

# Mikročástice plastů ve vodě

Karolína Vohanková

---

Bakalářská práce  
2019



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav inženýrství ochrany životního prostředí  
akademický rok: 2018/2019

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Karolína Vohanková**  
Osobní číslo: **T17790**  
Studijní program: **B2808 Chemie a technologie materiálů**  
Studijní obor: **Inženýrství ochrany životního prostředí**  
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Mikročástice plastů ve vodě**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii zaměřenou na nejnovější informace, týkající se plastových odpadů ve formě mikročastic ve vodních systémech.
  2. Získané informace přehledně zpracujte do písemné formy bakalářské práce.
-

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. Eerkes-Medrano, D., Thompson, R. C., Aldridge, D. C.: Microplastics in freshwater system: A review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs. *Water Research*, 75, p-63-82 (2015).

2. Duis, K., Coors, A. Microplastics in the aquatic and terrestrial environment: sources (with a specific focus on personal care products), fate and effects. *Environmental Sciences Europe (Bringing science and regulation at the regional and European level)*. 28:2. DOI: 10.1186/s12302-015-0069-y. (2016).

3. Gal Vered, Aviv Kaplan, Dror Avisar, Noa Shenkara, Using solitary ascidians to assess microplastic and phthalate plasticizers pollution among marine biota: A case study of the Eastern Mediterranean and Red Sea *Marine Pollution Bulletin* 138, p. 618-625, (2019).

4. Vědecké zdroje zahrnuté v databázích Web of Science, ScienceDirect, SciFinder Scholar, Medline aj.

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Marie Dvořáčková, Ph.D.**

Ústav inženýrství ochrany životního prostředí

Datum zadání bakalářské práce:

**1. února 2019**

Termín odevzdání bakalářské práce:

**17. května 2019**

Ve Zlíně dne 1. února 2019

L.S.

doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.  
*děkan*

prof. Mgr. Marek Koutný, Ph.D.  
*ředitel ústavu*

Příjmení a jméno: Vohanková Karolína

Obor: Inženýrství ochrany životního prostředí

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užit své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 13. 5. 2019

.....

<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

<sup>2)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

<sup>3)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užit či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihledne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

---

## ABSTRAKT

Abstrakt česky

Tato práce se zabývá přítomností mikročástic plastů ve vodním prostředí. Nejdříve je vysvětleno, co jsou to všeobecně plasty z chemického hlediska, a jak mohou být odolné vůči různým vlivům okolí. V následujících kapitolách jsou probrány již konkrétní poznatky o mikročásticích plastů. V práci se zabývám především množstvím mikročástic plastů ve vodních prostředích, možnými vstupy do těchto prostředí, způsoby vzorkování a identifikace mikročástic plastů a také, jak mohou tyto částice ovlivnit životní prostředí a zdraví živočichů, včetně zdraví člověka.

Klíčová slova: plasty, mikročástice plastů, znečištění, životní prostředí, vodní prostředí, mořské systémy, sladkovodní systémy

## ABSTRACT

Abstrakt ve světovém jazyce

This thesis discusses the presence of plastic micro particles in water environment. First of all, it is explained what are the general plastics from a chemical point of view and how they can be resistant to various environmental influences. In the following chapters are discussed concrete knowledge of plastic micro particles. In this thesis I discuss primarily the quantity of plastic micro particles in aquatic environments, possible inputs into these environments, methods of sampling and identification of plastic micro particles and also how these particles can affect the environment and animal health, including human health.

Keywords: plastics, plastic microparticles, pollution, environment, aquatic environment, marine systems, freshwater systems

Ráda bych poděkovala své vedoucí bakalářské práce, kterou je paní Ing. Marie Dvořáčková, Ph.D. za rady a připomínky při psaní bakalářské práce, a především za její trpělivost.

Dále patří poděkování mým kamarádům, především Ing. Václavu Krajzlovi za pomoc při práci s programem Microsoft Word a cenné rady při závěrečných úpravách této práce, a také Ivanu Hladíkovi za kontrolu pravopisu.

V neposlední řadě bych ráda poděkovala svým rodičům a příteli, kteří mi vytvořili vhodné podmínky při psaní této práce a podporovali mě během celého mého studia.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do STAG jsou totožné.

**OBSAH**

<b>ÚVOD.....</b>	<b>9</b>
<b>ROZDĚLENÍ PLASTŮ.....</b>	<b>10</b>
<b>1 ODOLNOST NĚKTERÝCH POLYMERŮ .....</b>	<b>12</b>
1.1 POLYETHYLEN (PE) .....	12
1.2 POLYPROPYLEN (PP).....	12
1.3 POLYETHYLENTEREFTALÁT (PET).....	12
<b>MIKROČÁSTICE PLASTŮ .....</b>	<b>13</b>
<b>2 MIKROČÁSTICE PLASTŮ V ŽIVOTNÍM PROSTŘEDÍ.....</b>	<b>15</b>
2.1 MIKROČÁSTICE PLASTŮ: STRUČNÉ POZADÍ.....	16
2.2 PŘÍTOMNOST MIKROČÁSTIC PLASTŮ VE SLADKOVODNÍCH SYSTÉMECH.....	16
2.3 ZDROJE MIKROČÁSTIC PLASTŮ .....	17
2.4 TRANSPORT MIKROČÁSTIC PLASTŮ V PROSTŘEDÍ .....	19
2.5 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ MNOŽSTVÍ MIKROČÁSTIC PLASTŮ V PROSTŘEDÍ.....	22
2.6 FAKTORY SPOJENÉ S ROZPTÝLENÍM.....	23
2.7 SLADKOVODNÍ SYSTÉMY JAKO PŘÍSPĚVATELE MIKROČÁSTIC PLASTŮ V OCEÁNECH.....	24
2.8 MIKROČÁSTICE PLASTŮ V ČESKÝCH ŘEKÁCH .....	27
2.9 STUDIE MIKROČÁSTIC PLASTŮ VE STŘEDOZEMNÍM A RUDÉM MOŘI V ÍZRAELI.....	31
<b>3 DETEKCE A SLEDOVÁNÍ MIKROČÁSTIC PLASTŮ .....</b>	<b>32</b>
3.1 VZORKOVÁNÍ A IDENTIFIKACE .....	32
3.2 VÝVOJ METOD.....	34
<b>4 POTENCIÁLNÍ DOPADY.....</b>	<b>35</b>
4.1 BIOTY, KTERÉ INTERAGUJÍ S MIKROČÁSTICEMI PLASTŮ .....	35
4.2 OVLIVNĚNÍ ORGANISMŮ MIKROČÁSTICEMI PLASTŮ.....	37
4.3 POTENCIÁL ŠIRŠÍCH DOPADŮ MIKROČÁSTIC PLASTŮ NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ.....	39
4.4 NAVRHOVANÝ VÝZKUM POTENCIÁLNÍCH DOPADŮ NA ČLOVĚKA .....	41
<b>5 POLITICKÉ ZÁJMY .....</b>	<b>43</b>
<b>6 SHRUTÍ, DALŠÍ KROKY A MOŽNOSTI.....</b>	<b>44</b>
<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>45</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>46</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>50</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>51</b>
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>52</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>53</b>



## ÚVOD

Mořský odpad byl identifikován jako faktor přispívající ke ztrátě biodiverzity a představuje potenciální hrozbu pro lidské zdraví a činnosti. Tvoří jej převážně plasty a celosvětově je 75 % pobřežních odpadů zaznamenáno coby plasty. Plastový odpad je spolu se změnou klimatu označován jako problém, který by mohl v blízké až střednědobé budoucnosti ovlivnit lidskou schopnost zachovat biodiverzitu.

Kontaminace plasty je vzrůstající environmentální problém v mořských systémech, kde se rozšířila i do nejvzdálenějších stanovišť. Plastové nečistoty jsou environmentálně trvalé a komplexní kontaminanty. Mikroplastové částičky velmi malých rozměrů (částičky <5 mm), dosáhly ve vodách vysokých hustot (např. 100 000 částí na m<sup>3</sup>) a interagují s organismy a životním prostředím různými způsoby. Výzkumy sladkovodních systémů naznačují výskyt mikroplastů a jejich interakce dosahují stejně daleko, jako je pozorováno u mořských systémů. Mikroplasty ve sladké vodě byly detekovány v Evropě, Severní Americe a v Asii. První studie organismů ukazují, že sladkovodní fauna přijímá jako potravu mikročástice plastů, a to přes celou řadu různých potravinových společenství.

Pochopení zdrojů, hojnosti a složení mikročástic plastů přítomných v životním prostředí je obrovskou výzvou. Většina dosavadních výzkumů těchto mikročástic se zaměřila na mořské prostředí. Ačkoliv je sladkovodní prostředí označováno za původ a dopravní cesty plastů do oceánů, existuje stále komparativní nedostatek znalostí o této složce životního prostředí.

Některé studie se zaměřily také na dopady mikročástic plastů na zdraví živočichů. Bylo zjištěno, že mohou ovlivnit zažívání, ale také vývoj některých živočišných druhů. Výzvou je do budoucna zkoumání, zda se tyto dopady mohou projevit také u člověka.

## ROZDĚLENÍ PLASTŮ

Plasty zpravidla nejsou zpracovávány samotné, v čistém stavu, ale zpracovávají se za přídavku různých příměsí, které buď ulehčují jejich zpracování, nebo je chrání vůči škodlivým atmosférickým vlivům, popřípadě mění jejich základní vlastnosti.[1]

Schematicky lze plasty rozdělit několika způsoby. Například podle výchozích surovin pro jejich přípravu se nejčastěji dělí na:

- polysyntetické hmoty, které vznikají chemickou nebo fyzikální přeměnou přírodních polymerů, jako jsou například hmoty získané přeměnou přírodního kaučuku, celulózy, bílkovin atd.;
- plně syntetické hmoty, které se vyrábí syntézou nízkomolekulárních organických sloučenin

Někteří autoři dělí plasty na:

- plasty na bázi kondenzačních produktů, například fenolformaldehydové a aminoaldehydové pryskyřice, polyestery atd.;
- plasty na bázi polymeračních produktů, například polyvinylchlorid, polyakryláty, polyolefiny, polystyren atd.;
- plasty na bázi přírodních produktů, a to celulózy, bílkovin, bitumenu a rostlinných olejů

Plasty lze rozlišovat i podle jejich chování za tepla na:

- plasty teplem tavitelné – termoplasty, které působením tepla měknou, až tají a ochlazením opět tuhnou, přičemž lze tento cyklus vícekrát opakovat, aniž by došlo k zásadním změnám jejich vlastností
- plasty teplem tvrditelné – reaktoplasty, respektive duroplasty, které tají působením tepla, ale dalším zahříváním – vytvrzováním – přecházejí do netavitelného stavu.[1]

Vedle těchto masově vyráběných základních syntetických plastů se stále více začínají uplatňovat takzvané modifikační typy plastů. Ty se získávají chemickou nebo fyzikální úpravou základních typů polymerů a mají vlastnosti v zásadě odlišné od vlastností polymeru výchozího, použitého jako suroviny pro modifikační proces.[1]

Když se mluví o plastech, myslí se tím polymery. Polymery se vyrábí polymerizací. To je proces, při kterém se jednoduché monomerní jednotky začleňují do dlouhých polymerních řetězců různými reakčními mechanismy:

- radikálová polymerace
- iontová polymerace
- komplexně-koordinační polymerace
- polyadice
- polykondenzace
- polymerace otevíráním cyklů.[1]

Polymery se zpracovávají různými postupy, např. vytlačováním, vyfukováním, vstřikováním atd. Podle druhu polymeru a typu zpracování se vyrábí různé spotřební výrobky, jako jsou PET lahve, pneumatiky, kelímky, podlahy a řada dalších.[1]

Mnoho plastů se vyrábí z polymerů a přísad různých stabilizátorů. Vliv těchto přísad na konečný výsledek daných plastů je vysvětlen na odolnosti tří nejvíce nacházených typů plastů ve vodním prostředí (polyethylen PE, polypropylen PP, polyethylentereftalát PET) v následující kapitole.

## 1 ODOLNOST NĚKTERÝCH POLYMERŮ

Při výrobě se používají různé typy stabilizátorů, které zlepšují odolnost materiálu např. vůči meteorologickým vlivům. Díky tomu má většina výrobků vyrobených z plastů velmi dlouhou životnost. Pokud se tyto výrobky špatně odstraní a dostanou se do životního prostředí, znamená to, že v tomto prostředí zůstanou i několik desítek až stovek let.

