1 kulička
Voda z odtoku z ČOV	32 vláken, 15 fragmentů, 8 kuliček
Rozložený kal	17 133 vláken
Voda z potoka	18 vláken, 13 fragmentů
Rozložená kontaminovaná půda	27 vláken, 2 fragmenty

Výsledky jsou prezentovány shodně s prvním odběrem ve formě 4 analýz z každé sekce odběrového materiálu.

3.4.1 Voda ze sušičky na prádlo

Výskyt mikroplastových částic ve vodě ze sušičky byl potvrzen i druhým odběrem odpadní vody. Nalezeno bylo celkem 44 857 mikroplastových vláken. Ta se žádným způsobem výrazně neodlišovala od nalezených a zkoumaných částic z prvního odběru. Organický materiál nebránil pozorování, jen místy byly objeveny zrnka písku. Nalezena zde byla velikostně nejdelší vlákna.

1. analýza

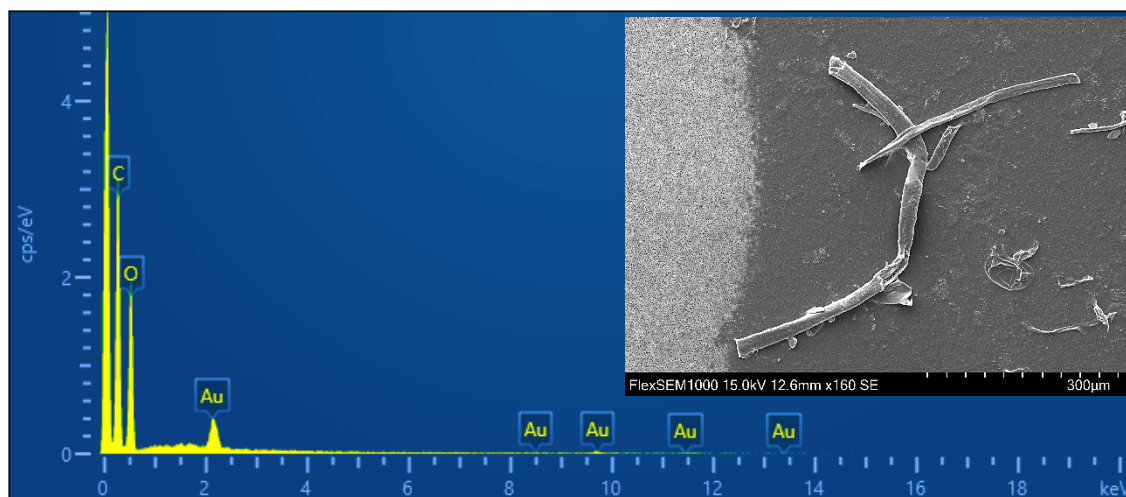


Obrázek 61 - EDS spektrum vody ze sušičky na prádlo 1

Tabulka 29 - prvkové zastoupení 1

druh prvku	zastoupení v %
C	60,73
O	39,05
Si	0,13
Al	0,09

2. analýza

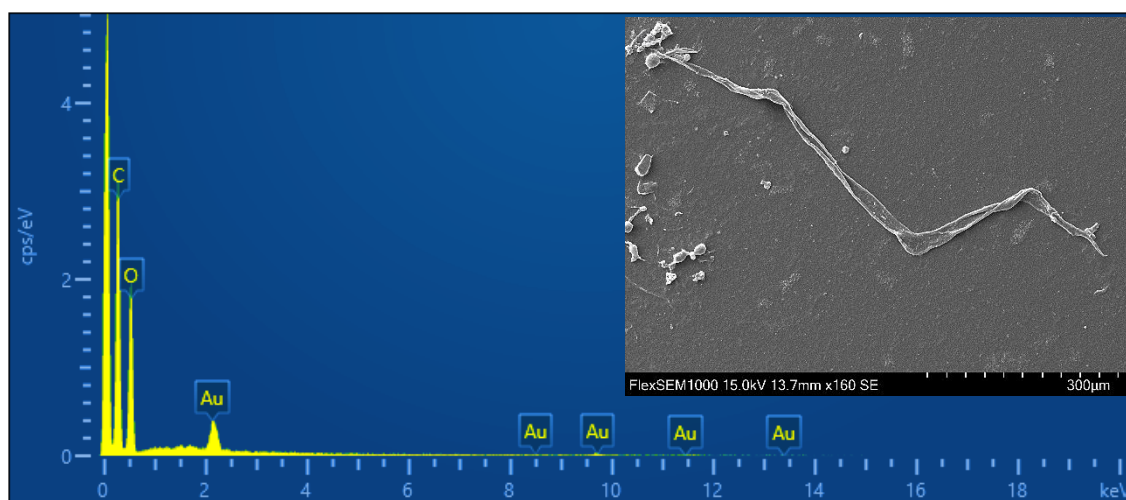


Obrázek 62 - EDS spektrum vody ze sušičky na prádlo 2

Tabulka 30 - prvkové zastoupení 2

druh prvku	zastoupení v %
C	58,47
O	41,53

3. analýza



Obrázek 63 - EDS spektrum vody ze sušičky na prádlo 3

Tabulka 31 - prvkové zastoupení 3

druh prvku	zastoupení v %
C	61,85
O	37,76

4. analýza



Obrázek 64 - EDS spektrum vody ze sušičky na prádlo 4

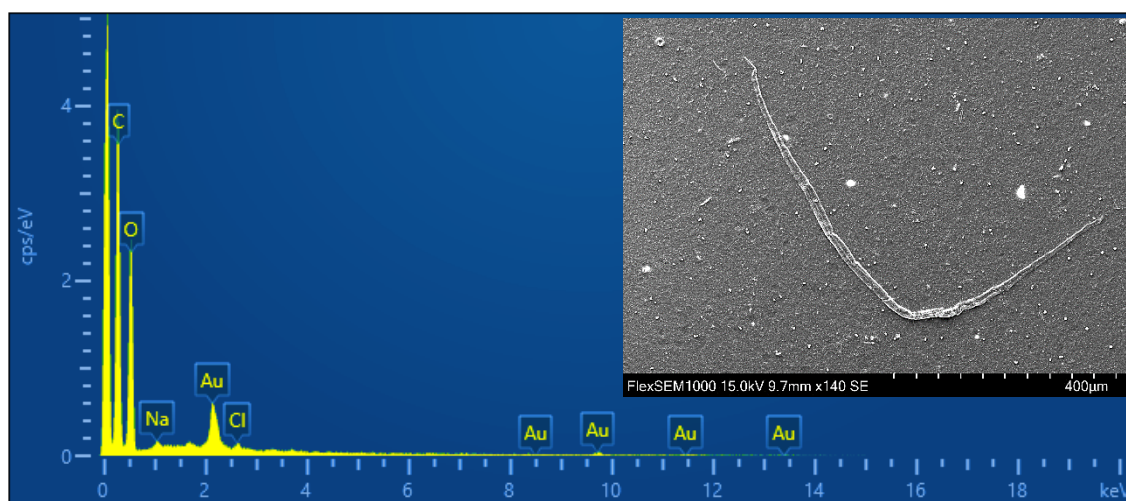
Tabulka 32 - prvkové zastoupení 4

druh prvku	zastoupení v %
C	61,85
O	37,76

3.4.2 Voda z přítoku

Ve čtyřech litrech odpadní vody z přítoku bylo nalezeno 210 vláknitých mikroplastů. Na základě dalších zjištěných výsledků je jisté, že na čistírnu musí přitékat větší množství mikroplastových částic, než bylo tímto výzkumem odhaleno. Problém při pozorování působil také skleněný filtr, který musel být použit k filtrování menšího množství odpadní vody z důvodu nedostatku filtrů polyetylenových. To pravděpodobně způsobilo nalezení menšího množství mikroplastových vláken, protože do něj část vláken zapadla.

1. analýza

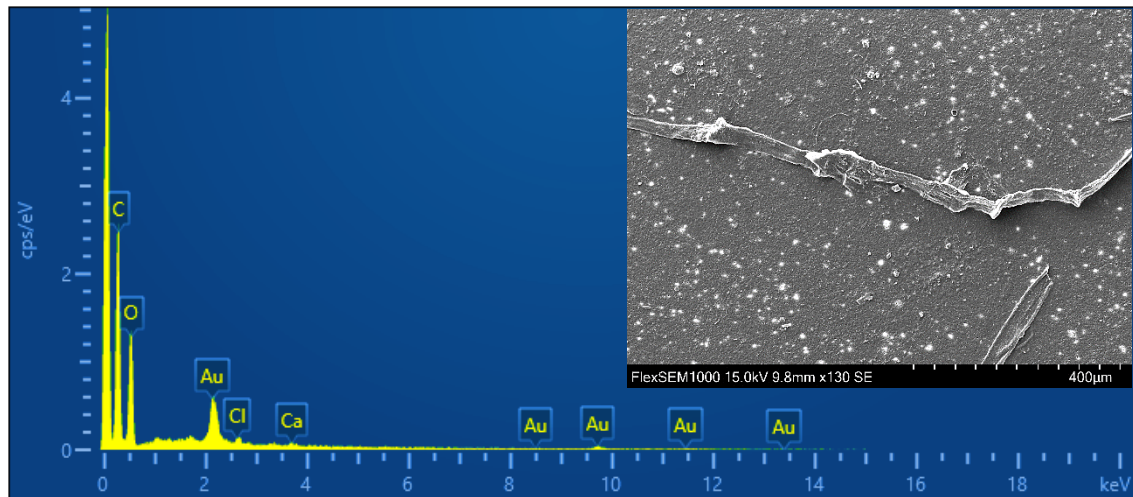


Obrázek 65 - EDS spektrum vody z přítoku 1

Tabulka 33 - prvkové zastoupení 1

druh prvku	zastoupení v %
C	63,83
O	34,58
Cl	0,64
Na	0,73
K	0,10
Ca	0,13

2. analýza

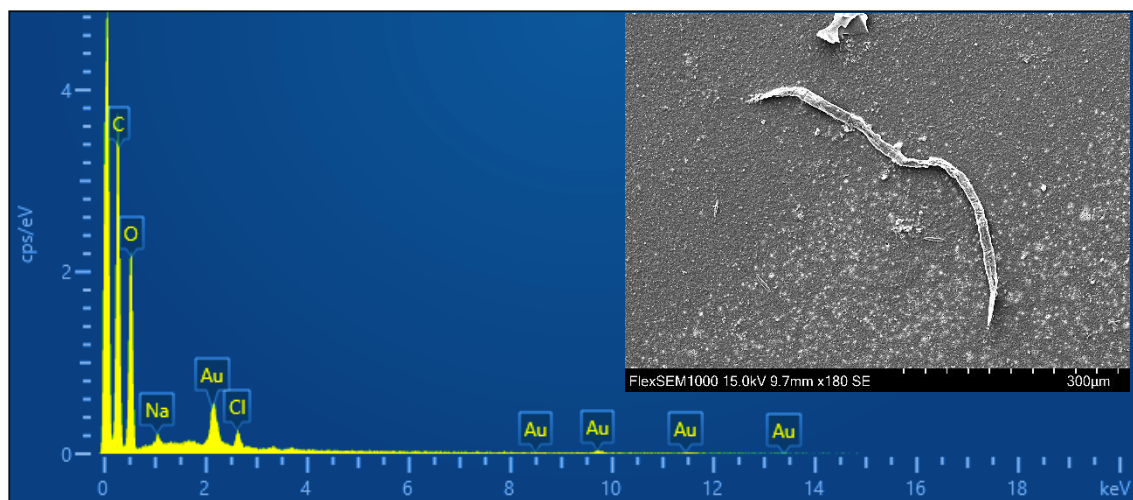


Obrázek 66 - EDS spektrum vody z přítoku 2

Tabulka 34 - prvkové zastoupení 2

druh prvku	zastoupení v %
C	60,87
O	38,79
Cl	0,23
Ca	0,11

3. analýza

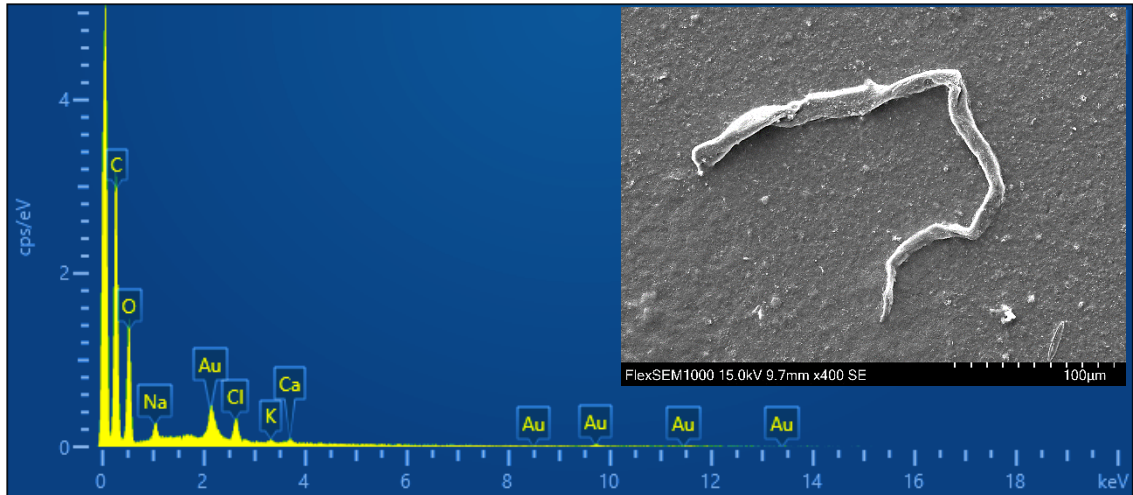


Obrázek 67 - EDS spektrum vody z přítoku 3

Tabulka 35 - prvkové zastoupení 3

druh prvku	zastoupení v %
C	60,83
O	35,53
Cl	0,64

4. analýza



Obrázek 68 - EDS spektrum vody z přítoku 4

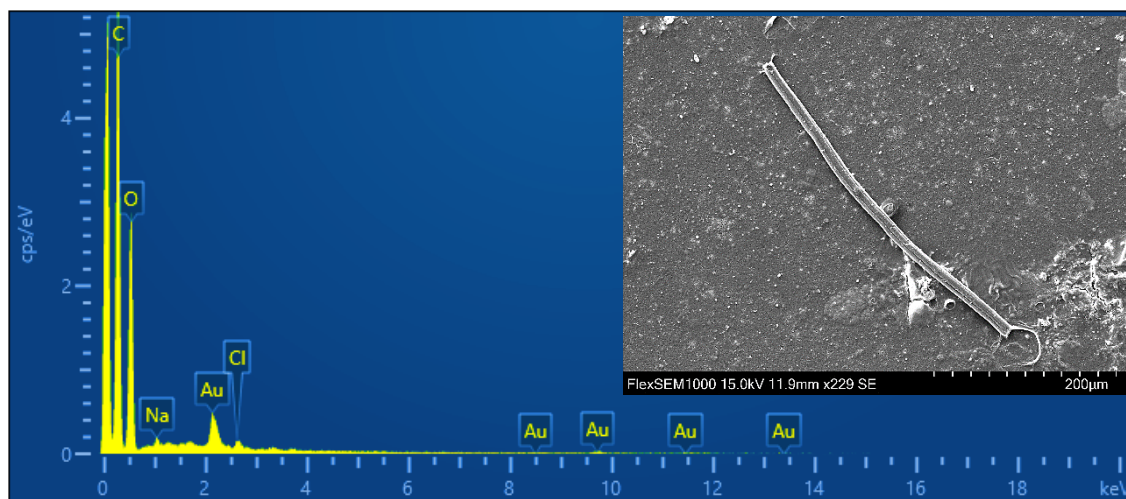
Tabulka 36 - prvkové zastoupení 4

druh prvku	zastoupení v %
C	59,36
O	40,33
Cl	0,12
Na	0,19

3.4.3 Voda z odtoku

Ve 41 vody z odtoku bylo nalezeno celkem 55 mikroplastových částic. Jednalo se o vlákna, fragmenty a kuličky. Ve srovnání s prvním odběrem bylo ve vodě nalezeno menší množství mikroplastových částic. Vzorčky byly pozorovány bez větších problémů, vlákna byla dobře viditelná, občas se mezi nimi objevily i krytenky a planktonní řasy.

