

**Univerzita Hradec Králové**  
**Přírodovědecká fakulta**  
**Katedra Biologie**

**Analýza mikroplastových částic v balených  
nápojích**

**Bakalářská práce**

**Autor:** Petra Horáková  
**Studijní program:** B1501 Biologie  
**Studijní obor:** Systematická biologie a ekologie  
**Vedoucí práce:** RNDr. Alena Myslivcová Fučíková, Ph.D.

Hradec Králové

srpen 2020



## Zadání bakalářské práce

**Autor:** Petra Horáková

**Studium:** S16BI015BP

**Studijní program:** B1501 Biologie

**Studijní obor:** Systematická biologie a ekologie

**Název bakalářské práce:** Analýza mikroplastových částic v balených nápojích

**Název bakalářské práce AJ:** Analysis of microplastics in bottled beverages

### **Cíl, metody, literatura, předpoklady:**

Bakalářská práce je zaměřena na vývoj metodiky hodnocení obsahu mikroplastů v balených vodách a jiných vybraných nápojích metodou elektronové mikroskopie a Ramanovy spektroskopie. V rámci práce je třeba nejprve zpracovat rešerši aktuálních literárních zdrojů, týkajících se tématu a následně otestovat vybrané metodiky přípravy vzorků pro výše zmíněné analytické techniky. Vhodná metodika bude následně použita pro analýzu několika vybraných vzorků balených vod a ostatních nápojů a data budou vyhodnocena.

1. Martin Pivokonsky, Lenka Cermakova, Katerina Novotna, Petra Peer, Tomas Cajthaml, Vaclav Janda,  
Occurrence of microplastics in raw and treated drinking water, Science of The Total Environment,  
Volume 643, 2018, Pages 1644-1651, ISSN 0048-9697,  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.102>

2. Zhifeng Wang, Tao Lin, Wei Chen,  
Occurrence and removal of microplastics in an advanced drinking water treatment plant  
(ADWTP),  
Science of The Total Environment, Volume 700,  
2020, 134520, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134520>

**Garantující pracoviště:** Katedra biologie,  
Přírodovědecká fakulta

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

**Oponent:** Ing. Lenka Vávrová

**Datum zadání závěrečné práce:** 7.1.2020

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně a v seznamu použité literatury uvedla všechny prameny, ze kterých jsem vycházela.

V Hradci Králové dne

Petra Horáková

#### Poděkování:

Ráda bych věnovala velké poděkování zejména vedoucí své práce paní RNDr. Aleně Myslivcové Fučíkové, Ph.D., nejen za cenné rady, ochotu a spoustu obětovaného času při pomoci se zhotovením práce, ale i za obrovskou inspiraci při výběru tématu a její profesionální a pozitivně laděný přístup. Dále bych ráda vyzdvihla pana Bc. Marka Vojtu, který mi byl po celou dobu výzkumu nápomocen při obsluze elektronového mikroskopu a předal mi spoustu zajímavých a věcných poznatků potřebných k pochopení tématu. Děkuji také svým blízkým za dlouhodobou podporu, bez níž by mnohé požadavky studia, včetně této práce, nebylo možné zrealizovat.

## **Anotace**

HORÁKOVÁ, P., 2020: *Analýza mikroplastových částic v balených nápojích*. Hradec Králové, 2020. Bakalářská práce na Přírodovědecké fakultě Univerzity Hradec Králové. Vedoucí bakalářské práce RNDr. Alena Myslivcová Fučíková, Ph.D. 66 s.

Tato bakalářská práce se zabývá podrobnou analýzou plastových částic v balených nápojích různých značek. Součástí teoretického úvodu je specializace zejména na obecnou charakteristiku mikroplastů a jejich negativního dopadu na životní prostředí s bližším zaměřením na vodní zdroje. Praktická část se věnuje metodě vakuové filtrace, jež se za použití speciální aparatury snaží zachytit a detekovat jednotlivé částice obsažené v balených vodách a dále identifikovat jejich stavbu pomocí elektronového mikroskopu. Hlavním cílem práce je dokázat přítomnost nežádoucích mikroplastových částic v balených nápojích a seznámit tak co nejširší veřejnost s touto problematikou, jež se zdá být jedním z aktuálních a stále nedostatečně probádaných témat.

## **Klíčová slova**

Mikroplasty, kontaminace plasty, odpadové hospodářství, ochrana životního prostředí, vakuová filtrace, elektronová mikroskopie

## **Annotation**

### **Title: Analysis of microplastics in bottled beverages**

HORÁKOVÁ, P., 2020: *Analysis of microplastics in bottled beverages*. Hradec Králové, 2019. Bachelor Thesis at Faculty of Science University of Hradec Králové. Thesis supervisor RNDr. Alena Myslivcová Fučíková, Ph.D. 66 p.

This bachelor thesis is focused on detailed analysis of microplastic particles in the bottled drinks of various brands. Theoretical introduction of the thesis is specialized in general characteristics of microplastics and their negative impact on the environment, particularly focused on water resources. The practical part describes a method of vacuum filtration, using the special apparatus, which tries to capture and detect the individual particles contained in bottled waters, followed by an identification of their structure by electron microscope. The main purpose of this thesis is to prove the presence of waste microplastic particles in bottled beverages. In addition, it is important to make this topic as widely public as possible, because microplastics are one of the actual issues insufficiently explored.

### **Keywords**

Microplastics, plastic contamination, waste management, environmental protection, vacuum filtration, electron microscopy

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>9</b>
1.1	Cíle práce	10
<b>2</b>	<b>Teoretická část – literární přehled</b>	<b>11</b>
2.1	Charakteristika mikroplastů	11
2.1.1	Historie a původ mikroplastů	11
2.1.2	Dělení mikroplastů	12
2.1.3	Vlastnosti mikroplastů	14
2.2	Zdroje mikroplastů	15
2.2.1	Údržba textilu	16
2.2.2	Chemický průmysl	16
2.2.3	Degradace plastového odpadu	17
2.3	Osud mikroplastů v životním prostředí	18
2.3.1	Výskyt a transport mikroplastů v životním prostředí	18
2.3.2	Vliv mikroplastů na životní prostředí	21
2.3.3	Vliv mikroplastů na živé organismy	22
2.4	Opatření EU vydaná za účelem snížení mikroplastové kontaminace	26
2.5	Teoretická charakteristika potenciálního zdroje mikroplastů zvoleného ve výzkumu jako předmět testování	26
2.5.1	Obecná charakteristika balených vod	26
2.6	Analytické metody identifikace mikroplastů	28
2.6.1	Elektronová mikroskopie	28
2.6.2	Ramanova spektroskopie	31
<b>3</b>	<b>Metodika zpracování</b>	<b>32</b>
3.1	Charakteristika testovaných balených vod	32
3.2	Příprava vzorků	33

3.2.1	Filtrace.....	33
3.2.2	Zpracování a uchovávání vzorků.....	35
3.2.3	Pozorování prostřednictvím SEM.....	35
3.2.4	EDS analýza.....	37
<b>4</b>	<b>Výsledky.....</b>	<b>38</b>
4.1	Prázdný vzorek a kontrolní vzorek.....	38
4.1.1	Kontrolní vzorek.....	38
4.2	Výskyt mikroplastů ve vzorcích.....	39
4.2.1	Morfologie a velikost částic.....	39
4.2.2	Výskyt mikroplastů ve vodách v závislosti na obsahu CO <sub>2</sub> .....	48
4.2.3	Výskyt mikroplastů ve vodách v závislosti na druhu vody.....	48
4.3	Částice neplastového charakteru.....	49
<b>5</b>	<b>Diskuse.....</b>	<b>51</b>
5.1	Výskyt mikroplastů ve vzorcích a zhodnocení balených vod.....	51
5.2	Limitace metod a interpretace výsledků.....	53
<b>6</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>55</b>
<b>7</b>	<b>Seznam použité literatury.....</b>	<b>56</b>
	<b>Seznam obrázků.....</b>	<b>63</b>
	<b>Seznam tabulek.....</b>	<b>65</b>
	<b>Seznam grafů.....</b>	<b>65</b>
	<b>Seznam zkratk.....</b>	<b>66</b>



# 1 Úvod

Plastová kontaminace je v současné době stále jedním z nejaktuálnějších témat a hlavním problémem k řešení v oblasti ekologie a ochrany životního prostředí. Všichni jsme v určité míře součástí spotřební společnosti a těžko si dnes dovedeme představit život bez jakýchkoliv syntetických produktů. Proto je zejména ve vyspělých zemích vidět intenzivní snaha zajistit správné nakládání s odpady, obzvláště těmi plastovými. Poznatky posledních let však ukázaly, že kromě objemného, viditelného odpadu se v životním prostředí kumulují i plastové mikročástice, které se paradoxně zdají být mnohem závažnějšími, právě z důvodu jejich zanedbatelné velikosti. Příčin a cest ke vzniku mikroplastů je celá řada a jejich počet v jednotlivých ekosystémech stále stoupá. Přítomnost mikroplastů představuje potenciální riziko nejen pro abiotické složky přírody, ale i pro živé organismy, jež s nimi úzce souvisí. Vlivem lidské činnosti se plasty dostávají do všech složek životního prostředí, kde se účastní několika procesů včetně akumulace a degradace, a odtud se jako nežádoucí součást potravního řetězce dostávají zpět k člověku. V posledních letech již byla prokázána přítomnost mikroplastů v lidském organismu, což se ostatně dle jejich obsahu ve spoustě produktů každodenní potřeby dalo předpokládat. Doposud však nebylo přesně objasněno, v jaké míře se z příslušných zdrojů do těla vpravují a jaké v něm mohou zanechat stopy. Obecně je známo mnoho vlastností plastových hmot a jejich toxických účinků, není však zatím důkazně podloženo, zda výrazně ohrožují zdraví či život člověka.

Teoretická část předkládané práce je věnována problematice mikroplastů obecně. Řeší jejich vzhled, původ, výskyt i účinky na životní prostředí, včetně organismů v něm žijících. Hlavním cílem zvoleného směru teoretické rešerše je objasnění celého tématu a okolností s ním spojených. Závěr literární rešerše seznamuje čtenáře s analytickými metodami použitými ve výzkumu k identifikaci mikroplastů a tvoří tak plynulý přechod k části praktické.

Průběh praktické části je kromě jiného inspirován německým výzkumem autorů Schymanski et al. (2018), ve kterém byl testován obsah mikroplastů u 22 lahví

balených vod několika značek, různých obalových materiálů a vlastností, za pomoci filtračních technik a Ramanovy spektroskopie, jež v našem případě nahradil skenovací elektronový mikroskop (SEM).

## **1.1 Cíle práce**

Hlavní stanovené cíle bakalářské práce jsou:

1. V podobě literární rešerše vypracovat souhrn stěžejních informací o charakteristice mikroplastů a problematice mikroplastové kontaminace, a to za pomocí odborné literatury.
2. Rozšířit vlastní praktické dovednosti v aplikaci konkrétních laboratorních technik a analytických metod, zejména v oblasti elektronové mikroskopie.
3. Dokázat obsah mikroplastových částic v balených vodách vyskytujících se na českém trhu a na základě zjištěných faktů vody stručně zhodnotit.
4. Charakterizovat morfologické znaky nalezených mikroplastů a porovnat je s informacemi nalezenými v literatuře.
5. Prostřednictvím obsahu závěrečné klasifikační práce nastínit důležitost řešení plastové kontaminace a objasnit závažnost problematiky mikroplastů v životním prostředí.
6. Získat podklady a vytvořit základ pro tvorbu navazující diplomové práce.

## 2 Teoretická část – literární přehled

### 2.1 Charakteristika mikroplastů

Jako mikroplasty označujeme drobné plastové částičky velikosti menší než 5 mm. (Vojtěchová, 2018). Spodní velikostní limit se v různých zdrojích může lišit, kdežto horní limit je, dle Duisové a Coorsové (2016), pevně stanoven. Částice větší než 5 mm tak označujeme již jako mezoplasty, případně makroplasty, přesahují-li rozměr 25 mm. Nejčastěji se v literatuře předponou „mikro-“ označují plasty od 20 µm, menší už bývají nazývány nanoplasty (Wagner et al., 2014).

#### 2.1.1 Historie a původ mikroplastů

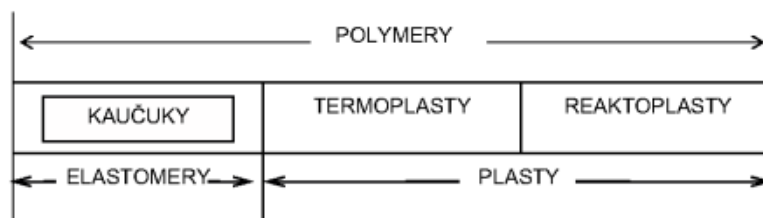
Ačkoliv se mikroplasty v životním prostředí vyskytovaly pravděpodobně už dříve, začal se tento termín, dle Van Cauwenberghe et al. (2015), používat až v roce 2004 a charakterizoval částičky v řádech mikrometrů. Teprve od roku 2009 se na základě řady studií řadí mezi mikroplasty částičky až do velikosti 5 mm (viz 2.1 Charakteristika mikroplastů).

Původu těchto mikro částic předchází rozsáhlá historie umělých hmot, s nimiž se intenzivněji setkáváme už od 19. století, jak ve své příručce uvádí Nutsch (2006). Ačkoliv se pravděpodobně člověk zabýval syntetickými polymery již dříve, prvním masově vyráběným plastem se na počátku 20. století stal bakelit, pojmenovaný po belgicko-americkém chemikovi Leo Baekelandovi (Crespy et al., 2008).

**Polymery** jsou látky, které jsou tvořeny vzájemně řetězově spojenými molekulami, jež se pravidelně opakují jako monomerní jednotky a vytváří tak makromolekuly obsahující nejčastěji atomy uhlíku, vodíku, kyslíku, chloru, případně i jiných prvků. Svoji chemickou strukturou se tak výrazně odlišují od ostatních organických látek a jejich vznik je založený na reakci zvané polymerizace (Ducháček, 2006).

Jako **plasty** označujeme skupinu syntetických, neboli chemicky uměle vytvořených polymerů se specifickými vlastnostmi, na jejichž základě je můžeme dále rozdělit

na termoplasty a reaktoplasty (viz Obr. 1). Umělé hmoty označované jako termoplasty lze, na rozdíl od reaktoplastů, za zvýšené teploty převést z tuhého do tvárného neboli plastického stavu, od něhož je odvozen název této rozsáhlé skupiny polymerů (Ducháček, 2006).



Obrázek 1: Schéma rozdělení polymerů (Ducháček, 2006)

### 2.1.2 Dělení mikroplastů

Mikroplasty jsou heterogenní skupinou odpadů, pro které, dle autorů Wagner et al. (2014), zatím neexistuje přesná klasifikace. Lze je pouze dle níže popsaných vlastností a kritérií rozdělit do různých skupin.

Mikroplasty dělíme na velké mikroplasty pohybující se rozměrově v řádech milimetrů a malé mikroplasty, které nepřesahují velikost 1 mm (Wagner et al., 2014). Dle původu je můžeme rozdělit také na primární a sekundární. Určujícím faktorem zde tedy není velikost, ale historie a důvod jejich vzniku (Česák, 2019).

**Primární mikroplasty** jsou mikročástečky používané nejčastěji jako materiál na výrobu plastových produktů nebo přidávané do různých výrobků, například barev či hygienických potřeb (Wagner et al., 2014). Na rozdíl od mikroplastů sekundárních, jež vznikají rozpadem větších plastových předmětů, jsou tyto částice vytvořené v malé velikosti cíleně (Česák, 2019). V kosmetických přípravcích (viz Obr. 2), jako jsou peelingy, zubní pasty či sprchové gely, hrají roli čistících aditiv a v posledních letech tak nahrazují dříve používané přírodní složky (Cole et al., 2011).

Dle Wu et al. (2019) se primární mikroplasty v životním prostředí vyskytují převážně důsledkem činnosti bodových zdrojů znečištění (např. ČOV), na rozdíl od mikroplastů sekundárních.



Obrázek 2: Primární mikroplasty přidávané do kosmetiky (Park, 2016)

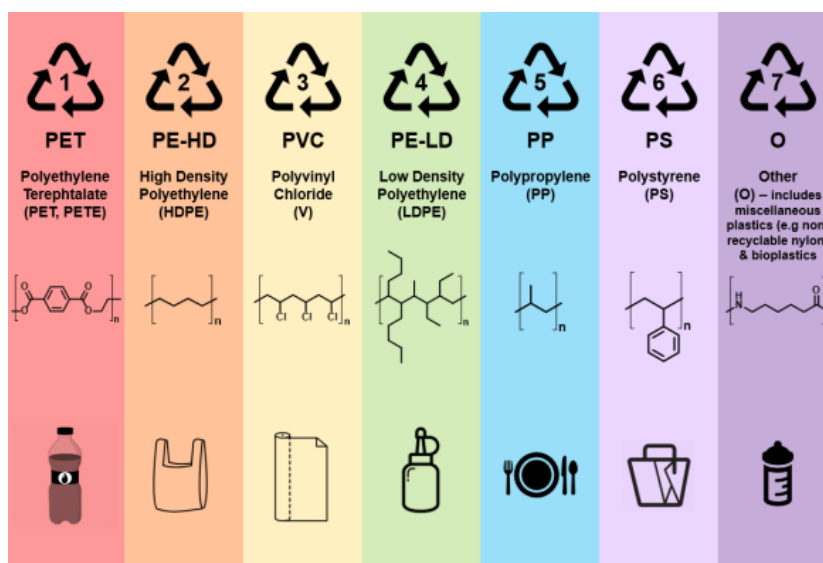
Rozkladem větších makroplastů mohou vznikat již zmíněné nežádoucí **sekundární mikroplasty**, které svou životností výrazně přecházejí původního spotřebitele (Bayo, 2020). Jak uvádí Wagner et al. (2014), k degradaci může docházet vlivem působení UV záření nebo mechanickými silami, které způsobují odloučení menších fragmentů ze zdroje (viz Obr. 3). Většina mikroplastových částic způsobujících znečištění životního prostředí, zejména vodních ekosystémů, spadá právě do kategorie sekundárních mikroplastů vzniklých degradací. O tomto faktu svědčí skutečnost, že nalezené částice mají nejčastěji nerovnoměrné tvary a různou velikost (Rhodes, 2019).



Obrázek 3: Procesy vzniku sekundárních mikroplastů (upraveno dle Myron et Peluso, 2019)

Jak uvádí Wagner et al. (2014), dle tvaru můžeme mikroplastové částičky rozdělit do skupin: fragmenty (zaoblené, hranaté); pelety (válce, kotouče, koule); granuly či vlákna. Dle této publikace můžeme druh mikroplastu dále

charakterizovat na základě polymerového typu, který je v plastové částice obsažen (viz Obr. 4). V souladu s celosvětovou mírou produkce jsou v mikroplastech nejčastěji obsaženy polymery polyethylentereftalát (PET), polypropylen (PP), polystyren (PS) a polyvinylchlorid (PVC). V případě vláken se můžeme často setkat s polyamidy (tzv. nylon), které jsou součástí mnoha textilií, zejména punčoch, ponožek, kobereců a dalších. Polymerový typ mikroplastů je možné určit pomocí Ramanovy spektroskopie (viz 2.6 Ramanova spektroskopie) či infračervené spektroskopie s Fourierovou transformací FTIR (Wagner et al., 2014)



Obrázek 4: Chemická struktura a recyklační označení polymerů (Farac, 2019)

### 2.1.3 Vlastnosti mikroplastů

Jak už bylo zmíněno, mikroplasty jsou tvarem, složením i velikostně velice heterogenní skupinou organického původu. Chemicky se jedná o polymery. Logicky tedy nesou vlastnosti svého náležícího makroplastu či předmětu, ze kterého pochází. Jsou velice odolné, nepodléhají chemickým reakcím, často dobře tvarovatelné a rozkládají se velice pomalu. Problém spočívá zejména v jejich mikroskopické velikosti, neboť se stávají těžce detekovatelnými a mohou se kumulovat v organismech či sedimentech (Wagner et al., 2014; Kotas, 2017).

