

1. Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Fakulta agrobiologie a potravinových zdrojů



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

**Znečištění vodních ekosystémů plasty a možnosti
minimalizace jejich dopadů**

Bakalářská práce

Autor práce: Jan Dvořáček

Ochrana krajiny a využívání přírodních zdrojů

Vedoucí práce: Doc. Ing. Pavel Horký, Ph. D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci Znečištění vodních ekosystémů plasty a možnosti minimalizace jejich dopadů jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne _____

Poděkování

Rád bych zde vyjádřil své poděkování a vděčnost, doc. Ing. Pavlu Horkému, Ph.D za odborné vedení, cenné rady, trpělivost a ochotu, kterou mi v průběhu zpracování mé bakalářské práce věnoval.

Znečištění vodních ekosystémů plasty a možnosti minimalizace jejich dopadů

Souhrn

Znečištění vodních ekosystémů plasty získává stále větší pozornost veřejnosti. Jednou z nejpálčivějších ekologických výzev současnosti je obrovský nárůst plastového odpadu a možnosti jeho likvidace. V roce 2018 se celosvětová roční produkce plastů vyšplhala na 358 milionů tun. Zvláštní pozornost dostává i přítomnost mikroplastů – malých fragmentů plastového odpadu o velikosti menší než 5 mm – ve vodním prostředí. Tyto drobné částičky, které pocházejí jak z primárních zdrojů, tak ze sekundárního rozpadu větších plastových předmětů, představují značnou hrozbu pro biodiverzitu a ekosystémy.

Tato bakalářská práce se zabývala environmentálním problémem znečištění vodních ekosystémů plasty, se zaměřením na mikroplasty. Byly představeny vlastnosti a základní druhy plastů, principy jejich rozkladu a vznik mikroplastů a jeho následné dělení na primární a sekundární. Dále pak hlavní zdroje plastového znečištění z různých průmyslových odvětví a činností. Hlavní část byla věnována znečištění oceánů plastovým odpadem a dopadům mikroplastů na slané a sladkovodní ekosystémy včetně České Republiky. Uvedené studie potvrdily přítomnost mikroplastů ve všech typech zkoumaných vod – povrchových, odpadních a dokonce podzemních. Proběhla analýza negativních účinků mikroplastů na živočichy a možná zdravotní rizika pro člověka. Byly představeny hlavní možnosti využití plastů, způsoby nakládání s plastovým odpadem včetně likvidace a možnosti minimalizace mikroplastového znečištění včetně legislativních opatření.

Klíčová slova: znečištění, mikroplasty, plasty, vodní ekosystém, minimalizace dopadů

Plastic pollution of aquatic ecosystems and ways to minimize its impact

Summary

Plastic pollution of aquatic ecosystems is gaining increasing public attention. One of the most pressing environmental challenges of our time is the massive increase in plastic waste and the possibilities for its disposal. In 2018, global annual plastic production climbed to 358 million tons. Particular attention is being paid to the presence of microplastics – small fragments of plastic waste less than 5 mm in size – in the aquatic environment. These tiny particles, originating from both primary sources and secondary fragmentation of larger plastic items, pose a significant threat to biodiversity and ecosystems.

Subsequently, the main sources of macroplastic and microplastic pollution from various industrial sectors and human activities such as plastic production, processing and waste management, transportation, waste incineration, industrial materials, personal care and cosmetic products, the textile industry, and others are discussed. Special attention is given to the problem of plastic pollution in the world's oceans, especially the Great Pacific Garbage Patch. The causes, extent, and projected development of this phenomenon are described.

The work further analyzes the impacts of microplastic pollution on freshwater ecosystems such as rivers, lakes, soils, and groundwater, including the situation identified in the Czech Republic. The negative effects of microplastics on aquatic animals, such as the side effects of clogging the digestive tract and limiting food intake, and the potential ability to absorb and transport other pollutants are discussed. Attention is also paid to the possible health risk to humans through contaminated food and drinking water.

In the final sections of the work, current methods of detection, monitoring, removal, and management of plastic waste and microplastics in the aquatic environment are presented. Possibilities for minimizing future pollution, including legislative measures such as limiting plastic production, promoting recycling, and using biodegradable alternatives, are proposed. Overall, the work aims to provide a comprehensive overview of the current state of knowledge regarding plastic and microplastic pollution in aquatic ecosystems.

Keywords: pollution, microplastics, aquatic ecosystem, minimizing the impact

1 Úvod.....	8
2 Cíl práce.....	9
3 Literární rešerše	10
3.1 Plasty.....	10
3.1.1 Vlastnosti plastů.....	10
3.1.2 Základní druhy plastů podle fyzikálních vlastností	11
3.1.3 Nejčastěji používané plasty	11
3.2 Rozklad plastů.....	14
3.3 Mikroplasty	15
3.3.1 Rozdělení mikroplastů	15
3.4 Zdroje mikroplastů v životním prostředí.....	16
3.4.1 Automobilový průmysl	16
3.4.2 Textilní průmysl.....	16
3.4.3 Kosmetický průmysl	17
3.4.4 Potravinářský průmysl	17
3.4.5 Rybolov.....	18
3.4.6 Odpad.....	18
3.5 Mikroplasty v oceánech	19
3.5.1 Velká Tichomořská odpadková skvrna.....	19
3.6 Mikroplasty ve sladkovodních ekosystémech.....	20
3.6.1 Znečištění vodního prostředí mikroplasty v České republice.....	21
3.7 Dopad na živočichy	23
3.7.1 Mechanické působení	25
3.8 Vliv mikroplastů na zdraví člověka	26
3.8.1 Vystavení člověka mikroplastům.....	26
3.8.2 Vstřebávání mikroplastů v lidském organismu	26
3.8.3 Zdravotní dopady mikroplastů na člověka.....	27
3.9 Detekce mikroplastů ve vodním prostředí	27
3.10 Nakládání s plastovým odpadem	28
3.10.1 Skládkování	28
3.10.2 Recyklace.....	28
3.11 Odstraňování plastů.....	29
3.11.1 Spalování	29
3.11.2 Fyzické odstraňování plastů.....	30
3.12 Metody odstraňování mikroplastů.....	30