### 1.1 Polyethylen (PE)

Při běžných teplotách odolává vodě, neoxidujícím chemikáliím a polárním rozpouštědlům. Při vyšších teplotách se rozpouští například ve vroucím tetrachlormethanu, benzenu, nebo toluenu. Je však omezeně odolný vůči nepolárním rozpouštědlům, především za zvýšené teploty. Je výborně odolný vůči nízkým teplotám.[2]

### 1.2 Polypropylen (PP)

Oproti polyethylenu je méně propustný pro plyny a páry, méně odolný vůči mrazu, ale odolnější vůči oděru a při zvýšených teplotách také vůči chemikáliím. Je odolný vůči sterilizačním teplotám. Má lepší mechanické vlastnosti a oproti polyethylenu se široce využívá k výrobě mechanicky a chemicky odolných vláken.[2]

### 1.3 Polyethylentereftalát (PET)

Polyethylentereftalátové vlákno je méně mačkové než vlna, méně vlhne a rychleji schne než vlákno polyamidové. Je více stálé na světle než polyamid, ale méně než polyakrylonitril. Je velmi odolný vůči dlouhodobému zahřívání. Je stálý v prostředí zředěných roztoků kyselin a hydroxidů, ovšem není odolný vůči koncentrovaným roztokům amoniaku.[2]

Polyethylentereftalátové fólie předčí mechanickou pevností fólie ze všech ostatních termoplastů. Svou pružnost si zachovávají až do velmi nízkých teplot a odolávají i vyšším teplotám a olejům. Mají vynikající elektroizolační vlastnosti. Málo propouštějí vlhkost a plyny, jsou výborně zpracovatelné.[2]

## MIKROČÁSTICE PLASTŮ

Výzkum mikročástic plastů jako kontaminantů v životním prostředí rychle roste. Přestože výzkum v mořských systémech zůstává v popředí, výzkumníci, kteří uznávají nedostatek studií o mikročásticích plastů ve sladkovodním prostředí, začali tuto oblast řešit jako prioritu. Kvantifikují je v jezerních a říčních systémech a hodnotí expozici a absorpci organismy. Vzhledem k tomu, že většina plastů se používá a likviduje na pevnině, podléhá přílehlé sladkovodní prostředí rozsáhlému znečištění plasty všech velikostí.[4]

Plastové výrobky pohybující se v rozmezí od mikroskopických až po metrové velikosti se nacházejí v bentických a pelagických stanovištích ve všech oceánech, a to i ve vzdálených místech, jako je Arktida a Jižní ledový oceán. Dopady na mořský život jsou ovlivněny velikostí odpadu. Velké plastové předměty, jako odhozená rybářská lana a sítě běžně způsobují zapletení bezobratlých, ptáků, savců a želv. Menší plastové předměty, jako lahvová víčka, zapalovače a plastové pelety mohou být požitý, což vede k obstrukci střev. V povrchových vodách byly zaznamenány mikročástice plastů s odhadovanou hustotou v tisících až stovkách tisíců částic na  $m^3$ , na pobřežích pak v rozsahu sta tisíců částic na  $m^3$ . Tyto částice jsou s rozličnými důsledky požívány mořskými organismy od bezobratlých až po ryby.[3]

Původ plastových mikročástic se dělí na primární a sekundární zdroje. Primární zdroje zahrnují zhotovované plastové výrobky, stejně tak pelety používané při výrobě surovin. Vyrobené pelety se mohou obzvláště běžně vyskytovat v prostředí blízko zařízení na zpracování plastů, byly také nalezeny na plážích vzdálených od zařízení na zpracování pelet, což naznačuje jejich potenciál dalekonosného putování mořem. Mikrokuličky mohou být přítomny v průmyslových a domácích odpadních vodách, kde vstupují přes řeky a ústí do mořského systému. Mezi sekundární zdroje patří fragmenty, které jsou výsledkem rozpadu větších plastových předmětů. Tyto fragmenty mohou pocházet z rybářských sítí, průmyslových surovin, spotřebních výrobků a předmětů pro domácnost, pelet nebo polymerních fragmentů z rozložitelných plastů, které jsou navrženy tak, aby se v prostředí samovolně rozpadly. Mikročástice plastů ze sekundárních zdrojů mohou být spojovány s lokalitami s vyšší hustotou obyvatelstva, ačkoli pochopení jejich distribuce je zatím omezené.[6] Sekundární zdroje jsou považovány za hlavní důvod většiny plastových mikročástic v mořském prostředí.

Uvolňování plastů do životního prostředí by mělo být omezeno v širokém a globálním úsilí bez ohledu na důkaz rizika pro životní prostředí. A to převážně vzhledem k přetrvávání mikročástic plastů v životním prostředí, vysokým koncentracím naměřených na některých místech životního prostředí a perspektivám silně se zvyšujících koncentrací.[5] Odstranění mikročástic plastů z biotopů není vzhledem k jejich malé velikosti a jejich průběžnému vývoji prostřednictvím rozpadu větších předmětů uskutečnitelné. Proto se za nejúčinnější opatření považují ty, které se zaměřují na snižování vstupů. Nicméně i kdybychom byli schopni zcela zastavit vstupy odpadu do životního prostředí, množství plastových mikročástic by s největší pravděpodobností rostlo, vzhledem k fragmentaci větších plastových předmětů, které již v životním prostředí jsou. Porozumění míry degradace a fragmentace je na nízké úrovni, a to je důvodem k obavám, neboť šíření a početnost plastových mikročástic se neustále zvyšuje.[3]

## 2 MIKROČÁSTICE PLASTŮ V ŽIVOTNÍM PROSTŘEDÍ

Z antropogenních odpadních materiálů uvolňovaných do životního prostředí může plast tvořit až 54 hmotnostních procent. Mezi rozšířené využití plastů patří obalové materiály (39,5 % celkové produkce plastů), stavební materiály (20,1 %), automobilové komponenty (8,6 %), elektronické spotřebiče (5,7 %) a zemědělské materiály (3,4 %), přičemž zbytek tvoří výrobky jako například domácí spotřebiče a sportovní vybavení. V Evropské unii existuje pro použití přibližně 30 000 různých polymerních materiálů. Zpráva Evropské komise uvádí, že 84 % z těchto 30 000 polymerů představují termoplasty.[4] Každý polymer má odlišné fyzikální vlastnosti a obzvláště hustota materiálu je důležitá pro určení osudu v prostředí. Ovšem, i když známe vlastnosti, nemusí být osud polymerů s naprostou přesností určen. Bylo například pozorováno, že údajně vznášející se částice, jako je polyethylen a polypropylen, mohou být zadrženy v sedimentech. To by mohlo být způsobeno biologickým znečištěním nebo aglomerací s organickými materiály.[4]

Vlastnosti, které dělají z plastů dobrý materiál pro spotřební zboží (vodotěsné, trvanlivé a odolné proti opotřebení a biodegradaci), z nich mohou také dělat extrémně vytrvalé materiály. Mnoho běžně používaných polymerů je extrémně odolných vůči biologickému rozkladu, ale existují důkazy o tom, že se může vyskytnout biologická degradace polymerů některými organismy, například bakteriemi, plísněmi a moučnými červy. Pokud však dojde k biodegradaci, je závislá na expozici polymerů těmto a dalším specifickým degradujícím organismům, které jsou schopny polymery degradovat, což jsou podmínky, s nimiž se nemusejí nutně setkat v přirozeném životním prostředí. Ve skutečnosti bylo navrženo, aby na skládkách nemohly být účinně biologicky odbourány žádné polymery. Pokud odečteme část plastů odstraněných při spalování, zůstane nám, že převážná většina plastů, která kdy byla vyrobena, je stále přítomna v nějaké formě v prostředí.[4] Tato vytrvalost polymerních materiálů způsobuje, že plasty pronikající do životního prostředí jako znečišťující látky, jsou v poslední době považovány za velmi vážný problém. Důvodem těchto obav jsou možné ekologické dopady rostoucího zatížení plastovými materiály v ekosystémech.

## 2.1 Mikročástice plastů: stručné pozadí

Plastové zbytky jsou tříděny podle velikosti: mega-odpad (>100 mm), makro-odpad (>20 mm), meso-odpad (20-5 mm) a mikro-odpad (<5 mm). Ačkoliv byly mikročásticové plastové částice poprvé pozorovány v mořském prostředí počátkem 70. let, až od roku 2004 se stal termín „mikročástice plastů“ běžně používaným. Nyní jsou běžně definovány jako částice s největším rozměrem 5 mm, ačkoliv nebyl specificky definován limit nejmenší velikosti. Mikročástice plastů ve vzorcích pocházejících z životního prostředí lze v současné době detekovat až do velikosti 1  $\mu\text{m}$ , nicméně jen málo environmentálních studií identifikuje částice <50  $\mu\text{m}$  v důsledku metodických omezení.[4]

## 2.2 Přítomnost mikročástic plastů ve sladkovodních systémech

Až donedávna nebyla distribuce mikročástic plastů známa ve sladkovodních systémech tak, jako v mořských systémech. Dokonce velké plastové předměty (větší než 5 mm) byly v jezerech, řekách a ústí řek zaznamenány teprve nedávno. V posledních letech se studie zabývaly identifikací mikročástic plastů v různých sladkovodních systémech napříč kontinenty. Byly nalezeny

- v Severní Americe
  - ve vodním kanále North Shore Channel of Chicago,
  - v řece svatého Vavřince
  - a ve Velkých jezerech;
- v Evropě
  - ve švýcarském Ženevském jezeře,
  - v italském Gardském jezeře,
  - v rakouské části řeky Dunaj,
  - v německé části řeky Labe, v řece Mosela, Neckar, Rýn
  - a v Anglii v ústí řeky Tamar;
- v Asii
  - v mongolském jezeře Hovsgol.[3]



### 2.3 Zdroje mikročástic plastů

Jak již předchozí kapitoly této práce zmiňují, mikročástice plastů primárních zdrojů vstupujících do mořských systémů zahrnují polyethylenové, polypropylenové a polystyrenové částice z čistících a kosmetických výrobků, které vstupují do vodního systému prostřednictvím odpadních vod z domácností.[3] Mikroplastové částice, které jsou obsaženy v produktech určených pro osobní péči (například čističe rukou, obličejové a zubní pasty), se v těchto produktech využívají jako exfoliační činidla (odstraňují odumřelé buňky pokožky). Mikročástice plastů jsou také využívány v lékařských aplikacích, například při leštění zubů nebo jako nosiče pro dodávání aktivních farmaceutických činidel.[5] Jiné navrhované primární mikročástice plastů vstupující do vodního systému obsahují materiály průmyslového původu z úniku práškových pryskyřic nebo pelet používaných pro vzduchotěsnění a surovin používaných k výrobě plastových produktů.[4]

Sekundární mikročástice plastů pocházejí z rozpadu větších plastových předmětů. Rozpad může nastat předtím, než mikročástice plastů vstoupí do životního prostředí (například syntetická vlákna během praní prádla) nebo po povětrnostních vlivech na plastové předměty.[3] Sekundární mikročástice plastů, vlákna vznikající během praní prádla, obsahují převážně polyester, akryl a polyamid. Jeden litr výtoku odpadní vody může obsahovat i více než 100 vláken. Bylo zjištěno, že vlákna podobná těm, která se vyskytují v domácích odpadních vodách, jsou dominantní v místech na likvidaci odpadních vod a vykazují dlouhou dobu pobytu. Tyto mikročástice plastů sekundárních zdrojů vykazují proto pravděpodobně dlouhou dobu pobytu ve sladkovodních systémech, ať už jsou to přírodní vodní útvary (řeky a jezera), upravené vodní útvary (například přehradní nádrže), nebo umělé vodní útvary (umělá jezera).[6] Dalším významným zdrojem mikroplastického zatížení je odtok přes odvodňovací kanály ze zemědělské půdy nebo odtoky ze silnic obsahující plasty jako částice opotřebovaných pneumatik, trosky z vozidel, nebo fragmenty silničních značek.[4]

Navzdory schopnosti některých čističek odpadních vod odstranit až 99,9 % mikroplastických částic z odpadních vod (v závislosti na používaných procesech), může velký počet částic vstupujících do systému obejít filtrační systémy a vstupovat do sladkovodního prostředí s odpadními vodami.[4]

Přítomnost primárních a sekundárních mikročastic plastů byla zjištěna napříč různými sladkovodními systémy. Ve vzorcích ze severoamerických Velkých jezer byla potvrzena přítomnost primárních mikročastic plastů původem z domácností, podobné velikosti, tvaru, barvy a elementárního složení, jako mikrokuličky z komerčních čisticích prostředků na obličej.[7] V řekách a jezerech byly nalezeny primární mikročastice plastů průmyslového původu. Předvýrobní plastové pelety z pryskyřice byly druhým nejvíce dominantním odpadem v řekách a povodí Los Angeles [8] a nejvíce dominantním odpadem v kanadském Huronském jezeře.[9] Plastové materiály ve vzorcích z řeky Dunaj, Huronského a Erijského jezera, byly pravděpodobně uvolněny z výrobních závodů, kde se plasty vyrábí. Sekundární mikročastice plastů byly nalezeny v mongolském jezeře Hovsgol a v italském Gardském jezeře, kde byly dominantní formou mikročastic fragmenty plastů.[10] V obou studiích je naznačováno, že tyto sekundární mikročastice plastů pocházejí z degradace a rozpadu větších plastových předmětů původem z domácností.[3]

Existují prostorové asociace mezi typy nalezených mikročastic plastů a lidskými aktivitami. Zdroje mikročastic plastů mohou být často identifikovány buď povahou nebo relativním množstvím mikroplastického materiálu. Například surové plasty (pelety a vločky) byly nalezeny v řece Dunaj, která sousedí s místy výroby plastů;[11] pryskyřicové pelety a mikrokuličky byly nejhojnější v průmyslové oblasti Huronského jezera a hustě obydleném a průmyslovém Erijském jezeře;[7] nedostatek primárních pelet, ale hojnost sekundárních fragmentů na březích řídky osídlených jezer (Gardské a Hovsgol) naznačuje původ z rozpadu věcí z domácností.[3]

Rozdíly mezi sladkovodními a mořskými systémy při vzniku sekundárních mikročastic plastů povětrnostními vlivy nejsou známy. U mořských systémů dokonce není známa míra fragmentace a degradace. V mořských systémech mohou existovat různé stupně fyzikálních sil, jako jsou bouře a vlnové působení. Plasty ve sladkovodních systémech stále zažívají fyzikální a chemickou degradaci.[3] Zkoumání mikročastic plastů v jezeře Hovsgol naznačuje, že částice mohou zažívat poměrně vysoké úrovně povětrnostních vlivů v důsledku zvýšeného průniku UV světla a snížení biologického znečištění v oligotrofních vodách jezer.[10]

Studie sladké vody používající skenovací elektronovou mikroskopii pro zkoumání povrchu mikročástic plastů objevily vzory degradace (trhliny, prohlubně a přiléhající částice) podobné těm, které byly pozorovány v plastech z mořských pláží.[12] Pozorování povrchové degradace mikročástic plastů může být užitečné při určování historie částic. Povrchové vlastnosti mohou odhalit, zda částice zažily mechanickou degradaci (například působení vln, pískové tření), oxidační povětrnostní vlivy (například fotooxidace z vystavení UV-B světla) nebo potenciálně biologickou degradaci. Mohou také poskytnout náhled do deponičních prostředí (například písčité pláže vs. bahnitě pobřeží bohaté na organické látky), odkud částice pocházejí.[3]

## 2.4 Transport mikročástic plastů v prostředí

Odhad množství plastového odpadu, který se uvolňuje do životního prostředí je obtížně proveditelný vzhledem k nedostatku údajů a mezinárodním rozdíům mezi výrobou a likvidací plastového odpadu. Tyto rozdíly vznikají v důsledku mezinárodních rozdíů ve společenských postojích, vzdělávání a investicích do infrastruktury pro nakládání s odpady. Například v roce 2010 bylo v Číně 76 % plastového odpadu (8,82 milionu tun) považováno za špatně vedené ve srovnání s 2 % (0,28 tun) ve Spojených státech amerických (USA). Odhady uvedené v tabulce 1 se zaměřují na Evropu a předpokládají, že podíl odpadu, se kterým je v Evropské unii (EU) špatně nakládáno, je ekvivalentní podílu USA (2 %). Jedná se o rozumný předpoklad založený na podobnosti rozvoje infrastruktury pro nakládání s odpady, jako je směrnice o skládkách odpadu z roku 1999 (1999/31/ES). Na základě tohoto předpokladu odhadujeme, kolik tohoto špatně nakládaného odpadu a dodatečný zdroj mikročástic plastů z aplikace kalů z čistíren odpadních vod zůstane každoročně na území Evropy.[4]

V Evropě činily v roce 2014 plastové materiály používané ve spotřebitelských, domácích a zemědělských produktech 59 milionů tun. Znečištění odpady z plastů v EU se počítá na 520 000 tun. Kromě toho se odhaduje, že ročně je na pevnině uloženo 63 000 až 430 000 tun mikročástic plastů v čistírenských kalech. V důsledku toho vypočítáme, že v EU se ročně vypouští a uchovává mezi 473 000 a 910 000 tunami špatně zpracovaného plastového odpadu v kontinentálním prostředí, což je mezi 4 a 23 násobkem odhadovaného množství uvolněného do oceánů (tabulka 1). Mohou existovat další cesty uvolňování, které nejsou tak dobře známé, jako je například atmosférická depozice. To potom může znamenat, že zde uvedené výpočty mohou být podceněním plastových výpustí.