1. analýza

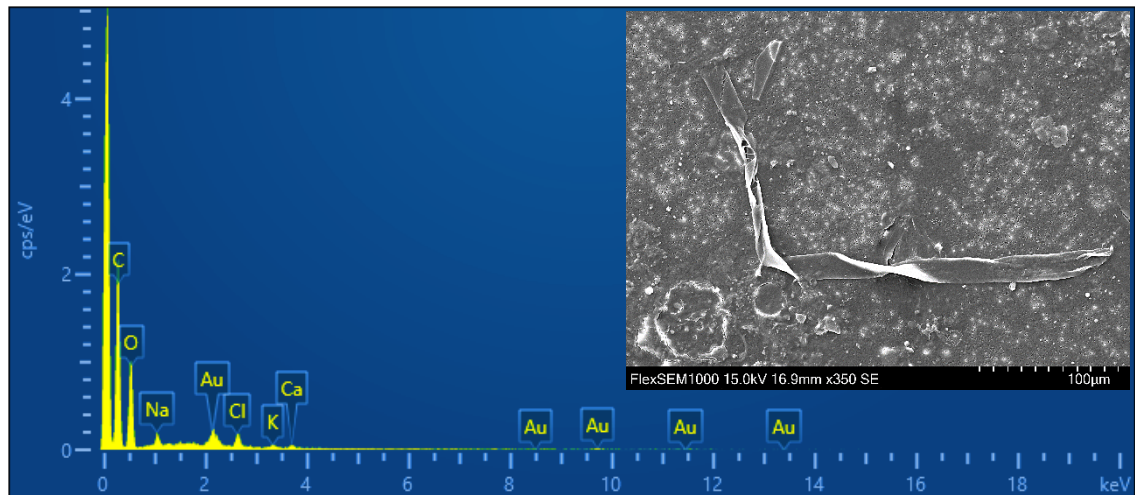


Obrázek 69 - EDS spektrum vody z odtoku 1

Tabulka 37 - prvkové zastoupení 1

druh prvku	zastoupení v %
C	61,85
O	37,76
Na	0,25
Cl	0,14

2. analýza

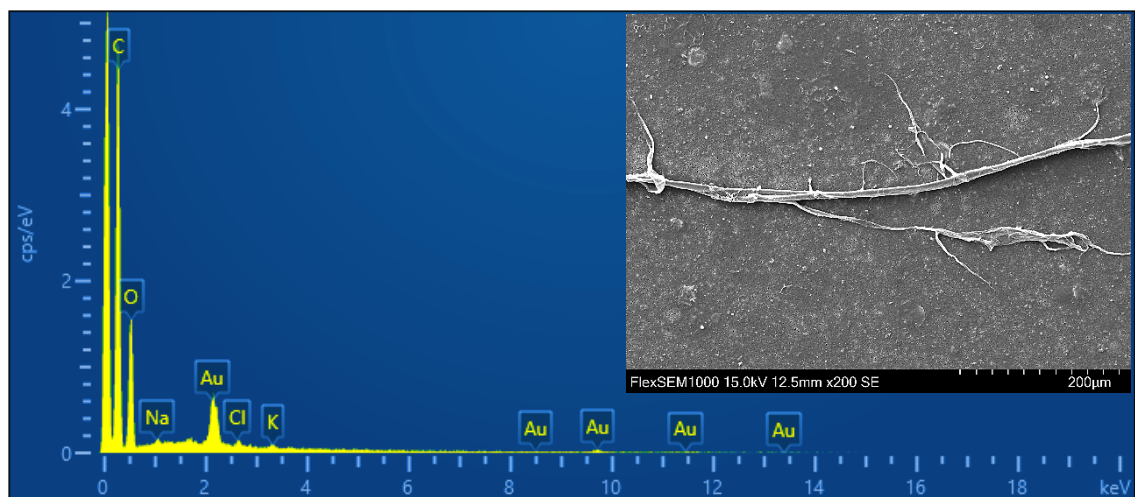


Obrázek 70 - EDS spektrum vody z odtoku 2

Tabulka 38 - prvkové zastoupení 2

druh prvku	zastoupení v %
C	62,01
O	36,32
Na	0,85
Cl	0,55
K	0,11
Ca	0,15

3. analýza

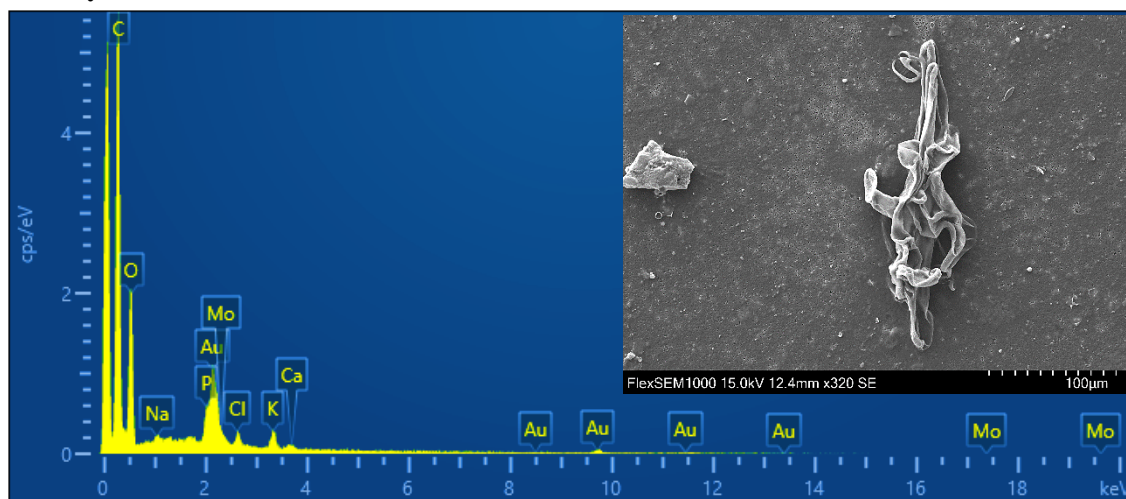


Obrázek 71 - EDS spektrum vody z odtoku 3

Tabulka 39 - prvkové zastoupení 3

druh prvku	zastoupení v %
C	67,66
O	31,94
Cl	0,13
Na	0,18
K	0,09

4. analýza



Obrázek 72 - EDS spektrum vody z odtoku 4

Tabulka 40 - prvkové zastoupení 4

druh prvku	zastoupení v %
C	69,86
O	28,72
K	0,34
Cl	0,21
P	0,55
Ca	0,33

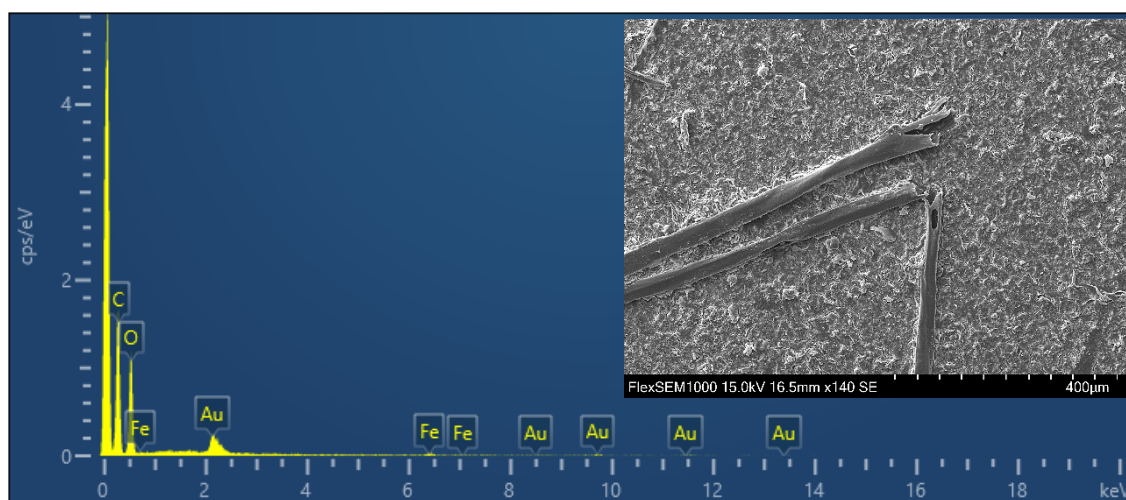
3.4.4 Rozložený kal

Tekutina vytvořená po filtraci 12 g kalu byla rozdělena do tří částí, ve kterých byla filtrována. Tudiž i výsledky jsou rozděleny stejným způsobem. Ve vzorkách se nacházelo velké množství nerozloženého materiálu, který komplikoval pozorování. V některých případech byla vlákna poškozena Fentonovým činidlem. Této části výzkumu poškození nevadilo, problémy pravděpodobně působilo až v případě stanovení velikostí vláken.

3.4.4.1 svrchní vrstva

Svrchní vrstva obsahovala největší množství mikroplastových vláken ze všech tří částí stejně jako u prvního odběru. Nalezeno zde bylo 8 701 vláken. Vlákna se neodlišovala od prvního odběru ani od dalších vrstev.

1. analýza

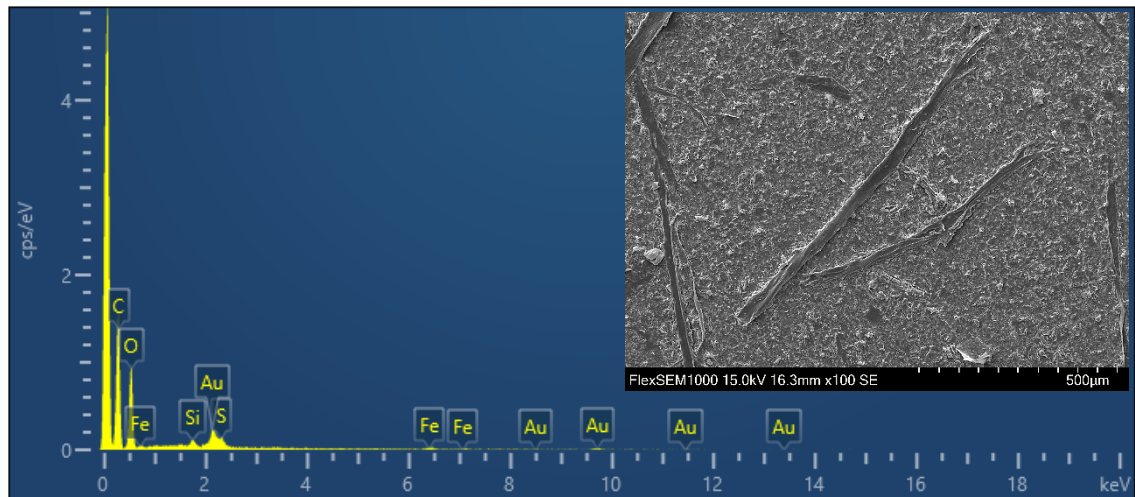


Obrázek 73 - EDS spektrum rozloženého kalu 1

Tabulka 41 - prvkové zastoupení 1

druh prvku	zastoupení v %
C	60,47
O	39,26
Fe	0,27

2. analýza



Obrázek 74 - EDS spektrum rozloženého kalu 2

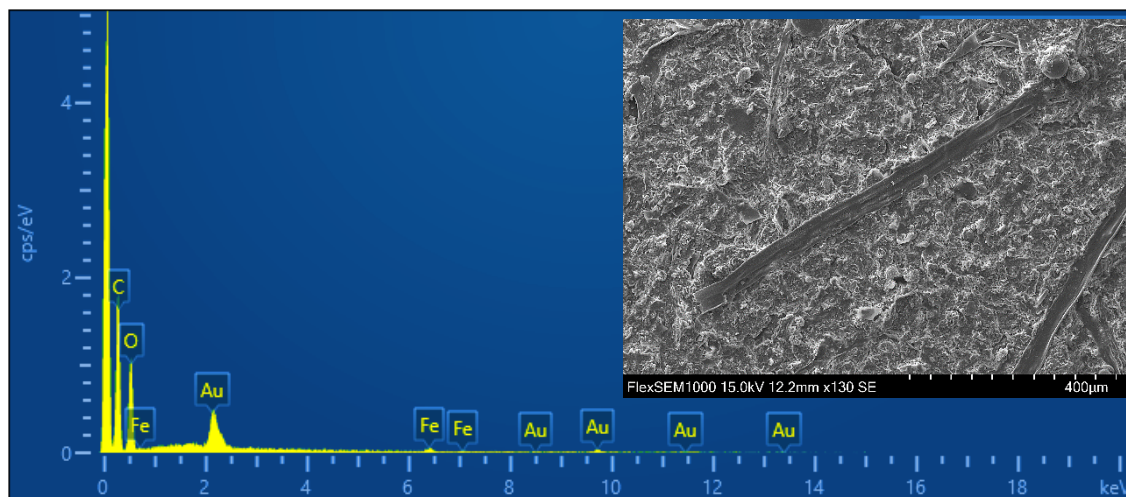
Tabulka 42 - prvkové zastoupení 2

druh prvku	zastoupení v %
C	61,35
O	37,62
Si	0,30
Fe	0,30
S	0,43

3.4.4.2 střední vrstva

Ve druhé vrstvě bylo nalezeno jen nepatrně menší množství mikroplastových vláken – konkrétně 8 405. Povrch filtru i nalezené částice na něm vypadaly úplně stejně jako u předešlého vzorku.

1. analýza

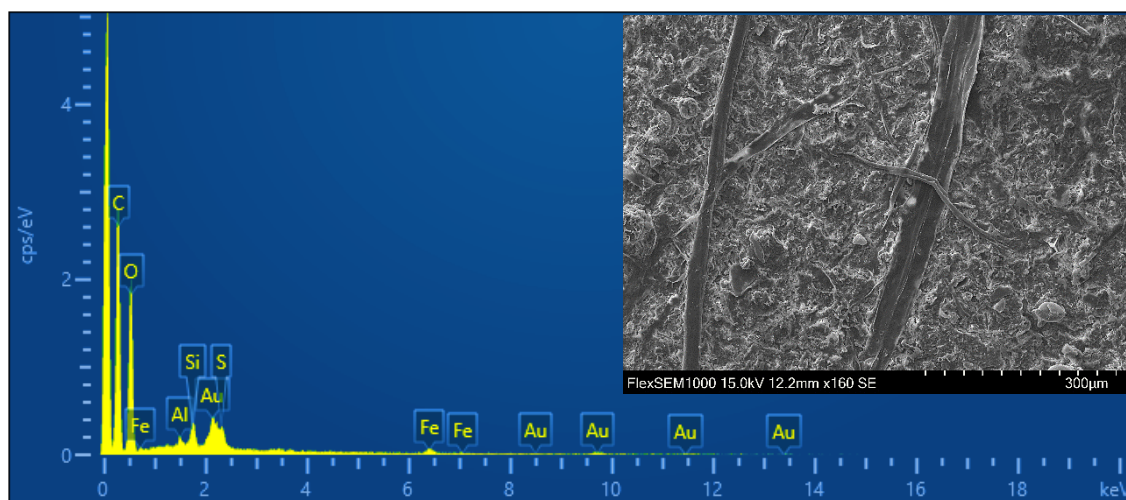


Obrázek 75 - EDS spektrum rozloženého kalu 1

Tabulka 43 - prvkové zastoupení 1

druh prvku	zastoupení v %
C	62,76
O	36,75
Fe	0,49

2. analýza



Obrázek 76 - EDS spektrum rozloženého kalu 2

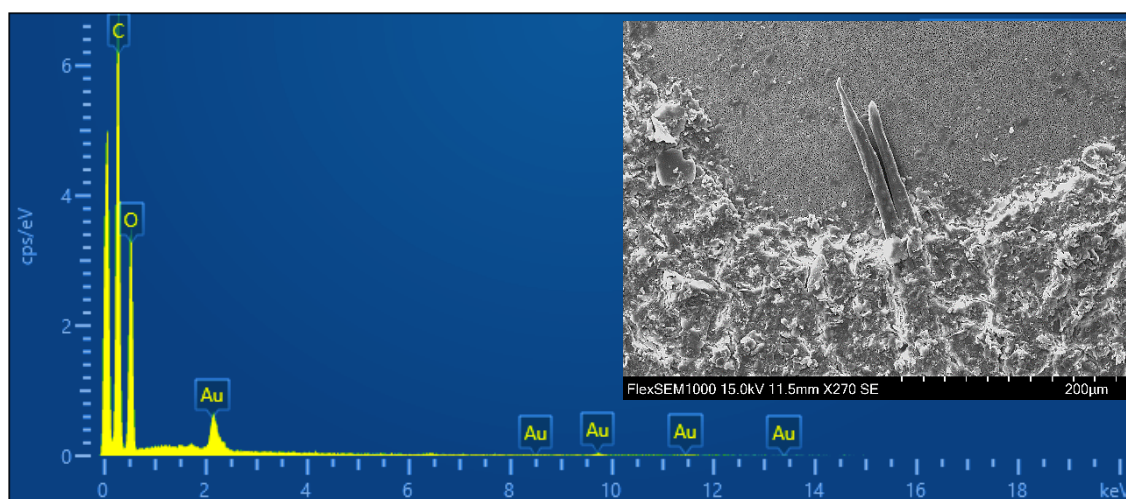
Tabulka 44 - prvkové zastoupení 2

druh prvku	zastoupení v %
C	61,05
O	37,54
Fe	0,36
Si	0,49
S	0,40
Al	0,18

3.4.4.3 spodní vrstva

Jedná se o spodní část tekutiny, kde se nacházelo nejmenší množství mikroplastových vláken ze všech tří částí. Nalezeno zde bylo 27 mikroplastových vláken. V této vrstvě se nachází mikroplasty těžší než voda a ty mají nejmenší zastoupení ze všech tří částí.

1. analýza

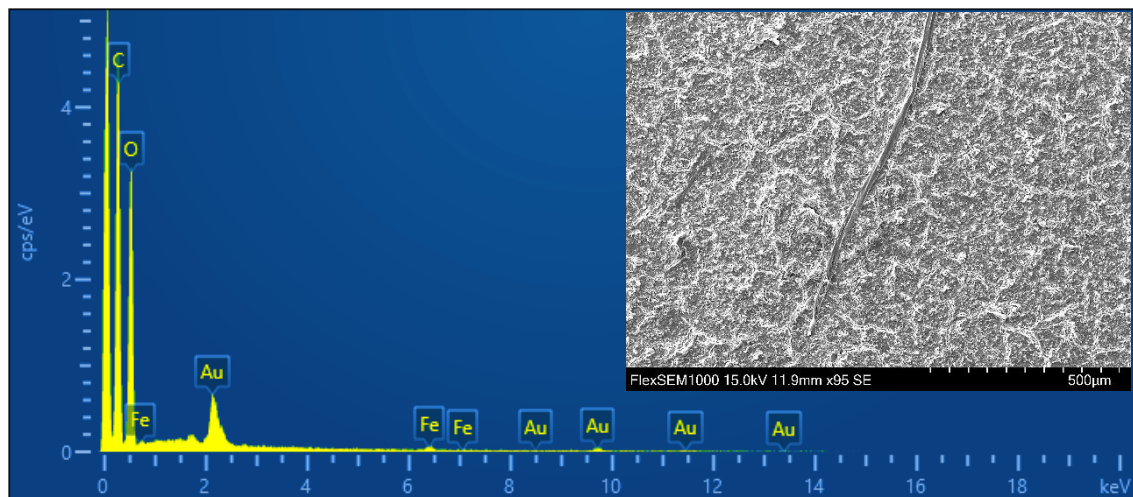


Obrázek 77 - EDS spektrum rozloženého kalu 1

Tabulka 45 - prvkové zastoupení 1

druh prvku	zastoupení v %
C	62,72
O	37,28

2. analýza



Obrázek 78 - EDS spektrum rozloženého kalu 2

Tabulka 46 - prvkové zastoupení 2

druh prvku	zastoupení v %
C	58,41
O	41,38
Fe	0,21

3.4.5 Voda z potoka

Již v prvním odběru vody z potoka byly objeveny mikroplastové částice. Tudiž se jejich výskyt očekával i ve druhém odběru. Po odpozorování všech vzorků bylo nalezeno celkem 18 mikroplastových vláken a 13 mikroplastových fragmentů. Nalezené mikroplastové částice velikostně odpovídaly ostatním vzorkům a ve srovnání s prvním odběrem jich bylo dokonce o něco více.