3.12.1	Filtry.....	30
3.12.2	Aktivovaný kal.....	31
3.13	Možnosti minimalizace dopadů plastového znečištění	32
3.14	Legislativní zásahy	33
3.14.1	Směrnice EU o obalech a odpadech z obalů.....	33
3.14.2	Směrnice EU o plastech na jedno použití	33
3.14.3	Rezoluce OSN.....	33
4	Závěr	35
5	Seznam použité literatury	36
6	Seznam webových zdrojů	49
7	Seznam použitých zkratk a symbolů.....	51

1 Úvod

Znečištění životního prostředí plasty a jejich dopady na vodní ekosystémy představují v současnosti jeden z klíčových environmentálních problémů. Plasty jsou relativně novými materiály, první průmyslový plast zvaný též bakelit byl vyroben v roce 1909 (Barnes et al., 2009). Celková spotřeba plastů se od 50. let 20. století rapidně zvýšila. Roku 1950 bylo vyrobeno přibližně 1,5 milionu tun plastů. V roce 2018 stoupla roční celosvětová produkce plastů až na 359 milionů tun a z veškerého odpadu v mořích a oceánech tvoří přibližně osmdesát procent (OECD, 2022).

Jejich výroba a použití ve všech odvětvích lidské činnosti ale přinesly vážné znečištění životního prostředí. Plasty se vyznačují řadou výhodných vlastností jako voděodolnost, nízká hmotnost, snadná tvarovatelnost, dobré izolační schopnosti a nízká cena (Biron, 2017). Zároveň jsou ale velmi odolné vůči rozkladu, a tak se v přírodě obvykle zcela nerozkládají, ale pouze se rozpadají na stále menší fragmenty známé jako mikroplasty (Van Cauwenberghe et al., 2015). Mikroplasty představují závažný environmentální problém, neboť kontaminují půdu, ovzduší a zejména vodu, která je životodárná pro všechny organismy a přirozeným prostředím pro řady živočichů. Tyto drobné plastové částice mohou být rizikem jak pro nespočet živočichů, tak pro člověka.

Cílem této práce je uvést čtenáře do celkové problematiky, shrnout doposud uvedené negativní dopady plastového a mikroplastového znečištění na vodní ekosystémy, a to jak v globálním měřítku, tak se zaměřením na Českou republiku. Představit nejčastěji používané plasty a jejich využití společně s hlavními zdroji plastového a mikroplastového znečištění, způsoby nakládání s plastovým odpadem, možnosti detekce a identifikace mikroplastů ve vodních ekosystémech a v neposlední řadě možnosti minimalizace jejich negativních dopadů.

Práce si klade za cíl přispět k většímu povědomí o rizicích souvisejících s přítomností mikroplastů ve vodách. Zmapováním rozsahu tohoto problému a možných řešení, může tato práce podpořit úsilí o snížení plastového znečištění a přechod k udržitelným materiálům.

K výběru tématu bakalářské práce „Znečištění vodních ekosystémů plasty a možnosti minimalizace jejich dopadů“ mě navedl zájem o znečištění životního prostředí odpady, zejména plasty. Rovněž se téma v určitých částech prolíná s mým studijním oborem (Ochrana krajiny a využívání přírodních zdrojů).

2 Cíl práce

Cílem bakalářské práce je souhrn dosud popsaných vlivů znečištění vodních ekosystémů plastovým odpadem se zaměřením na mikroplasty. Uvést efektivní metody odstranění daného znečištění spolu s nejúčinnějšími možnostmi, kterými lze minimalizovat negativní dopady.

3 Literární rešerše

3.1 Plasty

Plasty jsou látky, jejichž název pochází z řeckého slova „plastikos“ neboli „tvárný“. Byly vyvinuty v průběhu 19. a 20. století. Roku 1862 byl vytvořen první syntetický polymer, nitrocelulóza, která se používala jako náhrada slonoviny při výrobě knoflíků, míčků a dalších předmětů. V roce 1909 Belgičan Leo Baekeland vyvinul první průmyslově vyráběný plast, zvaný bakelit, na jehož vývoji se podílely i další materiály, například nylon, vynalezený v roce 1935 (Barnes et al., 2009). Rozvoj plastů pokračoval v průběhu 20. století s objevem dalších typů plastů, včetně polyethylenu, polypropylenu, polyvinylchloridu a mnoha dalších. V dnešní době jsou plasty nejpoužívanější materiály na světě zejména díky svému všestrannému využití. Lze se s nimi setkat ve všech odvětvích, od zdravotnictví a potravinářství až po stavebnictví či textilní průmysl (Harper, C. A., 2001).

Podle zprávy OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) se celková spotřeba plastů od 50. let 20. století rapidně zvýšila. Roku 1950 bylo vyrobeno přibližně 1,5 milionu tun plastů, zatímco v roce 2018 stoupla roční celosvětová produkce plastů až na 359 milionů tun. Většina z nich skončí po své životnosti v komunálním odpadu. Pokud množství spotřebovaných plastů bude stoupat jako doposud, v roce 2025 se odhaduje nárůst až k 600 milionům tun (OECD, 2022).