**Tabulka 1 – Údaje pro EU o nakládání s odpady a odhady uvolňovaného plastového odpadu do suchozemského a sladkovodního (kontinentálního) prostředí.[4]**

<i>Manipulace/likvidace plastů</i>	<i>Miliony tun ročně</i>
<b>Výroba plastů (celkem EU, 2014)</b>	<b>59</b>
<b>Plastový odpad (celkem EU, 2014)</b>	<b>25,8</b>
<b>Zpracovaný plastový odpad (-2 % špatně zpracovaný odpad)<sup>1</sup></b>	<b>25,28</b>
<b>Skládka (celkem EU)<sup>2</sup></b>	<b>8</b>
<b>Recyklace (celkem EU)<sup>2</sup></b>	<b>7,6</b>
<b>Energetické využití (celkem EU)<sup>2</sup></b>	<b>10,2</b>
<b>Špatně zpracovaný plastový odpad (2 % plastového odpadu v EU)<sup>1</sup></b>	<b>0,52</b>
<b>Plast v čistírenských kalech (celkem v EU)</b>	<b>0,063 - 0,43</b>
<b>Vstup do oceánu (celkem v EU)</b>	<b>0,04 – 0,11</b>
<b>Celkový počet špatně zpracovaného plastového odpadu zůstávajícího v kontinentálním prostředí (EU)<sup>3</sup></b>	<b>0,47 – 0,91</b>

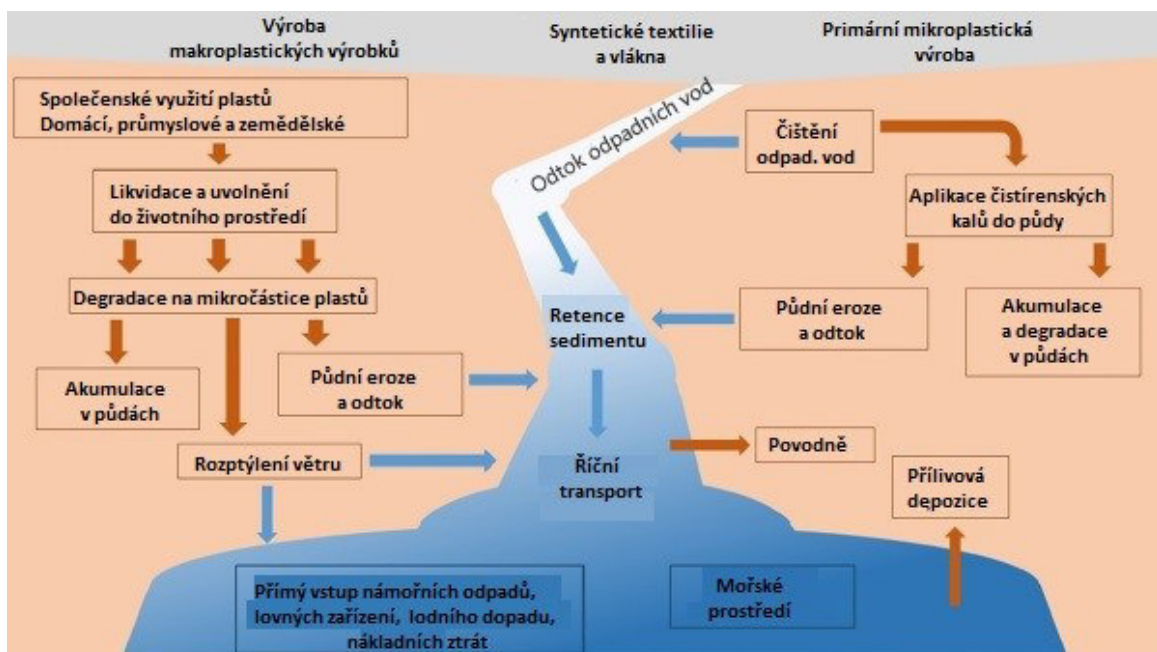
<sup>1</sup> Údaje o množství odpadů s řízeným a špatně řízeným nakládáním s odpadem jsou vypočteny na základě podílu odpadu zařazeného do kategorie řízených nebo nesprávně řízených ve Spojených státech amerických: 2 %

<sup>2</sup> Hodnoty pro specifické postupy nakládání s odpady neberou v úvahu odpady s nesprávným hospodařením

<sup>3</sup> Hodnoty jsou vypočteny na základě špatně zpracovaného odpadu, který zahrnuje plasty v čistírenských kalech, minus plast, který je přepravován do oceánů. Některé zdroje, jako je atmosférický spad, nebyly z důvodu omezených dostupných údajů zváženy.

Obrázek 1 ukazuje koncepční schéma hlavních toků mikročástic plastů uvnitř a mezi třemi složkami životního prostředí: pozemní, sladkovodní a mořské. Klíčovým konceptem diagramu je dělení plastových částic mezi vodním a suchozemským prostředím, přičemž se zdůrazňuje, že plastické nečistoty budou nejen transportovány řekami z pevniny do moře, ale že se mohou také během přílivu nebo povodní vrátit do země. Rozsah celkové depozice, retence a transportu mikročástic plastů bude záviset na mnoha faktorech:

- chování lidí, jako je například odhazování odpadu do přírody nebo recyklace;
- vlastnosti částic, jako je hustota, tvar a velikost;
- počasí, včetně větru, deště a záplav
- a topografie životního prostředí a hydrologie.[4]



Obrázek 1 – Koncepční schéma mikroplastických zdrojů a toků v rámci antropogenních, suchozemských, sladkovodních a mořských složek životního prostředí a mezi nimi.[4]

## 2.5 Faktory ovlivňující množství mikročástic plastů v prostředí

Studie mikročástic plastů ve sladkovodním prostředí se rychle vyvíjejí s přibývajícím množstvím mikroplastových částic, které se nacházejí v celé řadě sladkovodních prostředí po celém světě, včetně řek a jezer. Plocha vodní hladiny, hloubka, vítr, proudy a hustota částic ovlivňují transport a osud částic uvnitř těchto vodních systémů.[10] Existuje několik faktorů ovlivňujících množství mikročástic plastů přítomných ve sladkovodním prostředí. Ty kromě fyzikálních sil zahrnují hustotu obyvatelstva v blízkosti vodních útvarů, blízkost městských center, dobu pobytu vody v místě (například v jezeře, než pokračuje dál hydrologickým cyklem), velikost vodního útvaru, typ použitého odpadového hospodářství a množství přetečení odpadních vod.[3]

Studie provedená na jezerních plážích v roce 2013 zjistila přítomnost mikročástic plastů v sedimentech dvou pláží na severním a jižním břehu Gardského jezera v Itálii. Počty částic mezi těmito místy byly výrazně odlišné, přičemž tyto rozdíly byly přisuzovány převažujícímu směru větru v jižní části, který dopravuje plasty buď přímo, nebo pohybem povrchové vody na opačný břeh.[12] Počet lokálních zdrojů, plocha vody, hloubka, vítr, proudy a hustota částic, to jsou faktory určující transport a osud částic v těchto vodních systémech. Dalším významným faktorem ovlivňujícím přítomnost a hojnost částic je urbanizace oblasti obklopující vodní útvar.[4]

Ve Velkých jezerech severní Ameriky dosáhl počet pelagických mikročástic plastů ve vysoce obydleném Erijském jezeře až 1 101 částic v toku dlouhém 3,87 km (466 305 částic na km<sup>2</sup>), zatímco počet částic pro méně obydlené Huronské a Hořejší jezero dosáhl 15 částic v toku dlouhém 3,76 km (6 541 částic na km<sup>2</sup>), respektive 15 částic v toku dlouhém 1,94 km (12 645 částic na km<sup>2</sup>).[7] Větší hustoty mikročástic plastů byly zjištěny v jižních částech severoamerického Huronského jezera a mongolského jezera Hovsgol, kde jsou jezera vystavena průmyslové činnosti a cestovnímu ruchu. Nicméně i v jezeře Hovsgol, ve vzdálené oblasti s nízkou hustotou obyvatelstva dosahují odhadované hustoty pelagických mikročástic plastů 44 435 částic na km<sup>2</sup>. [10] Vysoký počet pelagických částic v této méně obydlené části jezera může být důsledkem dlouhého pobytu vody. Jako další důvod větší koncentrace mikročástic v tomto jezeře se považuje špatné místní nakládání s odpady.[3] Takové vzory mohou rovněž vysvětlovat, proč větší Huronské a Hořejší jezero obsahují nižší počty pelagických mikročástic plastů oproti vysokým hustotám částic v relativně menším Ženevském jezeře.[7]

S ohledem na vztah mezi přítomností mikročastic plastů a úpravou odpadních vod se předpokládá, že používání určitých produktů obyvateli, například mikrokuličky v kosmetických/čisticích prostředcích ve spojení s úpravou odpadních vod, které nejsou schopny zachytit plovoucí mikročastice plastů, přispívá k přítomnosti těchto mikročastic ve sladkovodních útvarech. Koncentrace mikročastic plastů se mohou lišit v závislosti na blízkosti k zařízením na čištění odpadních vod. V kanále North Shore v Chicagu byly hustoty mikročastic plastů vyšší po proudu od čističky odpadních vod než proti proudu.[3] Odebírání vzorků z míst po proudu a proti proudu od čističky odpadních vod, zdůrazňuje důležitost faktorů, které ovlivňují pozorované vzory přítomnosti mikročastic plastů.

## 2.6 Faktory spojené s rozptýlením

Klíčem k odhadování distribuce mikročastic plastů v mořském prostředí je pochopení vnějších sil, které pohánějí jejich pohyby. Kvantitativní přístupy poukazují na roli různých fyzikálních sil ovlivňujících transport a rozptýlení. Mezitím v menších měřítcích, experimentální a terénní studie poukazují na větrem poháněné turbulence ovlivňující vertikální polohu neustonických částic. Turbulentní toky z přílivů a odlivů nebo vln mohou vést k resuspendování bentických částic. Fyzikální síly dokonce hrají roli v pozici částic v mořských sedimentech.[3] Hodnocení třírozměrné polohy mikročastic plastů v mořských sedimentech v Santos Bay v Brazílii, poskytlo důkaz, že ukládání částic může souviset s vysokoenergetickými oceánografickými událostmi, jako jsou mořské bouře.[13]

Vnější síly, které pohánějí rozptýlení, interagují s vlastnostmi samotných částic (například hustota, tvar a velikost) a s dalšími vlastnostmi prostředí, jako je hustota mořské vody, topografie mořského dna a tlak. Ve studiích mořských systémů se často objevuje hustota částic jako faktor ovlivňující transport a rozptýlení. Hustota běžných spotřebních plastů se pohybuje v rozsahu od 0,85 do 1,41 g·ml<sup>-1</sup>, přičemž polypropylen a nízko/vysoko hustotní polyethylen (LDPE, HDPE) mají hustoty nižší než 1 g·ml<sup>-1</sup>; zatímco polystyren, nylon 6, polyvinylchlorid a polyethylentereftalát mají hustotu vyšší než 1 g·ml<sup>-1</sup>. Zdrojem fragmentů plastů s nízkou hustotou jsou igelitové tašky, lana, sítě a kartony na mléka/džusy a zdrojem částic plastů s vysokou hustotou jsou obaly a nádoby na potraviny, nápojové lahve a fólie. Vzhledem k tomu, že tento rozsah zahrnuje materiál s nižší, stejnou nebo vyšší hustotou než voda, mikročastice plastů mohou být distribuovány po celé vodní koloně. Hustota částic tudíž může určit, zda částice zaujímají pelagické nebo bentické transportní trasy, ale jak již bylo zmíněno, nemusí to být vždy úplně pravda.[3]

Degradace biologickými a fyzikálními procesy a znečištění následkem epibiontů mohou ovlivnit rozptýlení částic změnou velikosti a molekulové hmotnosti plastů. Částice mohou kolovat skrz mořský vodní sloupec, pokud podléhají cyklům znečištění.[3]

Sekundární plasty jsou tvořeny v důsledku meso a makroplastických fragmentací. Plasty jsou citlivé na UV záření a vysoké teploty, což může způsobit změny, které činí plasty křehkými a tím i náchylnějšími k fragmentaci. Jak vystavení slunečnímu záření, tak působení vln jsou primárními příčinami fragmentace v mořských vodách. Předpokládá se, že na pevnině dochází k roztržení plastů snadno v důsledku přímého vystavení UV záření. Stejně tak vystavení UV záření může být vyšší v malých mělkých vodních systémech, jako jsou rybníky a řeky, než ve velkých jezerech nebo otevřeném oceánu. Nicméně mnoho sladkovodních prostředí může postrádat fragmentační potenciál, který nabízí turbulence a vlnové působení v mořských pobřežních vodách, zejména ve skalnatých přílivových oblastech.[4]

## **2.7 Sladkovodní systémy jako přispěvatelé mikročástic plastů v oceánech**

Zda jsou řeky hlavním zdrojem mikročástic plastů v oceánech, musí být ještě stanoveno. Mikročástice plastů jsou přítomny v odpadních vodách, ve výtocích ze závodů vyrábějící plasty, v městském odtoku a v řekách.[3] V řece Dunaj bylo nalezeno mnoho mikroplastického odpadu obsahujícího průmyslové suroviny představující 79 % plastů.[6] Proto je třeba vzít v úvahu úlohu sladkovodních systémů jako transportních cest do oceánů.