1. analýza



Obrázek 79 - EDS spektrum vody z potoka 1

Tabulka 47- prvkové zastoupení 1

druh prvku	zastoupení v %
C	65,41
O	33,99
Si	0,38
Al	0,22

2. analýza

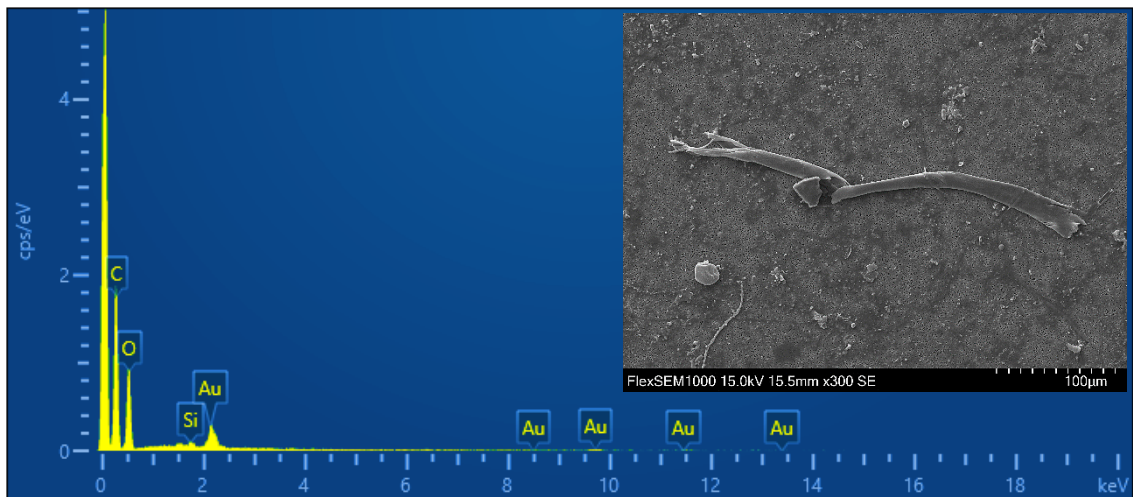


Obrázek 80 - EDS spektrum vody z potoka 2

Tabulka 48 - prvkové zastoupení 2

druh prvku	zastoupení v %
C	88,76
O	11,12
Ca	0,12

3. analýza

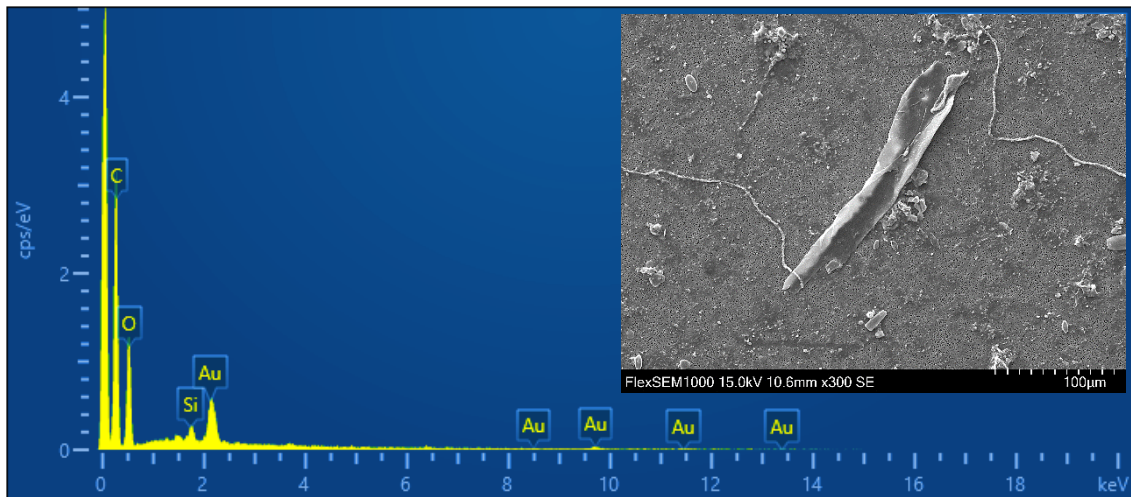


Obrázek 81 - EDS spektrum vody z potoka 3

Tabulka 49 - prvkové zastoupení 3

druh prvku	zastoupení v %
C	63,71
O	36,10
Si	0,19

4. analýza



Obrázek 82 - EDS spektrum vody z potoka 4

Tabulka 50 - prvkové zastoupení 4

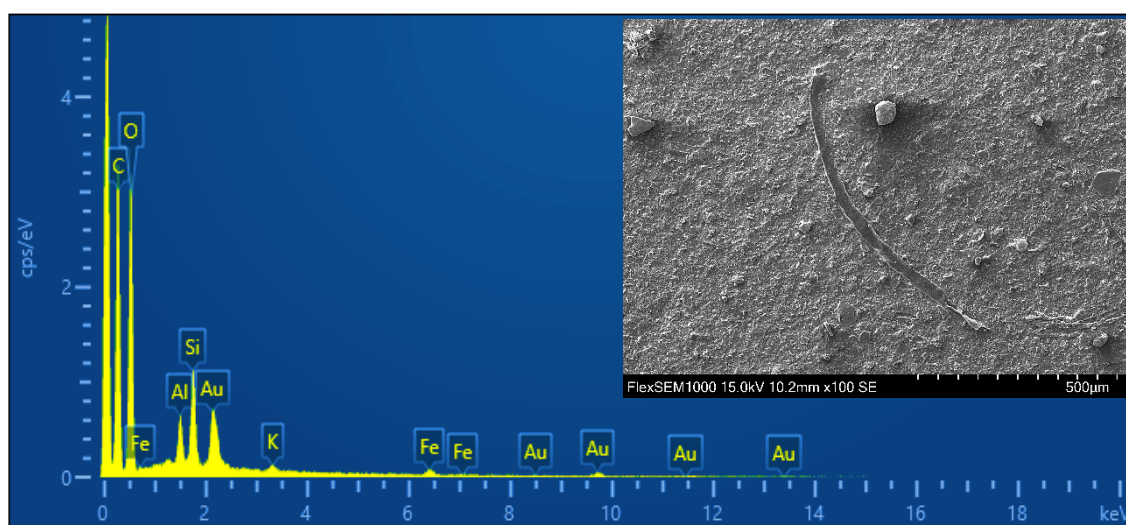
druh prvku	zastoupení v %
C	66,76
O	32,85
Si	0,38

3.4.6 Rozložená nekontaminovaná půda

Ve vzorkách nekontaminované půdy bylo nalezeno nepatrné množství mikroplastových částic. Jednalo se o 27 vláken. Stejně jako ve vzorkách z prvního odběru bylo i zde nalezeno několik velkých strukturovaných částic. Do výzkumu však zařazeny nebyly stejně jako v první části. Skutečných mikroplastů ve vzorkách bylo malé množství, které se očekávalo.

Analyzované částice nebyly tak čisté jako v jiných odebraných substrátech. Obsahovaly mnoho dalších prvků (Si, Fe, K, Al, Mo ...)

1. analýza

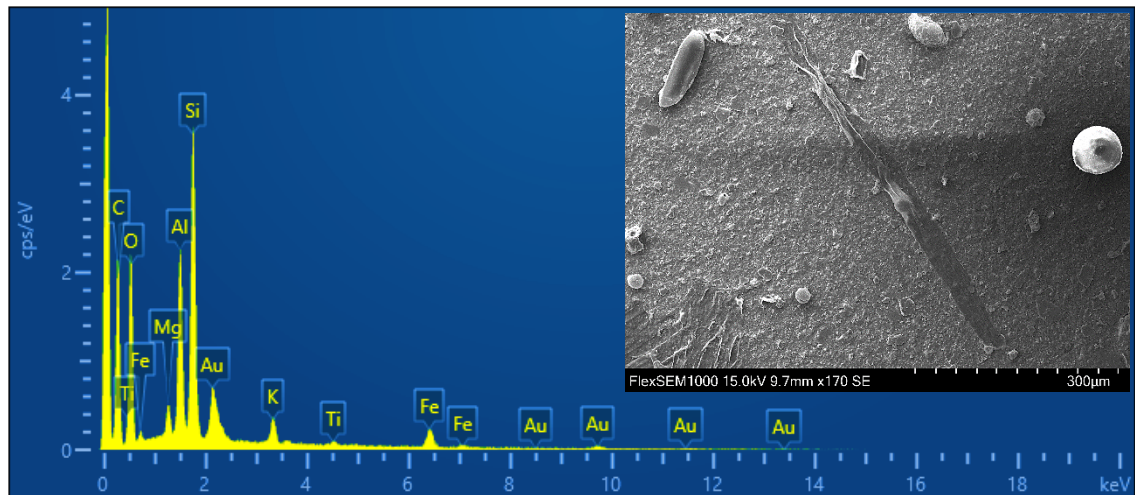


Obrázek 83 - EDS spektrum rozložené nekontaminované půdy 1

Tabulka 51 - prvkové zastoupení 1

druh prvku	zastoupení v %
C	54,57
O	42,41
Si	1,64
Fe	0,36
K	0,12
Al	0,89

2. analýza

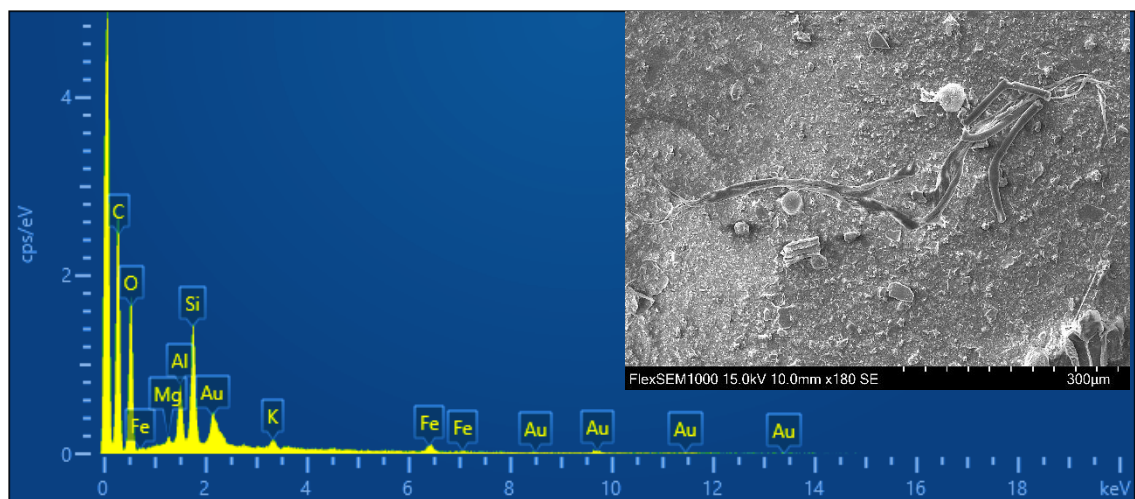


Obrázek 84 - EDS spektrum rozložené nekontaminované půdy 2

Tabulka 52 - prvkové zastoupení 2

druh prvku	zastoupení v %
C	54,82
O	32,80
Al	3,60
Si	5,95
K	1,06
Fe	1,76

3. analýza

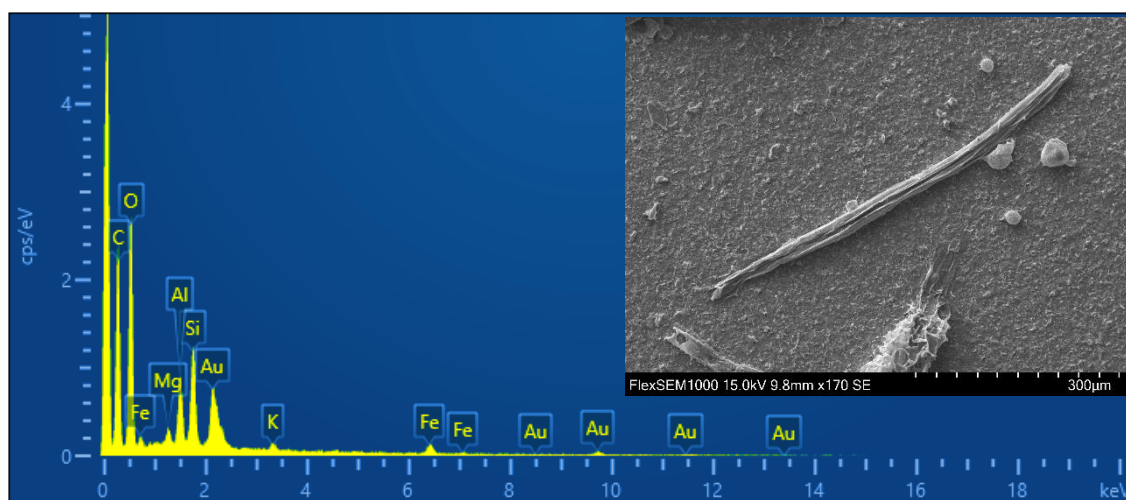


Obrázek 85 - EDS spektrum rozložené nekontaminované půdy 3

Tabulka 53 - prvkové zastoupení 3

druh prvku	zastoupení v %
C	61,91
O	33,29
Si	2,64
Fe	0,59
Al	1,33
K	0,25

4. analýza



Obrázek 86 - EDS spektrum rozložené nekontaminované půdy 4

Tabulka 54 - prvkové zastoupení 4

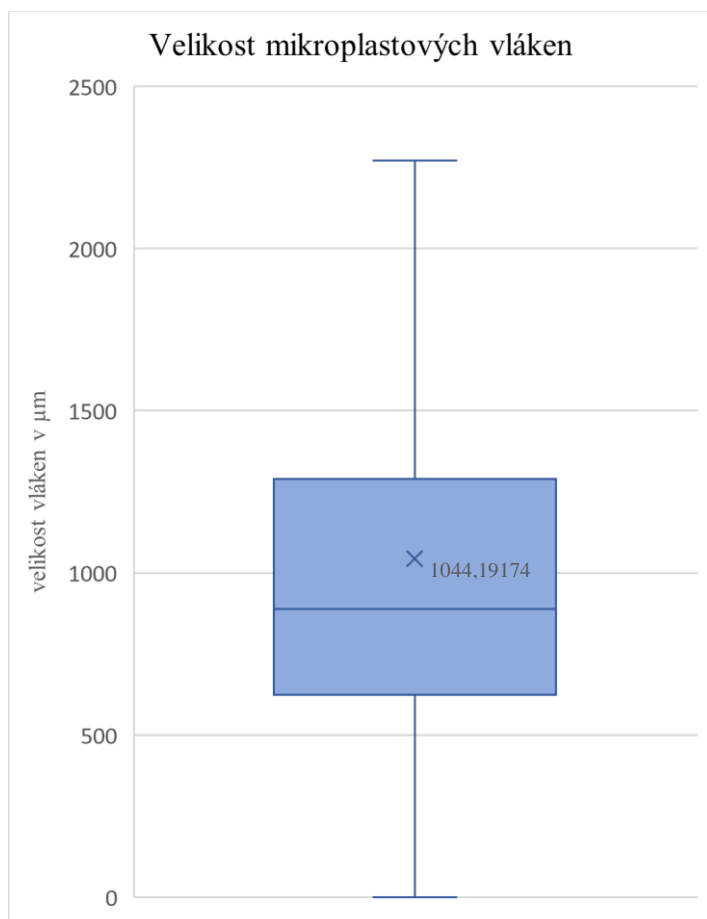
druh prvku	zastoupení v %
C	51,92
O	42,78
Si	2,26
Fe	0,79
Mg	0,45
K	1,81

3.5 Velikost nalezených mikroplastových vláken

Fotografie analyzovaných mikroplastových vláken byly použity ke zjištění průměrné velikosti nalezených částic. Velikost byla měřena pomocí programu ImageJ. Ze zjištěných výsledků byl vytvořen krabicový graf pro lepší znázornění. Do této části jsou zařazeny i částice nalezené ve vzorcích kalu a zemědělské půdy i přesto, že aplikace Fentonova činidla mohla jejich tvar změnit vlivem vysoké teploty.