3.1.1 Vlastnosti plastů

Plasty jsou původem organické látky. Základní stavební složky se skládají z celulózy, zemního plynu, uhlí a ropy. Plasty představují široké spektrum vlastností, jež lze přizpůsobit požadavkům konkrétních aplikací vhodnou volbou polymerního materiálu a přísad. Zásadní vliv na vlastnosti plastu má uspořádání jednotlivých monomerů. Mechanické vlastnosti plastů, jako tuhost, pevnost a houževnatost, jsou úzce spjaty s chemickou strukturou a zpracovatelskými podmínkami (Crawford, 1998). V oblasti tepelného chování jsou plasty obecně špatnými vodiči tepla. Vyznačují se odolností vůči vysokým teplotám, avšak jejich maximální teplota je limitována teplotou měknutí a degradací polymeru (Vasanthakumari & Pennings, 2021). Zatímco některé plasty jsou průhledné, jiné mohou být neprůhledné. Plasty rovněž mohou propouštět různé části světelného spektra a vykazovat rozdílnou odolnost vůči chemikáliím, která závisí na jejich chemické struktuře. Obecně jsou odolnější vůči kyselinám, než zásadám (Ebewele, 2000). Vlastnosti plastu lze vylepšit přidáním tzv. aditiv, která zlepšují

možnosti zpracování, trvanlivost, bezpečnost i vzhled. Jedná se o změkčovadla, například ftaláty, barviva, pigmenty, plniva či stabilizátory (Osswald & Menges, 2012). V dnešní době dokážou plasty dokonale nahradit materiály, které byly používány v minulosti, např. dřevo, vlna nebo ocel. Díky tomu se dnes využívají dokonce jako konstrukční nebo technické materiály (Barnes et al., 2009).

3.1.2 Základní druhy plastů podle fyzikálních vlastností

Druhů plastů existuje celá řada, často však bývají klasifikovány do dvou hlavních skupin, a to na reaktoplasty a termoplasty. Reaktoplasty neboli termosety jsou polymerní materiály, které při zahřívání a působení energie (teplo, záření, katalyzátory) vytvářejí hustou trojrozměrnou zesíťovanou strukturu. Tento proces, nazývaný vytvrzování nebo zesíťování, je nevratný a termosety poté nemohou být znovu taveny nebo opětovně tvarovány. Příklady termosetů zahrnují například polyuretany či fenolické a epoxidové pryskyřice (Kutz, 2017). Používají se spíše ve specifických odvětvích, kde jsou požadovány jejich vlastnosti, jako vysoká tepelná odolnost, chemická stabilita a pevnost, většinou pro kompozitní materiály a elektrické izolanty (Biron, 2017). Naopak od termosetů se termoplasty skládají z lineárních nebo rozvětvených řetězců bez síťování. Při zahřívání přecházejí do plastického stavu. V tomto stavu vykazuje materiál vysoce viskózní chování a může být opakovaně tvarován technologiemi pro zpracování polymerů, jako je vstřikování, vytlačování nebo válcování (Osswald, 2021). Po vytvarování se materiál ochladí a dochází k jeho ztuhnutí. Tento proces je ale vratný a termoplasty mohou být opakovaně zahřívány a chlazeny. Mezi příklady termoplastů patří polyethylen, polypropylen, polystyren, polyvinylchlorid a polyamidy. Termoplasty se obecně využívají ve větší míře než reaktoplasty (termosety), od spotřebního zboží přes obalové materiály až po konstrukční díly (Moore, 2008). Hlavním důvodem je jejich opakovatelná tvarovatelnost, širší oblast využití a lepší recyklovatelnost, lze je totiž snadno recyklovat mechanickou cestou, zatímco recyklace reaktoplastů často vyžaduje chemické procesy. Dalším důvodem jsou nižší výrobní náklady, jelikož zpracování termoplastů vyžaduje nižší teploty a kratší časy ve srovnání s vytvrzováním termosetů (Rosato et al., 2004).

3.1.3 Nejčastěji používané plasty

3.1.3.1 Polyethylen (PE)

Historicky první polyethylen s vlastnostmi plastu byl připraven roku 1935 polymerací ethylenu v plynné fázi za tlaku 100 MPa až 200 MPa, při teplotě 150 °C až 400°C. Existují dva základní typy polyethylenu, dělí se podle rozvětvení jejich makromolekul (Ducháček, 2006).

Nízkohustotní LDPE (z angl. Low Density – nízká hustota) a vysokohustotní HDPE (z angl. High Density – vysoká hustota). LDPE s hustotou od 0,91 do 0,94 g/cm³, je měkčí a flexibilnější, zatímco HDPE s hustotou v rozsahu 0,94 až 0,97 g/cm³, je tvrdší, pevnější a odolnější (Chanda et al., 2007). Oba typy mohou sloužit jako elektroizolační materiál a jsou velmi odolné vůči korozi a řadě chemikálií. Díky těmto vlastnostem a jednoduchému zpracování je PE nejrozšířenějším plastem, který nachází uplatnění v nejrůznějších odvětvích. Vyrábí se z něj například fólie, tašky, obaly potravin a spotřebního zboží, různé nádoby, vaničky, hračky, přepravní boxy, desky apod. (Andrady & Neal, 2009).