Vlastnosti mikroplastů jsou často ovlivněny přítomností aditiv přidávaných do plastů za účelem zvýšení jejich odolnosti. Toxické vlivy těchto látek uvolňovaných z plastových hmot jsou popsány níže (viz 2.3.2.1 Toxicita mikroplastů v ŽP).

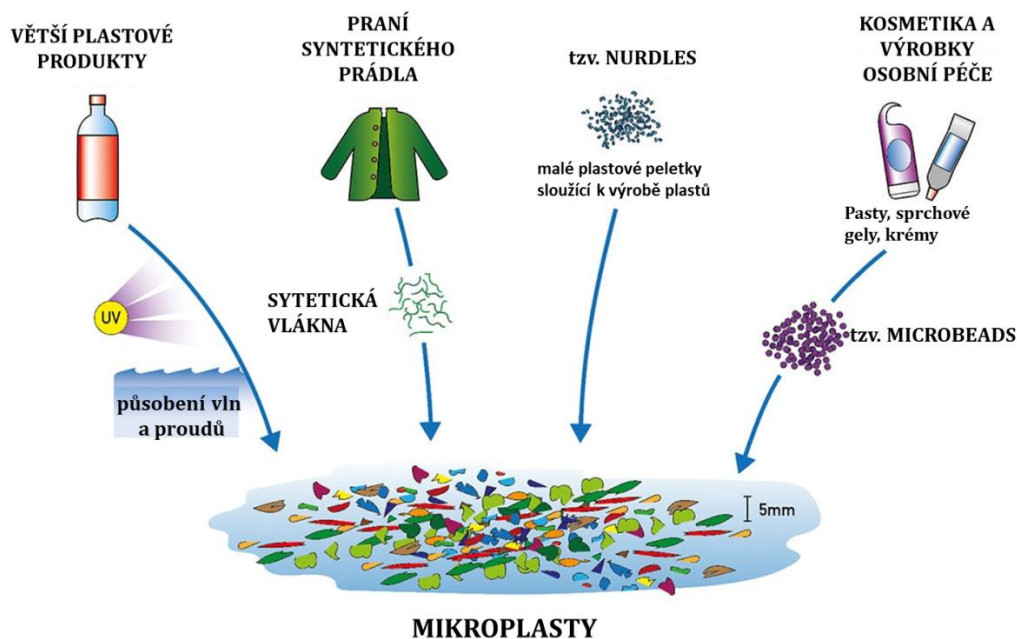
## 2.2 Zdroje mikroplastů

Přestože zdroje mikroplastů ve vodách nejsou prozatím dokonale objasněny, je téměř jisté, že až 80 % odpadů v oceánech má, stejně jako sladkovodní znečištění, vnitrozemský původ. Zbýlých 20 % znečištění je připisováno úmyslné nebo náhodné ztrátě odpadu přímo na moři. Do moří se plastové fragmenty dostávají ústím řek, které jsou mnohdy zasaženy v celé délce toku kontaminací vlivem lidské činnosti. Mezi možné zdroje plastových částic patří čističky odpadních vod, nákladní doprava, rybolov, přístavní činnost nebo průmyslový odpad unikající z výrobních zařízení. Rámcová směrnice EU o strategii pro mořské prostředí (2008/56/ES) vydala pokyny pro monitorování odpadů v evropských mořích, které se staly důležitým krokem pro standardizovaný odběr vzorků (viz následující odstavec) a pozorování mikroplastových částic ve vodním prostředí (Wagner et al., 2014; Crampton, 2017).

Odběr vzorků mikroplastů z vod zcela závisí na tom, zda je středem zájmu povrch hladiny, vodní sloupec či povrch sedimentů. Rozlišujeme **vzorkování selektivní**, při kterém dochází k přímému sběru okem viditelných fragmentů (např. plastových pelet), či **vzorkování směsné**, kdy je odběr zaměřen na širší množství materiálů a je tedy nutná další úprava (např. filtrace), neboť částice není snadné identifikovat pouhým okem. Za použití směsných vzorků lze využít i **vzorkování redukované**, které probíhá laboratorními úpravami jiných vzorků. Odběr částic může být ve vodním prostředí realizován prostřednictvím vlečných sítí nebo tzv. drapáků při odběru vzorků ze dna. V případě selektivního vzorkování jsou částice odebírány ručně nebo pomocí pinzety. Standardizované postupy získávání mikročástic ze vzorků zahrnují různé typy separace, filtraci i vizuální třídění a jsou doprovázeny přesnějšími metodami identifikace mikroplastů (viz 2.5 Analytické metody identifikace mikroplastů), aby nedošlo k nesprávnému označení původu částic (Hidalgo-Ruz et al., 2012).

Konkrétními zdroji mikroplastů ve vodách mohou být syntetické textilie, průmyslové plastové pelety či kosmetika (viz Obr. 5). Jedním z nejvýznamnějších

zdrojů mikroplastové kontaminace však představuje špatné nakládání s odpady (Crampton, 2017).



Obrázek 5: Zdroje mikroplastů unikajících do ŽP (upraveno dle EncounterEdu; ©2020)

## 2.2.1 Údržba textilu

Při praní syntetických oděvů se mohou uvolňovat plastová vlákna polyesteru nebo akrylu a tvoří tak součást odpadních vod. Čističky odpadních vod často nejsou schopny mikroskopická vlákna odstranit a ta se následně dostávají do vodních ekosystémů jako složky znečištění (Crampton, 2017). Výzkumy zabývající se odpadními vodami prokázaly, že jeden oděv během praní může vyprodukovat více než 1900 vláken (Browne et al., 2011).

## 2.2.2 Chemický průmysl

### 2.2.2.1 Výroba plastů

Mikroplasty se do životního prostředí mohou dostávat přímo ve formě pelet či granulek. To je zapříčiněno zejména náhodnými ztrátami během jejich přepravy, např. loděmi. Využívají se hlavně ve výrobě plastových předmětů, jsou velice lehké a obtížně pozorovatelné. Důsledkem špatné manipulace se pelety mohou



uvolňovat i při jejich zpracování v továrnách (Duis et Coors, 2016; Crampton, 2017).



Obrázek 6: Průmyslové plastové pelety (Geiselman, 2018)

#### **2.2.2.2 Kosmetika**

Mikročástečky, tzv. microbeads, jsou v průměru milimetrové částečky, které se přidávají do kosmetických produktů za účelem zvýšení čistící schopnosti a abraze. Jak už bylo zmíněno, jsou obsaženy v řadě výrobků denní potřeby, jako jsou krémy, zubní pasty, peelingy či jiné čističe pleti, a proto je kosmetika jedním z hlavních zdrojů znečištění životního prostředí mikroplasty (Crampton, 2017). Unikají převážně, stejně jako textilní vlákna, z čističek odpadních vod z důvodu neúplného odstranění. Ačkoliv hmotnost těchto emitovaných mikročástic představuje pouze zanedbatelnou část celkové hmotnosti odpadu ve vodních ekosystémech, stále se objevují v takové míře, že je třeba pracovat na řadě opatření redukcí vstup mikročástic do vodních zdrojů (Cheung et Fok, 2017).

#### **2.2.3 Degradace plastového odpadu**

Významným zdrojem mikroplastů je také špatné nakládání s plastovými odpady. Ty se totiž vlivem UV záření, oxidací nebo různými způsoby fyzické degradace rozkládají stále na menší částečky. Degradace plastových předmětů je hlavním zdrojem sekundárních mikroplastů a v životním prostředí se objevují jakýmkoliv uvolňováním či ztrátou odpadů během lidské činnosti či oděrem syntetických produktů. Konkrétním příkladem může být materiál používaný při rybářské

činnosti, fragmenty odloučené opotřebením pneumatik, ztráta odpadu při sběru ze skládek a další (Crampton, 2017; Duis et Coors, 2016).

### **2.3 Osud mikroplastů v životním prostředí**

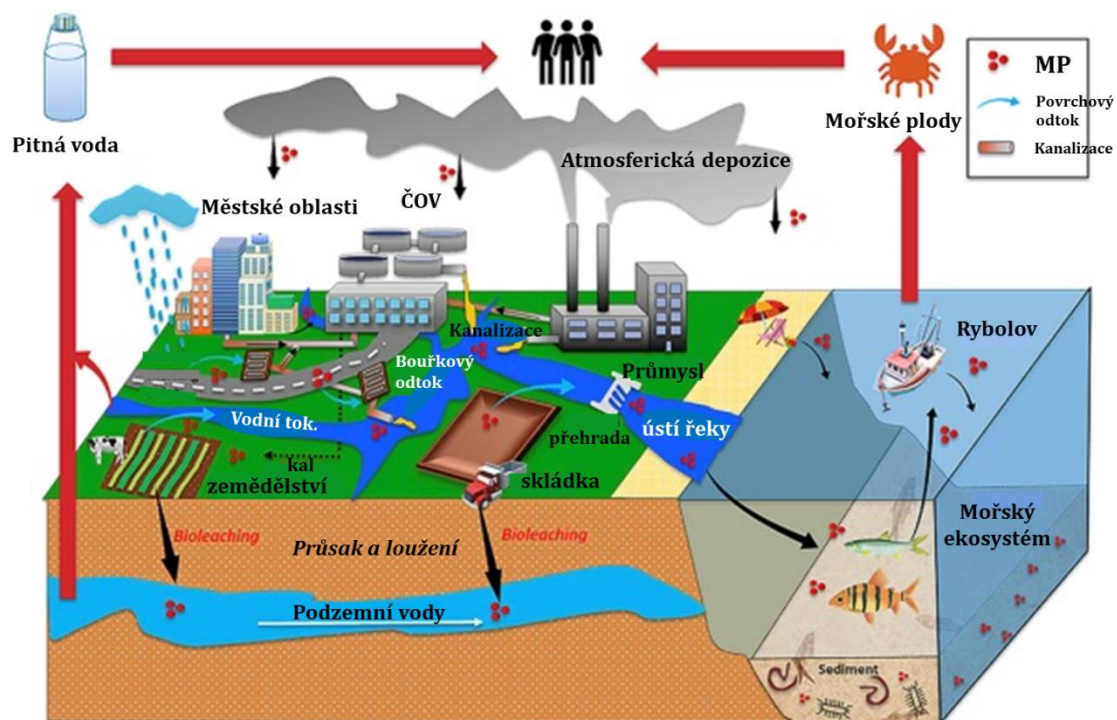
„Podle Evropské chemické agentury (ECHA) ročně do prostředí unikne okolo 36 tisíc tun mikroplastů“, uvedl ve svém článku Freidinger (2019). Největší hrozbou, jež mikroplasty představují pro životní prostředí, je jejich vlastnost v něm přetrvávat až několik set let, což je spojeno s negativním dopadem na potravní řetězce, zdraví, dokonce i život některých organismů (Freidinger, 2019).

Přestože plasty v našem okolí přetrvávají dlouhá období, nejsou samy o sobě toxické. Pro živé organismy je však jejich výskyt nepřirozený (viz níže). Jsou schopny absorbovat spoustu jiných nečistot a způsobovat tak v organismu řadu zdravotních obtíží (Kotas, 2017). Doposud však nebylo přesně objasněno, jak velké riziko představuje pro člověka přítomnost mikroplastů v lidském těle (Freidinger, 2019).

#### **2.3.1 Výskyt a transport mikroplastů v životním prostředí**

Ačkoliv kontaminace mikroplasty ve slaných vodách byla zaznamenána už na úplném počátku 21. století, teprve až v posledních letech stoupl počet studií zabývajících se přítomností těchto částic i v jiných ekosystémech. Zasaženy jsou i sladkovodní nádrže, tekoucí řeky, sedimenty, a pozornost si vyžádalo i atmosferické znečištění mikroplasty. Právě ta skutečnost, že se mikroplasty nachází téměř ve všech složkách ŽP, svědčí o jejich nadměrném množství a neustálém transportu (Schymanski et al., 2018).

Mikroplasty v životním prostředí kolují všemi běžnými cestami transportu, jako jsou voda, půda i vzduch (viz Obr. 7). Proces koloběhu částic a hlavní zdroje mikroplastového znečištění zobrazené na obrázku č. 7 jsou blíže charakterizovány v následujícím textu.



Obrázek 7: Schéma transportu mikroplastů v životním prostředí (upraveno dle Wu et al., 2019)

Ve vodním prostředí jsou určujícími faktory koloběhu: plocha vodní hladiny, výška vodního sloupce, povrchové proudy, vítr a hustota částic. Mikroplasty se nejčastěji vznášejí na vodní hladině, neboť hustota většiny takových částic je menší než hustota vody, a to ať sladké nebo mořské. Obecně platí, že čím větší rozměry plast má, tím snáze je unášen proudem vody, konkrétně řekami do moří a oceánů. Tok řeky do oceánu je, dle Lebretona et al. (2017), jedna z nejvýznamnějších cest transportu mikroplastů ve vodách. Během transportu vodním řečištěm se makroplasty a mezoplasty mohou vlivem různých činitelů dále rozkládat (viz Obr. 3). Částičky mikro rozměrů se pak na základě vztlakových sil účastní vertikálního transportu ve vodním sloupci, což je způsobeno například kolonizací plastů živými organismy. Hustota mikroplastů se zvyšuje a stávají se součástí planktonu. Zatímco mikroplasty s nižší hustotou jsou náchylné k odnosu větrem či povrchovými proudy, mikroplasty vyšší hustoty klesají ke dnu, stávají se součástí sedimentu a mohou být transportovány do hlubších vrstev půdy (Wu et al., 2019; Andrady, 2011; Duis et Coors, 2016).

Ve výzkumu autorů Mani et al. (2016), zabývajících se profilem mikroplastů podél řeky Rýn, bylo popsáno, že sladkovodní systémy se obecně nachází blíže zdrojům

znečištění a v porovnání s oceány se často jedná o maloplošná území. Proto zde výskyt a distribuce mikroplastů zcela závisí na aspektech okolní kontaminace.

Jedním z hlavních činitelů znečištění vodních zdrojů mikroplasty jsou, dle Pivokonsky et al. (2018), čističky odpadních vod, které jsou, vzhledem k velkému objemu přijímané vody, schopné zachytit pouze část nečistot. Na základě vysokého obsahu mikročástic a průmyslových pelet ve sladkých vodách jsou ČOV považovány za bodové zdroje primárních mikroplastů (Wu et al., 2019). Například podle amerických studií (Rochman et al., 2015) jsou ČOV schopné zachytit 95-99 % mikročástic. Ve Spojených státech jimi proteče až 808 triliónů primárních mikroplastů denně, tedy průměrně až 8 triliónů částic dále uniká do vodních stanovišť (Rochman et al., 2015).

Při zpracování a likvidaci kalů z čističek odpadních vod či při průmyslovém zpracování plastů se mikročástečky mohou dále šířit do půdy i ovzduší (viz Obr. 7), avšak výzkumy týkající se distribuce mikroplastů mimo vodní ekosystémy jsou stále v počátku. V rámci znečištění půd činností skládek a zemědělských hnojiv, mohou mít mikroplasty vliv na změny vlastností půdy, např. pórovitost. Důležitými transportními činiteli mikroplastů v půdě jsou, dle Wu et al. (2019), bezobratlí, což může být uskutečněno přilnutím plastu na vnější povrch těla živočicha, či pozřením těchto částic. V druhém případě to pro dané organismy, jak uvádí Rhodes (2019), může mít fatální následky (viz 2.3.4. Vliv mikroplastů na živé organismy).

Z půdy se pravděpodobně vlivem průsaku a loužení mikroplasty dostávají do podpovrchových vod (viz Obr. 7), kde se prostřednictvím pitné vody stávají zdrojem kontaminace v potravinářství, a tedy potenciálním rizikem pro člověka (Wu et al., 2019).

### **2.3.2 Vliv mikroplastů na životní prostředí**

Mikroplasty mají v životním prostředí vliv na různé biologické i geologické procesy. Ovlivňují fyzickou kondici živočichů, jsou zdrojem znečištění, tvoří substrát mnohých organismů a mohou ovlivňovat vlastnosti sedimentů. Například s rostoucím obsahem plastů v sedimentech se snižuje jejich tepelná vodivost a rychlost zahřívání (Duis et Coors, 2016).

V důsledku zvýšení plastové výroby roste i počet plastového odpadu pohybujícího se v mořích a oceánech. Zbytky pak slouží jako podklad pro mnohé organismy, a to hlavně na otevřeném oceánu, kde je substrát omezený. Velikost plastové částice určuje, jakým druhem bude kolonizována (Barnes, 2002).

Mikroplasty jsou často osidlovány bakteriemi, sinicemi, rozsivkami, nálevníky, mřížovci a dalšími organismy (Zettler et al., 2013). Jak uvádí Reissler et al. (2014), na větších mikroplastech velikosti 3 až 5 mm byly identifikovány i mechovky. Vzhledem k mikroskopické velikosti je pak usnadněn transport organismů, a to by mohlo postupně vést ke změně druhové diverzity v různých částech světa (Duis et Coors, 2016).

#### **2.3.2.1 Toxicita mikroplastů v životním prostředí**

Vědci se původně domnívali, že ačkoliv mohou být úlomky plastových zbytků pro životní prostředí nebezpečné hlavně z důvodu požití organismy, nereaguje plast s prostředím. Toto tvrzení však bylo později vyvráceno. Plasty se, jak už bylo zmíněno, rozkládají na mikro částičky a tím se do životního prostředí, zejména vody, uvolňují látky, které jsou do plastů přidávány za účelem zlepšení jejich vlastností. Uvolněné chemikálie se pak váží na mikroplasty. Proces vyluhování je tedy opět následován sorpcí. Uvolněné látky pak mohou být mnohem nebezpečnější než samotný plastový fragment a stávají se potenciálním rizikem pro mnoho organismů, včetně člověka, dosáhnou-li v těle určité koncentrace (Crampton, 2017).

Ve vyšších koncentracích se chemikálie vyluhované z plastových hmot často v organismu chovají jako endokrinní disruptory a narušují tak fyziologické funkce přirozených hormonů (Wagner et Oehlmann, 2009).

Typickým příkladem mohou být polychlorované bifenyly PCB, označované jako perzistentní organické látky, tzv. POPs, neboť setrvávají v prostředí delší dobu. Jejich výroba už byla v mnoha státech pozastavena, ale dříve se přidávaly do plastových výrobků a v životním prostředí jsou stále přítomny. Mohou být zdraví škodlivé a dle toxicity jsou klasifikovány jako pravděpodobné karcinogeny. Částicemi mohou být přenášeny i polycyklické aromatické uhlovodíky – PAH nebo organochloridové pesticidy jako DDT (Teuten et al., 2007; Crampton, 2017).