3.5.1.1 Délka všech měřených mikroplastových vláken

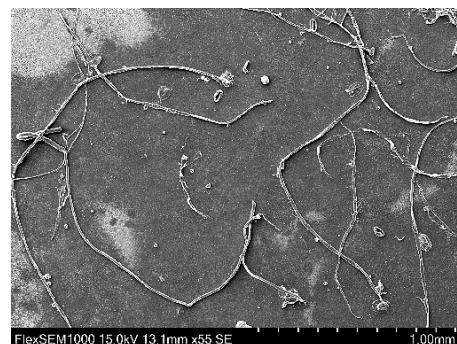
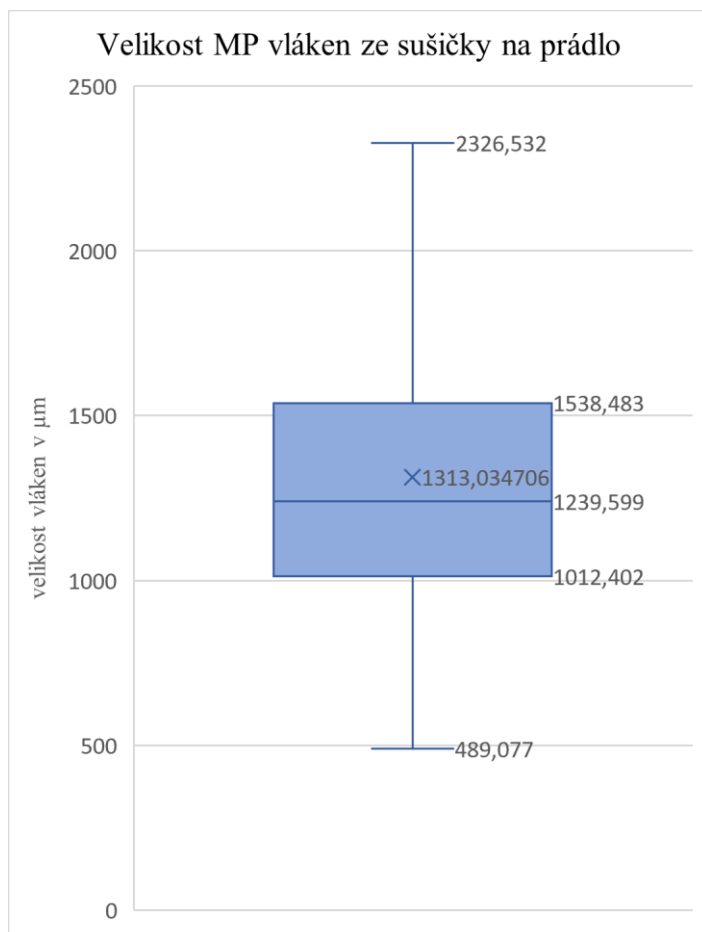
Analyzovalo se celkem 1011 nalezených mikroplastových vláken ze všech odebraných substancí (voda ze sušičky, voda z odtoku, voda z přítoku, kal, voda z potoka a půda ze zemědělského pole). Z tohoto grafu je patrné, že průměrná velikost zkoumaných mikroplastových vláken byla stanovena na hodnotu 1044,2 μm .



Graf 1 - velikost mikroplastových vláken

3.5.1.2 Délka mikroplastových vláken objevených v sušičce na prádlo

Ve vzorcích vody ze sušičky na prádlo byla nalezena nejdelší mikroplastová vlákna. Analyzovalo se celkem 509 vláken a jejich průměrná délka byla 1313,03 μm . Velikost většiny těchto vláken byla od 1012 μm do 1540 μm . Nejdelší změřené vlákno mělo hodnotu 2326 μm a nejkratší necelých 500 μm .

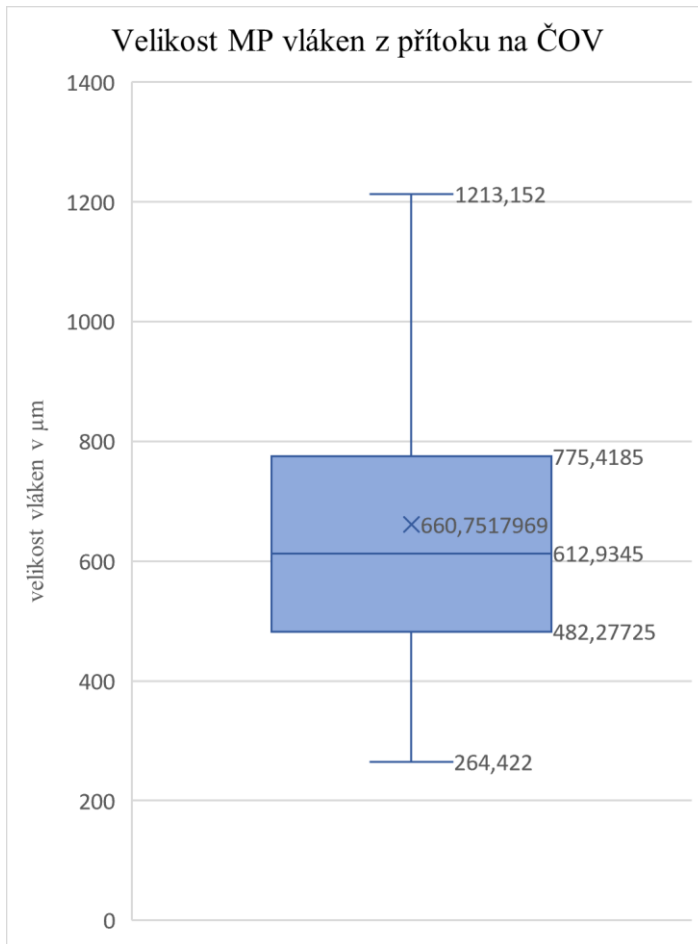


Obrázek 87 - dlouhá vlákna ze sušičky

Graf 2 - velikost mikroplastových vláken nalezených ve vodě ze sušičky na prádlo

3.5.1.3 Délka mikroplastových vláken objevených v přítoku

Průměrná délka mikroplastů na přítoku v ČOV byla 660 μm . Jedná se o trochu menší hodnotu, než byla průměrná délka mikroplastů v potoce. Naopak je srovnatelná s délkou MP vláken objevených na odtoku z ČOV. Velmi podobné jsou i velikosti nejdelších a nejkratších nalezených vláken. Většina vláken měla délku o velikosti 490 μm - 780 μm .

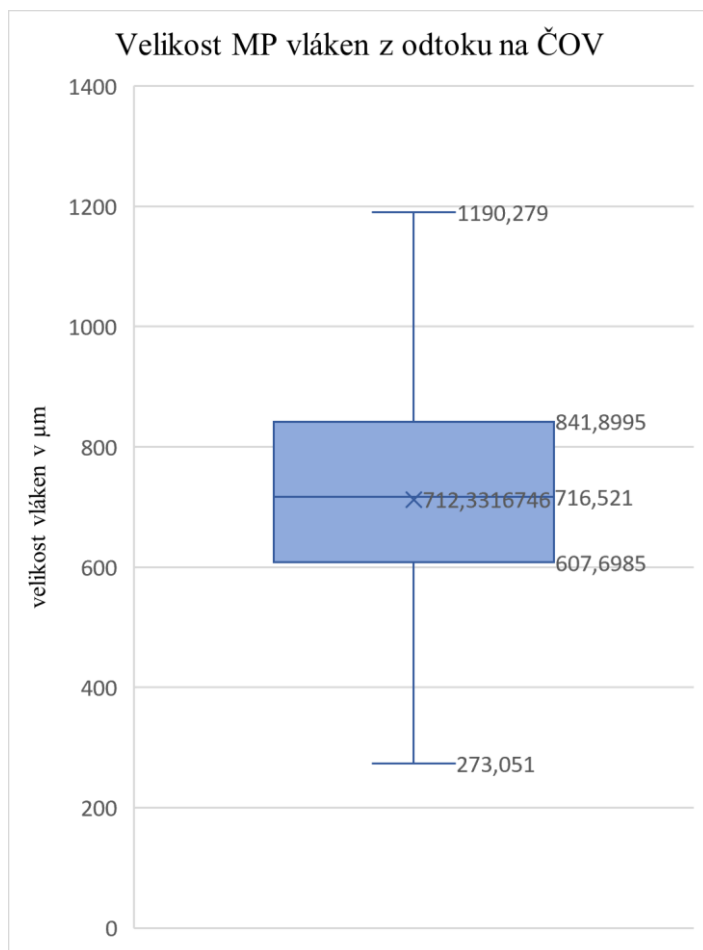


Obrázek 88 - vlákno z vody z přítoku

Graf 3 - velikost mikroplastových vláken nalezených ve vodě z přítoku na ČOV

3.5.1.4 Délka mikroplastových vláken objevených v odtoku

Velikost většiny mikroplastových vláken nalezených ve vodě z odtoku byla od 607 μm do 841 μm . Jako průměrná délka byla naměřena hodnota 712 μm . Nejdelší vlákna měla hodnotu délky kolem 1200 μm . Ve vodě z ČOV byly u vláken z přítoku i odtoku naměřeny velmi podobné hodnoty.



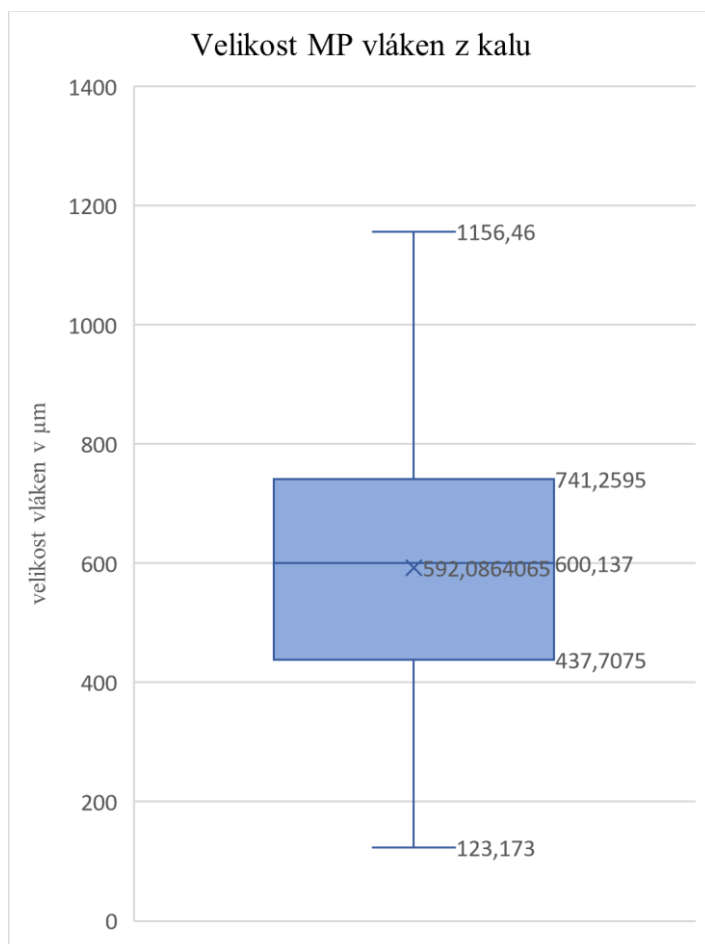
Graf 4 - velikost mikroplastových vláken nalezených v odtoku z ČOV



Obrázek 89 - vlákno z vody z odtoku

3.5.1.5 Délka mikroplastových vláken objevených v kalu

Analýza mikroplastových vláken nalezených v kalu ukázala menší průměrnou hodnotu délky než v případě přítoku i odtoku. Lze tudíž usuzovat, že vysoká teplota a reakce s Fentonovým činidlem způsobila lehké zmenšení nalezených částic. Průměrná hodnota se podobala průměrné hodnotě naměřené u částic ze zemědělské půdy. Jednalo se o 592 μm . Největší množství částic mělo velikost v rozmezí od 440 μm do 740 μm . Nalezeno zde bylo i nejkratší mikroplastové vlákno, které měřilo pouze 123 μm .

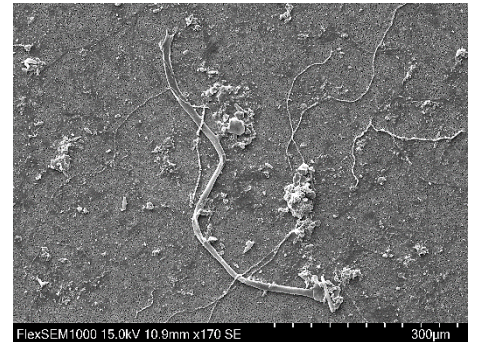
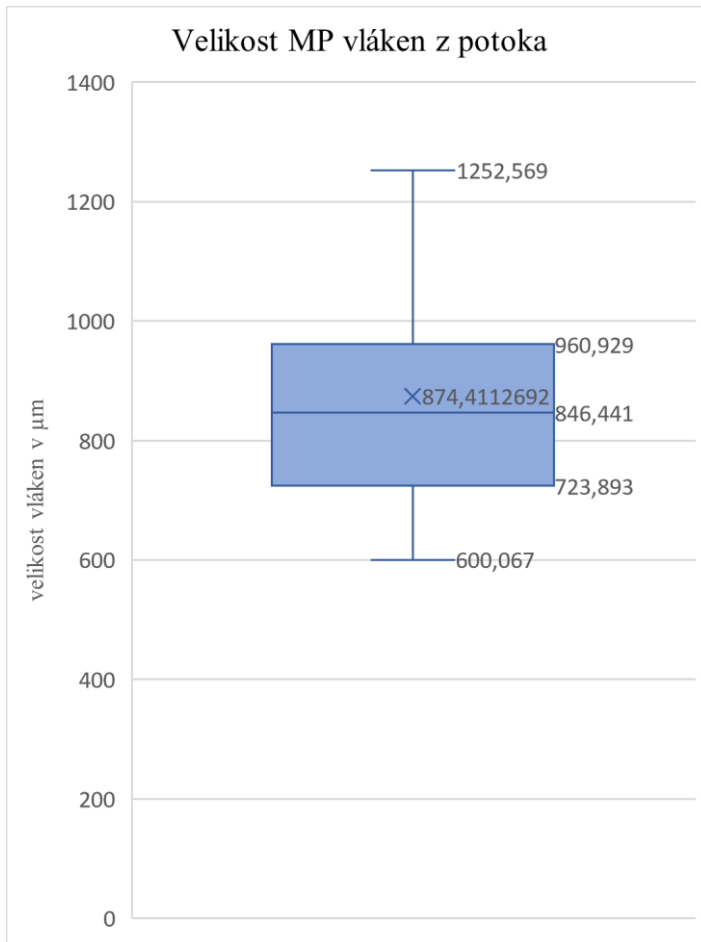


Obrázek 90 - vlákno z vody z kalu

Graf 5 - velikost mikroplastových vláken nalezených v kalu z ČOV

3.5.1.6 Délka mikroplastových vláken objevených v potoce

Ve vodě z potoka bylo nalezeno celkem 31 mikroplastových vláken a velikost byla změřena u 26 z nich. Průměrná hodnota vláken z potoka je 874,4 μm , největší množství vláken však mělo hodnotu mezi 700-1000 μm . Nejkratší objevené vlákno mělo hodnotu 600 μm a nejdelší 1250 μm .

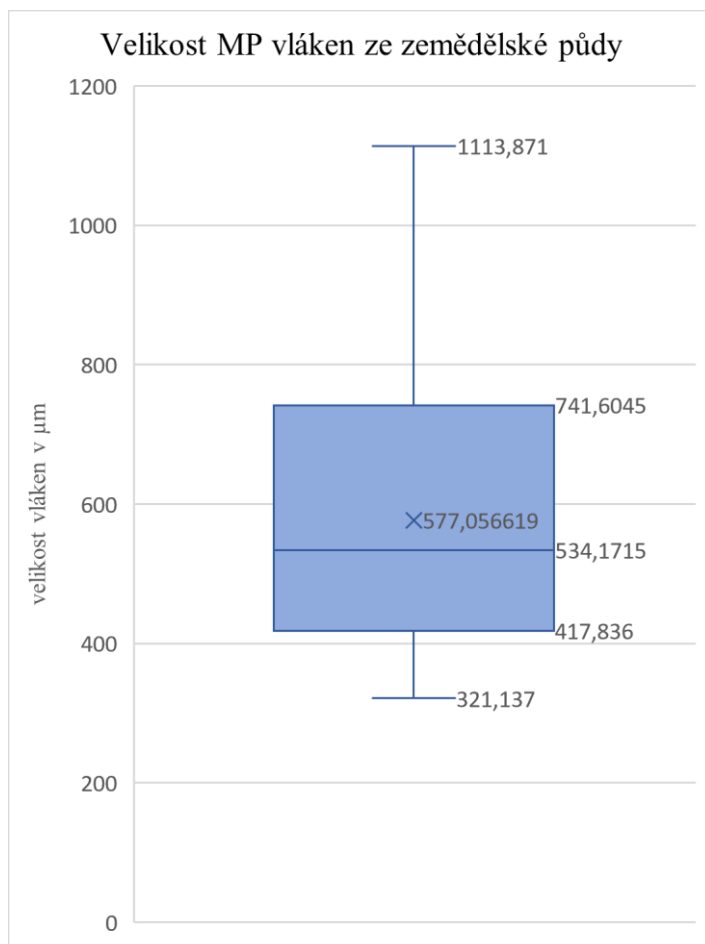


Obrázek 91 - vlákno z vody z potoka

Graf 6 - velikost mikroplastových vláken nalezených ve vodě z potoka

3.5.1.7 Délka mikroplastových vláken objevených na zemědělské půdě

Na zemědělské půdě bylo nalezeno jen několik málo mikroplastových vláken. Velikost byla změřena u 42 z nich. Jednalo se převážně o kratší vlákna s průměrnou hodnotou 577 μm . Nejdelší vlákno měřilo 1114 μm a nejkratší pouze 321 μm . Většina vláken měla hodnotu mezi 400 μm až 750 μm .



Obrázek 92 - vlákno z vody ze zemědělské půdy

Graf 7 - velikost mikroplastových vláken nalezených na zemědělské půdě

3.6 Shrnutí výsledků

Z provedených analýz a jejich výsledků vyplývá, že se mikroplastové částice nacházejí **ve všech** zkoumaných **prostředích** i odebraných materiálech. Mikroplastové částice byly nalezeny ve všech zkoumaných vzorcích a byly také potvrzeny druhým odběrem. Počty nalezených mikroplastových částic z prvního odběru odpovídají výsledkům z druhého odběru. U výsledných hodnot nebyly objeveny žádné velké odchylky.

Největší množství mikroplastových částic bylo nalezeno ve vodě ze **sušičky na prádlo**, která je pravděpodobně jedním z největších potenciálních zdrojů mikroplastových částic z domácností. Mikroplastové částice se ze syntetického oblečení uvolňují v sušičce i v pračce mechanickými procesy.

Čistírna dokáže zachytit mikroplastové částice **v kalu**, a to ve velkém množství. Stále však čistírnu odpadních vod opouští nepatrné množství mikroplastů s vyčištěnou vodou a ústí do recipientu.