3.1.3.2 Polypropylen (PP)

Polypropylen je semikrystalický polymer s výbornou chemickou odolností, houževnatostí a tepelnou stabilitou. S hustotou 0,90-0,92 g/cm³ a pevností v tahu až 35 MPa patří mezi nejlehčí komerční plasty s relativně vysokou pevností. Je odolný vůči většině chemikálií a do teploty 100 °C je stabilní i v oxidačním prostředí (Crawford, 1998). Jedná se o jeden z nejvyužívanějších termoplastů na světě. Hlavní využití polypropylenů je v potravinářském průmyslu, kde slouží jako obalový materiál především v podobě jogurtových kelímků a víček od láhví či nádob. Dále se využívá na kobercová vlákna, zahradní nábytek, osobní zboží, jako například hřebeny, zavazadla, nebo fóliové obaly na oděvy (Andrady & Neal, 2009).

3.1.3.3 Polyvinylchlorid (PVC)

Polyvinylchlorid je amorfní termoplast, který na rozdíl od většiny plastů obsahuje až v 57 % také chlór. Ten má za následek výrazné snížení hořlavosti. Aby se získala dostatečná flexibilita, přidávají se do něj změkčovadla. Hustota se u PVC pohybuje v rozmezí 1,16-1,58 g/cm³ a jeho pevnost v tahu dosahuje 41-60 MPa (Wilkes et al., 2005). PVC se jakožto samostatná látka nevyužívá. Slouží jako příměs do ostatních materiálů. Díky jeho pevnosti, odolnosti a vynikajícím izolačním vlastnostem, se s ním setkáme například u nábytkářství nebo stavebnictví. Vyrábí se z něj také obaly, obuv, bazény, textil atd. (Andrady & Neal, 2009).

3.1.3.4 Polyuretan (PUR)

Polyuretan je reakční polymer vyráběn polymerací sloučenin obsahujících hydroxylové skupiny (polyoly) s polyizokyanáty. V závislosti na použitých surovinách a procesních podmínkách lze získat PUR s rozličnými vlastnostmi a strukturou, od měkkých pěnových materiálů až po tuhé plasty. Mezi hlavní přednosti polyuretanu patří flexibilita, vysoká odolnost a také přizpůsobivost. Typů PUR existuje celá řada. Pěnové vynikají nízkou hustotou,

výbornými izolačními schopnostmi a odolností proti vlhkosti (Randall & Steve, 2002), proto nachází uplatnění například jako tepelné a zvukové izolanty ve stavebnictví či automobilovém průmyslu. Tuhé polyuretany mají vysokou houževnatost, pevnost a oděruvzdornost. Jsou rovněž využívány ve stavebnictví jako těsnění či ochranné kryty a v automobilovém průmyslu ve formě dílů exteriéru i interiéru vozidel, např. nárazníků, palubních desek, volantů, či lišt (Andrady & Neal, 2009).

3.1.3.5 Polystyren (PS)

Jedná se o amorfní polymer s nízkou hustotou kolem $1,05 \text{ g/cm}^3$. I přes svou křehkost se vyznačuje vynikajícími tepelně a elektricky izolačními vlastnostmi. Má dobrou propustnost světla a odolnost proti působení vody a některých kyselin (Osswald & Menges, 2012). Tento termoplast při zvýšení teploty ztrácí tvrdost a vytváří se z něj polotovary, například filmy a plachty. PS se dělí na tuhý a pěnový, který slouží jako izolační materiál pro zvukovou a tepelnou izolaci (Andrady & Neal, 2009).

3.1.3.6 Polyethylentetraftalát (PET)

PET se řadí mezi polyestery a od ostatních plastů se liší svojí stavbou, jelikož navíc obsahuje v hlavním řetězci kyslík. Má výborné mechanické vlastnosti, je průhledný, lesklý, vysoce křehký a lehký s vysokou propustností světla. Jeho hustota se pohybuje v rozmezí $1,37\text{-}1,45 \text{ g/cm}^3$ a tažnost může dosáhnout až 150 % (Scheirs et al., 2003). Nejběžnějším použitím, se kterým se denně setkáváme, je výroba nápojových lahví. Dále se využívá například na výrobu textilií, tkanin a fólií (Andrady & Neal, 2009).

3.1.3.7 Polyamid (PA)

Polyamidy, známé jako nylony jsou skupinou syntetických polymerů obsahujících v hlavním řetězci amidové vazby. Tyto polymery vznikají polykondenzační reakcí dikarboxylových kyselin s diaminy (Běhálek, 2016). Vynikají výbornými mechanickými vlastnostmi, jako jsou vysoká pevnost, tuhost a odolnost vůči oděru. Mezi další přednosti patří chemická odolnost, kvalitní izolační i kluzké vlastnosti a nízký koeficient tření. Naopak jejich nevýhodou je náchylnost k pohlcování vlhkosti (Ducháček, 2006). Vlastnosti polyamidů lze dále upravovat různými plnivými, například skleněnými vlákny či minerály nebo modifikacemi pro zvýšení odolnosti vůči hydrolýze, UV záření a hořlavosti (Běhálek, 2016). Uplatnění polyamidy nachází v široké škále průmyslových odvětví, zejména v automobilovém průmyslu, kde nachází

využití pro výrobu dílů motorů či ložisek, dále v elektrotechnickém průmyslu, textilním průmyslu a strojírenství. Konkrétně nylon je často součástí rybářských sítí (Harper, 2006).