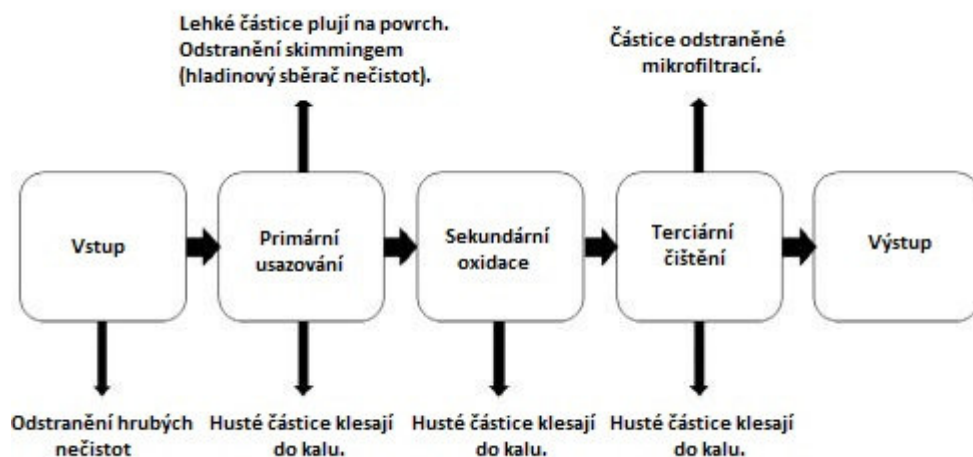
Spojení mezi znečištěním moří a řekami je jasné pro jiné typy znečišťujících látek z komunálních vypouštění, odpadních vod, městských odtoků a dešťových vod. Právní zajištění vytvořené napříč mezinárodními hranicemi, jako je Rámcová směrnice Evropské unie o vodě a Rámcová směrnice Evropského parlamentu o strategii pro mořské pobřeží, podporují integrované řízení sladkých a mořských vod a součástí tohoto řízení je řešení znečištění, včetně materiálů v suspenzi a mikročástic plastů. Lze očekávat, že ústí řek, které obdrží vstup z vysoce industrializovaných nebo obydlených povodí, přispívají větším podílem mikročástic plastů do oceánu.[3]



Primární a sekundární mikročástice plastů mohou vstupovat do životního prostředí prostřednictvím odpadních vod. Během primárního (mechanického) kroku čištění v čistírnách odpadních vod (ČOV) jsou hrubé suspendované nebo plovoucí pevné látky odstraňovány z odpadní vody sítím. Písek a jiné těžké částice jsou zadržovány v lapačích písku; plovoucí materiál je zachycen v lapačích tuků. Hrubé síto má otvory velké přibližně 20–50 mm a jemné síta přibližně 2–10 mm. Tato síta nebudou schopna zachytit částice velikosti mikrometrů. Vznášející se mikroplastové částice mohou být odstraněny v kroku separace mazu, naopak u mikročástic plastů s vysokou hustotou, jako je například polyurethan, lze očekávat, že budou sedimentovat, a tudíž budou zachyceny v lapači písku nebo v kalu. Dosud je ale k dispozici stále relativně málo studií o efektivitě ČOV odstraňovat mikročástice plastů z odpadních vod.[5]

Částice, které nejsou zadrženy ve splaškovém kalu nebo odstraněny v průběhu procesu úpravy vod, vstupují do prostředí přes odtok do řek. Syntetická mikrovlna byla identifikována mnoha studiemi jako nejhojnější typ mikroplastických částic, který se nachází ve sladkovodním prostředí, přičemž primární mikrokuličky z produktů osobní péče jsou také pravděpodobně významným přispěvatelem k mikroplastickému znečištění. Je však třeba poznamenat, že vzorkovací zařízení a metodika ovlivní velikost pozorovaných částic, a proto může chybně určit dominantní pozorovaný typ částic. Tato variace v metodice odběru vzorků by mohla vést k tomu, že fragmenty nebo pelety jsou chybně identifikovány jako nejhojnější typ částic a mohou ztěžovat srovnání typů částic a četností mezi studiemi.[4]

Vzhledem k malé velikosti primárních mikročástic plastů je nepravděpodobné, že by byly odstraněny existujícím zachycováním na sítích, i když hrubá síta zachycují částice >10 mm a existují dokonce i nejjemnější síta zachycující částice do 1,5 mm. Důležitým prediktorem mikroplastového dělení při čištění odpadních vod bude hustota částic, s hustými částicemi usazenými na kal a vznášejícími se částicemi plovoucími v odpadních vodách (obr. 2). Rozsah, v jakém k tomu dochází, bude také záviset na řadě relevantních procesů, které mohou ovlivnit charakteristiky mikročástic plastů. Například agregace mikroplastických částic, buď samotných, nebo s větší pravděpodobností s jinými (organickými) částicovými materiály, může zvětšit velikost a hustotu vedoucí ke zvýšení rychlosti sedimentace. Růst bakteriálních biofilmů na mikroplastickém povrchu může opět zvýšit hmotnost a hustotu částic, což má také za následek usazování.[4]

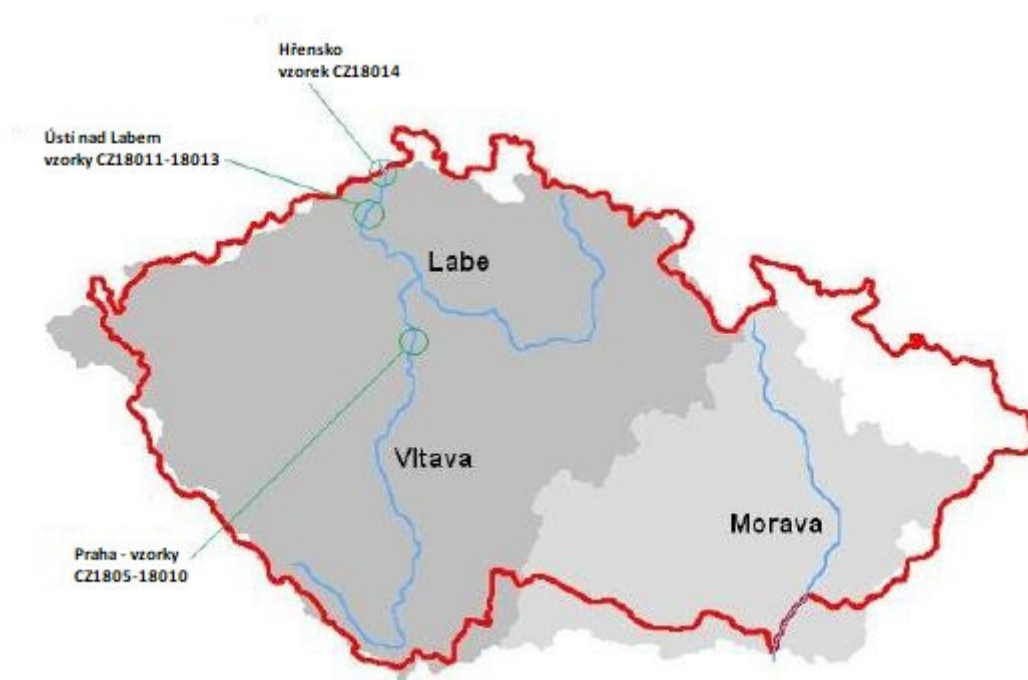


**Obrázek 2 – Schematický diagram standardních procesů čištění odpadních vod a chování částic ovlivněných hustotou v každém stupni zpracování.[4]**

Nedávná studie zjistila přítomnost mikrokuliček pocházejících z kosmetických přípravků v odpadních vodách v sedmi čistírnách odpadních vod v Kalifornii, kde byly odpadní vody upraveny pro opětovné použití terciárním zpracováním. Procesy zpracování v těchto zařízeních vedly k úplnému odstranění mikročástic plastů (45 – 400  $\mu\text{m}$ ) z výstupů vody v důsledku terciárního čištění včetně povrchového odlučování, usazování kalů a mikrofiltrace. Po sekundární úpravě (eliminální mikrofiltrace) obsahovaly odpadní vody v průměru jednu plastovou částici na 1 140 litrů odpadní vody, ve srovnání s odhadovanou jednou částicí na litr v přírodu.[14] Nebyla nalezena žádná vlákna, přestože se jedná o nejčastěji uváděný druh mikročástic plastů, které se nacházejí ve vzorcích životního prostředí, avšak jak bylo dříve zdůrazněno, může to být výsledek použité techniky odběru vzorků.[4]

## 2.8 Mikročástice plastů v českých řekách

V září roku 2018 odebrala organizace Greenpeace vzorky z českých řek, a to konkrétně z Vltavy a Labe. Vzorky byly odebrány v Praze, Ústí nad Labem a Hřensku. Odborníci zjistili, že devět z deseti vzorků obsahuje mikročástice plastů. Nejvíce těchto mikročástic bylo ve vzorcích získaných u výpustě čistírny odpadních vod v Ústí nad Labem - Neštětích, kde vzorky obsahovaly 18 částic na litr vody. Pro analýzu vzorků byla použita infračervená spektroskopie, která je obecně označována jako FT-IR. Analýza byla provedena laboratoří Greenpeace na britské univerzitě v Exeteru.[15]



**Obrázek 3 - Přibližné umístění 10 vzorků povrchových vod odebraných v České republice v září 2018.[15]**

**Tabulka 2 - Podrobnosti o mikročasticích plastů a jiných syntetických vláknech izolovaných z deseti vzorků říční vody.[15]**

Kód	Místo odběru	Počet syntetických kusů	Detailní popis nalezených syntetických materiálů
CZ18005	Vltava - Smíchovský přístav	2 vlákna	1x černé polyakrylátové vlákno 1x černé modifikované celulózové vlákno
CZ18006	Vltava - ústí Botiče	2 vlákna 1 fragment	2x transparentní modifikovaná celulózová vlákna 1x transparentní fragment kopolymeru ethylvinylacetátu
CZ18007	Vltava - ústí Rokytky	2 vlákna 2 fragmenty	1x modré modifikované celulózové vlákno 1x transparentní vlákno impregnované formaldehydovou pryskyřicí (případná dřevotříska) 1x transparentní / bílý fragment polyvinylalkoholu 1x transparentní / bílý polynorborenový kaučukový fragment
CZ18008	Vltava, 100 m nad výpustí ČOV	4 vlákna	1x červené polyesterové vlákno 1x bílé polyesterové vlákno 1x transparentní modifikované celulózové vlákno 1x modré modifikované celulózové vlákno
CZ18009	Vltava, u výpustě ČOV	1 vlákno	1x černé polyakrylátové vlákno
CZ18010	Vltava, 300 m pod výpustí ČOV	n/a	
CZ18011	Labe, 100 m nad ČOV Ústí n/L Neštětice	1 fragment	1x černý chlorovaný polyethylenový fragment
CZ18012	Labe, u ČOV Ústí n/L Neštětice	10 vláken 8 fragmentů	1x transparentní vlákno impregnované formaldehydovou pryskyřicí (případná dřevotříska) 1x transparentní polytetrafluorethylenové vlákno 1x modré nylonové vlákno 1x transparentní nylonové vlákno 1x transparentní modifikované celulózové vlákno 2x modrá modifikovaná celulózová vlákna 1x černé modifikované celulózové vlákno 1x transparentní skleněné vlákno 1x modré polyesterové vlákno 2x červené fragmenty / částice (případně směs kopolymeru na bázi močoviny s formaldehydem) 1x transparentní fragment / film (neidentifikovaný polymerní film) 3x bílé fragmenty / částice (neidentifikovaný polymer / kopolymer) 1x bílý fragment (pravděpodobně chlorovaný kaučuk)
CZ18013	Labe, 300 m pod výpustí ČOV Ústí n/L Neštětice	1 vlákno 1 fragment	1x černé polyesterové vlákno 1x bílý fragment (neidentifikovaný fluoropolymer)
CZ18014	Hřensko, hranice se SRN	1 vlákno 1 fragment	1x transparentní skleněné vlákno 1x bílý polypropylenový fragment

Ve většině testovaných vzorků bylo nalezeno mezi jedním a čtyřmi syntetickými vlákny nebo fragmenty. Mikročástice plastů tvořily zhruba polovinu z nich, zbytek byla zpravidla průmyslově upravená celulózová vlákna. Zjištěná průměrná koncentrace 3,7 mikroplastových částic na litr odpovídá výsledkům studií ze zahraničí.[15]

*„3,7 miniaturních plastových částic na litr vody se může na první pohled zdát jako zanedbatelné číslo, ale při vědomí že v průměru každou sekundu proteče v Labi na česko-německé hranici 308 000 litrů vody, znamená to, že denně mohou z Česka proudit směrem k Severnímu moři až desítky miliard mikroplastových vláken a částic.“<sup>4</sup>*