Analýzou vody z potoka a zeminy ze zemědělského pole bylo zjištěno, že se i v přírodním prostředí daleko za vesnicemi mohou nacházet mikroplastové částice. Jedná se o důkaz již velmi rozsáhlého **znečištění plastovými výrobky**.

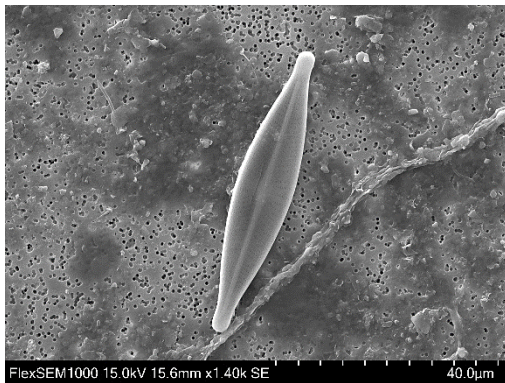
Průměrná velikost mikroplastových vláken byla stanovena na hodnotu **1044,2 μm**. Nejdelší vlákna byla nalezena ve vodě ze sušičky, nejkratší ve vzorcích půdy. Hodnoty délky u vláken z přítoku i odtoku byly srovnatelné, hodnota velikosti vláken z kalu byla o něco málo nižší, pravděpodobně vlivem rozkladu surového kalu. Vlákna nalezená ve vodě z potoka byla druhá nejdelší.

V 8 l vody z odtoku bylo nalezeno 186 mikroplastových částic, v jednom litru se tedy průměrně nachází 23 MP částic. Čistírnou odpadní vod v Havlíčkově Brodě proteče za jeden den 11 500 m³ vody. Po přepočtu množství částic na množství vody, které čistírnou proteče za jeden rok bylo zjištěno, že se do recipientu za rok uvolní **96 miliard mikroplastových částic**.

3.7 Další nalezený neplastový materiál

Při pozorování bylo objeveno několik zajímavých struktur, mezi které můžeme zařadit například různé druhy rozsivek a zelených planktonních řas se sporopoleninovými buněčnými stěnami, které jsou velmi odolné. Nalezeny byly i pozoruhodné schránky živočichů, krytenka se schránkou *euglypha* a *testacea filosea*. U řady objektů není jasné, o co přesně se jedná. Tento materiál byl pozorován nejčastěji ve vzorkách vody z potoka nebo ve vodě z přítokové i odtokové oblasti.

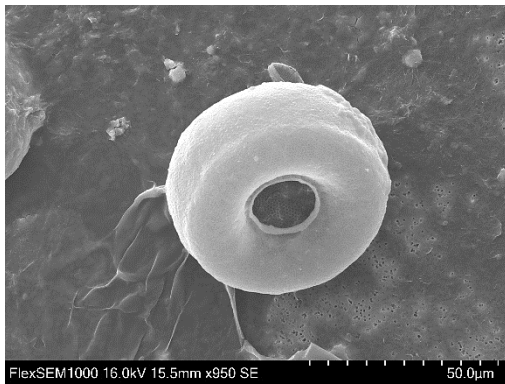
- *Navicula rhynchocephala*



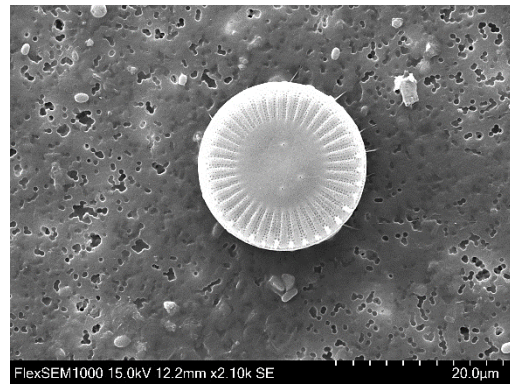
- *Pinnularia lundii*



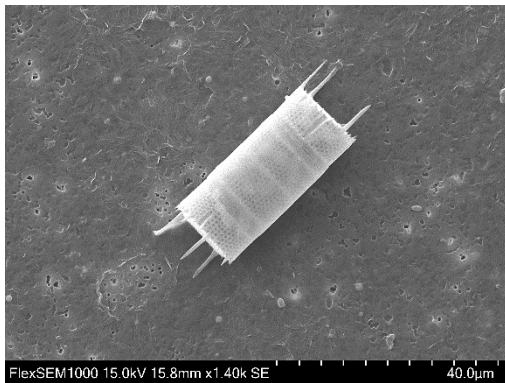
- pravděpodobně centrická rozsivka



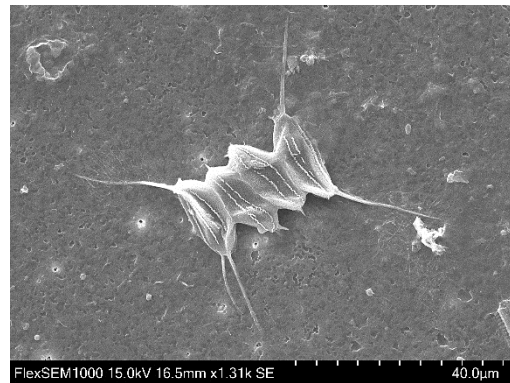
- *Cyclostephanos dubius*



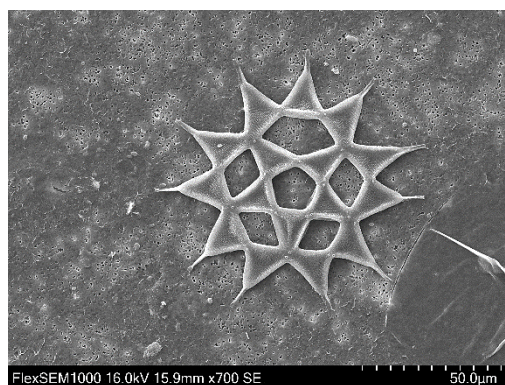
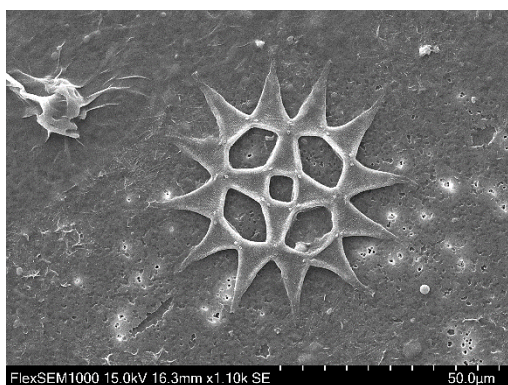
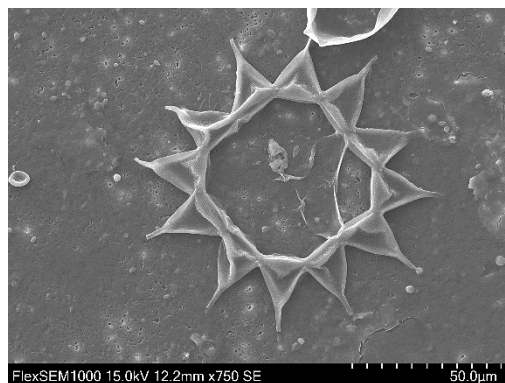
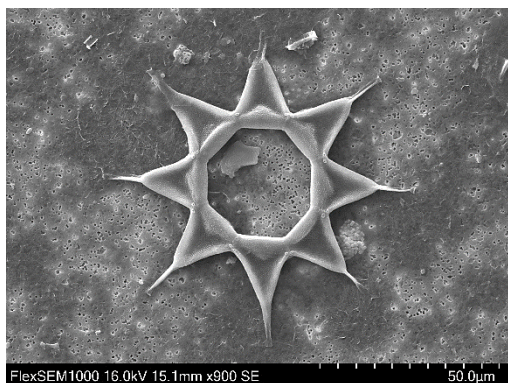
- *Aulacoseira* sp.



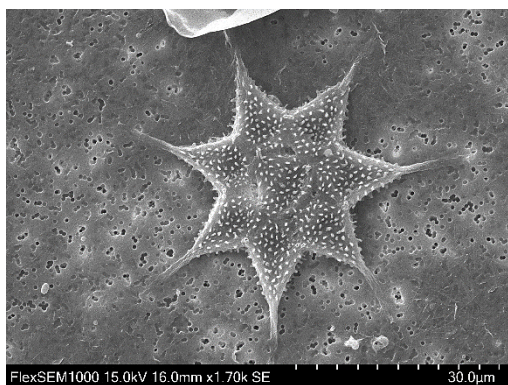
- *Desmodesmus armatus*



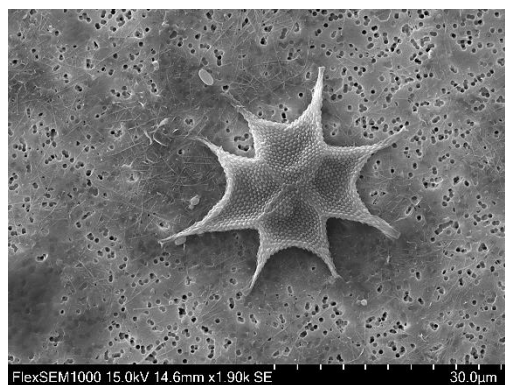
- *Monactinus simplex* Meyen (dříve *Pediastrum simplex*) – oddělení Chlorophyta –
tř. Chlorophyceae – ř. Sphaeropleales



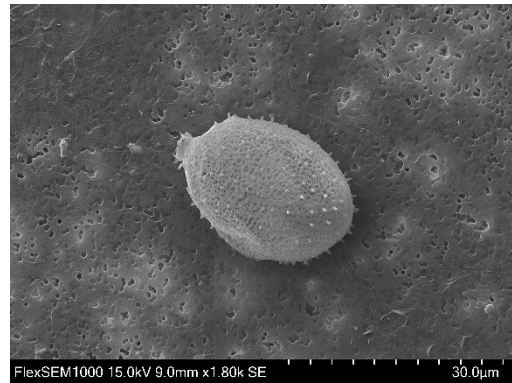
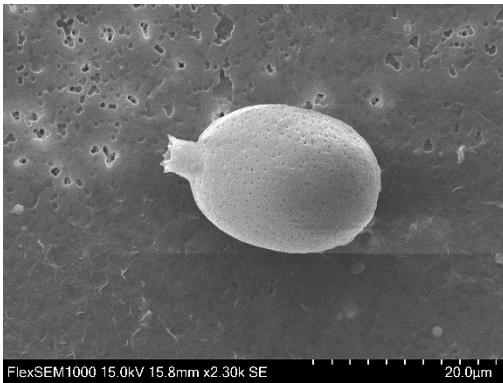
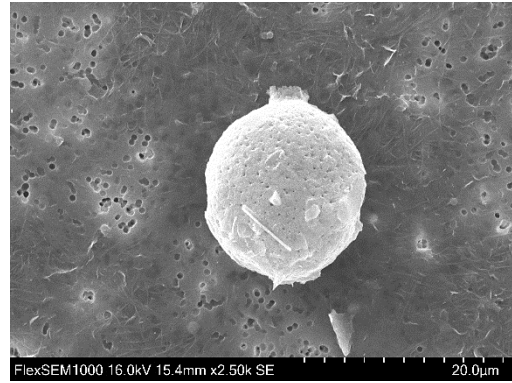
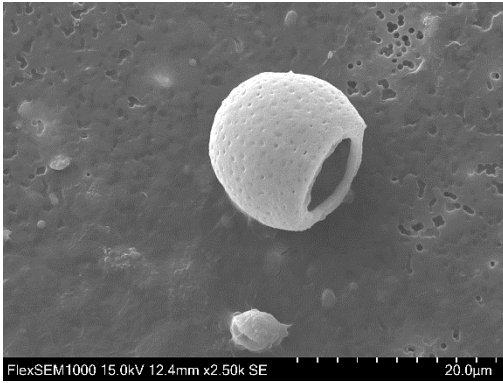
- *M. simplex* var. *echinulatum*



- *Pseudopediastrum boryanum*



- zástupci čeledi Euglyphidae



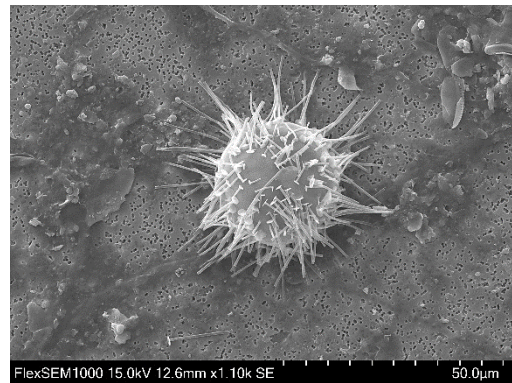
- *euglipha*



- *testaceafilosea*



- neidentifikováno



4 Diskuse

V této části diplomové práce jsou zveřejněny některé komplikace, které nastaly před nebo v průběhu zpracování odebraných vzorků. Jsou zde uvedeny i některé metody, které byly vyzkoušeny, ale nakonec pro zpracování nebyly použity, protože z určitých důvodů nevyhovovaly tak jako ty zvolené. Ve druhé části jsou porovnávány získané výsledky s dostupnými publikacemi.

4.1 Komplikace

Před zahájením oficiálního odběru vzorků dne 29. 3. 2022 byly v laboratoři zkoušeny různé metody, kterými by bylo možné rozložit čistírenský kal i půdu z pole. Zároveň byla snaha objevit metodu, kterou by bylo možné rozložit organický materiál nacházející se ve vodě přitékající na ČOV.

Než byla nalezena vhodná metoda na rozklad kalu a půdy, byly vyzkoušeny i jiné metody uváděné v literatuře. Jednalo se například o rozklad 30 % peroxidem vodíku nebo použitím 4 ml NaCl a HCl. Žádná z těchto metod nerozložila kal ani půdu tak dobře, jako reakce heptahydrátu síranu železnatého s peroxidem vodíku. Jakmile byla vyzkoušena tato metoda, jiné již vyhledávány nebyly.

Voda z přítoku byla dlouhodobě rozkládána postupným přidáváním peroxidu vodíku. Každý den se k 500 ml vody z přítoku přidalo 50 ml peroxidu vodíku. Rozklad organických látek byl pozorován, ale nečistoty se zcela vyčistit nedaly a voda se zakalila do šedé barvy. Následná vakuová filtrace probíhala ještě delší dobu, než když se nečistoty z vody z přítoku nerozkládaly. Vyzkoušela se také možnost předfiltrace takto rozložené vody přes filtrační papír. Ten ale uvolňuje celulózní vlákna, která kontaminovala vytvořené vzorky. Další možností bylo použití Büchnerovy nálevky se speciálním filtrem, který byl vytvořen z uhelonu o velikosti pórů 85 μm . Filtrační papír nemohl být použit, protože by i tímto způsobem uvolňoval vlákna do filtrátu. Filtr z uhelonu ale zachytil všechny mikroplasty a filtrát zůstal čistý. Pokud by se zachycený materiál seškrábnul na polyethylenový filtr, nebyl by rovnoměrně rozložen a nebylo by ho možné pozorovat skenovacím elektronovým mikroskopem. Metoda, která byla použita na rozklad kalu a půdy, nemohla být použita pro úpravu vody z přítoku, protože byla založena na suchém vstupním produktu a s vodou nefungovala. Další vhodná metoda objevena nebyla, a proto byla voda z přítoku pozorovaná bez

dalších úprav i přesto, že její zpracování bylo komplikovanější z důvodu velkého obsahu organických nečistot.

Jednou z dalších možných metod pro analýzu mikroplastových částic je Ramanova spektroskopie. Touto metodou by bylo možné určit materiál, ze kterého pochází nalezená mikroplastová vlákna. Umožnila by zjištění dalších informací o vyskytujících se mikroplastech a rozšířila by tento výzkum o další důležité výsledky. Tato metoda byla vyzkoušena, ale bohužel nemohla být aplikována na vytvořené vzorky a zahrnuta do výsledků z jednoho význačného důvodu. Používané filtry byly z polyethylenu, který je velmi často se vyskytujícím druhem plastu. Data z filtru by pak překrývala informace o analyzovaném vlákne. Metoda by byla vhodná při použití filtru z jiného materiálu. Již během tvorby bakalářské práce bylo vyzkoušeno několik filtrů a polyethylenové filtry ze studie vyšly jako nejlepší pro filtraci, proto byly použity i při zpracování této diplomové práce. Pokud by se podařilo objevit filtry vhodné pro filtraci z jiného než plastového materiálu, bylo by žádoucí použít Ramanův spektroskop.

Před zahájením prvního odběru byly vyzkoušeny nové hliníkové filtry, které nebyly zahrnuty ve studii z bakalářské práce. Předpokládalo se, že by byly vhodné pro Ramanovu spektroskopii a podle několika článků měly být vyhovující i pro vakuovou filtraci. Bohužel tomu tak nebylo. Hliníkový filtr byl velmi křehký a nevydržel filtraci při tlaku 300 – 500 mbar. Při nižším tlaku filtrace proběhla jako obvykle, ale problém nastal v situaci, kdy se měl filtr sundat ze skleněného držáku a umístit do Petriho misky. Díky tlaku byl k držáku pevně přichycený, nebylo ho možné sundat, aniž by nepopraskal. Z tohoto důvodu ho nebylo možné použít.



Obrázek 93 - popraskaný hliníkový filtr

4.2 Porovnání výsledků s publikovanými články

Existuje již celá řada dostupné literatury o mikroplastech, zároveň spoustu informací ještě nevíme, proto jsou další výzkumy velmi žádané. V této části jsou porovnány výsledky získané zpracováním odebraných materiálů s publikovanými články. Jedná se především o informace týkající se množství mikroplastů nalezených ve vodě, kalu i půdě. Není možné zahrnout všechny existující publikace, proto je zde uvedeno jen několik základních.