3.2 Rozklad plastů

V podmínkách okolního prostředí mohou plasty podléhat degradaci pěti hlavními mechanismy, kterými jsou fotodegradace, termo-oxidační degradace, hydrolýza, biodegradace mikroby a mechanická síla (Raquez et al., 2011). Fotodegradace je počáteční událost, kdy se díky ultrafialovému záření ze slunečního svitu, působícímu na plasty, narušují chemické vazby v polymerních řetězcích. Dochází k lámání řetězců a tvorbě kratších fragmentů, které se dále rozpadají na mikročástice (Briassoulis et al., 2015). Další je termo-oxidační degradace, která spočívá v rozkladu organického materiálu na skládkách, což vytváří teplo, které následně iniciuje oxidační reakce v plastech a dochází ke křehnutí a lámání plastů na menší kusy (Silaghi et al., 2019). K rozpadu plastů na menší fragmenty přispívá také hydrolýza, při které může voda, spolu s kyselými produkty rozkladu organické hmoty na skládkách, štěpit polymerní vazby (Ho et al., 2018). Některé mikroorganismy jako plísně a bakterie jsou schopny částečně rozkládat plasty enzymatickou cestou, čemuž se říká biodegradace (Zheng et al., 2005). V poslední řadě mají na rozklad plastů vliv i mechanické síly, jako pohyby materiálu na skládce, zhutňování těžkou technikou či tlaky způsobené navršenými vrstvami odpadu, které vedou k drcení a lámání plastových předmětů na menší kusy (Kyrikou & Briassoulis, 2007). Celkový proces rozkladu je velmi pomalý. Pro představu, plastový kelímek se rozloží v průměru za 70 let, PET lahev za 400 let a vlasec dokonce za 600 let (Le Guern & Claire, 2018). Přetrvávání plastů v oceánech je navíc podpořeno omezenou dostupností kyslíku, chladícím účinkem vody a rychlostí hydrolýzy, která je příliš nízká na to, aby poskytla účinnou cestu pro rozklad polymerních složek plastových zbytků (Fenichell, 1996).

Studie Kane et al. (2020) přišla s revolučním objevem, kdy se díky dvěma enzymům (PET-hydroláza a MHET hydroláza) pocházejícího z bakterie *Ideonella sakaiensis* (Yoshida, et al., 2016) podařilo s 90% účinností rozložit polyethylenftalát na dva monomery, kyselinu tereftalovou a ethylenglykol. Díky laboratorním mutacím byl enzym PET hydroláza geneticky upraven tak, aby byl stabilní při teplotě 72 °C, což je optimální teplota pro biologicko-chemickou degradaci plastů. Tímto způsobem lze PET lahve rozložit na materiál, který je plně recyklovatelný a využitelný pro opětovnou výrobu PET lahví a potravinových obalů (Kane et al., 2020).

3.3 Mikroplasty

Pojem mikroplast se poprvé objevil v klíčové studii, pod vedením mořského biologa Richarda Thompsona, publikované v roce 2004 (Lim, 2021). Společně s jeho týmem se zaměřil na výzkum množství mikroskopických částic plastu v plážových sedimentech Velké Británie (Thompson et al., 2004). Samotný pojem mikroplast však vědci nedefinovali přesně co do velikosti těchto částic. Někteří autoři ve svých pracích uvádí velikost v mikrometrech (symbol μm) či dokonce v nanometrech (symbol nm). Nejčastěji jsou však za mikroplasty obecně považovány a definovány vsudypřítomné, drobné částičky plastu nepřesahující velikost 5 mm (Moore, 2008).

Jejich složení se odvíjí od materiálního složení plastů jako takových, především směsi základních polymerů a přídatných látek. Jejich strukturu tvoří zejména atomy uhlíku, kyslíku, vodíku, chloru a další prvky (Kožíšek & Kazmarová, 2021). Ve vodních ekosystémech zastupují 35 až 90 % znečišťujících mikroskopických částic. V nejhojnějším počtu se mikroplasty vyskytují ve formě pelet, vláken, či fragmentů (Van Cauwenberghe et al., 2015). Existují dva hlavní typy mikroplastů – primární a sekundární, které se liší svým původem. Primární mikroplasty jsou velikostně velmi malé plastové fragmenty v rozsahu mikrometrů (značka - μm), které jsou menší než 5 mm již při svém vstupu do životního prostředí (Novák, 2022). Naopak za sekundární mikroplasty se považují mikroskopické částice větší než 5 mm, které se do ekosystémů dostávají rozpadem větších plastových částic (Rogers, 2022).

3.3.1 Rozdělení mikroplastů

3.3.1.1 Primární mikroplasty

Mezi hlavní zdroje primárních mikroplastů patří mikrovlákná, která se uvolňují ze syntetických materiálů. Jedná se zejména o polyester a akryl. Vznikají jak při praní syntetických textilií, tak při jejich samotném nošení vlivem tření o pokožku. Každoročně se dle odhadů do odpadních vod dostane zhruba 1 milion tun těchto mikrovláken, z nichž drtivá většina uniká do životního prostředí (Rogers, 2022). Mezi další zdroj primárních mikroplastů patří kosmetické a čisticí produkty obsahující mikrokuličky. Ty se v tomto odvětví využívají díky své funkci zlepšovat viskozitu daných výrobků. Jedná se například o příměsi do zubních past, pracích prostředků, líčidel, nebo jako peelingové částice, které mají za úkol odstranit nečistoty a odumřelé kožní buňky z pokožky. Po použití daných produktů putují stejně jako mikrovlákná až do kanalizačního systému. Vzhledem k jejich malé velikosti mohou snadno projít skrze čističky odpadních vod, odkud se dostávají až do vodních ekosystémů a také pitné vody (Van

Cauwenberghe et al., 2015; Freidinger, 2018). Mezi další zdroj primárních mikroplastů patří prach, tzv. oděr z pneumatik osobních i nákladních automobilů, z nichž se uvolňuje více než 20 gramů prachu na každých 100 km. Do této skupiny zdrojů patří i prach z barev, například z označování silnic či lodních barev (Tyree, Morrison, 2017).