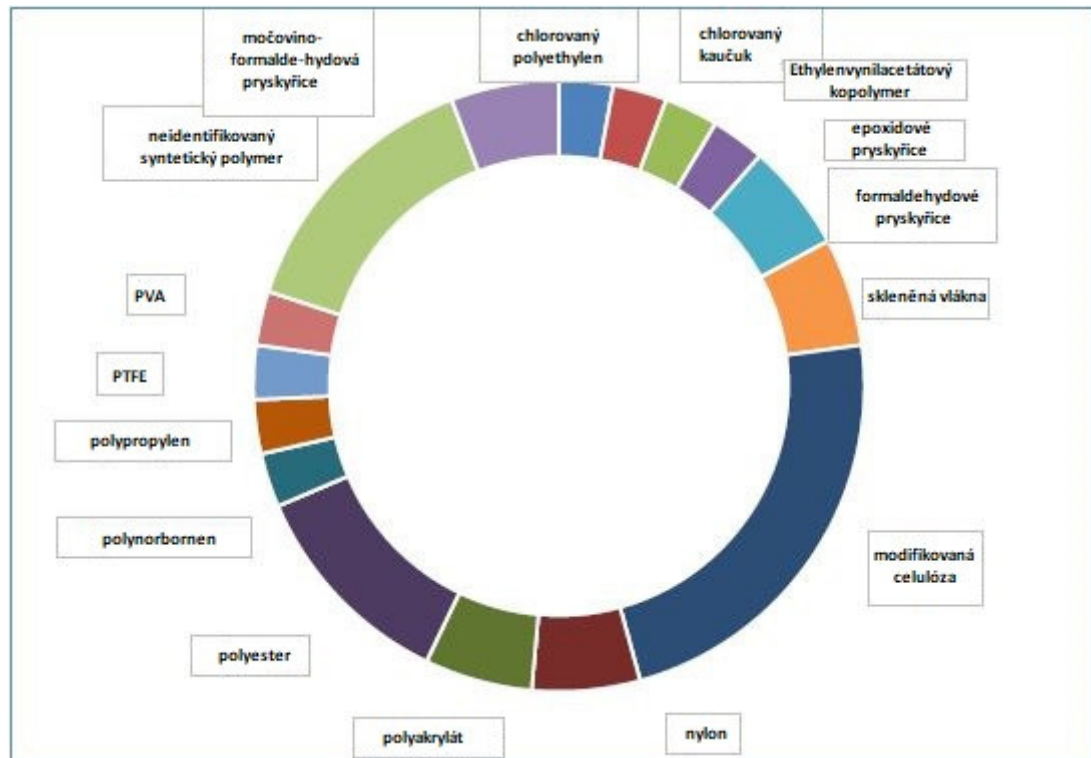
Dosvědčilo se, že znečištění plasty je všudypřítomné, a že mikročástice plastů z České republiky proudí do Německa a odtud do Severního moře. Když vynásobíme koncentraci mikročástic plastů naměřenou v Hřensku průtokem, dostaneme, že denně Českou republiku opouští přibližně 50 miliard mikroplastových částic a vláken.[15]

Vzorky byly analyzovány infračervenou spektrometrií a identifikované částičky měly rozměry 40 krát 40 mikrometrů až 2500 krát 2500 mikrometrů, vlákna pak tloušťku mezi 15 a 35 mikrometry a délku od 350 do 4500 mikrometrů. To znamená, že jsou viditelné pouze pod mikroskopem. Tato metoda byla zvolena, aby se mohl lépe identifikovat typ plastu. Jestliže by byla použita například Ramanova spektroskopie, byla by koncentrace ještě vyšší, protože rozliší ještě menší částičky. Naopak při použití vlečných sítí, které mají rozlišení přibližně 330 mikrometrů, by byla koncentrace nižší. Obecně lze však říci, že organizací Greenpeace nalezená koncentrace odpovídá studiím z jiných oblastí.[15]

Z jiných vědeckých studií víme, že hlavním zdrojem mikročástic plastů ve sladkovodních systémech jsou primární mikročástice plastů vznikající oděrem pneumatik, při praní syntetického prádla a únikem z kosmetiky, kam jsou plasty vědomě přidávány. Právě proto výzkumníci předpokládají, že mnoho částic se dostává do vody z čistíren odpadních vod, a z tohoto důvodu odebírali vzorky u čistírny v Praze a Ústí nad Labem, ale i pod a nad výtokem z čistíren. Tato hypotéza se potvrdila v Ústí nad Labem, kde u výpustě identifikovali nejvyšší koncentraci 18 částic na litr.[15]

---

<sup>4</sup> Jan Freidinger z Greenpeace. [online]. 2019 [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: <https://www.greenpeace.org/czech/tiskova-zprava/2987/testovani-vody-v-ceskych-reekach-denne-posilame-do-more-miliardy-mikroplastu/>



Obrázek 4 – Typy nalezených mikročástic plastů v Českých řekách.[15]

Výzkum prováděný na Akademii věd České republiky, konkrétně na Ústavu pro hydrodynamiku, potvrdil přítomnost mikročástic plastů v surové a upravené pitné vodě. Tento výzkum vyhodnocuje přítomnost mikroplastových částic v rozdílných vodních zdrojích a následně i ve vodě, která prošla celou technologií dané úpravy, to znamená v pitné vodě. Byly analyzovány také mikročástice plastů velikosti pouhého 1  $\mu\text{m}$ , což je u dosavadních publikací ojedinělé.[16]

Vzorky byly odebrány ve třech různých úpravnách vody v České republice, které se nacházejí v osídlených průmyslových oblastech, ale liší se typem vodního zdroje a technologie úpravy. V surové i upravené pitné vodě byl určen počet částic, jejich velikost, tvar a složení. Ve všech vzorcích byly přítomny mikročástice plastů s koncentrací přibližně 1 500 až 3 600 částic na litr v surové a 340 až 630 částic na litr v upravené vodě. Mezi surovou a upravenou vodou představoval úbytek mikročástic plastů v průměru 70 až 83%. Naprostou většinu (až 93%) tvořily mikročástice menší než 10  $\mu\text{m}$ . Z pohledu materiálového složení převládaly běžně používané plasty jako PET (polyethylentereftalát), PP (polypropylen) a PE (polyetylen).[16]

## 2.9 Studie mikročastic plastů ve středozezemním a rudém moři v Izraeli

Interakce mikročastic plastů s mořskými organismy je klíčová pro pochopení vlivu těchto částic a jejich přísad na mořské prostředí. Znalosti o velikosti těchto znečišťujících látek ve východní části Středozezemního moře a tropickém Rudém moři jsou však stále omezené. Vědci zde zkoumali hladinu esterů ftalátových kyselin a mikročastic plastů u sumek-žrasenek (*Herdmania momus* a *Microcosmus exasperatus*) odebíraných z pobřeží Středozezemního a Rudého moře v Izraeli. Na většině míst odběru byly v sumkách nalezeny vysoké hladiny dibutylftalátu (DBP) a bis(2-ethylhexyl)-ftalátu (DEHP), mikročastice plastů byly nalezeny ve všech místech odběru. Nalezené vysoké koncentrace znečišťujících látek potvrzují potřebu dalšího zkoumání velikosti a účinků mikročastic plastů a ftalátů v těchto regionech.[17]

Mikroplastové částice byly detekovány ve všech vzorcích s průměrnou koncentrací  $1,37 \pm 1,29$  částic na jedince. Mezi jedinci *Microcosmus exasperatus* z pěti míst odběru vzorků, nebo mezi jedinci *Herdmania momus* ze tří míst odběru vzorků nebyly nalezeny žádné statisticky významné rozdíly množství mikročastic plastů. Porovnáním různých vlastností mikročastic plastů ve vzorcích ukázalo výrazně vyšší množství modrých vláken menších než  $400 \mu\text{m}$ . [17]

Koncentrace ftalátů zjištěné v *Herdmania momus* z různých míst odhalily výrazně vyšší koncentrace jak DBP, tak DEHP z pláže Mikhmoret (Středozezemní moře) než z přístavu Eilat (Rudé moře). Průměrné koncentrace pro pláž Mikhmoret byly  $5\,064 \pm 1\,806$  ng DBP na gram suché hmotnosti ( $n=5$ ) a  $9\,095 \pm 4\,574$  ng DEHP na gram suché hmotnosti ve srovnání s přístavem Eilat, ve kterém byly průměrné koncentrace  $3\,757 \pm 1\,806$  ng DBP na gram suché hmotnosti a  $5\,556 \pm 2\,638$  ng DEHP na gram suché hmotnosti ( $n=3$ ). [17]

### 3 DETEKCE A SLEDOVÁNÍ MIKROČÁSTIC PLASTŮ

K identifikaci regionálních, národních a globálních trendů distribuce mikročastic plastů by bylo vhodné shromáždit dostupná data, aby mohly být prováděny metaanalýzy. Hlavním problémem je však to, že neexistuje žádný standardní protokol pro sběr částic ze vzorků životního prostředí. Mnoho studií používá v podstatě podobné techniky pro extrakci mikročastic plastů z environmentálních vzorků, včetně frakcionace velikosti, štěpení organické hmoty a separace hustoty. Specifické parametry metod se ale liší mezi studii týkajícími se objemu zkoumaného vzorku, horních a dolních limitů velikosti částic, médií pro separaci hustoty a kritérií pro identifikaci částic.[4]

#### 3.1 Vzorkování a identifikace

Navzdory rostoucímu porozumění přítomnosti mikročastic plastů napříč mořskými geografickými lokalitami a stanovišti, náklady a potíže při odebrání vzorků mikročastic plastů z bentických a pelagických stanovišť omezují současné znalosti o prostorových a časových distribucích. Techniky jsou obecně časově náročné a neschopné identifikovat všechny částice. Problémy při detekci mikročastic plastů zahrnují:

- schopnost zachytit plastické částice ze vzorku vody nebo sedimentu;
- oddělení plastových fragmentů od ostatních částic ve vzorku;
- identifikaci typů přítomných plastů a zabývání se obtížemi při identifikaci z procesů jako je změna barvy biofilmu na mikročasticích plastů.[3]

Pro zpětné získávání mikročastic plastů z objemových nebo objemově redukováných vzorků vody se běžně používá krok prosévání nebo filtrace. Alternativně byly mikročastice plastů odebrány z povrchu vzorku vody pinzetou. Při vizuálním sběru však existuje vysoká pravděpodobnost zkreslení. Nejnižší velikost částic ve studiích, ve kterých byla použita síta, byla menší než ve studiích, ve kterých byly částice vizuálně odebrány ze vzorků.[5]

Pro extrakci mikročastic plastů ze vzorků sypkých sedimentů se používá prosévání a zejména separace hustoty. Plastové částice mají obvykle mnohem nižší měrnou hmotnost než sedimenty. Když jsou vzorky sedimentu smíchány s roztokem soli o vhodné hustotě, sediment se usadí na dně, zatímco mikročastice plastů mohou být shromažďovány z povrchu. Příklady takových roztoků soli jsou koncentrovaný chlorid sodný, jodid sodný a chlorid zinečnatý. Pro oddělení všech typů plastových pryskyřic od sedimentu byly doporučeny roztoky soli o hustotě  $\geq 1,45 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ . [5]



Vhledem k tomu, že mnoho metod se v současné době spoléhá na vizuální identifikaci, mnohé výsledky jsou spíše kvalitativní než kvantitativní. Dalším problémem je použití nestandardních jednotek měření pro vykazování mikroplastických koncentrací. Pro porovnání studií, kde jednotky nejsou konzistentní, musí být převedeny jednotky na objem jako částice na litr vzorkované vody. Je proto nanejvýš důležité, aby autoři podrobně uváděli výsledky ve všech jednotkách, nebo aby poskytli dostatečné podrobnosti o metodice odběru vzorků. Tyto rozdíly mezi studii zdůrazňují potřebu standardizace metod.[4]

V mořských výzkumech se techniky odběrů vzorků mikročástic plastů liší ve způsobu sběrů, identifikaci a výčtu. Zahrnují selektivní vzorkování, které je aplikováno na povrchové sedimenty. Po získání vzorků se plastové částice oddělují ze vzorku hustotní separací, filtrací, proséváním nebo vizuálním tříděním. K charakterizaci částic se používají morfologické popisy, zdroj, typ, barva, chemické složení a degradační stupeň částic. Nejspolehlivější metodou identifikace je infračervená spektroskopie, která odhaluje chemické složení. Je důležité použít spolehlivou identifikační metodu, protože bylo zjištěno, že mnoho částic původně označených jako plasty, byly ve skutečnosti alumosilikáty.[3]

K detekci mikročástic plastů ve sladkovodních systémech se používají metody odběru vzorků podobné těm, které se používají v mořských systémech. Metody vyžadují dostatečně jemné filtry a přidání takové látky do vody nebo kalu, aby se dostatečně zvýšila hustota vody a plasty se mohly vznášet. Výzvou zkoumání je oddělení plastů s nízkou hustotou a dále extrakce a identifikace mikročástic plastů  $<500 \mu\text{m}$ . [3] Jednou z nedávných metod je Mnichovský odlučovač plastových sedimentů, který může aplikací vyšší hustoty separační kapaliny oddělovat plastové částice ve velikostním rozmezí: mesoplasty a velké mikročástice plastů v rozmezí 20-5 mm a 5-1 mm, stejně jako malé mikročástice plastů  $<1 \text{ mm}$ . [12] Další nedávno vyvinutá metoda používá elutriaci k separaci mikročástic plastů ze sedimentů s vysokou extrakční účinností (93-98 %). S podobně vysokou účinností extrakce byla vyvinuta také technika pro extrakci mikročástic plastů z bioty. [18]

Při odebrání vzorků pomocí sítí je důležité zdůraznit důsledek použití různých velikostí ok pro určení počtu pozorovaných částic. Při odběru vzorků z planktonní sítě (velikost ok:  $80 \mu\text{m}$ ) lze shromáždit až 100krát více částic ve srovnání s použitím vlečné sítě (velikost ok:  $330 \mu\text{m}$ ). Tento vliv velikosti ok je důležitým faktorem při porovnávání studií povrchových vod, protože rozdíly ve způsobu a vybavení pro odběr vzorků mohou vést k nesrovnalostem, které zabraňují srovnatelnosti souboru údajů. [4]

## 3.2 Vývoj metod

Vznik metod, které jsou lépe schopné oddělit velikostní rozsahy a typy polymerů, zlepšuje naši schopnost detekovat mikročástice plastů, nicméně je příliš brzy na to, abychom zvolili jednotný přístup. Vývoj metod musí zahrnovat diskusi o tom, jak:

- udržovat metody jednoduché k zajištění dostatečné replikace, aby se zohlednila přirozená variabilita;
- udržovat dostatečně nízké náklady, aby umožňovaly dostupnost metody;
- mít metody, které jsou přesné a akurátní
- a mít metody, které minimalizují kontaminaci.[3]

Mikročástice plastů nejsou pravidelně sledovány, takže v současné době nejsou k dispozici žádné výchozí informace. Protože stále neumíme dostatečně pochopit potenciál mikročástic plastů způsobit škody, může být předčasné standardizovat monitorovací přístupy, aniž by bylo známo, jaké spektrum, velikostní rozsahy a typy mikročástic plastů jsou předmětem zájmu.[3]