Mikroplasty byly nalezeny ve všech typech prostředí a Gaylarde, et al., (2021) ve svém článku zmiňují, že mikroplastové částice byly nalezeny v 90 % povrchových vod. Z povrchových vod se částice velmi snadno dostanou do oceánů. K výraznému znečištění oceánů přispívá i praní syntetických textilií, které tvoří až 90 % znečištění v oceánech. V oceánech skončí 10 % ze všech vyrobených plastů (Cole, et al., 2011) a uvádí se 1150 částic na litr mořské vody (Gaylarde, et al., 2021). Na hladině oceánů se nachází 236 tisíc tun mikroplastů a tvoří velké odpadkové skvrny (Guo, et al., 2020). U pobřeží bylo v sedimentu nalezeno 33 % mikrovláken a 20 % se nachází ve hloubkách větších než 2000 m (Gaylarde, et al., 2021). Ze všech zkoumaných mikroplastů 12,9 % bylo vytvořeno z polyesteru. V roce 2015 se vytvořilo 62 900 kg polyesterových textilií a polyester je jedním z dominantních materiálů pro výrobu oblečení. V antarktickém sněhu tvořil polyethylentereftalát 79 % nalezených částic (Aves, et al., 2021).

Plast má bezkonkurenční vlastnosti, je lehký, tvárný, pevný, trvanlivý i velmi levný. Od poloviny 20. století exponenciálně roste výroba plastů, ročně se vyrobí více než 300 milionů tun plastových předmětů. Pro srovnání v roce 1950 se za rok vyrobilo 1,5 milionu tun plastu. Na výrobu se použijí až 4 % světově vyrobené ropy (Boucher & Friot, 2017) a pouze 5 % vyrobených plastů se zrecykluje (Guo, et al., 2020). Studie v Severní Americe ukázaly, že roční spotřeba jednorázových plastů na jednoho člověka je 140 kg, v afrických zemích je to pouhých 16 kg (Boucher & Friot, 2017).

V roce 2017 byla ve Finsku provedena studie, která zjistila, že praním polyesterových textilií se ročně z domácností uvolní až 150 000 kg mikroplastů (Sillanpää & Sainio, 2017). Množství mikroplastových vláken uvolněných během sušení závisí na druhu oděvu i materiálovém složení. Jejich hodnoty se mohou pohybovat od 640 000 do 1 500 000 (De Falco, et al., 2019). Sušením jednoho kusu syntetického materiálu dojde k uvolnění až 1900 vláken (Browne, et al., 2011). V případě, že mají

sušičky vývod do vzduchu, mohou uvolnit až 120 milionů vláken za rok. Výzkumy ukazují, že sušičky vyprodukují až 40 x více mikrovláken než pračky (Carpenter, 2022).

V člancích (Freeman, et al., 2020), (Koelmans, et al., 2019), (Xu, et al., 2020) je uvedeno, že moderní čistírny odpadních vod jsou schopny zadržet až 99 % mikroplastových částic v aktivovaném kalu. Liu, et al., (2020) rozebírají účinnosti čistíren v Číně a zjišťují, že se v rámci jednotlivých čistíren velmi liší. Některé mají účinnost pouze 50 %, jiné 58 % nebo 79 %. Iyare, et al., (2020) informují ve své studii o tom, že mechanickým čištěním se zachytí 72 % MP. Propojením mechanického i biologického stupně čištění je možné zachytit až 94 % mikroplastů. Zároveň také souhlasí s výrokem, že se většina mikroplastů zachytí v kalu. Z výsledků z diplomové práce vyplývá, že ČOV dokáže zachytit mikroplastové částice, není sice úplně jasné, jaké množství, ale je toho schopna i přestože na to není žádné specializované zařízení. Analýzou kalu z ČOV bylo potvrzeno, že většina částic se zachytí v aktivovaném kalu.

Hlavním příjemcem mikroplastů z domácností i průmyslu jsou čistírny odpadních vod, ze kterých se mikroplasty velmi snadno dostávají do vodních toků (Liu, et al., 2020). Freeman et. al., (2020) zmiňuje, že ČOV za jeden rok může uvolnit více než 100 miliard MP částic do recipientu. Velmi podobný výsledek byl potvrzen i výzkumem v diplomové práci, kde bylo zjištěno, že se za jeden rok může do recipientu uvolnit 96 miliard mikroplastových částic.

Uvedené hodnoty mikroplastových částic objevených na přítoku se v publikovaných člancích mírně liší. Některé studie uvádí, že se ve vodě z přítoku může pohybovat až kolem 31 400 částic na litr vody (Liu, et al., 2020). V jiných člancích se uvádí koncentrace 10 044 částic na litry vody přítékající na ČOV (Sun, et al., 2019). Přes 18 000 částic na litr vody bylo objeveno v jedné z dánských čistíren odpadních vod (Blair, et al., 2019). Ve všech případech se po přepočítání na množství, které na ČOV přitéká každý den, jedná o veliké množství částic.

(Leslie, et al., 2013) provedli výzkum na čistírně odpadních vod, která vypouští vyčištěnou odpadní vodu do Severního moře a zjistili, že v jednom litru vody se nachází 52 mikroplastových částic. V roce 2020 vznikla další studie, která uvádí počet mikroplastů v oblasti odtoku od 0- 54 částic (Iyare, et al., 2020). Blair, et al., (2019) měli ve svém článku podobný výsledek, kde se uvádí 51 částic na litr vyčištěné odpadní vody. Z uvedených výsledků práce vyplývá, že v jednom litru odpadní vody se nachází

23 mikroplastových částic. Jde tedy o srovnatelné výsledky jako uvedla studie (Leslie, et al., 2013) i (Iyare, et al., 2020). Liu, et al., (2020) uveřejnili, že počet částic na litr vyčištěné odpadní vody je 297. Jedná se o něco vyšší hodnoty částic než uvedly předchozí studie.

Aves, et al., (2021) analyzovaly vodu z roztátého sněhu odebraného na Antarktidě a v ní našli 29 částic na litr vody. Povrchová voda obsahuje 480-960 částic/l a v sedimentech se nachází 50-200 částic/kg (Bergmann, et al., 2019). V pobřežních sedimentech byly nejvyšší hodnoty stanoveny na 28 000 částic /kg (Ballent, et al., 2016). Analýza sedimentů u belgického pobřeží ukázala koncentraci 55 mikroplastů na kg suché hmotnosti (Cole, et al., 2011).

Iyare, et al., (2020) ve svém článku uveřejnil tabulku, ze které lze velmi dobře vyčíst množství nalezených MP částic na kilogram hmotnosti kalu a je zde publikována i tabulka velikosti nalezených mikroplastových částic z několika výzkmů. V neodvodněném kalu se koncentrace pohybují v rozmezí 720-14 900 částic na kilogram, v odvodněném kalu se jedná o koncentrace od 1000 do 170 900 částic na kg. V kalu odebraném na ČOV v Havlíčkově Brodě byly zjištěny ještě vyšší koncentrace částic v suchém vzorku, než se v této studii průměrně uvádí. V jednom gramu kalu bylo objeveno 1416 mikroplastových částic. Liu, et al., (2020) zkoumali mikroplastové částice také v suchém kalu a jejich výsledky jsou 240 000 částic na kg suchého vzorku.

Mikroplasty mohou mít různý tvar i velikost. Nalezena byla vlákna, kuličky i fragmenty. Některé studie uvádí i vločky, granule, pláty a pelety. Největší zastoupení ve všech zkoumaných materiálech však měla vlákna, stejné výsledky uvádí (Corradini, et al., 2019), (Mahon, et al., 2017) i (Zhang & Liu, 2018). Průměrná velikost analyzovaných vláken byla 1044,2 μm , jejich velikost se mírně měnila podle prostředí, ve kterých byla nalezena. V kalu byla průměrná hodnota velikosti 592,08 μm . Iyare, et al., (2020) uvádí, že velikost nalezených mikroplastů v kalu je od 106 μm do 5 000. Vlákna ze sušičky na prádlo byla označena jako nejdelší s průměrnou délkou 1465 μm . De Falco, et al., (2019) prezentují výsledky zjištěné o mikrovláknech uvolněných ze sušení syntetických textilií. Velikost vláken byla vyhodnocena na 360-660 μm , jedná se o nižší velikost, než byla stanovena v diplomové práci. Detekované mikroplasty ve sněhu měly v průměru délku 606 μm (Aves, et al., 2021), jde o podobné hodnoty jako u kalu a zemědělské půdy.

Většina odpadu se ukládá na skládky a odhaduje se, že v půdě je uloženo 79 % tohoto odpadu. Na zemědělskou půdu se za rok uloží 44 až 300 tisíc tun mikroplastů, část z nich prostupuje půdou do spodních vrstev a může skončit v podzemních vodách (Guo, et al., 2020). Analýzou odebraného vzorku půdy z hlubší vrstvy v Číně bylo zjištěno 62 mikroplastů na kilogram půdy, v mělké vrstvě bylo nalezeno 78 částic MP. Tato informace potvrzuje prostup částic vrstvami půdy (Liu, et al., 2018). Vyšší koncentrace uvedli Zhang & Liu, (2018). Jím z analýzy vyplynuly hodnoty od 7 000 do 42 000 částic na kg půdy. V průměru se jednalo o 18 760 částic MP na kg. Zpracováním vzorku nekontaminované půdy v rámci tvorby diplomové práce se objevilo 2250 částic na kilogram suché vrchní vrstvy půdy. Jednomu gramu odpovídá 2,25 částice MP. Výsledky jsou podobné i dalším studiím. Například článek prezentující výsledky rozboru půdy z Mexika, ve kterém bylo objeveno 1,9 částice na gram půdy (Lwanga, et al., 2017). Mikroplasty mohou být součástí půdních agregátů nebo se nacházejí volně v půdě. Ve shluku se nachází 72 % částic a 28 % se nachází volně.

Srovnáním výsledků prezentovaných v diplomové práci spolu s několika studiemi, ve kterých byly provedeny analýzy podobných nebo stejných substrátů po celém světě, bylo zjištěno, že výsledky jsou velmi podobné a žádný z nich se výrazně neodlišuje od jiných studií.

Závěr

Teoretická část diplomové práce měla za úkol shrnout základní informace o vodě, odpadních vodách i druzích odpadních vod. Na tyto informace navazuje kapitola zabývající se mechanickým, biologickým i chemickým čištěním nečistot, které se vyskytují v odpadních vodách. Odpadem vznikajícím během čištění vod je kal, který se zpracovává specifickými způsoby. Jedním z nich může být kompostování s následnou aplikací na zemědělskou půdu. V závěru teoretické části jsou uvedeny také informace o plastových částicích a metodách, sloužících k jejich analýze.

Metodická část charakterizuje místa, ve kterých byly vzorky odebrány a následně se zabývá velmi podrobným popisem odběru, zpracováním, uložením i pozorováním vytvořených vzorků.

Cílem diplomové práce bylo analyzovat několik druhů odpadních vod (odpadní vody z ČOV a odpadní vodu ze sušičky na prádlo), kal z čistírny odpadních vod i půdu ze zemědělského pole. Uvádí se, že mikroplastové znečištění životního prostředí je velmi rozsáhlé a plastové fragmenty se nachází i na odlehlých místech planety. Z tohoto důvodu byly vybrány dvě lokality (potok, zemědělská půda), které se nachází na vzdálenějších místech od aglomerací. Voda i půda z vybraných míst byly podrobeny analýze a mikroplastové částice byly ve vzorcích nalezeny. Pravděpodobně pochází z atmosférických zdrojů nebo z většího plastového materiálu, který fragmentoval na mikroplasty nebo nanoplasty.

Spousta článků uvádí také kontaminaci zemědělských polí a komplikace, které nastávají aplikací čistírenských kalů na půdu. Analýzou bylo zjištěno, že se v půdě nachází menší množství mikroplastových částic i v případě, že se tam čistírenský kal neaplikuje. Kal z čistíren odpadních vod je odpad, který bude vznikat při čištění vod pokaždé. Je místem, kde se mikroplasty akumulují a je možné je zde najít ve velkém množství. Ve 24 g kalu bylo nalezeno více než 17 tisíc mikroplastových vláken. Aplikací kalu na zemědělská pole se půda kontaminuje značným množstvím mikroplastů, které mohou být přijaty kořenovým systémem do rostlin.

Zpracováním vody z přítoku a odtoku bylo zjištěno, že čistírna odpadních vod je schopna určitě množství částic zachytit, zároveň ale část mikroplastů odtéká do recipientu a kontaminuje povrchové vodní zdroje. Velmi snadno se pak mikroplasty transportují do moří i oceánů a následně do celého světa. Kontaminace je v současnosti velmi

rozsáhlá, a i malé kroky, které se podniknou k eliminaci plastových materiálů budou velkým přínosem pro životní prostředí.

Zjišťovala se i velikost nalezených mikroplastových vláken. Vlákná ze syntetických textilií byla potvrzena jako nejdelší. Tento druh umělého materiálu je výhodný pro textilní průmysl i spotřebitele. Je levný, odolný a netvoří žmolky. Vlákná se z něj uvolňují pouhým nošením a kontaminace okolního prostředí je velmi snadná.

Odebrané vzorky byly zpracovávány vakuovou filtrační aparaturou a pozorovány skenovacím elektronovým mikroskopem. Využívají se i jiné metody, ale neexistuje žádný univerzální postup, jak analyzovat mikroplastové částice z různých prostředí. Studií již byla provedena celá řada a stále nemáme dostatek informací o mikroplastech, jejich možnostech transportu a dlouhodobému vlivu na živé organismy.

Naše studie potvrdila výskyt mikroplastů v odpadní vodě, kalu i půdě, kde se čistírenský kal neaplikuje. Poskytla řadu výsledků, které by mohly přispět k pochopení, že se mikroplasty nachází opravdu ve všech ekosystémech, a to ve velkých koncentracích a jejich eliminace je pro životní prostředí i zdraví žijících organismů včetně člověka velmi důležitá. Lidé by si měli uvědomit, že všechno odpad, který vznikne se obtížně odstraňuje a ve většině případech se pouze ukládá na skládky. Hromadí se na zemském povrchu, komplikuje život všem živočichům, vytváří umělé, nepřekonatelné bariéry a kontaminuje životní prostředí. Lidé by se proto měli začít řídit strategií předcházení vzniku odpadu. Protože odpad, který nevznikne, nemusíme ukládat ani složitě odstraňovat.

Citovaná literatura

Abbasi, S. et al., 2020. *PET-microplastics as a vector for heavy metals in a simulated plant rhizosphere zone.* [Online]

Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720345137>

Aves, A. et al., 2021. *First evidence of microplastics in Antarctic snow.* [Online]

Available at: <https://tc.copernicus.org/articles/16/2127/2022/>

Azeem, I. et al., 2021. *Uptake and Accumulation of Nano/Microplastics in Plants: A Critical Review.* [Online]

Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8618759/>

Ballent, A. et al., 2016. *Elsevier.* [Online]

Available at:

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X16304416?casa_token=aSqkAKEkRoQAAAAA:4ZqP8S_Z1B6iOwGqEI_0-QQuKxNLFU_PqUovnOCCUTqdmfxbJif0E0PGDg1gm6uvFJT1cV5Tmv4

Barrena, R., Font, X., Gabarrell, X. & Sánchez, A., 2014. *Home composting versus industrial composting: Influence of composting system on compost quality with focus on compost stability.* [Online]

Available at:

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X14000609?casa_token=QDca7k7LLSYAAAAA:5LuHsYorwQnmsH7lhhAv-zFjuDalN2-x2ruqdVdV0UQ6xQ2zo0FNIT8-sm2GtLVCI4wheg9RMQw

Bergmann, M. et al., 2019. *White and wonderful? Microplastics prevail in snow from the Alps to the Arctic.* [Online]

Available at: <https://www.science.org/doi/full/10.1126/sciadv.aax1157>

Blackburn, K. & Green, D., 2021. *The potential effects of microplastics on human health: What is known and what is unknown.* [Online]

Available at: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13280-021-01589-9>

Blair, R., Waldron, S. & Gauchotte - Lindsay, C., 2019. *Average daily flow of microplastics through a tertiary wastewater treatment plant over a ten-month period.* [Online]

Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135419306839>

Bosker, T., Bouwman, L., Behrens, P. & Vijver, M., 2019. *Microplastics accumulate on pores in seed capsule and delay germination and root growth of the terrestrial vascular plant *Lepidium sativum*.* [Online]

Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30965248/>

Boucher, J. & Friot, D., 2017. *Primary Microplastics in the Oceans.* [Online]

Available at: <https://holdnorgerent.no/wp-content/uploads/2020/03/IUCN-report-Primary-microplastics-in-the-oceans.pdf>

Brodhagen, M. et al., 2016. *Policy considerations for limiting unintended residual plastic in agricultural soils.* [Online]

Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1462901116307249>

- Browne, M. et. al., 2011.** *Accumulation of Microplastic on Shorelines Woldwide: Sources and Sinks.* [Online]
Available at: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es201811s>
- Cai, M. et. al., 2021.** *Transport of microplastics in the South China Sea: A review.* [Online]
Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1342937X21003518>
- Cais, J., 2015.** *Elektronová mikroskopie. Metalografie.* Praha: Centrum pro studium vysokého školství, v.v.i.,
- Carpenter, K., 2022.** *ScienceNewsExplores.* [Online]
Available at: <https://www.snexplores.org/article/clothes-dryers-may-be-major-source-airborne-microplastics>
- Cole, M., Lindeque, C. & Galloway, T., 2011.** *Microplastics as contaminants in the marine environment: A review.* [Online]
Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X11005133>
- Corradini, F. et. al., 2019.** *Evidence of microplastic accumulation in agricultural soils from sewage sludge disposal.* [Online]
Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30933797/>
- Čížek, P., 1963.** *Čištění odpadních vod.* Praha: Státní nakladatelství technické literatury.
- D'Avignon, G., Eaves, I. & Ricciardi, A., 2021.** *Microplastics in lakes and rivers: an issue of emerging significance to limnology.* [Online]
Available at: <https://cdnsiencepub.com/doi/full/10.1139/er-2021-0048>
- Danyang, T. et. al., 2022.** *ACSPublication.* [Online]
Available at: <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.estlett.1c00911#>
- De Falco, F., Di Paceová, E., Cocca, M. & Avella, M., 2019.** *The contribution of washing processes of synthetic clothes to microplastic pollution.* [Online]
Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31036862/>
- Dohányos, M., 2006.** *Efektivní využití a likvidace čistírenských kalů.* [Online]
Available at: [https://biom.cz/cz/odborne-clanky/efektivni-vyuziti-a-likvidace-cistirenskych-kalu?sel_ids=1&ids\[x695feb6c376dba3930e9d64ce5cecb9\]=1#disc](https://biom.cz/cz/odborne-clanky/efektivni-vyuziti-a-likvidace-cistirenskych-kalu?sel_ids=1&ids[x695feb6c376dba3930e9d64ce5cecb9]=1#disc)
- Dorey, M., 2020.** *No More Plastic.* místo neznámé:Nakladatelství Via.
- Durán, B., 2020.** *How sustainable is recycled polyester.* [Online]
Available at: <https://comovita.co/blogs/sustainable-fashion-blog/how-sustainable-is-recycled-polyester>
- Eerkes-Medrano, D., Thompson, R. & Aldridgea, D., 2014.** *Microplastics in freshwater systems: A review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs.* [Online]
Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135415000858#bib69>
- Eremenko, E. et. al., 2019.** *Elektronové dělo a detekce elektronového svazku.* [Online]
Available at: http://phys.cz/files/predmety/02PPRA/Docs/TDR_2018-19.pdf
- Falco, F., Cocca, M., Avella, M. & Tompson, R., 2020.** *ACSPublications.* [Online]
Available at: <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.est.9b06892>

- Freeman, S. et al., 2020.** *Between source and sea: The role of wastewater treatment in reducing marine microplastics.* [Online]
Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479720305740>
- Gao, D., Li, X.-y. & Liu, H.-t., 2022.** *Source, occurrence, migration and potential environmental risk of microplastics in sewage sludge and during sludge amendment to soil.* [Online]
Available at: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720338778?casa_token=4zLPS-UGQYkAAAAA:MgP5rBZBQuvO30kAGRIARRYT68SbLaRoHSFb5gZFjoSOGFbHpOKVo6mfDySx63sOv2xwL-BQz7A#!
- Gavigan, J. et al., 2020.** *Synthetic microfiber emissions to land rival those to waterbodies and are growing.* [Online]
Available at: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0237839>
- Gaylarde, C., Baptista, J. & Monteiro da Fonseca, E., 2021.** *PubMed Cenral.* [Online]
Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8167216/>
- Giorgetti, L. et al., 2019.** *Exploring the interaction between polystyrene nanoplastics and Allium cepa during germination: Internalization in root cells, induction of toxicity and oxidative stress.* [Online]
Available at: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0981942820300681?casa_token=_0xVGuZ1cj4AAAAA:nxxfGNhE_xYuI2hE6On3P8gcNAR_smgLMFI_2yIjz1r68Jxs9x_Iai1db19bcULfLCI25HE1QkE
- Gouveia, R., Antunes, J., Sobral, P. & Amaral, L., 2017.** *Microplastics from Wastewater Treatment Plants—Preliminary Data.* [Online]
Available at: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-71279-6_8
- Guo, J. et al., 2020.** *Source, migration and toxicology of microplastics in soil.* [Online]
Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412019325097>
- Harley-Nyang, D., Memon, F. A., Jones, N. & Galloway, T., 2022.** *Investigation and analysis of microplastics in sewage sludge and biosolids: A case study from one wastewater treatment works in the UK.* [Online]
Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969722008270>
- Harvey, F. & Watts, J., 2018.** *Microplastics found in human stools for the first.* [Online]
Available at: http://www.comfortncolor.com/HTML/Microplastics/Microplastics%20found%20in%20human%20stools%20for%20the%20first%20time%20_%20Environment%20_%20The%20Guardian.pdf
- Havelka, P., 2019.** *Změny v nakládání s kaly z čistíren odpadních vod.* [Online]
Available at: <https://www.envigroup.cz/zmeny-v-nakladani-s-kaly-z-cistiren-odpadnich-vod.html>
- Hejátková, K. & kolektiv, 2007.** *Kompostování přebytečné travní biomasy.* 1 editor Náměšť nad Oslavou: Zera.
- Herle, J. & Bareš, P., 1990.** *Čištění odpadních vod z malých zdrojů znečištění.* Praha: Nakladatelství technické literatury.

- Hicks, P. & Wittkamp, B., 2020.** *Ramanova spektroskopie.* [Online] Available at: https://www.mt.com/cz/cs/home/applications/L1_AutoChem_Applications/Raman-Spectroscopy.html
- Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., Thompson, R. & Thiel, M., 2012.** *Microplastics in the Marine Environment: A Review of the Methods Used for Identification and Quantification.* [Online] Available at: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es2031505>
- Hlavínek, P., 1997.** *Kalové hospodářství čistíren odpadních vod.* Brno, VAT FAST Brno.
- Hlavínek, P., Mičín, J. & Prax, P., 2003.** *Stokování a čištění odpadních vod.* Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o..
- Hoffman, P. & Novák, V., 2002.** *Zpracování exhalací a odpadů.* Praha: Vydavatelství ČVUT.
- Hossain, N. et al., 2019.** *Waste materials for wastewater treatment and waste adsorbents for biofuel and cement supplement applications: A critical review.* [Online] Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620303085>
- Chudoba, J., Dohányos, M. & Wanner, J., 1991.** *Biologické čištění odpadních vod.* Praha: Nakladatelství technické literatury.
- Iri, A. et al., 2021.** *Optical detection of microplastics in water.* [Online] Available at: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-021-12358-2#ref-CR6>
- Iyare, P., Ouki, S. & Bond, T., 2020.** *Microplastics removal in wastewater treatment plants: a critical review.* [Online] Available at: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2020/ew/d0ew00397b>
- Jäger, A. & Gärtnerová, V., 2017.** *Elektronovým mikroskopem do nitra materiálů aneb jak vypadá jejich struktura.* [Online] Available at: <https://www.fzu.cz/aktuality/elektronovym-mikroskopem-do-nitra-materialu-aneb-jak-vypada-jejich-struktura>
- Kalina, M., 2004.** *Kompostování a péče o půdu.* Praha: Grada.
- Karlík, T., 2021.** *ČT24.* [Online] Available at: <https://ct24.ceskatelevize.cz/veda/3413534-velka-tichomorska-odpadkova-skvrna-se-stala-novym-ekosystemem-kolonizuji-ji-zvirata-i>
- Koelmans, A. et al., 2019.** *Microplastics in freshwaters and drinking water: Critical review and assessment of data quality.* [Online] Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30861380/#affiliation-2>
- Lambert, S. & Wagner, M., 2016.** *Characterisation of nanoplastics during the degradation of polystyrene.* [Online] Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5250697/>
- Leslie, H., Van Velzen, M. & Vethaak, A., 2013.** *Microplastic survey of the Dutch environment.* [Online] Available at: <https://vu.nl/nl/over-de-vu/onderzoeksinstituten/ivm>
- Leslie, H. et al., 2022.** *Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood.* [Online] Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412022001258>

- Liu, M. et al., 2018.** *Microplastic and mesoplastic pollution in farmland soils in suburbs of Shanghai, China.* [Online]
Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749118317901>
- Liu, W. et al., 2020.** *A review of the removal of microplastics in global wastewater treatment plants: Characteristics and mechanisms.* [Online]
Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412020322327>
- Long, Z. et al., 2019.** *Microplastic abundance, characteristics, and removal in wastewater treatment plants in a coastal city of China.* [Online]
Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135419301538>
- Lusher, A., Welden, N., Sobral, P. & Cole, M., 2017.** *Sampling, isolating and identifying microplastics ingested by fish and invertebrates.* [Online]
Available at: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2016/ay/c6ay02415g>
- Lwanga, E. H. et al., 2017.** *Field evidence for transfer of plastic debris along a terrestrial food chain.* [Online]
Available at: <https://www.nature.com/articles/s41598-017-14588-2.pdf>
- Mahon, A. et al., 2017.** *Microplastics in Sewage Sludge: Effects of Treatment.* [Online]
Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27936648/>
- Maity, S. & Pramanick, K., 2020.** *Perspectives and challenges of micro/nanoplastics-induced toxicity with special reference to phytotoxicity.* [Online]
Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32153083/>
- Malý, J., 1997.** *Kvalita městských odpadních vod.* Brno: autor neznámý
- Michalová, M., 2005.** *Možnosti a způsoby využití kalů a sedimentů z ČOV - Kaly z komunálních ČOV - výstupy z řešení projektu VaV/720/4/02.* Praha, Institut pro strukturální politiku.
- Miller, R. et al., 2017.** *ScienceDirect.* [Online]
Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025326X17306094>
- MŽP, 2021.** *Kaly z čistíren odpadních vod.* [Online]
Available at: https://www.mzp.cz/cz/kaly_cistiren_odpadnich_vod
- Napper, I., Bakir, A., Rowland, S. & Thompson, R., 2015.** *Characterisation, quantity and sorptive properties of microplastics extracted from cosmetics.* [Online]
Available at: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X1500449X?casa_token=h6q0K0WgNfAAAAAA:i1OtXzYZEtV3NK9e8DFz8uS9TSpLZUiD7DYEhmXkNN1DqcMCiXrWYdsnZnSDTYheXjFRjd4ipyQ#b8005
- Napper, I. & Thompson, R., 2016.** *Release of synthetic microplastic plastic fibres from domestic washing machines: Effects of fabric type and washing conditions.* [Online]
Available at: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X16307639?casa_token=79IY8XMLm5MAAAAA:55AcHu_x94wxmIKpLW1ftNL9pViKZAOLMx2I1xA1SmArzdZGkUj-8OAKM5BRR8HgT8TIWetd_sc
- Němeček, J., 2018.** *Metody skenovací elektronové mikroskopie SEM a analytické techniky.* [Online]
Available at: http://mech.fsv.cvut.cz/~nemecek/teaching/dmpo/lectures/D32MPO_02.pdf

- Padervand, M., Lichtfouse, E., Didier, R. & Wang, C., 2020.** *Removal of microplastics from the environment. A review.* [Online]
Available at: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10311-020-00983-1#citeas>
- Pears, P., 2011.** *The organic book of compost.* New Holland Publishers.
- Plíva, P. & kolektiv, 2009.** *Kompostování v pásových hromadách na volné ploše.* 1 editor Praha: Vydavatelství Profi Press, s.r.o..
- Plíva, P. & kolektiv, 2016.** *Kompostování a kompostárny.* Praha: Vydavatelství Profi Press s.r.o..
- Plíva, P., Kovaříček, P. & Vlašáková, M., 2013.** *Composting Technology of Biomass Residues from Agriculture.* Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky.
- Pošta, J. & kolektiv, 2005.** *Čistírny odpadních vod.* 1 editor Praha: Česká zemědělská univerzita.
- Renner, G., Schmidt, T. & Schram, J., 2018.** *Analytical methodologies for monitoring micro(nano)plastics: Which are fit for purpose?.* [Online]
Available at:
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2468584417300260?casa_token=tfwHao91V9YAAAAA:wMZONOrqS8dBYjTI6k_KTL0DQTojJJWP9z1H15O60oSm2_CexC8SAjMubsLPATZavKw2mVIoIIA#!.
- Ren, X., Yin, S., Wang, L. & Tang, J., 2021.** *Microplastics in plant-microbes-soil system: A review on recent studies.* [Online]
Available at:
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969721066018?casa_token=eNZmYkSXWsMAAAAA:Q-wlxd0mAp-yh13V1ViwUm7yGoroLqI65Mge3tYJU5I-ifLn-XxNLOKk4QP5YSNgS-b92rgDZyg#bb0095
- Shim, J., Hong, S. H. & Eo Eo, S., 2017.** *Identification methods in microplastic analysis: a review.* [Online]
Available at: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2016/ay/c6ay02558g/unauth>
- Scherer, C., Brennholt, N., Reifferscheid, G. & Wagner, M., 2017.** *Feeding type and development drive the ingestion of microplastics by freshwater invertebrates.* [Online]
Available at: <https://www.nature.com/articles/s41598-017-17191-7>
- Schwab, F., Rothen-Rutishauser, B. & Petri-Fink, A., 2020.** *When plants and plastic interact.* [Online]
Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32901157/>
- Sighicelli, M. et al., 2017.** *Microplastic pollution in the surface waters of Italian Subalpine Lakes.* [Online]
Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749117345074>
- Sillanpää, M. & Sainio, P., 2017.** *Release of polyester and cotton fibers from textiles in machine washings.* [Online]
Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28669092/>
- Silva, A. B. et al., 2018.** *Microplastics in the environment: Challenges in analytical chemistry.* [Online]
Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003267018302587>
- Sojka, J., 2013.** *Čistírny odpadních vod pro rodinné domy.* 1 editor Praha: Grada Publishing, a.s..

- Soldatova, A., 2022.** Čínští vědci vyvinuli miniaturní robotickou rybu, která loví mikroplasty. *Odpady*, srpna, p. 31.
- Soldatova, A., 2022.** Plastic people of the United Kingdom. *Odpady*, srpna, p. 30.
- Soldatova, A., 2022.** V čerstvém sněhu na Antarktidě byly poprvé nalezeny mikroplasty. *Odpady*, červenec, p. 16.
- Sun, J. et. al., 2019.** *Microplastics in wastewater treatment plants: Detection, occurrence and removal.* [Online]
Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135418310686>
- Švehla, P., Tlustoš, P. & Balík, J., 2004.** *Odpadní vody.* Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze.
- Talvitie, J., Mikola, A., Koistinen, A. & Setälä, O., 2017.** *Solutions to microplastic pollution – Removal of microplastics from wastewater effluent with advanced wastewater treatment technologies.* [Online]
Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135417305687>
- Thompson, R., Moore, C., vom Saal, F. & Swan, S., 2009.** *Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends.* [Online]
Available at: <https://royalsocietypublishing.org/doi/abs/10.1098/rstb.2009.0053>
- Thompson, R., Swan, S., Moore, C. & vom Saal, F., 2009.** *Our plastic age.* [Online]
Available at: <https://royalsocietypublishing.org/doi/full/10.1098/rstb.2009.0054>
- ÚKZÚZ, 2020.** *Povinnosti při používání kalů na zemědělské půdě.* [Online]
Available at: <https://eagri.cz/public/web/ukzuz/portal/legislativa/legislativa-cr/hnojiva-a-puda/103715620.html>
- Van Cauwenberghe, L. et. al., 2015.** *Microplastics in sediments: A review of techniques, occurrence and effects.* [Online]
Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141113615000938>
- Váňa, J., 2002.** *Kompostování odpadů.* [Online]
Available at: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/kompostovani-odpadu>
- Vernon - Parry, K., 2000.** *Scanning electron microscopy: an introduction.* [Online]
Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096112900080006X>
- Wanner, J., 1997.** *Biologické odstraňování nutrientů v aktivačních nádržích.* Praha, VŠCHT Praha.
- Wanner, J., 1997.** *Separace kalů a řízení sedimentačních vlastností.* Praha, VŠCHT Praha.
- Wright, S. L., Thompson, R. C. & Galloway, T. S., 2013.** *The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review.* [Online]
Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749113001140>
- Wu, P. et. al., 2022.** *Absorption, distribution, metabolism, excretion and toxicity of microplastics in the human body and health implications.* [Online]
Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389422011542>

Xiong, X., Tappenbeck, T., Wu, C. & Elser, J., 2022. *Elsevier.* [Online] Available at: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749122006595?casa_token=jx6a2G-PEMwAAAAA:_Vu8DCGHCAB6lgT0FL9pakWwdYHCRVfZN2Lfr_0vPNoyQU2C82WXEG_sJXpmgmaWaZjnI4Afm0#bib2

Xu, Z., Bai, X. & Ye, Z., 2020. *Removal and generation of microplastics in wastewater treatment plants: A review.* [Online] Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965262100202X#bib66>

Zbyszewski, M. & Corcoran, P., 2011. *Distribution and Degradation of Fresh Water Plastic Particles Along the Beaches of Lake Huron, Canada.* [Online] Available at: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11270-011-0760-6>

Zhang, G. & Liu, Y., 2018. *The distribution of microplastics in soil aggregate fractions in southwestern China.* [Online] Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969718320667>

Seznam obrázků

Vlastníkem obrázkového materiálu použitého v diplomové práci je autorka diplomové práce, podklad pro obrázek č. 16 a 17 byl získán z Mapy.cz

Obrázek 1 - přítok na ČOV	15
Obrázek 2 - hrubé a jemné česle.....	16
Obrázek 3 - usazovací nádrž.....	18
Obrázek 4 - aktivační nádrž.....	19
Obrázek 5 - dosazovací nádrž.....	20
Obrázek 6 - plynojem.....	27
Obrázek 7 - odvodňný kal	29
Obrázek 8 - plast v přírodě.....	35
Obrázek 9 - mikroplastové vlákno.....	37
Obrázek 10 - mikroplastová vlákna nalezená v kalu z ČOV.....	41
Obrázek 11 - plastové částice na zemědělské půdě	43
Obrázek 12 - mikroplast v půdě.....	45
Obrázek 13 - zachycený plastový materiál na jemných česlích ČOV	49
Obrázek 14 - odebrané vzorky vody.....	56
Obrázek 15 - Čistírna odpadních vod Havlíčkův Brod.....	57
Obrázek 16 - odběrové místo potoka (Mapy.cz)	59
Obrázek 17 - pole s odběrovým místem (ortofoto, Mapy.cz).....	59
Obrázek 18 - vakuová filtrační aparatura	62
Obrázek 19 - používané filtry.....	64
Obrázek 20 - ukázka změny barvy během reakce.....	65
Obrázek 21 - rozkládající se kal v ledové lázni a rozložený kal.....	66
Obrázek 22 - vytvořené vzorky	67
Obrázek 23 - tlustostěnný a skříňový exsikátor.....	68
Obrázek 24 - potřebné vybavení k umístění vzorku na držák	69
Obrázek 25 - analýza MP částic v SEM.....	70
Obrázek 26 - směry pozorování mikroplastů ve vzorku	71
Obrázek 27 - ukázka náhodných míst pro pozorování vláknitých mikroplastů.....	72
Obrázek 28 - EDS metoda.....	73
Obrázek 29 - zobrazení velikosti mikroplastové částice	74
Obrázek 30 - roztřepený tvar mikroplastových částic.....	75
Obrázek 31 - EDS detektor při měření.....	75
Obrázek 32 - mikroplastové vlákno	76
Obrázek 33 - mikroplastový fragment	76
Obrázek 34 - mikroplastová kulička	76
Obrázek 35 - EDS spektrum vody ze sušičky na prádlo 1	78
Obrázek 36 - EDS spektrum vody ze sušičky na prádlo 2	79
Obrázek 37 - EDS spektrum vody ze sušičky na prádlo 3	79
Obrázek 38 - EDS spektrum vody ze sušičky na prádlo 4	80
Obrázek 39 - EDS spektrum vody z přítoku 1.....	81
Obrázek 40 - EDS spektrum vody z přítoku 2.....	82
Obrázek 41 - EDS spektrum vody z přítoku 3.....	82
Obrázek 42 - EDS spektrum vody z přítoku 4.....	83
Obrázek 43 - EDS spektrum vody z odtoku 1	84