3.3.1.2 Sekundární mikroplasty

Sekundární mikroplasty vznikají postupnou degradací a fragmentací větších částí plastů, zejména plastového odpadu, jinak řečeno se uvolňují především rozpadem plastového odpadu za spolupůsobení fyzikálních, chemických a biologických procesů. Jedná se zejména o jednorázové plastové výrobky, jako jsou igelitové sáčky a tašky, plastové lahve, obaly potravin a další (Nechvátal, Klouda, 2021). Nejzásadnější podíl na degradaci plastů má UV záření, které zapříčiňuje oxidaci polymerových řetězců. Dále například působení pohybu větru a vody. (Van Cauwenberghe et al., 2015).

3.4 Zdroje mikroplastů v životním prostředí

3.4.1 Automobilový průmysl

Vysoký podíl mikroplastů v životním prostředí vzniká oděrem pneumatik (Evangelidou et al., 2020). Studie Kole et al. (2017) uvádí, že zhruba jedna pětina veškerých mikroplastů vstupujících do životního prostředí pochází z oděru pneumatik automobilů. Cesty, kterými se oděr do prostředí může dostat je celá řada. První z nich je vzdušná cesta, kdy se malé částice zvíří z povrchu silnic do ovzduší a mohou být větrem přeneseny na velké vzdálenosti, včetně pobřežních oblastí, odkud mohou skončit v mořích a oceánech (Evangelidou et al., 2020). Další možnost je splach z komunikací, kdy jsou během dešťů nebo tání sněhu mikroplastové částice z povrchu silnic a cest smývány buď rovnou do vodního prostředí, nebo do kanalizačního systému, a pokud nejsou zachyceny v čističkách odpadních vod, mohou rovněž putovat do vodních toků a následně i oceánů (Leads et al., 2019).

3.4.2 Textilní průmysl

Textilní průmysl představuje zásadní zdroj mikroplastového znečištění. Syntetická vlákna jako PE, PP, akryl a nylon se při praní oděvů uvolňují v podobě malých plastových částic ve formě vláken. Nejvyšší stupeň uvolňování byl detekován u tkaného polyesteru, pleteného polyesteru a tkaného propylenu. Studie publikována v časopise *Environmental Science & Technology* odhaduje, že se z jednoho kusu syntetického oděvu může uvolnit až 1900 mikrovláken, při

jedné dávce praní až 700 000 mikrovláken, které poté putují do odpadních vod (Browne et al., 2011). Značná část těchto vláken, které nezachytí ČOV se následně dostane do řek, jezer a nakonec i moří a oceánů (Boucher & Friot, 2017). Výsledky studií, bez ohledu na druh textilie, ukazují, že vyšší teplota, tvrdší voda, mechanické působení a práškový prací prostředek zásadně zvyšují množství uvolňovaných mikrovláken do odpadních vod (De Falco, 2018). Výzkum zveřejněný v magazínu Marine Pollution Bulletin zjistil, že textilní průmysl vypouští do moří napříč Evropskou unií přibližně 29 % veškerých mikroplastů (Boucher & Friot, 2017).

3.4.3 Kosmetický průmysl

Mikroplasty jsou obsaženy v řadě kosmetických přípravků jako jsou peelingové krémy, zubní pasty nebo sprchové gely, kde plní abrazivní a čistící funkci (Napper et al., 2015). Jejich velikost se obvykle pohybuje v rozmezí 1-500 μ m. Vzhledem k širokému použití těchto produktů dochází k vypouštění značného množství mikroplastů do odpadních vod (Leslie, 2014). Studie odhalují, že celosvětově může být ročně emitováno přes 100 000 tun mikroplastů z přípravků pro osobní péči (Boucher & Friot, 2017). ČOV nedokáže mikročástice zcela zachytit, což vede k jejich úniku do vodních ekosystémů. Výzkum na řece Ljusnan ve Švédsku ukázal, že až 54 % zde detekovaných mikroplastů pocházelo právě z kosmetických výrobků (Norén, 2007).

3.4.4 Potravinářský průmysl

Potravinářský průmysl rovněž přispívá ke znečištění prostředí mikroplasty, a to několika způsoby. Jedním z hlavních zdrojů jsou samotné obaly potravin a nápojů vyrobené z plastů. Studie provedená výzkumníky z Univerzity v Newcastlu, publikovaná v časopise Environmental Science & Technology odhalila, že samotné plastové obaly představují 15-20 % světového mikroplastového znečištění (Pabortsava & Lampitt, 2020).

Mikroplasty se mohou uvolňovat z obalů například vlivem mechanického oděru, oxidace nebo také při recyklaci plastového odpadu a jeho nedokonalém zpracování. Následně mohou kontaminovat samotné potraviny a nápoje. Výzkum publikovaný v časopise Environmental Pollution zjistil přítomnost mikroplastů například v pivu, medu, či slazených nápojích. (Shymanski et al., 2018).

Další možnou cestou vstupu mikroplastů do potravinového řetězce je použití plastových průmyslových zařízení pro výrobu, zpracování a transport potravin. Z důvodu opotřebení mohou plastové části strojů uvolňovat mikroplastové částice, které se následně mohou dostat až do finálních potravinářských produktů (Cauwenberghe & Janssen, 2014).

3.4.5 Rybolov

Významným původcem plastového znečištění v oceánech a mořích je rybolov, který tvoří odhadem zhruba 10 % celkového množství plastového odpadu (Boucher, 2017). Studie Světového fondu na ochranu přírody (WWF) odhaduje, že pouze ve Středozezemním moři zůstane každoročně okolo 147 000 tun ztraceného nebo opuštěného rybářského náčiní (WWF, 2022). Jedná se zejména o opuštěné rybářská lana, tralové pytle a zejména sítě, které jsou nejčastěji vyrobené z polyamidu (nylonu). Nylon je velmi odolný vůči slané vodě a ultrafialovému záření. Dalšími využívanými materiály jsou polyethylen a polypropylen (Good, et al., 2010).