Při monitorování se také musí přihlížet k fyzikálním a biologickým faktorům, které mohou ovlivnit distribuce a koncentrace mikročástic plastů. Ilustrace distribuce fyzikálně ovlivněných částic zahrnují:

- stanoviště vzorkování Erijského jezera s abnormálně vysokým počtem částic na místě sbíhajících se proudů;
- časované odběry vzorků v povrchových vodách ve středním kanálu vedoucí k vyššímu počtu částic než u vzorků odebraných na břehu řeky nebo ve vodách na dně;
- gradient disperze z pobřežních zdrojů odrážející se pravděpodobně vyšším počtem částic ve vzorcích na břehu jezera, než ve vzorcích shromážděných dále od břehu.[7]

Vertikální změny v množství částic jsou ovlivněny větrem řízeným vertikálním mísením;[19] pro účely sledování by se nejspolehlivější koncentrace měřily za podmínek bezvětrí. Proto mohou ve vodním útvaru fyzikálně řízené prostorové a časové vzory ovlivnit pozorované rozložení a vzory hojnosti. Je třeba vzít v úvahu hydrodynamické charakteristiky místa v prostoru a čase, stejně jako převládající počasí (vítr, vodní srážky).[3]

## 4 POTENCIÁLNÍ DOPADY

Na základě důkazů rozšířené přítomnosti plastů je velmi pravděpodobné, že organismy ve vodních ekosystémech přijdou do kontaktu s mikroplastickými částicemi. V závislosti na velikosti částic a fyziologických a behaviorálních vlastnostech organismu existuje možnost požití těchto částic bezobratlými a obratlovci. Takové požití bylo ve skutečnosti pozorováno u mnoha mořských druhů. Ačkoliv jsou plasty po požití z velké části vylučovány, mikročástice plastů mohou být zachovány ve střevě v časovém horizontu nad rámec očekávaných pro jiné požití látky. Částice mohou dokonce projít střevní stěnou a být přemístěny do jiných tělesných tkání s neznámými následky.[20] Vzhledem k podobnosti některých kmenů, které se běžně vyskytují ve sladkovodních a mořských ekosystémech (např. hlístice, kroužkovci, měkkýši, členovci), jsou podobná zjištění požití u druhů v těchto ekosystémech téměř nevyhnutelná. Vzhledem k tomu, že mnoho z těchto druhů, které mohou přijímat mikročástice plastů jako potravu, jsou důležité pro ekosystémové procesy (jako je rozklad a koloběh živin), mohou být ovlivněny mikroplastickou expozicí.[4]

Dosavadní výzkum, převážně na mořských druzích prokázal požití mikroplastických částic v širokém spektru druhů na mnoha úrovních a s různými strategiemi krmení. Kromě hromadění částic v organismech s nižšími trofickými hladinami dochází také k trofickému přenosu mikroplastických částic mezi druhy, jako jsou mlži a korýši.[20]

### 4.1 Bioty, které interagují s mikročásticemi plastů

V zažívacích systémech sladkovodních ryb vylovených ve volné přírodě byla pozorována syntetická vlákna, což naznačuje spotřebu buď přímo, nebo ve spojení s konzumováním kořisti.[21] Díky takové spotřebě mohou mobilní organismy, jako jsou ryby, savci a ptáci, přispět k rozptýlení mikročástic plastů na velké vzdálenosti. Hlavním faktorem, o kterém je známo, že ovlivňuje přijímání těchto částic organismy, je poměr velikosti částic k ústům, přičemž menší částice mají větší potenciál být požity větším rozsahem organismů. Při požití organismy nižších trofických úrovní to může podpořit další přenos a akumulaci skrz potravinové řetězce.[4]

Počáteční laboratorní studie prokázaly, že pět druhů sladkovodních bezobratlých, jeden druh sladkovodních ryb, devět druhů brakických ryb a jeden druh amfidromních ryb může přijímat jako potravu mikročástice plastů. Sladkovodní bezobratlí pohltí mikročástice plastů mezi 32 a 100 % vystavených jedinců.[12] Studie oblasti sladkovodních řek ukazuje, že hlaváči (gobie) shromážděné ze sedmi z jedenácti francouzských toků, obsahovaly mikročástice plastů.[21] V mořské oblasti bylo provedeno více výzkumů na dopady organismu, dokazujících, že široká škála živočichů přijímá mikročástice plastů jako potravu.[3]

Mořští živočichové pohlcující mikročástice plastů zahrnují bentické a pelagické organismy, které mají různé strategie krmení a zaujímají různé trofické úrovně. Bentičtí mořští bezobratlí, kteří pohlcují mikročástice plastů, zahrnují mořské okurky, slávky, humry, různonožce, pískovníky a svijonožce.[3] Někteří bezobratlí přednostně vybírají plastové částice, mořské okurky z bentických stanovišť přijímají nepřiměřeně vysoké množství plastových fragmentů z daného poměru plastu k písku.[22] V pelagických mořských stanovištích požívá mikročástice plastů řada taxonů zooplanktonu, dospělých a larválních ryb. První sladkovodní studie o požití řadou bezobratlých ukazuje, že stejně jako v mořských studiích, živočichové napříč stanovištím, stravovacím společenstvím a trofickým úrovním, pohlcují mikročástice plastů.[12]

U vyšších trofických úrovní konzumují mořští ptáci mikročástice plastů přímo i nepřímo prostřednictvím ryb, které konzumovaly tyto mikročástice.[3] Požití mikročástic plastů tuleni a lachtany na sub-antarktických ostrovech je důkazem toho, že dosahují nejvyšší trofické úrovně mořské potravní sítě i ve vzdálených lokalitách. Tito velcí mořští savci získávají mikročástice plastů s největší pravděpodobností prostřednictvím trofického přenosu požitím ryb; analýza lachtanů identifikovala plastové fragmenty o velikosti 1 mm pouze tehdy, když byly přítomny otolity z ryby lampovník jihooceánský (*Electrona subaspera*).[23] Mikročástice plastů mohou mít hustotu 1 až 1,9 kusů na jednu rybu, ale zvětšení prostřednictvím potravního řetězce naznačuje koncentrační faktor mezi 22 až 160 násobkem u lachtanů.[3]

## 4.2 Ovlivnění organismů mikročásticemi plastů

U mořských organismů může požití velkých plastových předmětů způsobit dušení, vnitřní nebo vnější rány, poruchy zažívacího traktu, falešný pocit sytosti, zhoršení krmné kapacity, hladovění, oslabení, omezené vyhýbání se predátorům, nebo smrt.[24] Důkazy dopadu na sladkovodní taxony po požití mikročástic plastů jsou mnohem více omezené.[25] Avšak i těch málo provedených studií naznačuje, že fyzické dopady mohou být podobné jako ty u mořských organismů.[3] Dosud neexistuje jasný důkaz o bioakumulaci. V laboratorních studiích požití velkých množství mikročástic plastů vedlo hlavně k nižšímu příjmu potravy a následně ke snížení zásob energie a účinkům na další fyziologické funkce.[5]

Během experimentů prováděných v laboratoři s humrem norským se plastové fragmenty (5 mm) nevylučovaly snadno a zjistilo se, že plastová vlákna mohou vytvářet vláknové koule v žaludku.[26] Plastové částice mohou být různě zadrženy na základě velikosti a hustoty. Mořská hřebenatka atlantická zadrží větší (20 mm) a lehčí ( $1,05 \text{ g}\cdot\text{ml}^{-1}$ ) částice déle, než menší (5 mm) a hustší ( $2,5 \text{ g}\cdot\text{ml}^{-1}$ ) částice.[27] Takové diferenciální zadržování mikročástic plastů, které postrádají nutriční hodnotu, může ovlivnit výživový přínos mořských hřebenatek. Snížené rezervy energie mohou být výsledkem zánětlivých reakcí tkání (např. u pískovníků, druh *Arenicola marina*), nebo mohou být výsledkem falešného pocitu sytosti z akumulace částic v trávicích dutinách.[28] Ve sladkovodních taxonech byla pozorována akumulace a retence mikročástic u sladkovodních blech, konkrétně u hrotnatky velké (*Daphnia magna*).[29]

Studie rovněž ukazují potenciální účinky mikročástic plastů na tkáňové a buněčné úrovni. U slávek jedlých (*Mytilus edulis*) může požití mikročástic plastů zánětlivou odezvu v tkáních a sníženou stabilitu membrány v buňkách trávicího systému.[30] Částice jsou také přemísťovány z trávicího systému do oběhového systému, kde mohou přetrvávat po více než 48 dní.[31] Ryby medaky japonské (*Oryzias latipes*) pojídající čisté polyethylenové částice  $<0,5 \text{ mm}$ , vykazují stresovou reakci jater (deplece glykogenu, tuková vakuolizace a nekróza jednotlivých buněk) a časnou tvorbu nádorů. Tato studie využívala brakické podmínky (pH vody=7,8, alkalita=100 mg/CaCO<sub>3</sub>) a dospělý druh ryb, který je amfidromní a migruje mezi mořskými a sladkovodními stanovišti.[32] To vypovídá o tom, že následky vyvolané odezvou na požití mikročástic plastů mohou nastat, jak u mořských, tak sladkovodních ryb.[3]

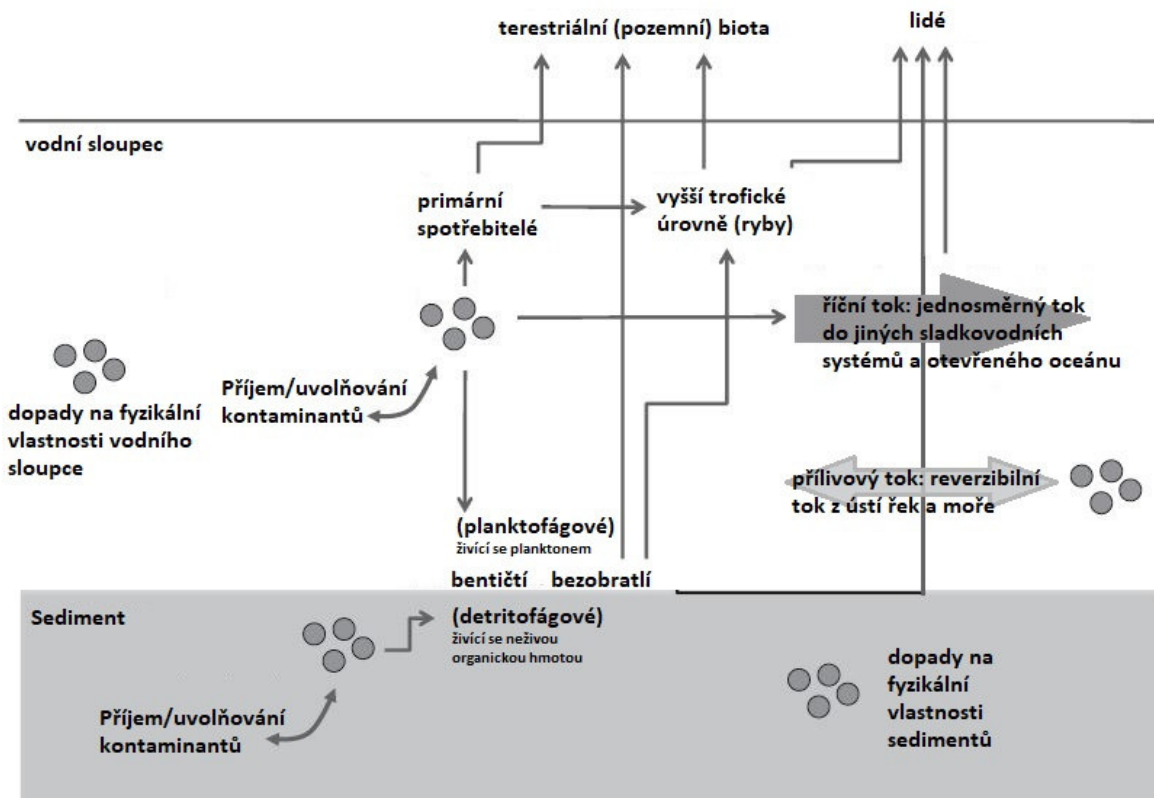
Vedle přímých fyzikálních dopadů mikročástic plastů samotných, může pohlcený plastový odpad působit jako médium pro koncentrování a přenášení chemických látek a perzistentních, bioakumulativních a toxických látek (PBT) na organismy.[3] Dostupné experimentální výsledky a modelovací přístupy naznačují, že přenos sorbovaných polutantů mikroplastickými částicemi pravděpodobně nebude významně přispívat k bioakumulaci těchto znečišťujících látek. Před tím, než bude možné komplexně posoudit možná environmentální rizika způsobená mikročásticemi plastů, je třeba vyplnit celou řadu mezer ve znalostech.[5] Mikročástice plastů mohou být nosiči chemických látek, které jsou sorbovány na jejich povrchu z prostředí (např. polychlorované bifenyly, PCB), nebo chemikálií, které se přidávají do plastů při procesu výroby. U obou typů chemikálií je možný přenos na organismy. Znečišťující látky sorbují na plasty mnohem jednodušeji než na některé přirozené sedimenty.[3]

Bylo zjištěno, že plast ulehčuje transport kontaminujících látek do sedimenty obydlených pískovníků (druh *Arenicola marina*) a do amfidromních ryb medaky japonské (*Oryzias latipes*).[33] Akumulovaný nonylfenol a triklosan z polyvinylchloridu vedl u pískovníků k narušení imunitních funkcí, fyziologickému stresu a úmrtnosti, nicméně množství použitého plastu bylo relativně vysoké.[34] Mikročástice plastů také modulují toxicitu kontaminantů.[3] U medaky japonské vykazovalo známky jaterního stresu větší procento ryb, které byly vystaveny plastovým částicím se sorbovanými chemikáliemi, než ryby vystavené plastu bez sorbovaných materiálů.[32] Sladkovodní hlaváči píseční (*Pomatoschistus microps*) vystavení mikročásticím plastů se sorbovaným pyrenem, vykazovali větší akumulaci pyrenových metabolitů a změnu v úmrtnosti, než ryby vystavené samotnému pyrenu.[35] Nicméně, je důležité testovat dopady v terénu a používat laboratorní scénáře, které napodobují pravděpodobné vystavení v terénu.[3]