Kvůli zpevnění se v plastech často setkáváme s bisfenolem A (BPA), který se používá zejména při výrobě obalových materiálů na potraviny a nápoje. Nestabilita BPA v plastových výrobcích usnadňuje jeho vyluhování ve vodách. Výskyt této látky byl hlášen hlavně v okolí skládek. Svojí strukturou se podobá estrogenům a může způsobovat nádorové bujení v prsní tkáni či redukci spermií u mužů. Kromě toho je tato látka schopna ovlivňovat vývoj srdečních onemocnění a diabetes (vom Saal et Myers, 2008; Česák, 2019).

### **2.3.3 Vliv mikroplastů na živé organismy**

Pokud jsou plastové odpady vyloučeny do životního prostředí, mohou později interagovat s organismy. Fragmenty plastů jsou často požitý různými živočichy (Prinz et Korez, 2020). Toxický vliv plastových částic na organismy byl nejdokonaleji prozkoumán ve slaných vodách. V případě sladkovodní a suchozemské bioty jsou účinky prozatím nedostatečně charakterizovány (Duis et Coors, 2016).

Příjem plastových částic byl dokázán u spousty druhů ryb, ptáků, obojživelníků, želv, řady bezobratlých i savců (Wu et al., 2019; Harvey, 2016). Moore (2008) ve své studii uvádí, že plasty požívá až 44 % všech druhů mořských ptáků. S velkými problémy se dle Teuten et al. (2009) potýkají například i mořské želvy, které zaměňují medúzy, které jsou jejich běžnou potravou, za plastové sáčky.

V porovnání s makroplasty jsou mikroplasty snadno přijímány širokou škálou organismů, zejména z důvodu jejich mikroskopické velikosti. Živočichové tyto částice polykají, ale nemohou je strávit, což vede k jejich nahromadění v zažívacím traktu (Wu et al., 2019; Harvey, 2016). Následkem je ve většině případů snížený příjem potravy, a to vede k nižším zásobám energie, což souvisí s dalšími změnami fyziologických funkcí (Duis et Coors, 2016).

Dle publikace autorky Harveyové z roku 2016, popisující osud mikroplastů v tělech ryb, spousta druhů žijících v mořích vysoce zasažených plasty umírá ještě před dosažením dospělosti. Ve studii se také ukázalo, že testovaní okouni dokonce upřednostňují plastové částice před jejich běžnou planktonní potravou, což vede k zakrnělému růstu, změnám chování a potlačení obranných reakcí v přítomnosti predátorů.

Na obrázku č. 8 jsou zobrazeny plastové úlomky objevené v těle kranase duhového, jež byl nalezen v oblasti Velké tichomořské odpadkové skvrny.



Obrázek 8: Plastové úlomky nalezené v těle kranase duhového - Autor: Gyres Institut© (Thomson, 2018)

Během požití mohou úlomky působit na organismus škodlivě, a to jak fyzickou, tak chemickou cestou (viz 2.3.2.1 Toxicita mikroplastů v ŽP). Mikroplasty mohou v zažívacím traktu působit negativně podobně jako větší, tělu cizí částice, a to zejména mechanickým oděrem či narušováním sliznice ostrými hranami (Wu et al.,

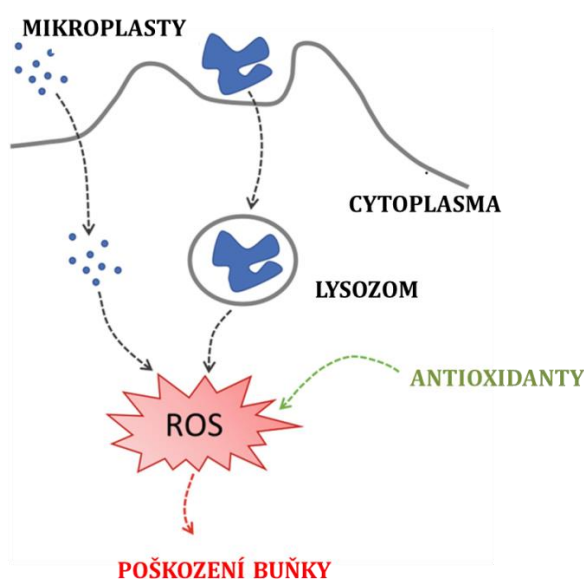


2019). Ve většině případů byly mikroplasty nalezeny ve střevech, u některých však byla prokázána translokace z trávicího systému do oběhové soustavy nebo okolních tkání (Duis et Coors, 2016). Kromě požití můžou mikroskopické částice do těla vnikat i fagocytární cestou, typickým příkladem jsou nálevníci. Tyto organismy jsou obzvláště náchylné k požívání mikroplastů, což je způsobeno neschopností rozlišit plastovou částici od kořisti (Cole et al., 2011).

Ačkoliv se často zanedbávají účinky mikroplastů na autotrofní organismy, dle Prinzové a Korezové (2020) byly mikročástičky nalezeny i u některých druhů mechů, zelených řas i sinic, kde mohou způsobit poruchy růstu nebo zabránit fotosyntetické aktivitě.

### 2.3.3.1 Vliv mikroplastů na živočišné buňky

Dle Prinzové a Korezové (2020) vstupuje mikroplast do buněk endocytózou nebo lipidovou membránou, je-li menší než 50 nm (viz Obr. 9). Jakmile se vyskytuje v buňce, vyvolává oxidační stres způsobený tvorbou reaktivních druhů kyslíku (ROS). Ty vznikají, jakmile jsou v buňce mikroplasty rozpoznány jako cizorodé látky, což započíná oxidační reakci. Prostřednictvím enzymů a vitamínů známých jako antioxidanty jsou buňky chráněny, neboť regulují hladinu ROS v buňce. Při přetrvávající přítomnosti a hromadění mikroplastů v buňce však způsobují její poškození (Prinz et Korez, 2020).



Obrázek 9: Schéma událostí po vstupu MP do buňky (upraveno dle Prinz et Korez, 2020)



Stabilitu lysozomální membrány, dle Prinzové a Korezové (2020), v některých případech lze použít jako biomarker pro odhad zdraví živočicha, neboť je citlivá na cizorodé látky. Plastové mikročástečky byly nalezeny v lysozomech některých mušlí, jejichž membrána byla poškozena a bylo tak dokázáno, že mikroplasty v buňkách živých organismů často způsobují závažné poruchy (Prinz et Korez, 2020).

Skutečnosti výše popsané vyvolaly u ekologů velké obavy související s tím, že mikroplasty se stávají součástí potravního řetězce a představují tak potenciální riziko i pro člověka (Duis et Coors, 2016).

### **2.3.3.2 Vliv mikroplastů na lidský organismus**

Aktuálně je jisté, že plastové částice různých velikostí vstupují i do lidského organismu. V těle se pak chovají různě a není však přesně dokázáno, jaký dopad by to pro člověka mohlo mít. Mohou být znovu vyloučeny, aniž by zanechaly nějakou stopu, mohou být pohlceny, ale zapouzdřeny, aby neuškodily tělu. Spousta částic se však v organismu kumuluje a ve vyšších koncentracích už mohou způsobit řadu problémů. Vědci se domnívají, že čím menší plastové úlomky jsou, tím větší riziko představují, neboť nanočástečky jsou dostatečně malé, aby mohly vstupovat do buněk (Harvey, 2016).

Jedny z nejvýznamnějších zdrojů mikroplastů pro člověka jsou mořské plody i jiné potraviny, které jsou nejčastěji živočišné povahy. Do těla se mohou dále dostávat prostřednictvím kosmetických výrobků či pitné vody. Podle nejnovějších studií (Gasperi et al., 2018) se mikroplasty vyskytují i ve vzduchu, který dýcháme. Částice pak přetrvávají v plicích, kde mohou vyvolávat různé záněty, zejména u jedinců s narušenou imunitou. Chemikálie, které jsou do plastů přidávány, při uvolnění v tkáních působí na organismus toxicky či karcinogenně (Walkinshaw et al., 2020; Gasperi et al., 2018; Crampton, 2017; Tanaka et Takada, 2016).

## ***2.4 Opatření EU vydaná za účelem snížení mikroplastové kontaminace***

Od patentování mikroplastových částic v kosmetice v 80. letech 20. století, dramaticky vzrostla jejich výroba, stejně tak jako výroba ostatních plastů (Cole et al., 2011). Vzhledem k jejich rozšíření byly v posledních letech v mnoha zemích zavedeny předpisy vytvářené za účelem snížení obsahu mikroplastů v životním prostředí. Evropská chemická agentura (ECHA) tak v roce 2018 podala návrh, který by měl omezit, či dokonce zakázat přidávání primárních mikroplastů do kosmetiky, barev či hnojiv užívaných v zemědělství (Karbalaei et al., 2018; Freidinger, 2019). Dle ECHA se odhaduje, že návrh by měl snížit emise mikroplastů až o 90 % a během 20 let by mělo klesnout množství uvolněných mikroplastů do ŽP až o půl milionu tun (ECHA, ©2020).

## ***2.5 Teoretická charakteristika potenciálního zdroje mikroplastů zvoleného ve výzkumu jako předmět testování***

Jak už bylo zmíněno, pitná voda je dle nejnovějších poznatků jedním z mnoha zdrojů zasažených mikroplastovou kontaminací. Různé zdroje balených vod a různé parametry jejich úprav (viz níže) pak mohou být jednou z příčin transportu mikroplastů k člověku a s ním spojené řady následků (viz výše). Velkým rizikem může být i nesprávné skladování PET lahví, jehož důsledkem by potenciálně mohlo docházet k uvolňování částic či jiných nežádoucích látek do tekutiny. Dle autorů Schymanski et al. (2018) nebyly v roce vydání jejich publikace žádné podložené informace ani důkazy o obsahu mikroplastů v balených vodách. Z tohoto důvodu byly v rámci výzkumu klasifikační práce vybrány jako předmět testování právě balené nápoje.

### **2.5.1 Obecná charakteristika balených vod**

Dle vyhlášky MZ č. 275/2004 Sb. stanovující požadavky na úpravu balených vod, doprovázenou požadavky na jakost a zdravotní nezávadnost, můžeme balené vody rozdělit na několik druhů. Pro jednotlivé druhy platí různé parametry úpravy, kontroly, zpracování či označování balených vod (viz Tab. 1). Dle legislativy

rozlišujeme přírodní minerální vody, pramenité vody, kojenecké vody a pitné balené vody. Povinným údajem, jenž musí být uveden na etiketě každé balené vody (s výjimkou pitné balené), je název zdroje, ze kterého je voda stáčena, lokalita, ve které se zdroj nachází. Na etiketě balených vod by měl být také údaj o doporučeném skladování. Minerální vody by dále na obalu měly mít uvedený údaj o celkové mineralizaci (Vyhláška MZ č. 275/2004 Sb.).

**Tabulka 1: Charakteristika jednotlivých druhů balených vod (zpracováno dle Vyhlášky MZ č. 275/2004 Sb.)**

	<b>Přírodní minerální voda</b>	<b>Pramenitá voda</b>	<b>Kojenecká voda</b>	<b>Pitná balená voda</b>
<b>ZDROJ</b>	podzemní zdroj	chráněný podzemní zdroj	chráněný podzemní zdroj	podzemní zdroj/ veřejný vodovod
<b>MINERALIZACE</b>	různé stupně mineralizace	max. 1000 mg/l	do 500 mg/l	různá
<b>POVOLENÉ ÚPRAVY</b>	odželeznění,  použití vzduchu obohaceného ozonem,  sycení CO <sub>2</sub> ,  odstraňování CO <sub>2</sub>	odželeznění,  použití vzduchu obohaceného ozonem  sycení CO <sub>2</sub>	pouze UV paprsky,  přísnější požadavky (dusičnany max. 10mg/l),  pouze přidání CO <sub>2</sub> (pH ≥ 5)	nejsou omezeny,  není zakázáno použití bakteriostatických látek
<b>DOPORUČENÍ</b>		vhodné k trvalému pití	vhodné k přípravě kojenecké stravy,  vhodné k trvalému pití	
<b>POZNÁMKA</b>		<b>v případě sycení CO<sub>2</sub>:</b>  -> označení "Pramenitá voda sycená",  -> označení obsahu CO <sub>2</sub> v g/l		

Do výše uvedených kategorií nespádají ochucené minerálky, které spolu se sodovkami tvoří zcela odlišnou skupinu. Dle již zmíněné vyhlášky jsou řazeny mezi nealkoholické nápoje a na rozdíl od balených vod mohou být syceny sladidly, vitamíny, aromaty či konzervanty (Vyhláška MZ č. 275/2004 Sb.).

## **2.6 Analytické metody identifikace mikroplastů**

Identifikace mikroplastů ve vzorcích je velice obtížná, ať už se jedná o kvalitativní nebo kvantitativní analýzu. Proto je při detekci částic vhodné kombinovat více technik (Li et al, 2018). Zvolení správných analytických metod identifikace částic je stěžejní krok výzkumu a závisí nejen na metodice odběru vzorku a separace částic, ale i na zvoleném cíli.

Pro detekci a pozorování mikroplastů ve vzorcích byla zvolena skenovací elektronová mikroskopie (SEM), která dokáže poskytnout velmi kvalitní obraz pozorovaného objektu a pomocí EDS detektoru nastínit prvkové složení povrchu částic (viz níže).

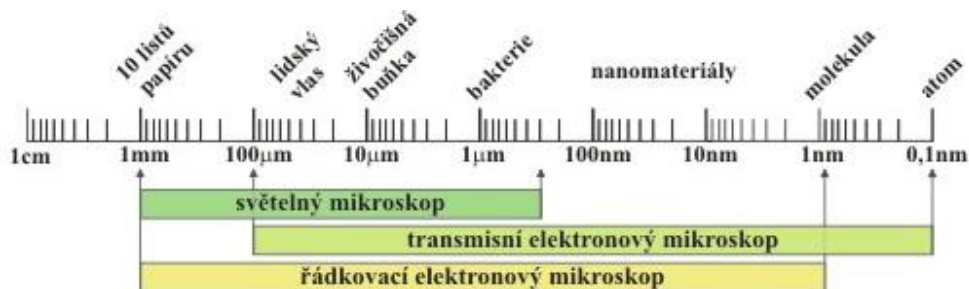
Pro detailnější analýzu mikroplastů lze využít Ramanovu spektroskopii nebo infračervenou spektroskopii s Fourierovou transformací FTIR, která v částicích větších než 10  $\mu\text{m}$  dokáže identifikovat funkční skupiny polymerů (Silva et al. 2018).

### **2.6.1 Elektronová mikroskopie**

Elektronová mikroskopie je metoda zobrazování mikro- a nano- struktur, která využívá namísto proudu fotonů, jako je tomu u optického mikroskopu, proud elektronů. Nasměrování paprsků ke vzorku je zrealizováno pomocí elektromagnetických čoček v podobě cívky, která vytváří vhodné magnetické pole ovlivňující tok elektronů, a nahrazuje tak skleněnou čočku charakteristickou pro optickou mikroskopii (Navrátil et Rosina, 2005). Elektronový mikroskop se obecně vyznačuje větším zvětšením (až 1 000 000x) a lepší rozlišovací schopností. To je způsobeno kratší vlnovou délkou elektronů, v porovnání s viditelným světlem. Pro tento typ mikroskopu je charakteristické umístění vzorku ve vakuu, čímž je zabráněno interagování elektronů s molekulami vzduchu (FZU, 2017).

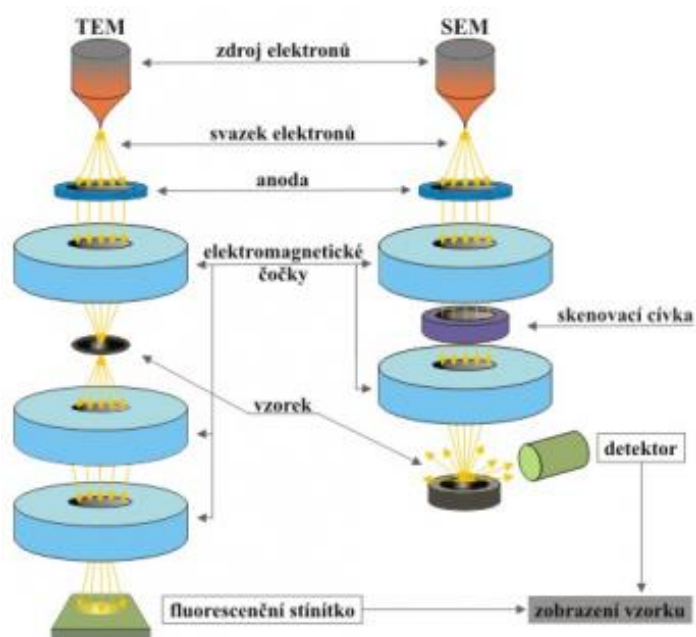
Ačkoliv pokusy o zobrazování struktur pomocí elektronové mikroskopie přišly už s realizací prvního elektronového mikroskopu německým fyzikem E. Ruskou, za který získal roku 1986 Nobelovu cenu, komerčně se začal využívat až v 60. letech 20. století (FZU, 2017).

Rozlišujeme dva základní typy, transmisní elektronový mikroskop (TEM) a rastrovací neboli skenovací elektronový mikroskop (tzv. SEM). Hlavní rozdíl mezi nimi spočívá v možnostech zobrazení pozorovaného objektu (Goodhew et al., 2001). Škála velikostí pozorovatelných jednotlivými typy mikroskopů je znázorněna na obrázku č. 10.



Obrázek 10: Spektrum velikostí pozorovatelných jednotlivými mikroskopy (FZU, 2017)

**TEM** se využívá k zobrazování vnitřních mikroskopických struktur, kdy paprsek elektronů prostupuje zhotoveným vzorkem přímo a umožňuje nám tak přístup do částí, které nejsou lidskému oku běžně známé (Goodhew et al., 2001). Výsledný obraz se promítá na fluorescenčním stínítku. Příprava vzorků pro pozorování pomocí TEM bývá často složitější, neboť preparát musí být dostatečně tenký, aby byl umožněn průchod elektronů (Navrátil et Rosina, 2005). Schéma principu TEM v porovnání se SEM je znázorněno na obrázku č. 11.

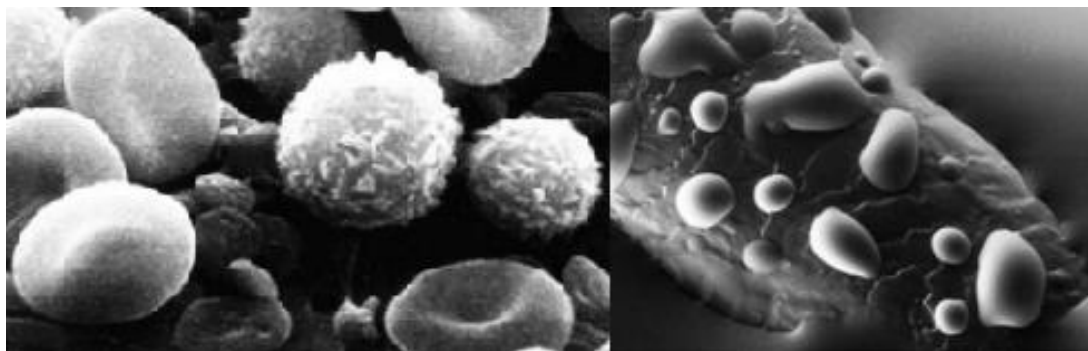


Obrázek 11: Schéma principu transmisního a skenovacího (vlevo) elektronového (vpravo) mikroskopu (FZU, 2017)

### 2.6.1.1 Skenovací (rastrovací) elektronový mikroskop

Skenovací elektronový mikroskop je jedním z nejvšestrannějších dostupných přístrojů pro charakteristiku morfologie mikrostruktur a analýzu chemického složení (Zhou et al., 2006). SEM využívá, na rozdíl od TEM, elektronů odražených, a tím umožňuje zobrazení externí povrchové struktury mikrosvěta. Objekt je snímán systémem řádkování pomocí elektronových paprsků, které dopadají na vzorek pod určitým úhlem a odražené elektrony jsou zachyceny pomocí detektoru. Tím dochází ke zpracování výsledného obrazu a je umožněno pozorovat 3D strukturu částic prostřednictvím monitoru (Navrátil et Rosina, 2005; Kočárek et al., 2006).