Ve vodním prostředí, zejména v oceánech a mořích, kde jsou teploty nižší a podmínky pro mikrobiální rozklad méně příznivé, se doba rozkladu nylonu prodlužuje (Boucher, 2017). Naciono-Lipeles et al. (2021) ve své studii zjistili, že poločas rozpadu různých druhů rybářských sítí, zejména těch vyrobených z nylonu, může v mořích dosahovat až 600 let.

3.4.6 Odpad

Markantním zdrojem mikroplastů a obecně plastů v životním prostředí jsou odpady a nesprávná likvidace a nakládání s plastovými výrobky. Množství znečištění odpadem se v různých regionech liší v závislosti na úrovni odpadového hospodářství a nakládání s odpady. Mezi státy, které přispívají ke značnému množství plastového znečištění ve vodních tocích a oceánech patří Filipíny, Čína, Indonésie, Vietnam a Srí Lanka. (Jambeck, et al., 2015).

Studie publikovaná v časopise Nature Sustainability v roce 2022 odhaduje, že celosvětově končí v oceánech přibližně 14 milionů tun plastového odpadu za rok. Zhruba 80 % tohoto znečištění pochází z pouhých 10 řek, kterými jsou Indus, Ganga, Žlutá řeka, Mekong, Nil, Nigir a další. Nejvíce tun plastového odpadu pochází z řeky Indus v Pákistánu, a to až 2,2 milionu tun ročně, následuje Ganga s přibližně 1,5 milionu tun/rok (Sheng et al., 2022).

Mezi hlavní příčiny patří nedostatečná infrastruktura pro nakládání s odpady a neefektivní systémy sběru odpadů zejména v přímořských regionech. Ve spoustě zemích zejména v Asii a v Africe je dodnes naprosto běžné zbavovat se odpadu jeho prostým odhozením do vodních ekosystémů a do životního prostředí obecně (Jambeck et al., 2015).

Zpráva Programu OSN pro životní prostředí (UNEP) z roku 2021 uvádí, že jen málo zemí zavedlo účinné systémy pro sběr a recyklaci plastových odpadů. Například v Indonésii končí zhruba 50 % plastového odpadu v životním prostředí, v Egyptě 32 % a v Nigérii dokonce 83 % (UNEP, 2021). Výjimkou nejsou ani Evropské země, ve kterých stále není ustanoven systém třídění odpadu, například Řecko (Vosecký & Sedlák, 2019).

3.5 Mikroplasty v oceánech

Vědci odhadují, že se v oceánech nachází přibližně 236 tisíc tun mikroplastů, z nichž pouze 1 % plave na hladině a zbylých 99 % se vyskytuje pod ní, zejména se kumuluje u mořského dna (Freidinger, 2018). Kannankai (2022) provedl metaanalýzu, z níž jako nejrozšířenější polymer v mořském prostředí vychází polyethylen (PE) v 79,9 %, následovaný polypropylenem (PP) s 77,2 %. Oba tyto typy polymery dominují ve všech zkoumaných oblastech mořského ekosystému, včetně vodního sloupce, bioty, plážového sedimentu a sedimentu na dně oceánu. Dalším polymerem vyskytujícím se zejména ve vodním sloupci a biotě je polyamid (PA) a polystyren (PS), který se nachází především usazený v sedimentech (Freidinger, 2018).

V zásadě se dá konstatovat, že mikroplasty vyskytující se ve vzdáleném oceánu pochází z lodí a mořských platform, zatímco mikroplasty nalezené v pobřežních oblastech pochází z povrchu. Způsoby, kterými se sem dostávají jsou zejména odpadními vodami, odtokem, řekami a částečně také proudem vzduchu. V sedimentech oceánů se mikroplasty akumulují pouze tehdy, je-li jejich hustota vyšší než hustota mořské vody, která je 1024 kg/m^3 při teplotě $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Jinak mají tendenci plavat na hladině, nebo se vznášet ve vodním sloupci (Crawford, et al., 2017).

Studie publikovaná časopisem Science Advances z roku 2020 se zaměřila na pozůstatky mikroplastů ve vzorcích vody Atlantského, Tichého a Indického oceánu. Koncentrace mikroplastů byly nejvyšší v Indickém oceánu, a to až 27 milionů částic na kilometr čtvereční (Ding et al., 2020).

3.5.1 Velká Tichomořská odpadková skvrna

V angličtině the Great Pacific Garbage Patch (dále jako GPGP), je tichomořský odpadní vír, který se klene nad vodami od západního pobřeží Severní Ameriky po Japonsko. Ve skutečnosti se skládá ze dvou velkých odpadkových vírů zvaných Western Garbage Patch, který se nachází poblíž Japonska a Eastern Garbage Patch, který se nalézá mezi americkými státy Havaj a Kalifornie (Lebreton et al., 2018). Několik set kilometrů severně od Havaje se navíc nalézá tzv. Severopacifická subtropická zóna konvergence, která dva jmenované odpadkové víry spojuje. V této oblasti se teplá voda z jižního pacifiku setkává s chladnější vodou Arktidy. Díky tomu a mořským proudům zóna funguje jako jakási dálnice, která přesouvá odpadky z jednoho místa do druhého (Bernhart et al., 2017).

Hlavním hnacím pohonem způsobujícím pohyb odpadu je Severopacifický subtropický gyr. Ten je tvořen čtyřmi proudy rotujícími po směru hodinových ručiček na celkové ploše 20

milionů km². Jsou jimi Kalifornský proud, Severní rovníkový proud, proud Kuroshio a severního Pacifiku (Moore, 2011).