U mořských ptáků, burňáků velkých (*Puffinus gravis*) a krátkoocasých burňáků tenkozobých (*Puffinus tenuirostris*) se prokázaly pozitivní korelace mezi PCB a požitými plasty.[36] Přítomnost chemikálií, ftalátů a organochloridů u žraloků velkých a u plejtváků tmavých (plejtvák myšok), může být důkazem požívání mikročástic plastů. Vzhledem k tomu, že kontaminující látky jsou v životním prostředí všudypřítomné, bez důkazu o požití plastů může být obtížné identifikovat příčinu v případech přítomnosti kontaminantů v živočišných tkáních. Mořské studie v terénu potvrzují přítomnost environmentálních kontaminantů sorbovaných na mikročástice plastů, a laboratorní studie ukazují, že sorbované kontaminanty mohou být přenášeny na ryby a bezobratlé.[3]

### 4.3 Potenciál širších dopadů mikročastic plastů na životní prostředí

Kromě přímých interakcí s organismy, mohou mít mikročastice plastů ve vodních stanovištích širší dopady interakcí s abiotickým prostředím nebo nepřímými účinky na biotická společenství a ekosystémy (obr. 5). Uvádí se, že mikročastice plastů sorbují s větší pravděpodobností kontaminanty v ústí řek, kde jsou uváděné vyšší koncentrace kontaminujících látek, dlouhý pobyt částic a potenciální usazování v sedimentech.[3]



Obrázek 5 - Diagram znázorňující potenciální přenosové cesty mikročastic plastů ve sladkovodních systémech.[3]

Kromě ovlivnění distribuce chemických látek v životním prostředí mohou mikročástice plastů přímo nebo nepřímo ovlivnit abiotické vlastnosti prostředí. Mikroplastická akumulace v pelagických a bentických stanovištích může změnit pronikání světla do vodního sloupce nebo změnit vlastnosti sedimentů, a tyto změny by mohly ovlivnit biochemické cykly.[3] Zatímco prozatím neexistují žádné důkazy o abiotických účincích mikročástic plastů v mořských nebo sladkovodních systémech, existují důkazy o akumulaci mikročástic plastů v mořských sedimentech.[37] Předpokládá se, že pokud by v sedimentech Waddenského moře bylo 6,34 % objemu mikročástic plastů, mohlo by být ročně o 130 m<sup>2</sup> méně sedimentů, které by přepracovali písčovníci (*Arenicola marina*).[28] Spekuluje se také o potenciálu kaskádových efektů z mikroplastického požití bentickými druhy. Podobně by akumulace mikročástic plastů ve sladkovodních sedimentech a požití sladkovodní bentickou faunou mohla mít kaskádové účinky s trofickými a ekosystémovými následky (například dopady na strukturu společenství). Mikroplastické požití sladkovodními bentickými bezobratlými by mohlo ovlivnit bioturbaci sedimentů, nebo protože bentická biota tvoří velkou složku potravy některých ryb (například v některých případech tvoří až 90 % biomasy rybí kořisti), mohly by mikroplastické dopady na bentické organismy ovlivnit vyšší trofické úrovně. Podobné dopady mohou nastat také v pelagických biotopech, kde mohou mikročástice plastů dosáhnout hustoty vyšší než přirozeně se vyskytující planktonické organismy.[3]

Účinky mikročástic plastů se mohou také přenášet mezi stanovišti. Například v mořských systémech je přenos mikročástic plastů z mořských do suchozemských stanovišť dokumentován na sub-antarktických ostrovech, kde tuleni a lachtani konzumovali ryby podezřelé z toho, že obsahují mikročástice plastů.[38] Mikročástice plastů ve sladké vodě mohou mít přenosné účinky na pozemní systémy, protože mnoho sladkovodních organismů je kořisti suchozemského hmyzu, obojživelníků, plazů a ptáků. Někteří lesní ptáci přijímají až 98 % svých zdrojů z vodní kořisti. Existuje potenciál přenosu mikročástic plastů mezi stanovišti prostřednictvím migrací zvířat, což je způsob, jakým anadromní ryby přenášejí mořské živiny do sladkovodních systémů. Mikročástice plastů slouží jako nová ekologická stanoviště pro mikroby a mohou poskytovat substrát pro oportunistické patogeny.[3]



Diferenciální dopady požití mikročastic plastů v průběhu života organismů nebyly zkoumány. Nicméně se předpokládá, že skrz stanoviště mají rané etapy života zvýšenou citlivost vůči podmínkám prostředí. Ekologické dopady na rané etapy života se mohou přenášet do pozdějších životních fází, což vede ke sníženému vývojovému potenciálu, horšímu stavu kondice a menší šanci pro přežití. Je například možné, že dřívější stádia ryb (embrya) jsou citlivější na vystavení mikročasticím plastů než pozdější stádia (juvenilní ryby) a vystavení embryí adsorpci mikroplastických kontaminantů by mohlo mít důsledky pro růst mladých jedinců nebo přežití.[3] Takové scénáře jsou pozorovány u jiných kontaminantů; vystavení embrya lososa gorbuša (*Oncorhynchus gorboscha*) ropě vedlo k přenosným účinkům na růst juvenilů a na přežití mořských stádií.[39] Vzhledem k tomu, že raná stádia života různých suchozemských a vodních obratlovců a bezobratlých se vyvíjejí ve sladkovodních systémech, může být důležité studovat potenciál interakce raných fází života s mikročasticemi plastů a s nimi spojenými kontaminanty.[3]

Potenciální cesty, ve kterých mohou mikročastice plastů interagovat se sladkovodním prostředím a ekosystémy, jsou různé. Vzhledem k tomu, že přítomnost mikročastic plastů ve vodních systémech začíná být dokumentována, bude muset být dalším krokem k určení potenciálu pro případné širší environmentální důsledky vyšetřování střetnutí a dopadů na biotické a abiotické vlastnosti ekosystému.

#### 4.4 Navrhovaný výzkum potenciálních dopadů na člověka

Dopady mikročastic plastů z mořských nebo sladkých vod na člověka nejsou prozatím dobře zdokumentovány.[3] Přítomnost mikročastic plastů je však dokazována v tkáních komerčně chovaných mořských mlžů. U slávek jedlých (*Mytilus edulis*) získaných z farmy v Německu a ústřic (*Crassostrea gigas*) koupených v supermarketu a původně chovaných v Atlantském oceánu, byly zjištěny koncentrace  $0,36 \pm 0,07$ ; respektive  $0,47 \pm 0,16$  částic na gram měkké tkáně (vlhká hmotnost).[40] Proto je důležité zkoumat, zda by mikročastice plastů mohly mít přímý nebo nepřímý vliv na lidské zdraví nebo na hospodářství.

Specifický výzkum by mohl zkoumat účinky na:

- zdroje přímo používané lidmi (pitná voda, voda ke koupání nebo potravinové zdroje);
- logistiku využívané vody
- a ekosystémové služby.[3]

Výzkumné cesty by mohly zvážit následující:

- Přítomnost mikročastic plastů.
- Přenos chemikálií do potravin; buď chemikálie přímo obsažené v mikročasticích plastů, nebo chemikálie sorbované a transportované mikročasticemi plastů.
- Interakci druhů z rybolovu a akvakultury s mikročasticemi plastů, a zda tyto interakce ovlivňují jejich požitelnost nebo prodejnost.
- Zda aplikace kalů z čistíren odpadních vod do suchozemských systémů v zemědělství může vést k přenosu mikročastic plastů a/nebo chemikálií do půdy používané pro pěstování potravin. Dokonce i po sekundárním nebo terciárním čištění odpadních vod mohou odpadní vody obsahovat množství částic srovnatelné s předběžným zpracováním odpadních vod. Použití kalu v zavlažování může tedy přispět k přenosu mikroplastických částic.
- Ekonomické úvahy, jako například to, zda by přítomnost mikročastic plastů v druzích z akvakultury mohla vést ke ztrátě příjmů, nebo k rozsahu nákladů spojených s úsilím o vyčištění.[3]

V literatuře věnující se tématu úpravy vody je ucpávání široce uznáváno jako hlavní problém v procesech screeningu (třídění), kdy malé částice mohou snížit kapacitu filtrů používaných v úpravě pitné a odpadní vody. V současné době však není jasné, jaké další problémy představují mikročastice plastů ve srovnání s přírodními částicemi.[3]

Povědomí o rozsahu a množství mikročastic plastů přítomných ve vodních systémech bude nezbytné při plánování nových čistíren odpadních vod. Rozvoj postupů zaměřených na zvládnutí znečištění a zachování hodnotných ekosystémových služeb (například Rámcová směrnice Evropské komise o vodě, možné právní předpisy o používání mikrokuliček jako abraziva v kosmetice) by měl prospěch z větší znalosti úlohy mikročastic plastů ve sladkovodních systémech.[3]

## 5 POLITICKÉ ZÁJMY

Větší znalosti o rozsahu a dopadech mikročastic plastů v mořských a sladkých vodách se odrážejí v politickém zájmu, i když jsou stále ještě v začátcích. Politické iniciativy týkající se odpadu v mořích mají za cíl 1) porozumět přítomnosti a dopadům a 2) předcházet dalším vstupům nebo snižovat celkové množství v životním prostředí. Mezi příklady národních snah o vypořádání se s mořským odpadem patří americký Koordinační výbor pro meziregionální mořský odpad (Interagency Marine Debris Coordinating Committee, IMDCC), který podporuje americké národní/mezinárodní činnosti ohledně mořského odpadu a „doporučuje priority výzkumu, monitorovací techniky, vzdělávací programy a regulační opatření“. Rámcová směrnice Evropské komise o strategii pro mořské prostředí (The European Commission's Marine Strategy Framework Directive, MSFD) stanovila menší odbornou skupinu pro mořský odpad, která má poskytnout „vědecké a technické zázemí pro provádění požadavků MSFD“, které zahrnují identifikaci výzkumných potřeb, vývoj monitorovacích protokolů, prevenci vstupů a snižování množství odpadů v mořském prostředí. MSFD připouští omezení znalostí o akumulaci, zdrojích, výlevech; dopadů na životní prostředí; časových a prostorových vzorců a potenciálních fyzikálních a chemických dopadů mikročastic plastů.[3]

Přítomnosti mikročastic plastů ve sladkých vodách se dostalo pozornosti teprve nedávno a politické iniciativy jsou méně rozvinuté, než v případě mořských systémů, ale mohly by těžit z podobných iniciativ, jako jsou aktivity evropské MSFD a americké IMDCC.[3] Ve studii amerického povodí řek Los Angeles byly částice o velikosti  $<5$  mm nejpočetnějšími plasty ve vzorcích, ale jejich rozsah velikostí nepodléhá regulaci.[41] Vysoká úroveň mikroplastové kontaminace charakterizovaná převahou fragmentů domácího původu v jezeře Hovsgol v Mongolsku je pravděpodobně způsobena nedostatkem moderního odpadového hospodářství.[10] Je potřeba rozvoje politiky, jakož i legislativy a prosazování řešení s cílem řešit kontaminaci sladkých vod mikročasticemi plastů a pomoci se vypořádat s potenciální úlohou sladkovodních systémů jako cest transportu mikročastic plastů z pozemních zdrojů do oceánů.

## 6 SHRNUŤÍ, DALŠÍ KROKY A MOŽNOSTI

Vzhledem k tomu, že výzkum mikročastic plastů je teprve v počátcích, zůstává mnoho otázek a v budoucím zkoumání je zapotřebí:

- vyvinout optimální metodologii pro monitorování mikročastic plastů ve sladkovodních systémech;
- kvantifikovat všechny aspekty řídicí přítomnost, hojnost a distribuci mikročastic plastů v životním prostředí;
- pochopit chování částic při degradaci, včetně jejich životnosti a konečného osudu ve sladké vodě;
- vyhodnotit potenciál řek jako zdroje mikročastic plastů pro oceány;
- stanovit a pochopit interakce mikročastic plastů s biotou;
- zhodnotit mikroplastické dopady na ekosystémové služby;
- vyhodnotit důsledky mikročastic plastů pro člověka.[3]

Globálně je sladká voda ubývající a křehký přírodní zdroj. Dostupné zásoby podléhají konkurenčním tlakům a dopadům, jako je znečištění ohrožující využití sladké vody a požadovanou ekologickou kvalitu. Vzhledem k tomu, že poptávka stále roste, je zřejmá potřeba kvalitního hodnocení, integrovaného řízení zdrojů a zlepšení globální kvality vody. Ve Spojených státech amerických je 44 % hodnocených řek a toků a 64 % hodnocených jezer a nádrží považováno za poškozené. Jelikož téměř 50 % povrchových vod v Evropě má nízkou ekologickou kvalitu a 40 % je neznámého chemického stavu, bude nezbytný proces identifikace, monitorování a řešení znečištění vody. Spojené státy americké pokračují ve zlepšování programů monitorování vody se záměrem splnit cíle zákona o čisté vodě (Clean Water Act), kterým je obnovení a udržení chemické, fyzikální a biologické integrity národních vod.[3]

Pro sladkovodní systémy je nutná pozornost a výzkum, který je doporučován pro mikročastice plastů v mořských systémech. Pokrok v této otázce vyžaduje podporu ze spolehlivé základny vědeckých znalostí a měl by čerpat ze spolupráce příslušných statutárních orgánů a legislativních rámců na mezinárodní, národní a regionální úrovni. Vskutku, solidní znalostní základna je rozhodující pro tvůrce zákonů. K lepšímu porozumění všem vznikajícím hrozbám, které představují mikročastice plastů ve sladkovodních systémech a k vytvoření vhodných strategií pro jejich řízení, bude zapotřebí koordinovaného úsilí na všech frontách, včetně průzkumu, monitorování, výzkumu a politiky.[3]

## ZÁVĚR

Odhaduje se, že ročně vstoupí do oceánů 8 milionu tun plastu. To je velmi alarmující právě z důvodu, že většina plastových výrobků je vyrobena tak, aby v prostředí vydržela co nejdéle. Jelikož se tyto plastové výrobky dále rozpadají na menší částice, je také velmi těžké zbavit oceány plastového znečištění. Zatím se za nejvhodnější metodu považuje zamezení dalších vstupů plastu do oceánů. Pokud se v nejbližší době nedohodne vhodná mezinárodní metoda na zamezení tohoto znečištění, lidstvo bude čelit velmi vážným potížím. Odhaduje se, že do roku 2050 bude v oceánech více plastů než ryb. Mnoho zemí využívá lovu ryb jako zdroje obživy, tudíž se tento problém může promítnout také do ekonomiky.