Obrázek 44 - EDS spektrum vody z odtoku 2	85
Obrázek 45 - EDS spektrum vody z odtoku 3	85
Obrázek 46 - EDS spektrum vody z odtoku 4	86
Obrázek 47 - EDS spektrum rozloženého kalu 1	87
Obrázek 48 - EDS spektrum rozloženého kalu 2	88
Obrázek 49 - EDS spektrum rozloženého kalu 1	88
Obrázek 50 - EDS spektrum rozloženého kalu 2	89
Obrázek 51 - EDS spektrum rozloženého kalu 1	90
Obrázek 52 - EDS spektrum rozloženého kalu 2	90
Obrázek 53 - EDS spektrum vody z potoka 1	92
Obrázek 54 - EDS spektrum vody z potoka 2	93
Obrázek 55 - EDS spektrum vody z potoka 3	93
Obrázek 56 - EDS spektrum vody z potoka 4	94
Obrázek 57 - EDS spektrum nekontaminované půdy 1	95
Obrázek 58 - EDS spektrum nekontaminované půdy 2	96
Obrázek 59 - EDS spektrum nekontaminované půdy 3	96
Obrázek 60 - EDS spektrum nekontaminované půdy 4	97
Obrázek 61 - EDS spektrum vody ze sušičky na prádlo 1	99
Obrázek 62 - EDS spektrum vody ze sušičky na prádlo 2	100
Obrázek 63 - EDS spektrum vody ze sušičky na prádlo 3	100
Obrázek 64 - EDS spektrum vody ze sušičky na prádlo 4	101
Obrázek 65 - EDS spektrum vody z přítoku 1	102
Obrázek 66 - EDS spektrum vody z přítoku 2	103
Obrázek 67 - EDS spektrum vody z přítoku 3	103
Obrázek 68 - EDS spektrum vody z přítoku 4	104
Obrázek 69 - EDS spektrum vody z odtoku 1	105
Obrázek 70 - EDS spektrum vody z odtoku 2	106
Obrázek 71 - EDS spektrum vody z odtoku 3	106
Obrázek 72 - EDS spektrum vody z odtoku 4	107
Obrázek 73 - EDS spektrum rozloženého kalu 1	108
Obrázek 74 - EDS spektrum rozloženého kalu 2	109
Obrázek 75 - EDS spektrum rozloženého kalu 1	110
Obrázek 76 - EDS spektrum rozloženého kalu 2	110
Obrázek 77 - EDS spektrum rozloženého kalu 1	111
Obrázek 78 - EDS spektrum rozloženého kalu 2	112
Obrázek 79 - EDS spektrum vody z potoka 1	113
Obrázek 80 - EDS spektrum vody z potoka 2	114
Obrázek 81 - EDS spektrum vody z potoka 3	114
Obrázek 82 - EDS spektrum vody z potoka 4	115
Obrázek 83 - EDS spektrum rozložené nekontaminované půdy 1	116
Obrázek 84 - EDS spektrum rozložené nekontaminované půdy 2	117
Obrázek 85 - EDS spektrum rozložené nekontaminované půdy 3	117
Obrázek 86 - EDS spektrum rozložené nekontaminované půdy 4	118
Obrázek 87 - dlouhá vlákna ze sušičky	120
Obrázek 88 - vlákno z vody z přítoku	121
Obrázek 89 - vlákno z vody z odtoku	122
Obrázek 90 - vlákno z vody z kalu	123
Obrázek 91 - vlákno z vody z potoka	124

Obrázek 92 - vlákno z vody ze zemědělské půdy.....	125
Obrázek 93 - popraskaný hliníkový filtr	131

Seznam tabulek

Vlastníkem tabulek použitých v diplomové práci je autorka diplomové práce.

Tabulka 1 - výsledky z prvního odběru.....	77
Tabulka 2 - prvkové zastoupení 1.....	78
Tabulka 3 - prvkové zastoupení 2.....	79
Tabulka 4 - prvkové zastoupení 3.....	79
Tabulka 5 - prvkové zastoupení 4.....	80
Tabulka 6 - prvkové zastoupení 1.....	81
Tabulka 7 - prvkové zastoupení 2.....	82
Tabulka 8 - prvkové zastoupení 3.....	82
Tabulka 9 - prvkové zastoupení 4.....	83
Tabulka 10 - prvkové zastoupení 1.....	84
Tabulka 11 - prvkové zastoupení 2.....	85
Tabulka 12 - prvkové zastoupení 3.....	85
Tabulka 13 - prvkové zastoupení 4.....	86
Tabulka 14 - prvkové zastoupení 1.....	87
Tabulka 15 - prvkové zastoupení 2.....	88
Tabulka 16 - prvkové zastoupení 1.....	89
Tabulka 17 - prvkové zastoupení 2.....	89
Tabulka 18 - prvkové zastoupení 1.....	90
Tabulka 19 - prvkové zastoupení 2.....	91
Tabulka 20 - prvkové zastoupení 1.....	92
Tabulka 21 - prvkové zastoupení 2.....	93
Tabulka 22 - prvkové zastoupení 3.....	93
Tabulka 23 - prvkové zastoupení 4.....	94
Tabulka 24 - prvkové zastoupení 1.....	95
Tabulka 25 - prvkové zastoupení 2.....	96
Tabulka 26 - prvkové zastoupení 3.....	97
Tabulka 27 - prvkové zastoupení 4.....	97
Tabulka 28 - výsledky z druhého odběru.....	98
Tabulka 29 - prvkové zastoupení 1.....	99
Tabulka 30 - prvkové zastoupení 2.....	100
Tabulka 31 - prvkové zastoupení 3.....	100
Tabulka 32 - prvkové zastoupení 4.....	101
Tabulka 33 - prvkové zastoupení 1.....	102
Tabulka 34 - prvkové zastoupení 2.....	103
Tabulka 35 - prvkové zastoupení 3.....	103
Tabulka 36 - prvkové zastoupení 4.....	104
Tabulka 37 - prvkové zastoupení 1.....	105
Tabulka 38 - prvkové zastoupení 2.....	106
Tabulka 39 - prvkové zastoupení 3.....	107
Tabulka 40 - prvkové zastoupení 4.....	107
Tabulka 41 - prvkové zastoupení 1.....	108
Tabulka 42 - prvkové zastoupení 2.....	109
Tabulka 43 - prvkové zastoupení 1.....	110
Tabulka 44 - prvkové zastoupení 2.....	111

Tabulka 45 - prvkové zastoupení 1	111
Tabulka 46 - prvkové zastoupení 2	112
Tabulka 47- prvkové zastoupení 1	113
Tabulka 48 - prvkové zastoupení 2	114
Tabulka 49 - prvkové zastoupení 3	114
Tabulka 50 - prvkové zastoupení 4	115
Tabulka 51 - prvkové zastoupení 1	116
Tabulka 52 - prvkové zastoupení 2	117
Tabulka 53 - prvkové zastoupení 3	118
Tabulka 54 - prvkové zastoupení 4	118
Tabulka 55 - souhrn všech vytvořených vzorků	155

Seznam grafů

Vlastníkem grafů použitých v diplomové práci je autorka diplomové práce.

Graf 1 - velikost mikroplastových vláken	119
Graf 2 - velikost mikroplastových vláken nalezených ve vodě ze sušičky na prádlo	120
Graf 3 - velikost mikroplastových vláken nalezených ve vodě z přítoku na ČOV	121
Graf 4 - velikost mikroplastových vláken nalezených v odtoku z ČOV	122
Graf 5 - velikost mikroplastových vláken nalezených v kalu z ČOV	123
Graf 6 - velikost mikroplastových vláken nalezených ve vodě z potoka	124
Graf 7 - velikost mikroplastových vláken nalezených na zemědělské půdě	125

Seznam zkratek

Al	hliník
C	uhlík
Ca	vápník
CH ₄	methan
Cl	chlor
CO ₂	oxid uhličitý
ČOV	čistírna odpadních vod
EDS	elektronově disperzní spektroskopie
Fe	železo
H ₂	molekulární vodík
H ₂ S	sulfan
HCl	kyselina chlorovodíková
K	draslík
Mg	hořčík
MP	mikroplastová částice
N	dusík
N ₂	dusík
Na	sodík
NaCl	chlorid sodný
NP	nanoplast
O	kyslík
P	fosfor
S	síra
SEM	skenovací elektronový mikroskop
Si	křemík

Seznam chemikálií

$\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$	heptahydrát síranu železnatého (PENTA s.r.o., Česká republika)
H_2O_2	peroxid vodíku (Carl Roth GmbH + Co KG, Německo)
H_2SO_4	kyselina sírová (PENTA s.r.o., Česká republika)

Seznam přístrojů

autokláv

automatická váha

exsikátor – tlustostěnný, skříňový

laminární box

lednice

myčka na laboratorní nádobí

naprašovací přístroj Leica EM ACE 200

pipetovacím nástavec

skenovací elektronový mikroskop HITACHI FlexSEM 1000

vakuová filtrační aparatura Duran

výrobník ledu

vývěva

Seznam použitého materiálu a pomůcek

Erlenmayerova baňka 1000 ml

kádinka 100 ml

kádinka 50 ml

kovová lžička

kovové sítko

lihový fix

nádoba na led

nitrilové rukavice

nůžky

odměrný válec 1000 ml

odměrný válec 300 ml

Petriho miska

pinzeta

polyethylenové filtry 0,4 μm a skleněné filtry 0,45 μm

skleněná pipeta 25 ml, 10 ml, 2 ml

skleněné borosilikátové lahve Duran s barevným šroubovacím uzávěrem

skleněné tyčinka

uhlíková páska

váleček s lepivým povrchem

Přílohy

Seznam všech vytvořených vzorků se záznamem filtračního času a množstvím tekutiny, která se za uvedený čas přefiltrovala.

Tabulka 55 - souhrn všech vytvořených vzorků

	VZOREK	FILTR	ČAS (min.)	MNOŽSTVÍ (ml)
1.	domácí sušička na prádlo	0,4 µm PE	60 min.	250 ml
2.	domácí sušička na prádlo	0,4 µm PE	90 min.	300 ml
3.	voda z odtoku	0,4 µm PE	56 min.	390 ml
4.	voda z odtoku	0,4 µm PE	51 min.	350 ml
5.	voda z odtoku	0,4 µm PE	37 min.	350 ml
6.	voda z odtoku	0,4 µm PE	67 min.	400 ml
7.	voda z odtoku	0,4 µm PE	80 min.	400 ml
8.	voda z odtoku	0,4 µm PE	70 min.	400 ml
9.	voda z odtoku	0,4 µm PE	50 min.	400 ml
10.	voda z odtoku	0,4 µm PE	55 min.	400 ml
11.	voda z odtoku	0,4 µm PE	58 min.	400 ml
12.	voda z odtoku	0,4 µm PE	16 min.	110 ml
13.	voda z odtoku	0,4 µm PE	35 min.	400 ml
14.	voda z přítoku	0,4 µm PE	180 min.	400 ml
15.	domácí sušička na prádlo	0,4 µm PE	75 min.	400 ml
16.	domácí sušička na prádlo	0,4 µm PE	100 min.	400 ml
17.	domácí sušička na prádlo	0,4 µm PE	60 min.	400 ml
18.	domácí sušička na prádlo	0,4 µm PE	70 min.	400 ml
19.	domácí sušička na prádlo	0,4 µm PE	80 min.	450 ml
20.	domácí sušička na prádlo	0,4 µm PE	140 min.	400 ml
21.	domácí sušička na prádlo	0,4 µm PE	80 min.	500 ml
22.	domácí sušička na prádlo	0,4 µm PE	120 min.	500 ml
23.	rozložený kal	0,4 µm PE	6 min.	800 ml
24.	rozložený kal	0,4 µm PE	6 min.	800 ml
25.	rozložený kal	0,2 µm PE	1 min.	2 ml
26.	rozložený kal	0,2 µm PE	1 min.	2 ml
27.	rozložený kal	0,2 µm PE	1 min.	2 ml
28.	rozložený kal	0,2 µm PE	1 min.	2 ml
29.	rozložený kal	0,2 µm PE	1 min.	2 ml
30.	voda z přítoku	0,4 µm PE	270 min.	400 ml
31.	voda z přítoku	0,4 µm PE	150 min.	400 ml
32.	voda z přítoku	0,4 µm PE	180 min.	500 ml
33.	voda z přítoku	0,4 µm PE	200 min.	400 ml
34.	voda z přítoku	0,4 µm PE	165 min.	400 ml
35.	voda z přítoku	0,4 µm PE	180 min.	400 ml
36.	voda z přítoku	0,4 µm PE	160 min.	300 ml
37.	voda z přítoku	0,4 µm PE	200 min.	400 ml
38.	voda z přítoku	0,4 µm PE	170 min.	400 ml
39.	voda z potoka	0,4 µm PE	14 min.	1000 ml
40.	voda z potoka	0,4 µm PE	10 min.	1000 ml
41.	voda z potoka	0,2 µm PE	65 min.	1000 ml
42.	voda z potoka	0,4 µm PE	14 min.	1000 ml
43.	rozložený kal	0,2 µm PE	10 min.	800 ml
44.	rozložená půda	0,4 µm PE	4 min.	800 ml

45.	rozložená půda	0,4 µm PE	8 min.	800 ml
46.	rozložená půda	0,4 µm PE	12 min.	800 ml
47. – 59.	mezera mezi 1 a 2 odběrem			
60.	voda z potoka	0,4 µm PE	20 min.	1000 ml
61.	voda z potoka	0,4 µm PE	22 min.	1000 ml
62.	voda z potoka	0,4 µm PE	15 min.	1000 ml
63.	voda z potoka	0,4 µm PE	23 min.	1000 ml
64.	voda z odtoku	0,4 µm PE	60 min.	350 ml
65.	voda z odtoku	0,4 µm PE	90 min.	500 ml
66.	voda z odtoku	0,4 µm PE	70 min.	500 ml
67.	voda z odtoku	0,4 µm PE	75 min.	550 ml
68.	voda z odtoku	0,4 µm PE	77 min.	600 ml
69.	voda z odtoku	0,4 µm PE	90 min.	500 ml
70.	voda z odtoku	0,4 µm PE	60 min.	550 ml
71.	voda z odtoku	0,4 µm PE	80 min.	450 ml
72.	rozložený kal	0,4 µm PE	5 min.	800 ml
73.	rozložený kal	0,4 µm PE	7 min.	800 ml
74.	rozložený kal	0,4 µm PE	7 min.	800 ml
75.	rozložený kal	0,2 µm PE	1 min.	2 ml
76.	rozložený kal	0,2 µm PE	1 min.	2 ml
77.	rozložený kal	0,2 µm PE	1 min.	2 ml
78.	rozložený kal	0,2 µm PE	1 min.	2 ml
79.	rozložený kal	0,2 µm PE	1 min.	2 ml
80.	domácí sušička na prádlo	0,4 µm PE	120 min.	500 ml
81.	domácí sušička na prádlo	0,4 µm PE	163 min.	400 ml
82.	domácí sušička na prádlo	0,4 µm PE	90 min.	500 ml
83.	domácí sušička na prádlo	0,4 µm PE	180 min.	400 ml
84.	domácí sušička na prádlo	0,4 µm PE	204 min.	500 ml
85.	domácí sušička na prádlo	0,4 µm PE	220 min.	500 ml
86.	domácí sušička na prádlo	0,4 µm PE	143 min.	500 ml
87.	domácí sušička na prádlo	0,4 µm PE	165 min.	500 ml
88.	domácí sušička na prádlo	0,4 µm PE	35 min.	200 ml
89.	voda z přítoku	0,45 µm NC	150 min.	300 ml
90.	voda z přítoku	0,45 µm NC	150 min.	300 ml
91.	voda z přítoku	0,45 µm NC	180 min.	350 ml
92.	voda z přítoku	0,45 µm SKLO	150 min.	300 ml
93.	voda z přítoku	0,45 µm SKLO	145 min.	300 ml
94.	voda z přítoku	0,45 µm SKLO	205 min.	450 ml
95.	voda z přítoku	0,45 µm SKLO	105 min.	350 ml
96.	voda z přítoku	0,45 µm NY	175 min.	300 ml
97.	voda z přítoku	0,45 µm SKLO	190 min.	350 ml
98.	voda z přítoku	0,4 µm PE	180 min.	250 ml
99.	voda z přítoku	0,4 µm PE	200 min.	300 ml
100.	rozložená půda	0,4 µm PE	6 min.	800 ml
101.	rozložená půda	0,4 µm PE	10 min.	800 ml
102.	rozložená půda	0,4 µm PE	12 min.	800 ml
103.	voda z přítoku	0,4 µm PE	210 min.	450 ml