Biologické vzorky se většinou skládají z křehkých nevodivých materiálů, a proto vyžadují speciální stabilizaci, aby nebyly poškozeny elektronovými paprsky. Před pozorováním je třeba zajistit potřebnou fixaci vzorku, důkladné vysušení a nanesení vodivé vrstvy (Fischer et al.; 2012). Vodivý materiál má jako součást vzorku funkci odvádět hromadící se náboj, který by mohl být zdrojem zkresleného obrazu. Pomocí tzv. **environmentálního SEM** (viz Obr. 12) lze pozorovat objekty bez již zmíněné stabilizace, neboť je eliminováno nabíjení preparátu zásluhou mnohých inovací (Navrátil et Rosina, 2005).



**Obrázek 12: Porovnání SEM/ ESEM (upraveno z: Navrátil et Rosina, 2005):**

Fixovaný preparát krevních buněk – pozorováno SEM (vlevo);

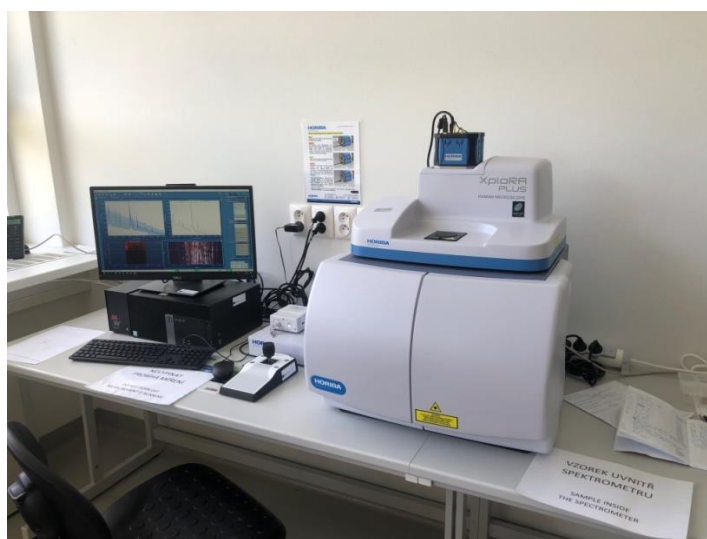
Prostý preparát mokrého vlasu – pozorováno ESEM (vpravo)

Velikost pozorovaného vzorku je omezena pouze objemem vakuové komory, kam je umístěn (FZU, 2017). Velkou předností SEM je možnost dosáhnout značné hloubky ostroty a kvalitního obrazu a pomocí speciálních detektorů lze získat i informace o přesné struktuře, či chemickém složení povrchových vrstev vzorku (Navrátil et Rosina, 2005).

**Energiově disperzní spektroskop (EDS)** je typ detektoru, který dokáže identifikovat charakteristické rentgenové záření, které vzniká dopadem elektronového paprsku na povrch vzorku, stejně jako ostatní signály. EDS detektor lze využít při zjišťování chemického složení, neboť je zásluhou rozdílné energie rentgenového záření jednotlivých prvků schopen identifikovat typ a množství prvku v měřeném úseku. Jedná se výhradně o povrchovou analýzu a finálním výsledkem je pouze zastoupení prvků v analyzované oblasti povrchu částic. Pro detailnější identifikaci chemické struktury částic a stanovení funkčních skupin je tedy nutné využít dalších analytických metod (Goldstein et al., 2017; FZU, 2017).

## 2.6.2 Ramanova spektroskopie

Ramanova spektroskopie je technika, která je schopna charakterizovat strukturu a vlastnosti látek na základě interakcí světla s analyzovaným materiálem. Princip spektrometru je založen na charakteristických vnitromolekulárních či mezimolekulárních vibracích, které představují důležité informace pro identifikaci látky. Ramanův spektroskop (viz Obr. 13) zpracovává výsledky na základě rozptylu světla, na rozdíl od FTIR spektroskopie, která pracuje s absorbovaným infračerveným zářením. Rozptyl světla je jev popsáný indickým chemikem C. V. Ramanem, za který získal roku 1930 Nobelovu cenu a podle něhož tato metoda nese svůj název. Z důvodu nežádoucí fluorescence se jako zdroj světla používají lasery s delší vlnovou délkou (Mettler Toledo, ©2020).



Obrázek 13: Ramanův spektrometr (zdroj vlastní)

### 3 Metodika zpracování

Tato část práce je věnována charakteristice balených vod použitých ve výzkumu, zvolené metodice zpracování a uchovávání vzorků. Popisuje také postupy použité při práci se skenovacím elektronovým mikroskopem a odpovídajícími programy, jejichž pomocí byla zprostředkována analýza částic.

#### 3.1 Charakteristika testovaných balených vod

Před začátkem testování bylo vybráno několik značek balených vod (viz Obr. 14) různých typů a vlastností. Během výzkumu však došlo k redukci několika vzorků z důvodu ztížených podmínek při pozorování a s tím souvisejících neefektivních výsledků (viz diskuse).

Celkem bylo tedy analyzováno 17 různých vzorků (viz Tab. 2), z nichž číslo 1 představuje kontrolní vzorek destilované vody H<sub>2</sub>O a vzorky číslo 2 až 4 jsou rozšířeny o kategorie A, B popřípadě C, neboť se vzorky dané značky liší pouze obsahem CO<sub>2</sub>. V případě Magnesie byl testován i ochucený typ vody obohacený o cukry, barviva a vitamíny.

**Tabulka 2: Seznam testovaných balených vod a jejich zařazení (zdroj vlastní)**

VZOREK [1,5 l]	NÁZEV balené vody	TYP	DRUH	MATERIÁL OBALU
1	Destilovaná voda	KONTROLA		
2 A	MAGNESIA	Neperlivá	Minerální	Plast
2 B	MAGNESIA	Jemně perlivá	Minerální	Plast
2 C	MAGNESIA -ochucená malina	Jemně perlivá	Nealko. nápoj	Plast
3 A	BONAQUA	Neperlivá	Pramenitá	Plast
3 B	BONAQUA	Jemně perlivá	Pramenitá	Plast
4 A	DOBRÁ VODA	Neperlivá	Minerální	Plast
4 B	DOBRÁ VODA	Perlivá	Minerální	Plast
5	RAJEC	Neperlivá	Pramenitá	Plast
6	MATTONI	Jemně perlivá	Minerální	Plast
7	AQUILA	Neperlivá	Pramenitá	Plast
8	KORUNNÍ	Neperlivá	Minerální	Plast
9	NATURA	Neperlivá	Pramenitá	Plast
10	BONNY ALBERT	Neperlivá	Pramenitá	Plast
11	KOJENECKÁ SAGUARO	Neperlivá	Kojenecká	Plast
12	MATTONI	Perlivá	Minerální	Sklo
13	SAGUARO	Neperlivá	Pramenitá	Plast



V tabulce č. 2 jsou zaznamenány všechny testované vody a jejich stěžejní vlastnosti, dle nichž byly vody pomyslně rozděleny do několika skupin. Účelem bylo porovnání jednotlivých kategorií na základě zjištěných výsledků.



Obrázek 14: Balené vody použité ve výzkumu (zdroj vlastní - upraveno)

Testování bylo podrobena 10 neperlivých vod, 4 jemně perlivé a 2 perlivé. Testované láhve jsou zobrazeny na obrázku č. 14. Ke každé značce byl přiřazen druh balené vody (viz kapitola 2.4.1 Obecná charakteristika balených vod). Jako pramenité byly označeny vody značek Bonaqua, Rajec, Aquila, Natura, Albert a Saguaro, s tím, že součástí testování byla i přísněji upravovaná Saguaro – kojenecká. Naproti tomu Magnesia, Dobrá voda, Korunní a Mattoni patří mezi vody minerální. Mattoni je také jediná ze značek vzorků, která byla otestována z plastové i skleněné láhve. Jakousi výjimku tvoří pouze ochucená Magnesia malina, která dle vyhlášky nepatří do skupiny balených vod, nýbrž do skupiny nealkoholických nápojů (viz kapitola 2.4.1 Obecná charakteristika balených vod).

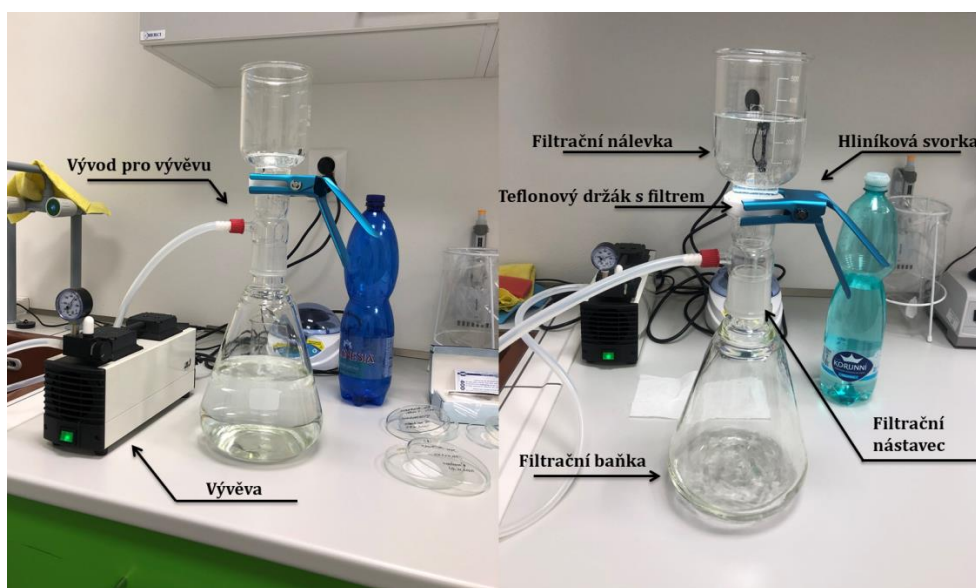
### **3.2 Příprava vzorků**

Příslušené vzorky byly zhotoveny důkladnou filtrací, při níž byly částice zachyceny na filtračním papíru, který byl po dobu výzkumu uchováván v exsikátoru v Petriho misce pod odpovídajícím číslem vzorku (viz níže).

#### **3.2.1 Filtrace**

Každý ze vzorků balené vody byl filtrován za sníženého tlaku pomocí speciální aparatury metodou vakuové filtrace. Filtrační aparatura Duran®, 2000 ml /500 ml

byla sestavena dle návodu, na obrázku č. 15 jsou popsány jednotlivé komponenty. Od každé značky balené vody bylo přefiltrováno 1,5 l skrz skleněný filtrační kotouč o průměru 50 mm, upevněný na teflonovém držáku. Na filtrační kotouč byl vložen filtrační papír ze skelných mikrovláken o průměru 45 mm, tloušťky 0,4 mm s póry zadržujícími částice větší než 0,4  $\mu\text{m}$ . Vše bylo ukotveno na filtrovacím nástavci spojujícím nálevku (500 ml) a filtrační baňku (2000 ml). Součástí nástavce je i vývod pro hadicové připojení vývěvy, která zajišťuje odsávání vzduchu, čímž vytváří částečné vakuum a usnadňuje filtraci. Pro dokonalé vzájemné nasedání všech částí aparatury byla použita hliníková svorka. Během filtrace byl tlak odsávání vzduchu vývěvou udržován na hodnotě mezi 200 a 400 milibary, aby nedošlo k protržení částí filtračního papíru, což bylo předem experimentálně vyzkoušeno.



Obrázek 15: Vakuová filtrační aparatura (zdroj vlastní - upraveno)

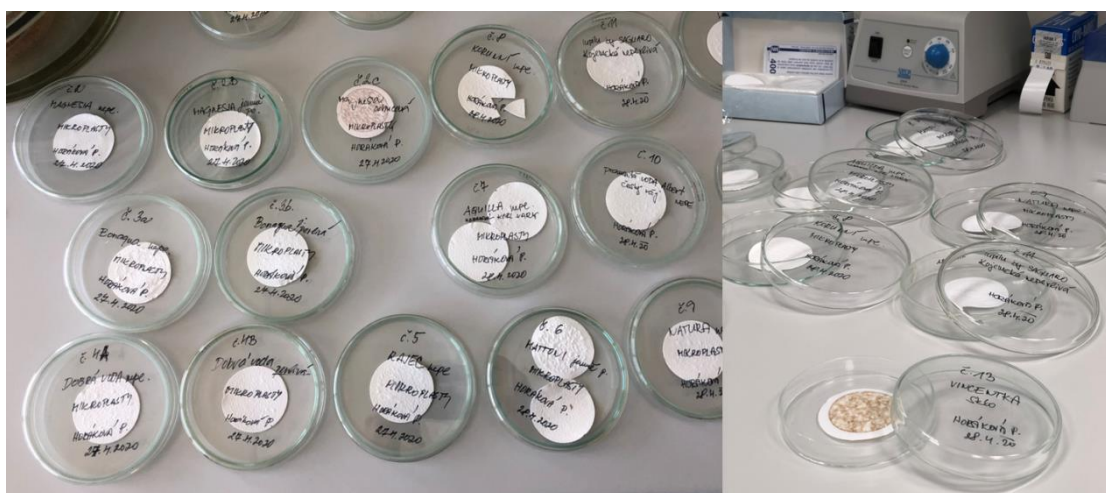
### 3.2.1.1 Omezení případné kontaminace

Během filtrace bylo jednotlivými komponenty manipulováno s maximální opatrností, ve snaze zamezit jakémukoliv kontaktu s plastovými předměty. I z tohoto důvodu byl pro filtraci zvolen skleněný filtr a filtrační papír ze skelných vláken namísto membránových filtrů a PTFE disků. Zásluhou ideálně zvolené aparatury přišla filtrovaná voda do styku pouze se součástmi z borosilikátového

skla s výjimkou teflonového držáku. Mezi jednotlivými filtracemi vzorků byla aparatura vždy rozebrána a důkladně promyta destilovanou vodou.

### 3.2.2 Zpracování a uchování vzorků

Neprodleně po dokončení filtrace byl filtrační papír vyňat z držáku pomocí pinzety. S mokrým filtračním papírem bylo manipulováno s maximální opatrností, aby nedošlo k protržení či případnému narušení částic na něm zachycených. Filtrační papír byl vložen do čisté Petriho misky, která byla nadepsána číslem vzorku, značkou balené vody a datem provedené filtrace (viz Obr. 16). Takto připravené vzorky byly umístěny do skleněného exsikátoru (viz Obr. 17) za účelem dokonalého vysušení filtračního papíru, což bylo nezbytné pro další pozorování. Výše popsané postupy byly opakovány u všech zvolených vzorků.



Obrázek 16: Vzorky přefiltrovaných vod v Petriho miskách (zdroj vlastní - upraveno)

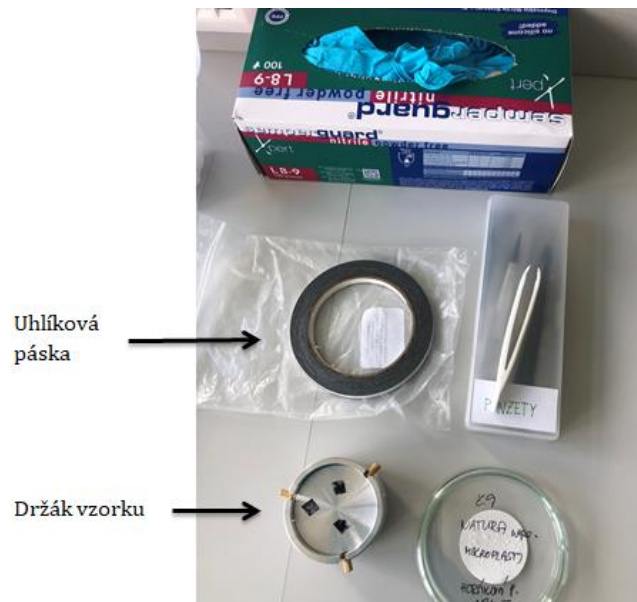
### 3.2.3 Pozorování prostřednictvím SEM

Vzorky bylo možné pozorovat minimálně 7 dní po provedené filtraci a následném umístění v exsikátoru, abychom předešli potenciálnímu poškození vzorku důsledkem nedokonalého vysušení. Pro pozorování částic byl použit skenovací elektronový mikroskop HITACHI FlexSEM 1000 (viz Obr. 17) na Přírodovědecké fakultě Univerzity Hradec Králové.



**Obrázek 17: Vzorky umístěné v exsikátoru (vlevo); SEM HITACHI FlexSEM 1000 (vpravo)  
(zdroj vlastní – upraveno)**

Suchý filtrační papír byl v celku připevněn na držák vzorku (viz Obr. 18) pomocí uhlíkové oboustranně lepicí pásky a vsunut na speciálním stolku do komory SEM. Bylo analyzováno přibližně 10 míst v rámci celého filtračního papíru a dle nalezených částic postupováno dále. Zobrazování bylo realizováno prostřednictvím monitoru a počítačového softwaru, jehož pomocí bylo manipulováno s jednotlivými elementy SEM a regulováno zvětšení, ostrost, kontrast a další úpravy obrazu.



**Obrázek 18: Komponenty přípravy vzorku pro SEM analýzu (zdroj vlastní – upraveno)**

### **3.2.4 EDS analýza**

Částice nalezené ve vzorcích prostřednictvím elektronového mikroskopu byly v případě potřeby dále specifikovány pomocí EDS detektoru (viz kapitola 2.4.1.1 EDS detektor). Pro EDS analýzu byla využita softwarová platforma AZtecOne, kam byl naskenován obraz získaný při pozorování SEM. Na nalezených částicích byla vyznačena náhodná místa v různém počtu v závislosti na velikosti objektu. Následně byla změřena prvková spektra vyznačené oblasti na povrchu částice. Na základě prvkového složení a morfologie konkrétní částice bylo zhodnoceno, zda by se mohlo jednat o mikroplast, popřípadě byl vzhled objektu porovnán s částicemi prezentovanými v ostatních publikacích. Potvrzení plastového původu pomocí Ramanovy spektroskopie bohužel nemohlo být zrealizováno (viz diskuse).