Hlavním zdrojem plastového znečištění zatěžující oceány byly několika studii napříč celým světem určeny řeky. Proto by bylo také vhodné se při řešení tohoto problému zaměřit především na tyto vodní systémy. Studie by se měly také zaměřit na čističky odpadních vod. Bylo prokázáno, že mnoho mikroplastových fragmentů a vláken projde těmito čističkami bez zachycení. Bylo by tedy vhodné, aby se prozkoumaly stávající používané metody čištění odpadních vod a byly zmodernizovány.

Výzkumní pracovníci by se měli pokusit sjednotit metody odebírání a identifikace vzorků. Sjednocení metod je důležité především pro základ budoucích výzkumů. Studie, které byly doposud provedeny, nemají žádný základ, ze kterého by mohly vycházet. Vzorkování a následně prováděný výzkum mikročástic plastů je důležitý pro určení možných dopadů na životní prostředí a zdraví živočichů.

Několik studií již prokázalo negativní dopad požití mikročástic živočichy na jejich zdraví. Je tedy velmi důležité v těchto výzkumech dále pokračovat a zaměřit výzkum na možné dopady na zdraví člověka. Bylo již zjištěno, že pitná voda obsahuje mikročástice plastů a je tedy velmi důležité zjistit, zda to může mít dopad na lidské zdraví. Významný může být také výzkum dopadů požití živočichů, které mikročástice plastů obsahují. Pokud víme, že tyto mikročástice mají negativní vliv na zdraví vodních živočichů, je velmi pravděpodobné, že mohou mít vliv i na lidské zdraví, pokud lidé tyto živočichy zkonzumují.

Je tedy více než důležité se v nejbližší době zaměřit na výzkum mikročástic plastů, a to nejen ve vodním prostředí, protože tyto částice se mohou vyskytovat i v mnoha jiných systémech. Hlavním důvodem k zaměření pozornosti na toto téma by mělo být stále přibývajícím množství těchto částic v životním prostředí a množství přibývajících důkazů, že tyto částice ohrožují zdraví.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

### Knižní zdroje:

- [1] Štěpek, J.; Zelinger, J.; Kuta, A. *Technologie zpracování a vlastnosti plastů*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1989. ISBN 04-602-89.
- [2] Ducháček, V. *Polymery: Výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. 3. Vyd. Praha: Vydavatelství VŠCHT Praha, 2011. ISBN 978-80-7080-788-0.

### Internetové zdroje:

- [3] Eerkes-Medrano, D., Thompson, R.C., Aldridge, D. C. *Microplastics in freshwater systems: A review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs*. [online]. 2015 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135415000858>
- [4] Horton, A.A. et al. *Microplastics in freshwater and terrestrial environments: Evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities*. [online]. 2015 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969717302073>
- [5] Duis, K., Coors, A. *Microplastics in the aquatic and terrestrial environment: sources (with a specific focus on personal care products), fate and effects*. [online]. 2019 [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1186/s12302-015-0069-y>
- [6] Browne M.A. et al. *Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: Sources and sinks*. [online]. 2011 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-80055096730&origin=resultslist>
- [7] Eriksen M. et al. *Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes*. [online]. 2013 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X13006097>
- [8] Moore, C J., Lattin, G.L., Zellers, A.F. *Quantity and type of plastic debris flowing from two urban rivers to coastal waters and beaches of Southern California*. [online]. 2011 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84860340998&origin=inward&txGid=967abae392719d8edf0e337023479ae2>
- [9] Zbyszewski, M., Corcoran, P.L. *Distribution and degradation of fresh water plastic particles along the beaches of Lake Huron, Canada*. [online]. 2011 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-80052282036&origin=inward&txGid=920d3156b9abdb7a5cb755e9ee122469>
- [10] Free, C.M. et al. *High-levels of microplastic pollution in a large, remote, mountain lake*. [online]. 2014 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X14003622>

- [11] Lechner, A. et al. *The Danube so colourful: A potpourri of plastic litter out-numbers fish larvae in Europe's second largest river*. [online]. 2014 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749114000475>
- [12] Imhof, H.K. et al. *Contamination of beach sediments of a subalpine lake with microplastic particles*. [online]. 2013 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960982213011081>
- [13] Turra, A. *Three-dimensional distribution of plastic pellets in sandy beaches: shifting paradigms*. [online]. 2014 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: <https://www.nature.com/articles/srep04435>
- [14] Carr, S.A., Liu, J., Tesoro, A.G. *Transport and fate of microplastic particles in wastewater treatment plants*. [online]. 2016 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135416300021>
- [15] *A 'snapshot' survey of microplastics in surface waters of the Vltava and Labe (Elbe) Rivers in the Czech Republic*. [online]. Greenpeace Česká republika. 2019 [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: <https://storage.googleapis.com/planet4-czech-republic-stateless/2019/03/7ed26618-czechia-river-microplastics-analytical-results-report-050319-1.pdf>
- [16] *Mikroplasty ve vodě*. [online]. Akademie věd České republiky. [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: <https://www.ih.cas.cz/mikroplasty-ve-vode/>
- [17] Vered, G. Et al. *Using solitary ascidians to assess microplastic and phthalate plasticizers pollution among marine biota: A case study of the Eastern Mediterranean and Red Sea*. [online]. 2019 [cit. 2019-02-20]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X18308646>
- [18] Claessens, M. *New techniques for the detection of microplastics in sediments and field collected organisms*. [online]. 2016 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X13001495>
- [19] Kukulka, T. et al. *The effect of wind mixing on the vertical distribution of buoyant plastic debris*. [online]. 2012 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2012GL051116>
- [20] Farrell, P., Nelson, K. *Trophic level transfer of microplastic: *Mytilus edulis* (L.) to *Carcinus maenas* (L.)*. [online]. 2013 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749113000614>
- [21] Sanchez, W., Bender, C., Porcher, J.M. *Wild gudgeons (*Gobio gobio*) from French rivers are contaminated by microplastics: Preliminary study and first evidence*. [online]. 2013 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935113001886>
- [22] Graham, E.R., Thompson, J.T. *Deposit- and suspension-feeding sea cucumbers (*Echinodermata*) ingest plastic fragments*. [online]. 2018 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022098108004437>

- [23] McMahon, C.R., Holley, D., Robinson, S. *The diet of itinerant male Hooker's sea lions, Phocarctos hookeri, at sub-Antarctic Macquarie Island*. [online]. 2018 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-0032844883&origin=inward&txGid=5589d0560331e0ff47dcf5ac45c552f0>
- [24] Gal, S.C., Thompson, R.C. *The impact of debris on marine life*. [online]. 2015 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X14008571?via%3Dihub>
- [25] Wright, S.L., Thompson, R.C., Galloway, T.S. *The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review*. [online]. 2013 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749113001140>
- [26] Murray, F. Cowie, P.R. *Plastic contamination in the decapod crustacean Nephrops norvegicus (Linnaeus, 1758)*. [online]. 2011 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X11001755>
- [27] Brilliant, M.G.S., MacDonald, B.A. *Postingestive selection in the sea scallop, Placopecten magellanicus (Gmelin): the role of particle size and density*. [online]. 2000 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022098100002586>
- [28] Wright, S.L. et al. *Microplastic ingestion decreases energy reserves in marine worms*. [online]. 2013 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960982213013432>
- [29] Rosenkranz, P. et al. *A comparison of nanoparticle and fine particle uptake by Daphnia magna*. [online]. 2019 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-70450091084&origin=inward&txGid=a7e08372b2d65e7aed3f56f06c2321f7>
- [30] Von Moos, N. Burkhardt-Holm, P., Köhler, A. *Uptake and effects of microplastics on cells and tissue of the blue mussel Mytilus edulis L. after an experimental exposure*. [online]. 2012 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84870044869&origin=inward&txGid=256392ef24603ceb7b68a9a745ec91fa>
- [31] Browne, M.A. et al. *Uptake and effects of microplastics on cells and tissue of the blue mussel Mytilus edulis L. after an experimental exposure*. [online]. 2008 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84870044869&origin=inward&txGid=256392ef24603ceb7b68a9a745ec91fa>
- [32] Rochman, C.M. et al. *Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress*. [online]. 2013 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: <https://www.nature.com/articles/srep03263>
- [33] Teuten, E.L. et al. *Potential for plastics to transport hydrophobic contaminants*. [online]. 2007 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-36248964189&origin=inward&txGid=b667fe584b397090aa2dfcb3d124fd89>



- [34] Browne, M.A. *Microplastic Moves Pollutants and Additives to Worms, Reducing Functions Linked to Health and Biodiversity*. [online]. 2013 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960982213012530>
- [35] Oliveira, M. *Microplastic Moves Pollutants and Additives to Worms, Single and combined effects of microplastics and pyrene on juveniles (0+ group) of the common goby Pomatoschistus microps (Teleostei, Gobiidae)*. [online]. 2013 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X13002501>
- [36] Ryan, P.G., Donnell, A.D., Gardner, B.D. *Plastic ingestion and PCBs in seabirds: Is there a relationship?*. [online]. 2003 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0025326X88906741>
- [37] Claessens, M. *Occurrence and distribution of microplastics in marine sediments along the Belgian coast*. [online]. 2011 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X11003651>
- [38] Eriksson, C., Burton, H. *Origins and Biological Accumulation of Small Plastic Particles in Fur Seals from Macquarie Island*. [online]. 2003 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z:  
<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-0142123099&origin=inward&txGid=d4ec87dd8db49495ec9f02c8e44ce6c1#>
- [39] Heintz, R.A. et al. *Delayed effects on growth and marine survival of pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* after exposure to crude oil during embryonic development*. [online]. 2000 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z:  
<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-0034623926&origin=inward&txGid=effca6c4171bbe169af4f9f70caf592d>
- [40] Van Cauwenberghe, L., Janssen, C.R. *Microplastics in bivalves cultured for human consumption*. [online]. 2014 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749114002425>
- [41] Moore, C.J., Lattin, G.L., Zellers, A.F. *Quantity and type of plastic debris flowing from two urban rivers to coastal waters and beaches of Southern California*. [online]. 2010 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z:  
<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84860340998&origin=inward&txGid=fd907e1aa64cb231d727215296cc3771>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

ČOV	čistička odpadních vod
DBP	dibutylftalát
DEHP	bis(2-ethylhexyl)-ftalát
EU	Evropská unie
FT-IR	infračervená spektroskopie
HDPE	vysokohustotní polyethylen (s vysokou hustotou)
IMDCC	Koordinační výbor pro meziregionální mořský odpad (z anglického Interagency Marine Debris Coordinating Committee)
LDPE	nízkohustotní polyethylen (s nízkou hustotou)
MSFD	Rámcová směrnice Evropské komise o strategii pro mořské prostředí (z anglického The European Commission's Marine Strategy Framework Directive)
PBT	perzistentní, bioakumulativní a toxické látky
PCB	polychlorovaný bifenylyl
PE	polyetylen
PET	polyethylentereftalát
PP	polypropylen
USA	Spojené státy americké
UV záření	ultrafialové záření (zkratka UV z anglického ultraviolet)
UVB záření	ultrafialové záření s vlnovou délkou v rozsahu od 280 do 315 nm

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

<b>Obrázek 1 – Koncepční schéma mikroplastických zdrojů a toků v rámci antropogenních, suchozemských, sladkovodních a mořských složek životního prostředí a mezi nimi.[4] .....</b>	<b>21</b>
<b>Obrázek 2 – Schematický diagram standardních procesů čištění odpadních vod a chování částic ovlivněných hustotou v každém stupni zpracování.[4] .....</b>	<b>26</b>
<b>Obrázek 3 - Přibližné umístění 10 vzorků povrchových vod odebraných v České republice v září 2018.[15].....</b>	<b>27</b>
<b>Obrázek 4 – Typy nalezených mikročástic plastů v Českých řekách.[15] .....</b>	<b>30</b>
<b>Obrázek 5 - Diagram znázorňující potenciální přenosové cesty mikročástic plastů ve sladkovodních systémech.[3] .....</b>	<b>39</b>

**SEZNAM TABULEK**

<b>Tabulka 1 – Údaje pro EU o nakládání s odpady a odhady uvolňovaného plastového odpadu do suchozemského a sladkovodního (kontinentálního) prostředí.[4].....</b>	<b>20</b>
<b>Tabulka 2 - Podrobnosti o mikročasticích plastů a jiných syntetických vláknech izolovaných z deseti vzorků říční vody.[15] .....</b>	<b>28</b>

## **SEZNAM PŘÍLOH**

**Příloha P I: seznam pojmů**

## **PŘÍLOHA P I: SEZNAM POJMŮ**

<b>Abiotický</b>	Neživý; týkající se anorganické složky a činitelů přírody.
<b>Aluminosilikáty</b>	Silikáty (křemičitany), ve kterých může být určitá část centrálních atomů křemíku nahrazena hliníkem.
<b>Anadromní ryby</b>	Migrující z mořského prostředí do sladkých vod za účelem rozmnožování.
<b>Bentické stanoviště</b>	Představuje dno, na němž žijí organismy buď trvale přisedlé, pohyblivé, nebo zahrabány v sedimentech.
<b>Bioakumulace</b>	Růst koncentrace chemické látky v organismu.
<b>Biodiverzita</b>	Biologická rozmanitost.
<b>Biotický</b>	Živý; vztahující se k životu.
<b>Bioturbace</b>	Jakékoli porušení sedimentu činností živých organismů.
<b>Elutriace</b>	Proces, ve kterém se pomocí proudu plynu nebo kapaliny tekoucí proti směru sedimentace separují částice na základě jejich velikosti, tvaru a hustoty.
<b>Epibiont</b>	Jakýkoli organismus, který dlouhodobě žije na povrchu jiného živého organismu.
<b>Neuston</b>	Společenstvo drobných živočichů žijících v povrchové vrstvě vody.
<b>Oligotrofní vody</b>	Tekoucí nebo stojaté vody s nízkou trofií, tedy nízkým obsahem živin.
<b>Pelagické stanoviště</b>	Zahrnuje celý vodní objem, v němž se organismy vznášejí nebo plavou.
<b>Peleta</b>	Malý, slisovaný kousek libovolné hmoty nejčastěji válcovitého tvaru.
<b>Trofický</b>	Potravní, výživný. Týkající se výživy organismu.