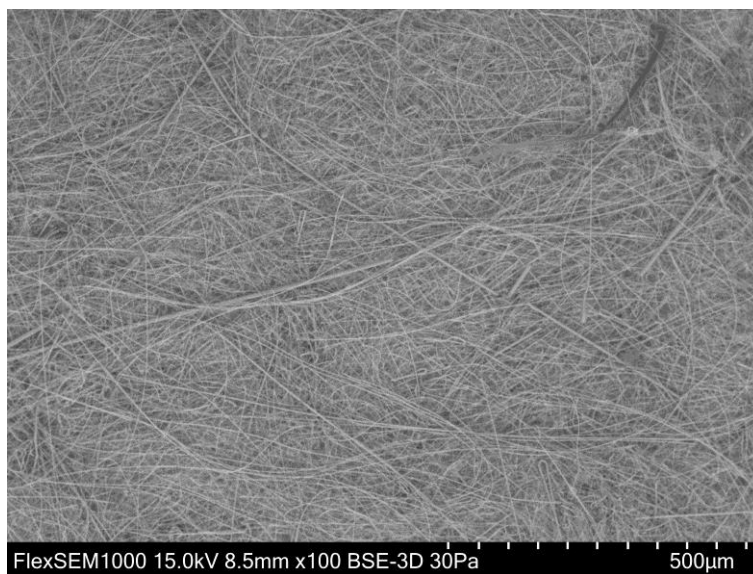


## 4 Výsledky

Následující část práce shrnuje výsledky, které byly získány v průběhu výzkumu, zahrnující zejména charakteristiku částic nalezených v jednotlivých vzorcích balených vod. Součástí jsou také fotografie pořízené prostřednictvím SEM a k nim odpovídající komentář. Zároveň jsou přiloženy výsledky EDS analýzy znázorněné v grafech. Výsledky jsou poté okomentovány a porovnány v diskusi.

### 4.1 Prázdný vzorek a kontrolní vzorek

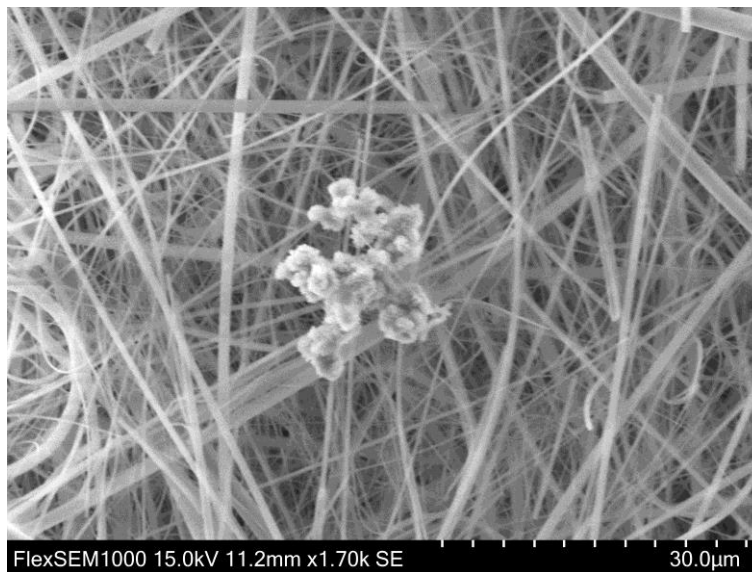
Za účelem efektivního průběhu hledání mikroplastových částic ve zvolených vzorcích byl nejprve pozorován čistý filtrační papír ze skelných mikrovláken (viz Obr. 19). Zásadou pořízených snímků tak byly v následujících vzorcích lépe rozpoznány částice odlišné od struktur náležících filtru.



Obrázek 19: Struktura filtru ze skelných mikrovláken (zdroj vlastní)

#### 4.1.1 Kontrolní vzorek

V kontrolním vzorku č. 1, kterým byla destilovaná voda ( $H_2O$ ) stočená z kohoutku na Přírodovědecké fakultě UHK, nebyly dle očekávání nalezeny žádné částice připomínající plastové fragmenty. V rámci pozorovaných míst byly v kontrolním vzorku nalezeny pouze částičky železa (viz Obr. 20), což bylo zhodnoceno již dle vzhledu částic a potvrzeno pomocí EDS analýzy. Dle prvkového zastoupení se nejpravděpodobněji jedná o oxid železitý, který je také složkou rzi.



Obrázek 20: Částice oxidu železitého nalezená v kontrolním vzorku (zdroj vlastní)

## 4.2 Výskyt mikroplastů ve vzorcích

Mikroplastové částice byly detekovány v rámci náhodně zvolených míst na filtračním papíru každého vzorku. Částice odpovídající plastovému charakteru byly nalezeny u 8 různých značek balených vod - Magnesia, Bonaqua, Dobrá voda, Mattoni, Aquila, Natura, Bonny Albert a Saguario, a to v 10 vzorcích z celkového počtu 17 (viz Tab. 3). Aby byly vyhodnoceny jako mikroplasty, musely tyto částice odpovídat částicím prezentovaným v odborných publikacích, a to jak morfoloogicky a rozměrově, tak chemickou strukturou, která byla identifikována pomocí prvkového spektra získaného během EDS analýzy. Středem zájmu bylo částice detekovat, pozorovat, charakterizovat a popřípadě porovnat s částicemi nalezenými v jiných publikacích, a proto i vzhledem k nízkému počtu celkově nalezených částic organického původu bylo už během pozorování upuštěno od statistické kvantitativní analýzy dat.

### 4.2.1 Morfologie a velikost částic

V jednotlivých vzorcích balených vod byly nalezeny částice různých tvarů a velikostí. Dle morfoloogických vlastností byly rozděleny do tří skupin: vlákna, fragmenty a pelety. Ve vzorcích se objevovaly zejména fragmenty nepravidelných tvarů, tzv. sekundární mikroplasty (viz 2.1.2 Dělení mikroplastů), ale podařilo se nalézt i mikroplasty primární ve formě syntetických vláken a kulovitých pelet.

Tabulka č. 3 zobrazuje přehled nalezených částic v jednotlivých vzorcích. U vzorku č. 6 bohužel došlo během výzkumu ke kontaminaci filtračního papíru z neznámého zdroje, a z důvodu zkreslených výsledků tedy nebyl detailněji vyhodnocen.

Tabulka 3: Souhrn nalezených částic v jednotlivých vzorcích (zdroj vlastní)

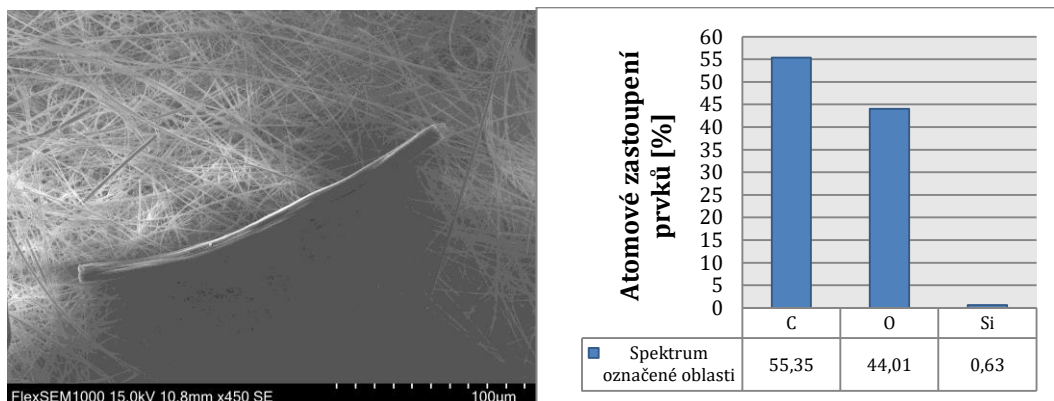
VZOREK	NÁZEV balené vody	NÁLEZ MIKROPLASTŮ	MORFOLOGIE nalezených mikroplastů
1	Destilovaná voda	×	×
2	A MAGNESIA	✓	fragmenty, pelety
2	B MAGNESIA	×	×
2	C MAGNESIA ochucená	✓	vlákna, fragmenty
3	A BONAQUA	×	×
3	B BONAQUA	✓	vlákna, fragmenty
4	A DOBRÁ VODA	×	×
4	B DOBRÁ VODA	✓	vlákna, fragmenty
5	RAJEC	×	×
6	MATTONI	✓	<b>kontaminace</b>
7	AQUILA	✓	fragmenty
8	KORUNNÍ	×	×
9	NATURA	✓	fragmenty
10	BONNY ALBERT	✓	fragmenty
11	KOJENECKÁ SAGUARO	×	×
12	MATTONI	✓	fragmenty
13	SAGUARO	✓	fragmenty

V analyzovaném vzorku se povětšinou opakovaly částičky podobného charakteru, u některých vod však byla zaznamenána i větší rozmanitost nalezených objektů. V rámci jednoho vzorku bylo často pozorováno menší množství větších fragmentů, v některých případech se ale vyskytovalo spousty menších úlomků ve shlucích (např. vzorek č. 13 Saguaro). Velikost částic se pohybovala zejména v řádech mikrometrů (cca 5 – 300 μm), byla však nalezena i vlákna přesahující svou délkou 1 mm. Tvary částic byly často nepravidelné, s ostrými i zaoblenými hranami, objevovaly se fragmenty jak ploché a tenké, tak širší s rozmanitou strukturou. Menší, tenčí a lehčí částičky byly mnohdy pozorovány přilnuté k mikrovláknům filtračního papíru, kdežto větší fragmenty se na filtru vyskytovaly volně a mnohdy měly tendenci se pohybovat, čímž byla analýza zkomplikována.



#### 4.2.1.1 Vlákna

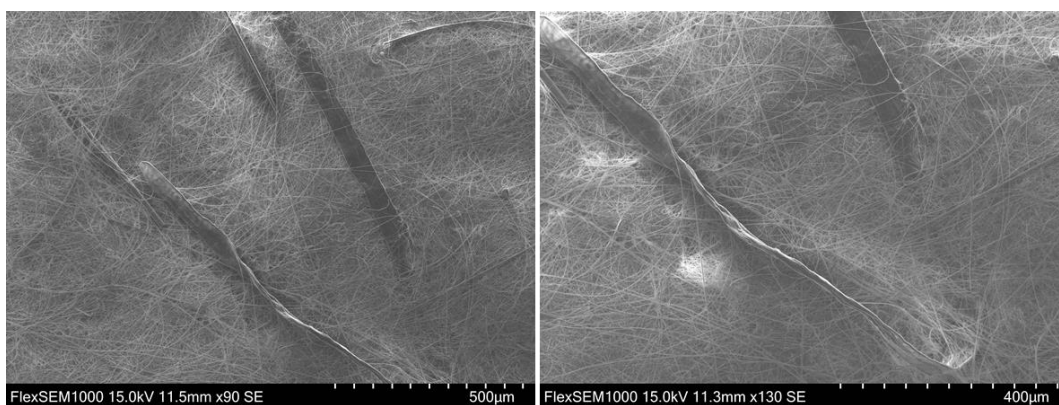
Syntetická vlákna byla prokázána celkem ve třech vzorcích: 2C Magnesia ochucená, 3B Bonaqua jemně perlivá a 4B Dobrá voda perlivá. V případě Magnesie a Dobré vody byla vlákna nalezena opakovaně, zatímco ve vzorku jemně perlivé Bonaquy bylo v rámci pozorovaných míst nalezeno pouze jedno kratší vlákno (viz Obr 21).



**Obrázek 21: Syntetické vlákno ve vzorku 3B: Bonaqua jemně perlivá (zdroj vlastní)  
+ Graf 1: EDS analýza vlákna ve vzorku 3B (zdroj vlastní)**

Na obrázku č. 21 je znázorněno vlákno nalezené ve vzorku balené vody značky Bonaqua. Svoji strukturou připomíná syntetická vlákna a dle EDS analýzy (viz Graf č. 1) byl potvrzen vysoký obsah uhlíku. Délka vlákna se pohybuje okolo 200 µm, šířka cca 10 µm. Struktura povrchu hladká s charakteristickými zářezy.

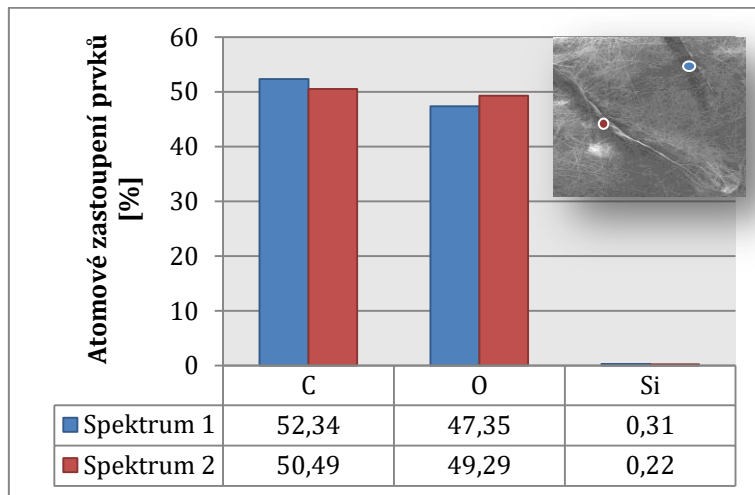
Ve vzorku ochucené Magnesie a Dobré vody perlivé bylo vláken nalezeno podstatně více (viz Obr 22 a Obr 23).



**Obrázek 22: Syntetická vlákna ve vzorku 2C: Magnesia ochucená malina (zdroj vlastní)**

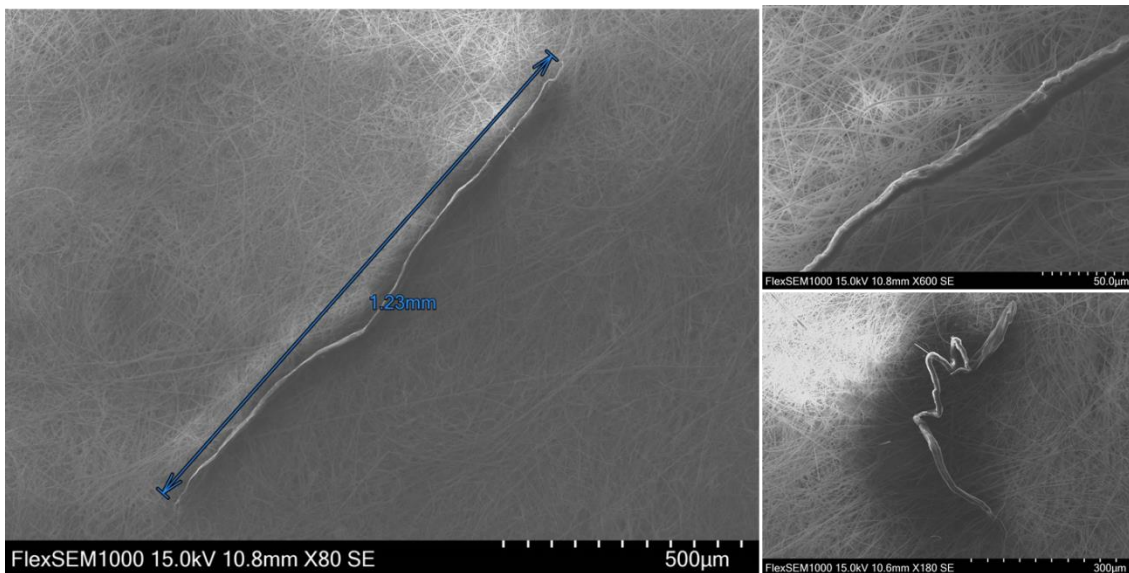
Na obrázku č. 22 jsou zachycena vlákna obsažená v ochucené minerálce značky Magnesia. Morfologicky se mírně liší od vláken nalezených v ostatních vzorcích,

jsou širší a zploštělá. Délka nejdelšího vlákna na snímku se pohybuje okolo 1 mm, šířka cca 50  $\mu\text{m}$ . Výsledky EDS analýzy těchto vláken (viz graf 2) se podobají výsledkům získaným při testování předešlého vlákna ve vzorku 3B.



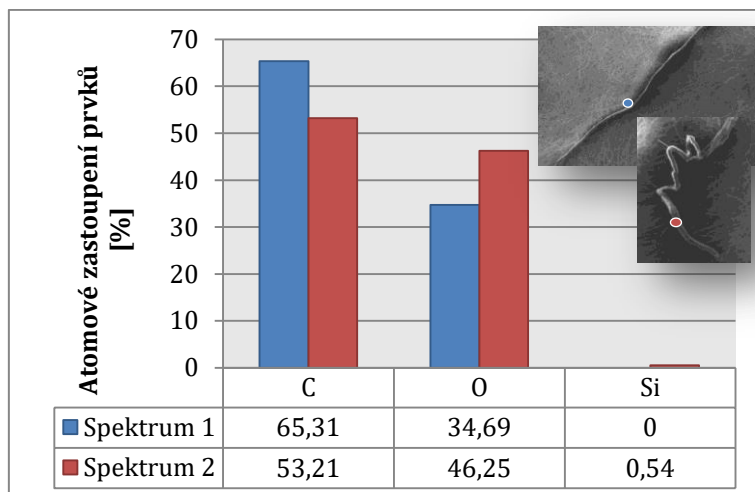
Graf 2: EDS analýza vláken ve vzorku 2C (zdroj vlastní)

Ve vzorku perlivé Dobré vody bylo nalezeno větší množství vláken, která většinou rozměrově přesahovala délku 1 mm (viz Obr. 23), šířka v jednotlivých úsecích nepřesahovala 15  $\mu\text{m}$ .



Obrázek 23: Syntetická vlákna ve vzorku 4B: Dobrá voda perlivá (zdroj vlastní)

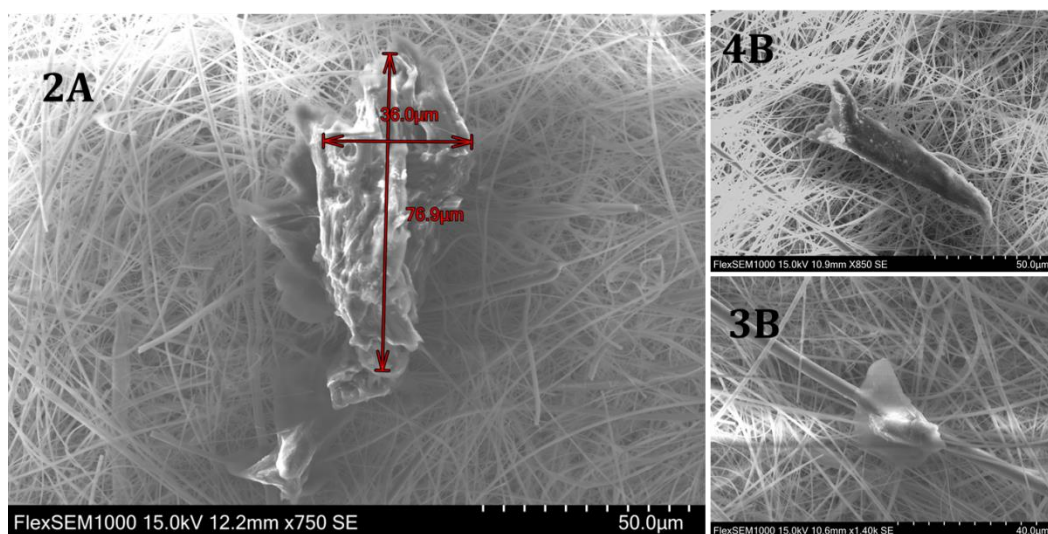
Výsledky EDS analýzy vláken pozorovaných ve vzorku Dobré vody jsou znázorněny v následujícím grafu č. 3.



Graf 3: EDS analýza vláken ve vzorku 4B (zdroj vlastní)

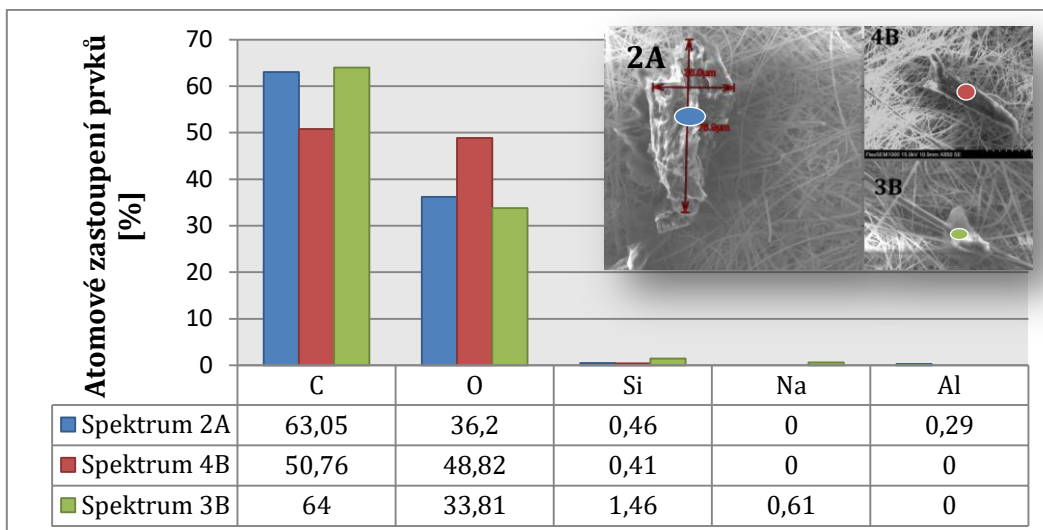
#### 4.2.1.2 Fragmenty

Částice spadající do kategorie fragmenty, tedy úlomky nepravidelných tvarů byly nalezeny ve všech 10 vzorcích, které byly označeny jako zasažené mikroplastovou kontaminací. Na obrázku č. 24 jsou znázorněny fragmenty nalezené ve vzorcích: 2A Magnesia neperlivá, 4B Dobrá voda perlivá a 3B Bonaqua jemně perlivá.



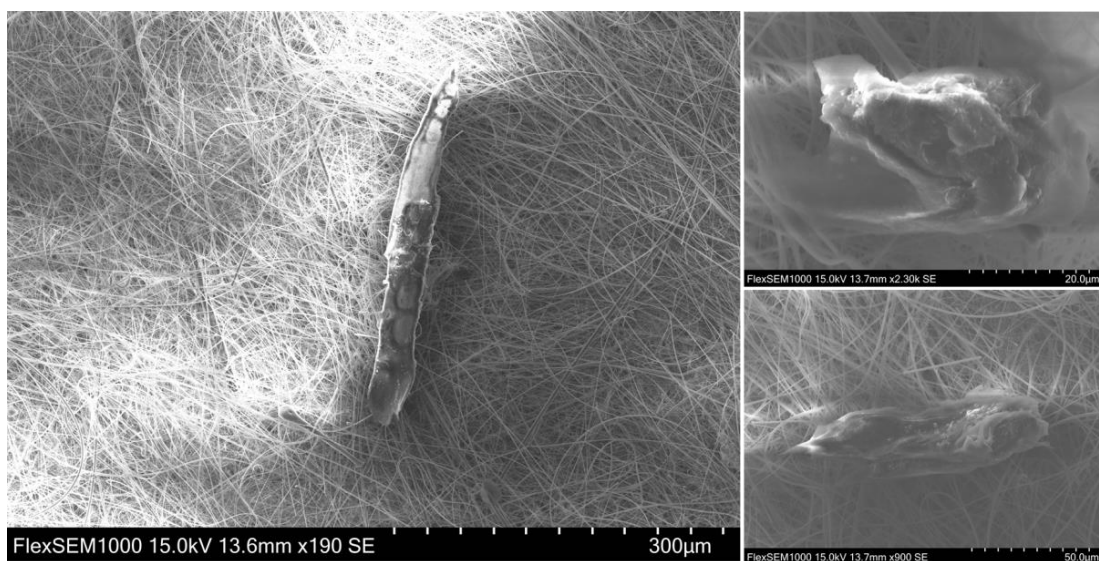
Obrázek 24: Fragmenty nalezené ve vzorcích balených vod: (2A) Magnesia neperlivá, (4B) Dobrá voda perlivá, (3B) Bonaqua jemně perlivá

Velikost nalezených částic ve vzorcích 2A, 4B a 3B se pohybuje v řádech desítek  $\mu\text{m}$ . Povrch je charakteristicky strukturován, zejména na snímku vzorku 2A je viditelná odlučitelnost vrstev, která odpovídá struktuře povrchů plastových úlomků. Zastoupení uhlíku na povrchu všech tří částic přesahovalo ve vyznačených oblastech 50 % (viz EDS analýza v grafu č. 4).



Graf 4: EDS analýza fragmentů ve vzorcích 2A, 4B a 3B (zdroj vlastní)

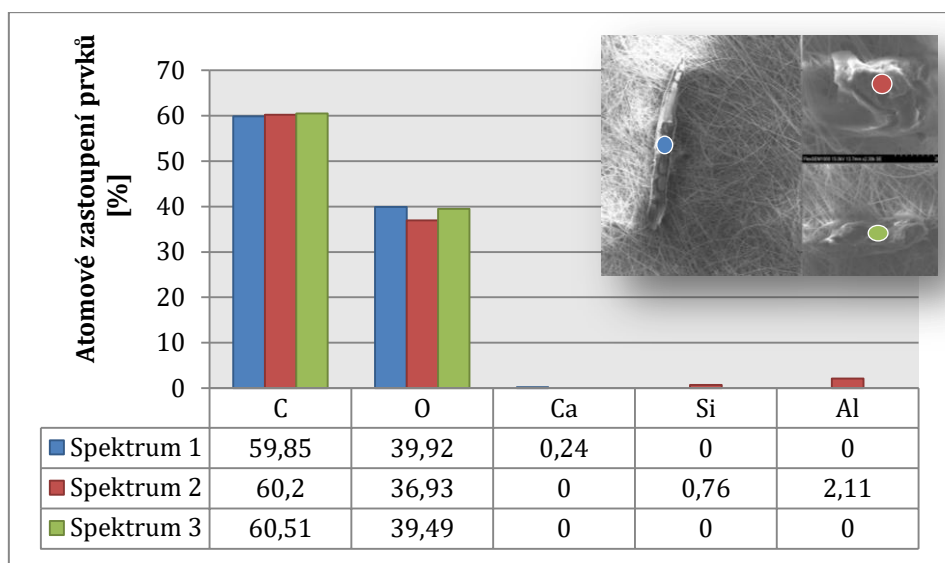
Ve vzorku balené vody značky Aquila byl pozorován jeden z největších mikroplastových fragmentů nalezených v rámci všech zkoumaných vzorků, velikosti cca 300  $\mu\text{m}$  (viz Obr. 25: vlevo).



Obrázek 25: Fragmenty nalezené ve vzorku č. 7: Aquila neperlivá (zdroj vlastní)

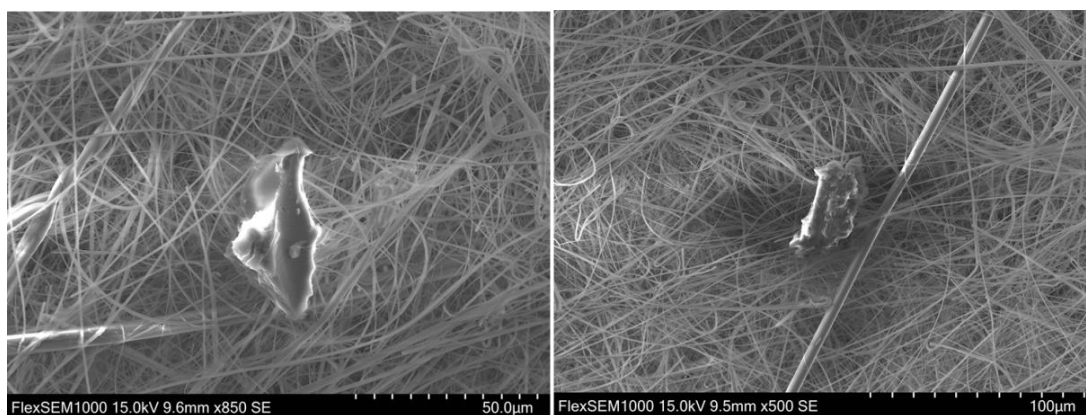
Částice detekované v tomto vzorku zobrazuje obrázek č. 25 a prvkové zastoupení znázorňuje náležitý graf č. 5. Opět je zřejmá dominance uhlíku na povrchu fragmentů.



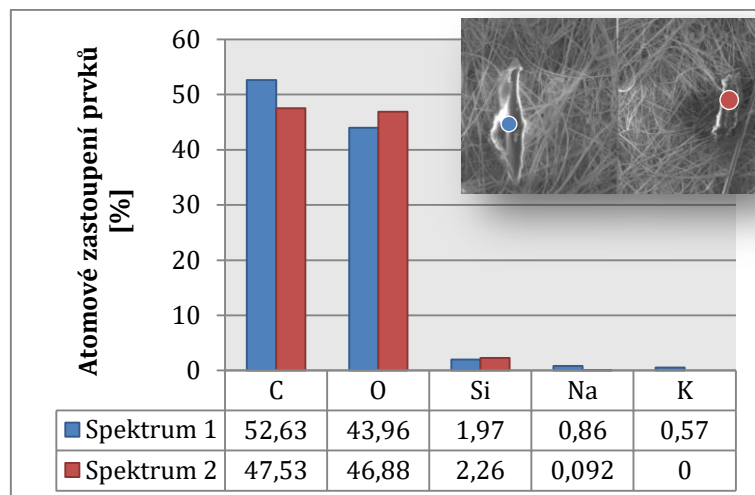


Graf 5: EDS analýza fragmentů ve vzorku č. 7 (zdroj vlastní)

Mikroplastové částice byly nalezeny i ve vzorku č. 12 Mattoni perlivá (viz Obr. 26), která je prodávána ve skle. Charakteristický plastový vzhled je opět podpořen výsledky EDS analýzy (viz graf č. 6)



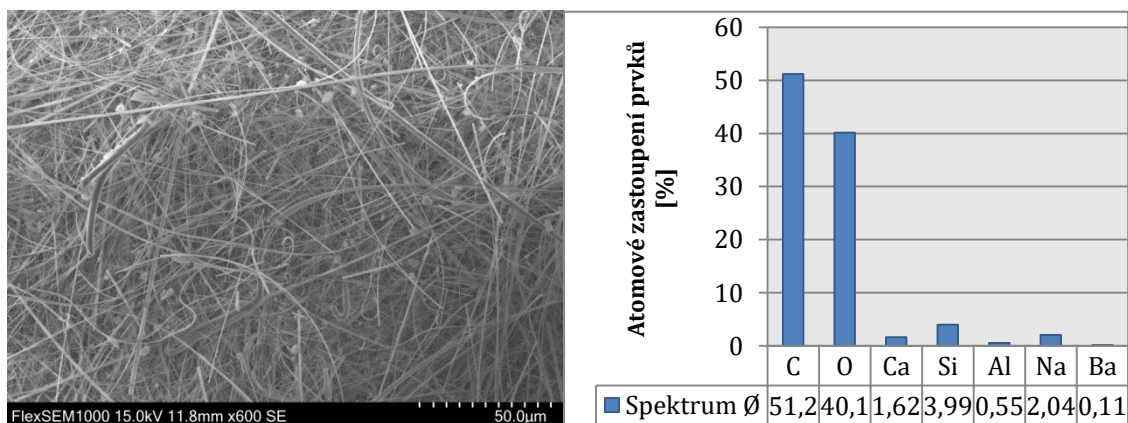
Obrázek 26: Fragменты nalezené ve vzorku č. 12: Mattoni perlivá ve skle (zdroj vlastní)



Graf 6: EDS analýza fragmentů ve vzorku č. 12 (zdroj vlastní)

Nejmenší nalezené částice v rámci všech testovaných vzorků byly pozorovány v balené vodě značky Saguaro (viz Obr. 27). Velikost částic se pohybuje kolem 5  $\mu\text{m}$  a v analyzovaných oblastech se vyskytovaly ve velkém množství.

Dle EDS analýzy byly všechny úlomky stejného původu, graf č. 7 zobrazuje průměrnou procentuální hodnotu prvkového spektra všech testovaných částic viditelných na obrázku č. 27.

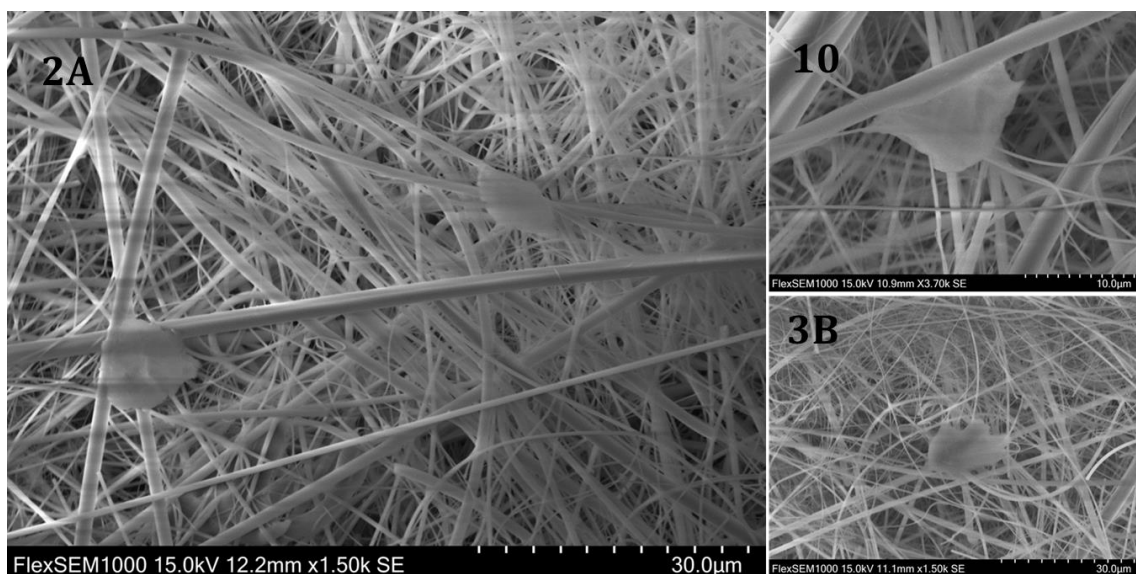


Obrázek 27: Úlomky nalezené ve vzorku č. 13: Saguaro (zdroj vlastní)

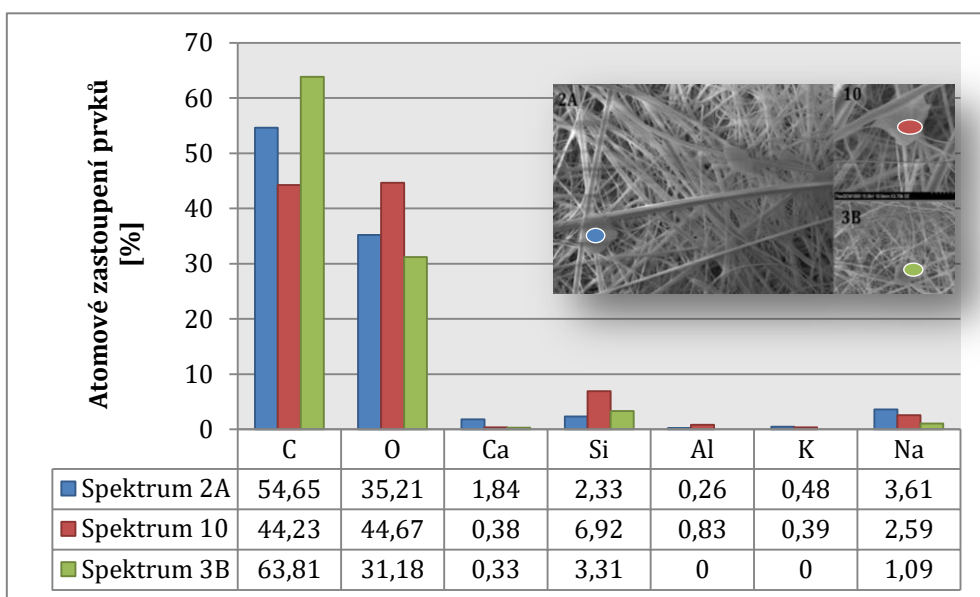
+Graf 7: EDS analýza částic ve vzorku č. 13 (zdroj vlastní)

Ploché, tenké fragmenty se zaoblenými hranami byly pozorovány v několika vzorcích. Na obrázku č. 28 jsou znázorněny částice tohoto typu nalezené ve vzorcích: 2A Magnesia neperlivá, 10 Bonny Albert a 3B Bonaqua jemně perlivá. Tento typ částic se ve vzorcích objevoval zejména v menších rozměrech (maximální délka do 30  $\mu\text{m}$ ) a často byly pozorovány přilnuté k vláknům

filtračního papíru. EDS detektor vygeneroval větší množství prvků (viz diskuse), i tak byl ale potvrzen vysoký obsah uhlíku (viz graf č. 8).



Obrázek 28: Ploché, zaoblené fragmenty nalezené ve vzorcích: 2A Magnesia neperlivá, 10 Bonny Albert, 3B jemně perlivá (zdroj vlastní)

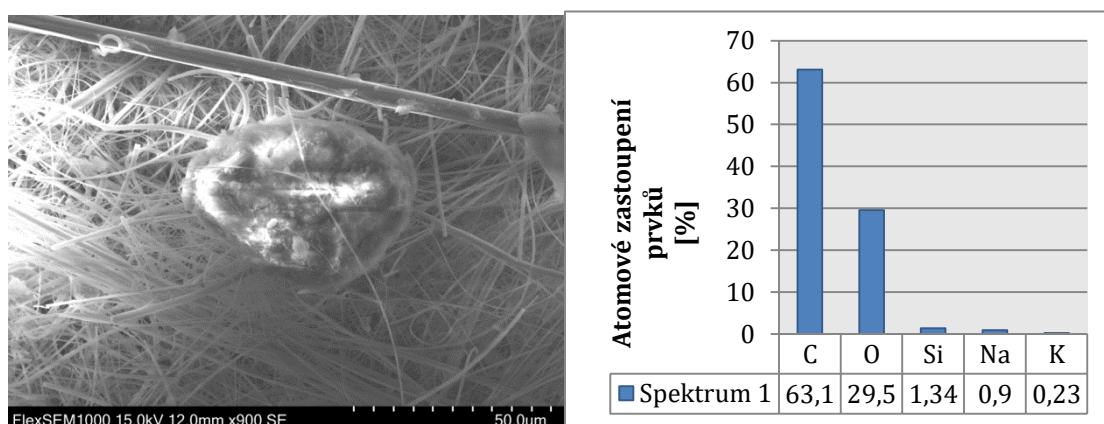


Graf 8: EDS Analýza částic ve vzorcích 2A, 10 a 3B (zdroj vlastní)

#### 4.2.1.3 Pelety

Pravidelná elipsovitá částice (viz Obr. 29) byla nalezena pouze v jednom z analyzovaných vzorků, v balené vodě neperlivé, značky Magnesia. Struktura povrchu odpovídá plastovému původu, velikost cca 50 μm, tvar pravidelný

elipsovitý, zastoupení prvků viz graf č. 9. Dle morfologických znaků se jedná o primární mikroplast vyrobený záměrně.



Obrázek 29: Peleta pozorovaná ve vzorku 2A: Magnesia neperlivá (zdroj vlastní)  
+Graf 9: EDS analýza peletky ve vzorku 2A (zdroj vlastní)

#### 4.2.2 Výskyt mikroplastů ve vodách v závislosti na obsahu CO<sub>2</sub>

Mikroplasty byly nalezeny jak ve vodách neperlivých, tak ve vodách sycených oxidem uhličitým, v poměru 1:1. Sycených balených vod však bylo pro analýzu vybráno podstatně méně a pouze v jednom vzorku ze šesti nebyly v rámci vytyčených míst nalezeny plastové částičky. Balené vody stejné značky, lišící se právě pouze obsahem CO<sub>2</sub> (vzorky 2, 3 a 4), byly vybrány čistě za účelem porovnání. Ve vzorcích č. 3 - Bonaqua a č. 4 - Dobrá voda byly částičky plastového charakteru nalezeny pouze v sycených typech, naopak vzorek č. 2 - Magnesia vykazoval opačné výsledky, opomeneme-li jemně perlivou slazenou formu - Magnesia malina.

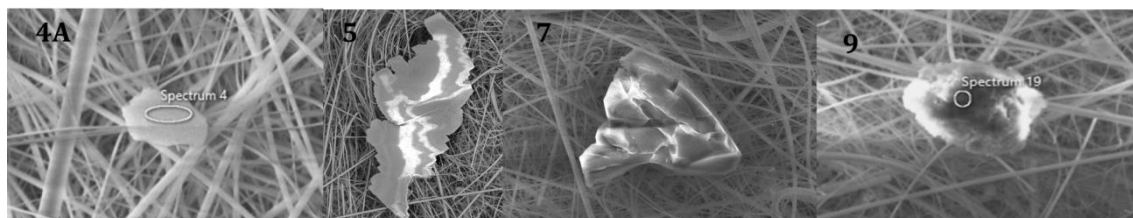
#### 4.2.3 Výskyt mikroplastů ve vodách v závislosti na druhu vody

Mikroplastové částice byly nalezeny v minerálních i pramenitých druzích balených vod, včetně ochucené Magnesie, která spadá do kategorie nealkoholických nápojů (viz 2.5.1 Obecná charakteristika balených vod). Jediným druhem, ve kterém nebyly nalezeny žádné částice plastového charakteru ani jiné objekty těmto částicím podobné, byla voda kojenecká. Byl to však jediný vzorek testovaný v rámci tohoto druhu a není tedy možné zhodnotit jejich jakost v ohledu mikroplastové kontaminace.



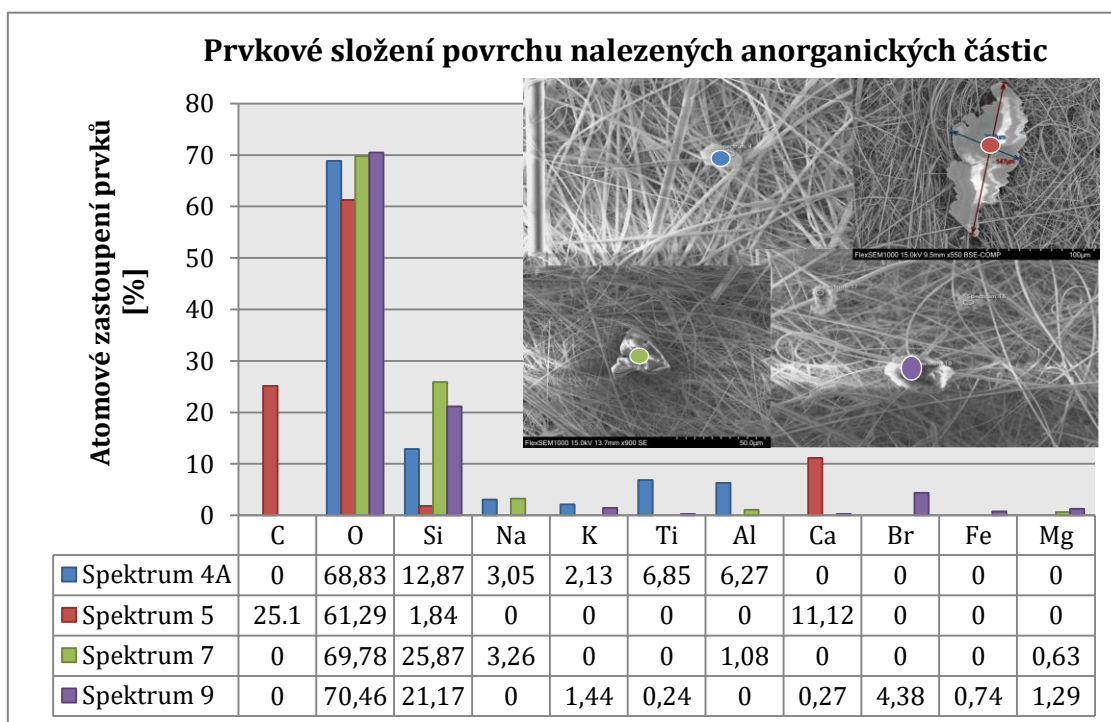
### 4.3 Částice neplastového charakteru

Ve vzorcích byly často nalezeny částice připomínající mikroplasty (viz Obr. 30), na základě EDS analýzy však byl prokázán jiný původ částic (viz graf č. 10).



Obrázek 30: Částice nalezené ve vzorcích 4A, 5, 7 a 9 (zdroj vlastní)

Tyto fragmenty dle podrobnější analýzy neobsahovaly uhlík, nebo jen v malém množství, popřípadě pouze v kombinaci s jiným dominantním prvkem. Všechny částice měly společný vysoký obsah kyslíku. Dle výsledků získaných pomocí EDS detektoru byly objekty zobrazené na obrázku č. 30 označeny jako částice anorganického původu.



Graf 10: EDS analýza anorganických částic nalezených ve vzorcích č. 4A, 5, 7 a 9 (zdroj vlastní)

Částice nalezená ve vzorku 4A, velikost cca 10  $\mu\text{m}$ , vykazovala poměrně vysoký obsah titanu, u objektu ve vzorku č. 5, délka 147  $\mu\text{m}$ , byl detekován vápník v atomovém zastoupení více než 10 % z celého spektra prvků. Kulová částice ve

vzorku č. 9, vel. 25  $\mu\text{m}$ , obsahovala velké množství různých prvků, které odpovídaly minerálnímu složení testované vody. Naopak útvar ve vzorku č. 7, vel. 30  $\mu\text{m}$ , obsahoval pouze prvky odpovídající prvkovému spektru čistého filtračního papíru (více viz diskuse).

## 5 Diskuse

Přítomnost mikroplastů byla potvrzena u většiny balených vod, které byly testovány. Důvodem rozmanitého výběru vzorků bylo výsledné porovnání jednotlivých kategorií vod z odlišných zdrojů v různých obalových materiálech. Během zpracování a analýzy vzorků došlo k několika komplikacím, na jejichž základě bylo limitováno efektivní vyhodnocení výsledků. Na základě poznatků získaných během výzkumu byly vyvozeny odpovídající závěry, které byly porovnány s hodnotami a informacemi z jiných publikací.

### ***5.1 Výskyt mikroplastů ve vzorcích a zhodnocení balených vod***

Pro testování byly vybrány primárně vody balené v plastovém obalu PET, ale pro zajímavost byla zvolena minerální voda vyskytující se na českém trhu i ve skle, konkrétně značky Mattoni (vzorek č. 12). I v tomto vzorku byly prokázány plastové fragmenty a bylo tak dokázáno, že se plastové úlomky do nápojů zřejmě nedostávají pouze uvolňováním z obalových materiálů, ale i z umělohmotných víček či úplně jinými cestami. U vody značky Mattoni balené v plastu (vzorek č. 6) bohužel pravděpodobně došlo během zpracování vzorků ke kontaminaci z neznámého zdroje, a tak nemohl být výskyt mikroplastů porovnán s výsledky analýzy vody v plastovém obalu v rámci stejné značky.

Z hlediska sycení oxidem uhličitým byl výskyt mikroplastů prokázán u neperlivých, jemně perlivých i perlivých balených vod (viz výsledky). Sycených vod však bylo testováno podstatně méně, a tak byl konstatován četný výskyt mikroplastových částic u vod sycených CO<sub>2</sub>. Tento fakt byl podpořen výsledky z německé publikace (Schymanski et al., 2018), jejichž autoři se domnívají, že vlivem vyššího tlaku v perlivých vodách, v porovnání s neperlivými, může docházet ke snadnějšímu odlučování fragmentů z obalových materiálů.

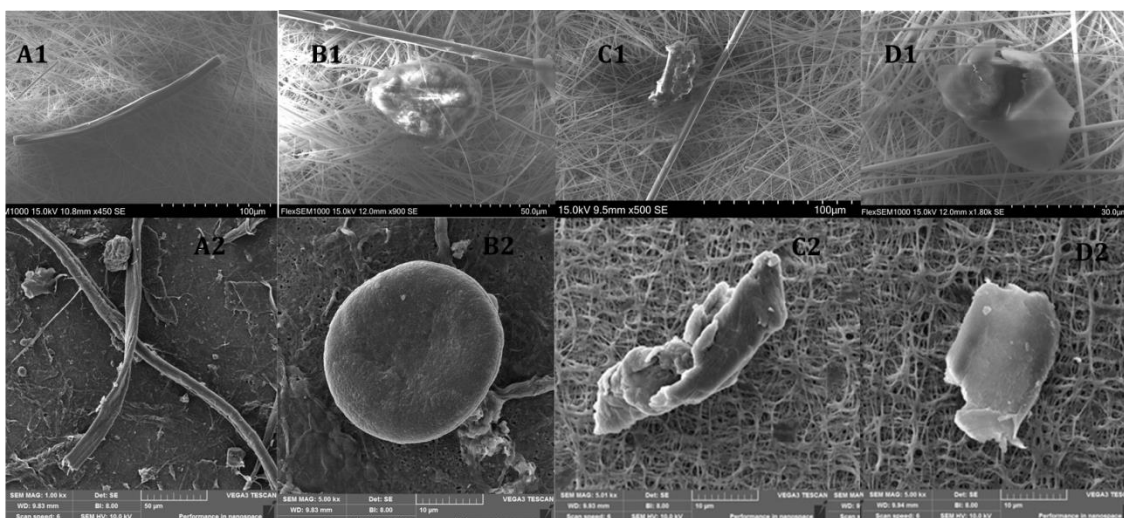
Z hlediska druhu vody nebyly pozorovány výrazné rozdíly ve výskytu mikroplastů. Celková mineralizace pravděpodobně nemá na přítomnost mikroplastů vliv. Větší množství úlomků bylo nalezeno v pramenitých vodách značky Bonny, pod kterou spadá Saguaro (vzorek č. 11 a č. 13) i balená voda Albert (vzorek č. 10). Nápoje této

značky patří mezi nejlevnější na českém trhu. Výjimkou byla Saguario – kojenecká (vzorek č. 11), pro kterou platí přísnější podmínky zpracování i uchování (viz 2.5.1 Obecná charakteristika balených vod). Dle očekávání nebyly v kojenecké vodě nalezeny žádné nežádoucí částice.

Četný výskyt různých mikroplastů byl zaznamenán i u vzorku ochucené minerálky (2C). Nebylo bohužel testováno více slazených vod, lze však předpokládat, že i sladidla, aroma či konzervanty mohou mít vliv na odlučování fragmentů z obalů.

Částice nalezené ve vzorcích byly rozmanitých tvarů, velikostí a chemických vlastností. Z hlediska morfologie se nejčastěji vyskytovaly plastové fragmenty nepravidelných tvarů, jejichž častý výskyt může být důsledkem odlučování úlomků z umělohmotných obalů do vody vlivem různých faktorů, jako jsou například mechanické vlivy, špatné skladování či zpětné využívání PET lahví. Kromě fragmentů byla nalezena i syntetická vlákna a částice pravidelných tvarů, u nichž je vznik odloučením z obalu velice nepravděpodobný. Tím byla potvrzena teze, že se mikroplasty mohou dostávat do povrchových i podpovrchových vod, popřípadě unikat do balených vod při jejich zpracování.

Na obrázku č. 31 je porovnán vzhled nalezených částic s částicemi prezentovanými v publikaci Ústavu pro hydrodynamiku České republiky.



**Obrázek 31: Porovnání nalezených částic s částicemi prezentovanými v publikaci Ústavu pro hydrodynamiku ČR: A) vlákna, B) pelety, C) a D) fragmenty (upraveno dle Pivokonsky et al., 2018)**

Dle výsledků EDS analýzy byl polymerním typem obsaženým v nalezených částicích pravděpodobně polyester (PES), nejpravděpodobněji polyethyltereftalát (PET), neboť se v nalezených částicích objevoval ve velkém množství nejen uhlík, ale i kyslík.

Byly nalezeny i částice jiného původu než plastového. Částičky oxidu železitého  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  nalezené v kontrolním vzorku jsou přisuzovány korozi potrubí přivádějícího destilovanou vodu ke kohoutku. Částice obsahující kyslík a křemík ve velkém množství, popřípadě s příměsí hliníku nebo sodíku, jsou pravděpodobně výrobní vady či nepravidelné útvary struktury filtru ze skelných mikrovláken. Filtry jsou totiž dle výrobce vyrobeny z 100% borosilikátového skla, které obsahuje oxid křemičitý  $\text{SiO}_2$ , oxid boritý  $\text{B}_2\text{O}_3$ , oxid sodný  $\text{Na}_2\text{O}$  i oxid hlinitý  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . EDS detektor během pozorování často vygeneroval výskyt barya, a proto byl kontaktován německý výrobce filtrů, který obsah sloučenin barya ve filtrech nepotvrdil, ale ani nevyvrátil, sám však konstatoval, že se barnaté soli při výrobě skla často využívají. Nečekaný byl v částicích výskyt titanu. Oxid titaničitý se však rovněž mnohdy využívá při výrobě skla či papíru. Ve vzorku č. 5 – Rajec byl nalezen zajímavý útvar, u kterého byl prokázán uhlík, avšak v menším procentuálním zastoupení, než u plastových částic. Vzhledem k poměrně vysokému obsahu vápníku se pravděpodobně jednalo o uhličitán vápenatý  $\text{CaCO}_3$ , který způsobuje přechodnou tvrdost vody.

## ***5.2 Limitace metod a interpretace výsledků***

V průběhu výzkumu logicky postupně docházelo k praktickému zdokonalování, spojování souvislostí a lepší orientaci v problematice. Jedním z počátečních nedostatků byla jednonásobná filtrace vzorků balených vod. Pro dosažení vyšší kvality výsledků by bylo vhodné filtraci opakovat minimálně 2x. Zároveň by bylo vhodné testovat více shodných lahví balených vod za účelem dalšího porovnání či potvrzení výsledků. Jakmile byla zjištěna kontaminace vzorku č. 6 - Mattoni, byl přefiltrován a zpracován vzorek nový, ale z technických důvodů už nedošlo k jeho analýze. Výzkum byl limitován malým množstvím vzorků jednotlivých kategorií, např. pouze jedna voda balená ve skle, pouze jeden ochucený vzorek, jedna balená

voda kojenecká atd. Nemohlo tedy dojít k efektivnímu vyhodnocení, neboť malé množství vzorků ztrácí vypovídající hodnotu.

Součástí testovaných vod byl původně i vzorek vincentky balené ve skle. Vzhledem k její silné mineralizaci (až 9500 mg/l) však byla na filtračním papíru zachycena silná vrstva nerozpuštěných látek a částice nebylo možné pozorovat. Tento vzorek byl tedy z výzkumu zcela odstraněn.

Za účelem minimálního styku tekutiny s jakýmikoliv plastovými předměty byly pro filtraci namísto membránových filtrů zvoleny filtry ze skelných mikrovláken. Vzorky vody tak přišly do kontaktu pouze s komponenty z borosilikátu (s výjimkou teflonového držáku filtrační aparatury), a bylo tak zabráněno případné kontaminaci. Ačkoliv je materiálem membránových filtrů nejčastěji PTFE, bylo zjištěno, že jejich hladká struktura je ideální pro pozorování mikroplastových částic, a je tedy mnohem efektivnější použít tento typ filtru. Na filtrech ze skelných mikrovláken bylo obtížné identifikovat zejména vlákna, a hledání částic bylo třeba podpořit změnami kontrastu a ostrosti. I tak mohlo spousty útvarů splývat či zaniknout mezi strukturami filtru. Výhodou naopak bylo lepší zachycení a udržení částic mezi vlákny filtračního papíru, v porovnání s hladkým membránovým filtrem.

Původně byl výzkum směřován ke kvantitativní analýze. Stanovení počtu mikroplastů v jednotlivých vzorcích balených vod však bylo nahrazeno zejména pozorováním a charakteristikou nalezených částic, neboť jejich množství nedosahovalo očekávaných hodnot a bylo třeba je intenzivně hledat.

Koncentrace nalezených částic byla tak nízká, že ve spojení s jejich mikroskopickou velikostí nemohlo být uskutečněno ani stanovení funkčních skupin polymerů pomocí Ramanovy spektroskopie, neboť by výsledky chemické struktury částic mohly být zkreslené signálem z okolních struktur filtru.

Za účelem dosažení kvalitnějších výsledků by v budoucích výzkumech bylo třeba vyvarovat se výše zmíněných nedostatků nebo využít alternativních metod a posunout tak bádání v této oblasti o stupeň výše.

## 6 Závěr

Výzkumy v oblasti mikroplastové kontaminace v posledních letech stále přibývají, přesto jsou studie stále v počátcích. S rostoucím počtem informací v rámci této problematiky rostou i obavy spojené s hojným výskytem mikroplastových částic ve všech složkách životního prostředí, doprovázené jejich negativními účinky na živé organismy.

Hlavním cílem práce bylo dokázat přítomnost mikroplastových částic v balených nápojích, které představují podstatnou součást lidské potravy. Podařilo se potvrdit výskyt syntetických částic různých morfologických vlastností ve většině testovaných vzorků. Přestože byla praktická část práce limitována několika faktory, podařilo se obecně zhodnotit jednotlivé kategorie balených vod z hlediska výskytu plastových částic. Pomocí skenovacího elektronového mikroskopu bylo úspěšně zprostředkováno pozorování a pořízené snímky nalezených částic odpovídaly vzhledu mikroplastů nalezených v ostatních publikacích.

V rámci teorie byla nastíněna hlavní rizika mikroplastového znečištění, přesto však v oblasti ekologie a ochrany životního prostředí existuje řada nezodpovězených otázek a nejasných odpovědí týkajících se této problematiky. Proto je v zájmu autora ve výzkumu dále pokračovat, zdokonalit metodické postupy, zaměřit se na kvantitativní analýzu částic, popřípadě se specializovat na vliv mikroplastů na živé organismy.

Mikroplasty jsou jedním z důkazů, že se nás mikrosvět opravdu týká a je naší nedílnou součástí. Ne vždy totiž musí platit české přísloví „co oči nevidí, to srdce nebolí“.

## 7 Seznam použité literatury

ANDRADY, A. L., 2011: Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*. 62(8):1596-1605. DOI 10.1016/j.marpolbul.2011.05.030.

BARNES, D. K. A., 2002: Invasions by marine life on plastic debris. *Nature*. 416(6883):808–809. DOI 10.1038/416808a.

BAYO, J., OLMOS, S., LÓPEZ-CASTELLANOS, J., 2020: Microplastics in an urban wastewater treatment plant: The influence of physicochemical parameters and environmental factors. *Chemosphere*. 238. DOI 10.1016/j.chemosphere.2019.124593.

BROWNE, M. A., CRUMP, P., NIVEN, S. J. et al., 2011. Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: Sources and sinks. *Environ Science & Technology*. 45(21):9175-9179. DOI 10.1021/es201811s.

COLE, M., LINDEQUE, P., HALSBAND, C. et al., 2011: Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin*. 62(12):2588-2597. DOI 10.1016/j.marpolbul.2011.09.025.

CRAMPTON, L., 2017: Microplastics in the Environment and in the Human Body. *Owlcation: Medical Science* [online]. [cit. 2020-07-12]. Dostupné z: <https://owlcation.com/stem/Microplastics-in-the-Human-Body-and-PotentialHealth-Effects>

CRESPY, D., BOZONNET, M. et MEIER, M., 2008: 100 Years of Bakelite, the Material of a 1000 Uses. *Angewandte Chemie International Edition*. 47(18), 3322-3328. DOI 10.1002/anie.200704281.

ČESÁK, T., 2019: Mikroplasty. *Týdeník Květy: časopis pro celou rodinu.*, Mona Praha. 29(35):25. ISSN 0862-898X.

DUCHÁČEK, V., 2006. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. 2. vyd., VŠCHT Praha. ISBN 80-7080-617-6.



DUIS, K. et COORS, A., 2016: Microplastics in the aquatic and terrestrial environment: sources (with a specific focus on personal care products), fate and effects. *Environmental Sciences Europe*. 28(1). DOI 10.1186/s12302-015-0069-y.

EERKES-MEDRANO, D., THOMPSON, R. C. et ALDRIDGE, D. C., 2015: Microplastics in freshwater systems: A review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs. *Water Research*. 75:63-82. DOI 10.1016/j.watres.2015.02.012.

ECHA [European chemicals agency],: Proposed restriction by ECHA. Micoplastics. *ECHA.europa.eu* [online]. [cit. 2020-07-12]. Dostupné z: <https://echa.europa.eu/cs/hot-topics/microplastics>

ENCOUNTNER EDU, ©2020: Where do microplastics come from?. *Encountner Edu* [online]. [cit. 2020-07-12]. Dostupné z: <https://encountneredu.com/multimedia/images/sources-of-microplastics>

FARAC, N. F., 2019: Green Marketing in the Plastic Era: Honesty or Hype?, *The Green Chemistry Initiative Blog*. [online]. [cit. 2020-06-02]. Dostupné z: <https://greenchemuoft.wordpress.com/2019/09/13/green-marketing-in-the-plastic-era-honesty-or-hype/>

FISCHER, E. R., HANSEN, B. T., NAIR, V. et al., 2012: Scanning electron microscopy. *Current Protocols in Microbiology*. Unit 2B.2. DOI 10.1002/9780471729259.mc02b02s25.

FREIDINGER, B., 2019: Evropská unie chce zakázat mikroplasty v kosmetice, hnojivech a barvách. *Greenpeace*. [online]. [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: <https://www.greenpeace.org/czech/clanek/2533/evropska-unie-chce-zakazat-mikroplasty-v-kosmetice-hnojivech-a-barvach/>

FZU [Fyzikální ústav], 2017: Elektronovým mikroskopem do nitra materiálů aneb jak vypadá jejich struktura. *FZU.cz* [online]. [cit. 2020-07-12]. Dostupné z: <https://www.fzu.cz/aktuality/elektronovym-mikroskopem-do-nitra-materialu-aneb-jak-vypada-jejich-struktura>

GASPERI, J., WRIGHT, S., L., DRIS, R. et al., 2018: Microplastics in air: Are we breathing it in?. *Current Opinion in Environmental Science & Health*. 1, 1-5 DOI 10.1016/j.coesh.2017.10.002.

GEISELMAN, B., 2018: Strength enhancers. *Recyclingtoday*. [online]. [cit. 2020-06-07]. Dostupné z: <https://www.recyclingtoday.com/article/plastics-recycling-strength-enhancers/>

GOLDSTEIN, J., NEWBURY D. E., MICHAEL J. R. et al., 2017: *Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis*. 4th ed., Springer New York. ISBN 978-1-4939-6674-5.

GOODHEW, P. J., HUMPHREYS F. J. et BEANLAND, R., 2001: *Electron microscopy and analysis*. 3rd ed., Taylor & Francis New York. ISBN 978-0748409686.

HARVEY, F., 2016: Microplastics killing fish before they reach reproductive age study finds. *The Guardian*. [online]. [cit. 2020-07-12]. Dostupné z: <https://www.theguardian.com/environment/2016/jun/02/microplastics-killing-fish-before-they-reach-reproductive-age-study-finds>

HIDALGO-RUZ, V., GUTOW L., THOMPSON, R. C. et al., 2012: Microplastics in the Marine Environment: A Review of the Methods Used for Identification and Quantification. *Environmental Science & Technology*. 46(6):3060-3075. DOI 10.1021/es2031505

CHEUNG, P. K., FOK, L., 2017: Characterisation of plastic microbeads in facial scrubs and their estimated emissions in Mainland China: *Water Research*. 122:53-61. DOI 10.1016/j.watres.2017.05.053

KARBALAEI, S., HANACHI, P., WALKER, T. R. et al., 2018: Occurrence, sources, human health impacts and mitigation of microplastic pollution. *Environmental Science and Pollution Research*. 25(36):36046-36063. DOI 10.1007/s11356-018-3508-7.

KOČÁREK, E., PÁNEK, M. et NOVOTNÁ, D., 2006: *Klinická cytogenetika I.* 1. vyd., Karolinum Praha. 16-21. ISBN 80-246-1069-8.

KOTAS, J., 2017: Mikroplasty, co jsou a jak se jich zbavit. *EuroClean*, [online]. [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: <https://euroclean.cz/clanky/mikroplasty-co-to-je-a-jak-se-jich-zbavit/>

LEBRETON, L. C. M., VAN DER ZWET, J., DAMSTEEG, J. W. et al., 2017: River plastic emissions to the world's oceans. *Nature Communications*. 8:(1). DOI 10.1038/ncomms15611.

LI, J., LIU, H. et PAUL CHEN, J., 2018: Microplastics in freshwater systems: A review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection. *Water Research*. 137, 362–374. DOI 10.1016/j.watres.2017.12.056

MANI, T., HAUK, A., WALTER, U. et al., 2016: Microplastics profile along the Rhine River. *Scientific Reports*. 5:(1). DOI 10.1038/srep17988.

METTLER TOLEDO, ©2020: Ramanova spektroskopie. Aplikace AutoChem. *Mettler Toledo* [online]. [cit. 2018-02-02]. Dostupné z: [https://www.mt.com/cz/cs/home/applications/L1\\_AutoChem\\_Applications/Raman-Spectroscopy.html](https://www.mt.com/cz/cs/home/applications/L1_AutoChem_Applications/Raman-Spectroscopy.html)

MOORE, C. J., 2008: Synthetic polymers in the marine environment: A rapidly increasing, long-term threat. *Environmental Research*. 108(2), 131–139. DOI 10.1016/j.envres.2008.07.025

MYRON, M. et PELUSO, M., 2019: Microplastics: Origin & Formation. *mmyron.com* [online]. [cit. 2020-07-24]. Dostupné z: <https://microplastics.mmyron.com/>

NAVRÁTIL, L. et ROSINA J., 2005: *Medicínská biofyzika*. 1. vyd., Grada Praha. 241-251. ISBN 978-80-247-1152-2.

NUTSCH, W., 2006: *Příručka pro truhláře*. 2. vyd., Europa-Sobotáles Praha. ISBN 80-86706-14-1

PARK, T., 2016: Microbeads: How did companies respond?. *Greenpeace*. [online]. [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <https://www.greenpeace.org/international/story/7638/microbeads-how-did-companies-respond/>

PIVOKONSKY, M., CERMAKOVA, L., NOVOTNA, K. et al., 2018: Occurrence of microplastics in raw and treated drinking water. *Science Total Environment*. 643:1644-1651. DOI 10.1016/j.scitotenv.2018.08.102

PRINZ, N. et KOREZ, Š., 2020: Understanding How Microplastics Affect Marine Biota on the Cellular Level Is Important for Assessing Ecosystem Function: A Review. *YOUMARES 9 - The Oceans: Our Research, Our Future*. 101-120. DOI 10.1007/978-3-030-20389-4\_6.

REISSER, J., SHAW, J., HALLEGRAEFF, G. et al., 2014: Millimeter sized marine plastics: a new pelagic habitat for micro-organisms and invertebrates. *PLoS One*. 9:(6). DOI 10.1371/journal.pone.0100289

RHODES, C. J., 2019: Plastic pollution and potential solutions. *Science Progress*. 101(3):207-260. DOI 10.3184/003685018X15294876706211

ROCHMAN, C. M., KROSS, S. M., ARMSTRONG, J. B. et al., 2015: Scientific Evidence Supports a Ban on Microbeads. *Environmental Science & Technology*. 49(18):10759-10761. DOI 10.1021/acs.est.5b03909

SCHYMANSKI, D., GOLDBECK, C., HUMPF, H. U. et al., 2018: Analysis of microplastics in water by micro-Raman spectroscopy: Release of plastic particles from different packaging into mineral water. *Water Research*. 129:154-162. DOI 10.1016/j.watres.2017.11.011

SILVA, A. B., BASTOS, A. S., JUSTINO, C. I. L. et al., 2018: Microplastics in the environment: Challenges in analytical chemistry - A review. *Analytica Chimica Acta*. 1017, 1-19. DOI 10.1016/j.aca.2018.02.043

TANAKA, K. et TAKADA, H., 2016: Microplastic fragments and microbeads in digestive tracts of planktivorous fish from urban coastal waters. *Scientific Reports*. 6(1). DOI 10.1038/srep34351

TEUTEN, E. L., ROWLAND, S. J., GALLOWAY, T. S. et al., 2007: Potential for plastics to transport hydrophobic contaminants. *Environmental Science & Technology*. 41(22):7759-7764. DOI 10.1021/es071737s

TEUTEN, E. L., SAQUING, J. M., KNAPPE, D. R. U. et al., 2009: Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 2027–2045. DOI 10.1098/rstb.2008.0284

THOMSON, A. 2018: Microplastic Invasion May Be Taking a Toll. *Scientific American* [online]. [cit 2020-06-19]. Dostupné z: <https://www.scientificamerican.com/article/from-fish-to-humans-a-microplastic-invasion-may-be-taking-a-toll/>

VAN CAUWENBERGHE, L., DEVRIESE, L., GALGANI, F., 2015: Microplastics in sediments: A review of techniques, occurrence and effects. *Marine Environmental Research*. 111, 5–17. DOI 10.1016/j.marenvres.2015.06.007

VOJTĚCHOVÁ, S., 2018: Vítejte v plastocénu: *Sedmá generace: společensko-ekologický měsíčník*. Hnutí Duha Brno, 27(1). s. 5. ISSN 1212-0499.

VOM SAAL, F. S., MYERS, J. P., 2008: Bisphenol A and risk of metabolic disorders. *JAMA*. 300(11). DOI 10.1001/jama.300.11.1353

VYHLÁŠKA č. 275/2004 Sb. o požadavcích na jakost a zdravotní nezávadnost balených vod a o způsobu jejich úpravy. [online]. [cit. 2020-07-26]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2004-275>

WAGNER, M. et OEHLMANN, J., 2009: Endocrine disruptors in bottled mineral water: total estrogenic burden and migration from plastic bottles. *Environmental Science and Pollution Research*. 16(3):278-286. DOI 10.1007/s11356-009-0107-7

WAGNER, M., SCHERER, C., ALVAREZ-MUÑOZ, D. et al., 2014: Microplastics in freshwater ecosystems: what we know and what we need to know. *Environmental Sciences Europe*. 26(1). DOI 10.1186/s12302-014-0012-7

WALKINSHAW, C., LINDEQUE, P. K., THOMPSON, R. et al., 2020: Microplastics and seafood: lower trophic organisms at highest risk of contamination. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 190. DOI 10.1016/j.ecoenv.2019.110066

WU, P., HUANG, J., ZHENG, Y. et al., 2019: Environmental occurrences, fate, and impacts of microplastics. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 184. DOI 10.1016/j.ecoenv.2019.109612

ZETTLER, E. R., MINCER, T. J., AMARAL-ZETTLER, L. A., 2013: Life in the 'plastisphere': microbial communities on plastic marine debris. *Environmental Science & Technology* 47:(13), 7137-7146. DOI 10.1021/es401288x

ZHOU W., APKARIAN, R., WANG Z. L. et al., 2006: Fundamentals of Scanning Electron Microscopy (SEM). *Scanning Microscopy for Nanotechnology*. 1-40. DOI 10.1007/978-0-387-39620-0\_1

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Schéma rozdělení polymerů (Ducháček, 2006) .....	12
Obrázek 2: Primární mikroplasty přidávané do kosmetiky (Park, 2016) .....	13
Obrázek 3: Procesy vzniku sekundárních mikroplastů (upraveno dle Myron et Peluso, 2019) .....	13
Obrázek 4: Chemická struktura a recyklační označení polymerů (Farac, 2019) .....	14
Obrázek 5: Zdroje mikroplastů unikajících do ŽP (upraveno dle EncounterEdu; ©2020) .....	16
Obrázek 6: Průmyslové plastové pelety (Geiselman, 2018) .....	17
Obrázek 7: Schéma transportu mikroplastů v životním prostředí (upraveno dle Wu et al., 2019) .....	19
Obrázek 8: Plastové úlomky nalezené v těle kranase duhového - Autor: Gyres Institut© (Thomson, 2018) .....	23
Obrázek 9: Schéma událostí po vstupu MP do buňky (upraveno dle Prinz et Korez, 2020) .....	24
Obrázek 10: Spektrum velikostí pozorovatelných jednotlivými mikroskopy (FZU, 2017) .....	29
Obrázek 11: Schéma principu transmisního a skenovacího (vlevo) elektronového (vpravo) mikroskopu (FZU, 2017) .....	29
Obrázek 12: Porovnání SEM/ ESEM (upraveno z: Navrátil et Rosina, 2005): Fixovaný preparát krevních buněk – pozorováno SEM (vlevo); Prostý preparát mokrého vlasu – pozorováno ESEM (vpravo) .....	30
Obrázek 13: Ramanův spektrometr (zdroj vlastní) .....	31
Obrázek 14: Balené vody použité ve výzkumu (zdroj vlastní – upraveno) .....	33
Obrázek 15: Vakuová filtrační aparatura (zdroj vlastní – upraveno) .....	34
Obrázek 16: Vzorky přefiltrovaných vod v Petriho miskách (zdroj vlastní – upraveno) .....	35
Obrázek 17: Vzorky umístěné v exsikátoru (vlevo); SEM HITACHI FlexSEM 1000 (vpravo) (zdroj vlastní – upraveno) .....	36
Obrázek 18: Komponenty přípravy vzorku pro SEM analýzu (zdroj vlastní – upraveno) .....	36

Obrázek 19: Struktura filtru ze skelných mikrovláken (zdroj vlastní) .....	38
Obrázek 20: Částice oxidu železitého nalezená v kontrolním vzorku (zdroj vlastní) .....	39
Obrázek 21: Syntetické vlákno ve vzorku 3B: Bonaqua jemně perlivá (zdroj vlastní) .....	41
Obrázek 22: Syntetická vlákna ve vzorku 2C: Magnesia ochucená malina (zdroj vlastní) .....	41
Obrázek 23: Syntetická vlákna ve vzorku 4B: Dobrá voda perlivá (zdroj vlastní) .....	42
Obrázek 24: Fragmenty nalezené ve vzorcích balených vod: (2A) Magnesia neperlivá, (4B) Dobrá voda perlivá, (3B) Bonaqua jemně perlivá .....	43
Obrázek 25: Fragmenty nalezené ve vzorku č. 7: Aquila neperlivá (zdroj vlastní) .....	44
Obrázek 26: Fragmenty nalezené ve vzorku č. 12: Mattoni perlivá ve skle (zdroj vlastní) .....	45
Obrázek 27: Úlomky nalezené ve vzorku č. 13: Saguaro (zdroj vlastní) .....	46
Obrázek 28: Ploché, zaoblené fragmenty nalezené ve vzorcích: 2A Magnesia neperlivá, 10 Bonny Albert, 3B jemně perlivá (zdroj vlastní) .....	47
Obrázek 29: Peleta pozorovaná ve vzorku 2A: Magnesia neperlivá (zdroj vlastní) .....	48
Obrázek 30: Částice nalezené ve vzorcích 4A, 5, 7 a 9 (zdroj vlastní) .....	49
Obrázek 31: Porovnání nalezených částic s částicemi prezentovanými v publikaci Ústavu pro hydrodynamiku ČR: A) vlákna, B) pelety, C) a D) fragmenty (upraveno dle Pivokonsky et al., 2018) .....	52



## Seznam tabulek

Tabulka 1: Charakteristika jednotlivých druhů balených vod (zpracováno dle Zakony pro lidi, ©2020).....	27
Tabulka 2: Seznam testovaných balených vod a jejich zařazení ( zdroj vlastní) .....	32
Tabulka 3: Souhrn nalezených částic v jednotlivých vzorcích (zdroj vlastní) .....	40

## Seznam grafů

Graf 1: EDS analýza vlákna ve vzorku 3B (zdroj vlastní) .....	41
Graf 2: EDS analýza vláken ve vzorku 2C (zdroj vlastní) .....	42
Graf 3: EDS analýza vláken ve vzorku 4B (zdroj vlastní) .....	43
Graf 4: EDS analýza fragmentů ve vzorcích 2A, 4B a 3B (zdroj vlastní).....	44
Graf 5: EDS analýza fragmentů ve vzorku č. 7 (zdroj vlastní) .....	45
Graf 6: EDS analýza fragmentů ve vzorku č. 12 (zdroj vlastní).....	46
Graf 7: EDS analýza částic ve vzorku č. 13 (zdroj vlastní) .....	46
Graf 8: EDS Analýza částic ve vzorcích 2A, 10 a 3B (zdroj vlastní) .....	47
Graf 9: EDS analýza peletky ve vzorku 2A (zdroj vlastní).....	48
Graf 10: EDS analýza anorganických částic nalezených ve vzorcích č. 4A, 5, 7 a 9 (zdroj vlastní).....	49

## Seznam zkratk

BPA	bisfenol A
ČOV	čistička odpadních vod
DDT	dichlordifenyltrichlorethan
EDS	energieově disperzní spektroskop
ESEM	environmentální skenovací elektronový mikroskop
FTIR	infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací
MP	mikroplast
PAH	polyaromatické uhlovodíky
PCB	polychlorované bifenyly
PES	polyester
PET	polyethylentereftalát
POPs	perzistentní organické látky
PP	polypropylen
PS	polystyren
PTFE	polytetrafluorethylen
PVC	polyvinylchlorid
ROS	reaktivní forma kyslíku
SEM	skenovací elektronový mikroskop
TEM	transmisní elektronový mikroskop
UV	ultrafialové
ŽP	životní prostředí