Podle Lebretona et al. (2018) se v GPGP pohybuje údajně až 1,8 bilionu kusů plastu (cca 79 tisíc tun), které zabírají plochu 1,6 milionu km², což je pro představu třikrát více než rozloha Francie. Z celkového počtu kusů je dle odhadů 94 % tvořeno mikroplasty. Z hlediska hmotnosti však tvoří pouze asi 8 %, zbytek je zastoupen většími kusy a přibližně 75 % celkové hmotnosti kusy většími než 5 cm. Více než polovinu plastového odpadu tvoří předměty, jako jsou lahve, víčka a úlomky plastů, společně s mikroplasty. Zbytek tvoří rybářské sítě na bázi plastu.

Plující odpad, shromažďující se na povrchu oceánu, brání slunečnímu záření prostupovat k planktonu a řasám pod ním. Mořské řasy a plankton jsou nejběžnější autotrofní organismy planety, které si dokáží produkovat své vlastní živiny z uhlíku a slunečního svitu. Vlivem narušení jejich přirozeného chodu může být v ohrožení celý potravní řetězec. Živočichové živící se planktonem a řasami budou mít méně potravy. Tím se sníží i populace těchto živočichů a bude méně obživy pro jejich predátory. To bude mít neblahý vliv i pro lidi, jelikož se mořské plody stanou méně dostupné a dražší (Bernhart et al., 2017).

Kromě negativních dopadů však existují i ty pozitivní. Zjistilo se, že GPGP se stala pro řadu organismů, kteří se přirozeně zdržují u pobřeží, novým útočištěm. Patří mezi ně mořští červi, sasanky, krabi či hvězdice. Toto zjištění je povzbudivé zejména z důvodu, že oceán byl pro pobřežní organismy ještě do nedávna považován za neprůchodnou poušť. Plující plast se navíc stal prospěšný pro řadu ptactva, putujícího přes oceán. Ptáci si na něm mohou odpočinout od dlouhé cesty a nabrat síly na její zbytek (Karlík, 2021).

3.6 Mikroplasty ve sladkovodních ekosystémech

První informace o mikroplastech vyskytujících se v povrchových vodách pochází ze 70. let 20. století (Peng et al., 2017). Oproti slaným vodám je však oblast sladkých vod prostudována v menším měřítku, méně než 4 % studií jsou spojeny se sladkovodními ekosystémy (Lambert & Wagner, 2018). Množství mikroplastů ve sladkých vodách je však podle omezených informací srovnatelné s množstvím ve slaných vodách (Peng et al., 2017). Nejčastěji můžeme nacházet mikroplasty PE, PP, PS, PVC a PET. Nejhojněji se vyskytují ve formě fragmentů, vláken a fólií (Van Cauwenberghe et al., 2015).

Mikroplasty se do sladkých vod dostávají dominantně z čističek odpadních vod (dále jako ČOV) či jímek (Wagner & Lambert, 2018). Vlastnosti mikroplastů mohou být značně heterogenní. Například mikroplasty v odpadních vodách jsou silně kontaminovány organickým

obsahem a vyskytují se jako relativně velké kusy. V řekách a jezerech vyskytujících se v blízkosti oblastí s vysokou lidskou populací byla zjištěna vyšší koncentrace mikroplastů. (Eriksen et al., 2017). Oproti tomu v odlehlějších oblastech a horských sladkých vodách jsou téměř bez organického obsahu a pouhým okem sotva viditelné (Li et al., 2018).

Přestože ČOV dokáží odstranit až 95 % mikroplastů (Talvitie, 2014; Talvitie et al., 2017) a doplňkové terciární čištění může mít účinnost až 90 % k odstranění jemných částic o velikosti větší než 10 μm , dochází přesto k uvolňování značného množství mikroplastů do přírodních vod (Wardrop et al., 2016).

3.6.1 Znečištění vodního prostředí mikroplasty v České republice

Problematika znečištění vodního prostředí mikroplasty v ČR není doposud příliš probádána. Nicméně existují první studie, které se tímto tématem zabývají. Jedna z nich byla zpracována výzkumníky z Univerzity Karlovy a Masarykovy univerzity. Zaměřili se na přítomnost mikroplastů ve vodním ekosystému řeky Svatky, zejména v Brně a jeho okolí. Výsledky odebraných vzorků ukázaly, že mikroplasty jsou přítomny ve všech z nich. Nejvyšší koncentrace byla detekována v centru Brna. Mikroplasty se zde vyskytovaly zejména ve formě vláken, která se do řeky dostala pravděpodobně vlivem jejich uvolňování z praní syntetického textilu (Kuřitka et al., 2018).

Další studii realizovali výzkumníci z Centra výzkumu toxických látek (RECETOX) spadající pod Masarykovu Univerzitu. Zaměřili se na výskyt mikroplastů v celkem deseti rybnících po celé ČR. Sledovali jak odlehlé přírodní lokality, tak rybníky v sousedství průmyslových areálů a měst. Jejich analýzy odhalily přítomnost mikroplastových vláken a fragmentů ve vzorcích sedimentů odebraných ze dna všech zkoumaných rybníků. Vyšší koncentrace byla zaznamenána v rybnících v okolí zpracovatelských provozů a hustě osídlených oblastí. Dále se ukázalo, že některé druhy korýšů a larev hmyzu obývajících dno rybníků tyto mikroskopické částice požírají spolu s potravou ze sedimentu (Klačanová et al., 2020).

Studie vedena skupinou Greenpeace se orientovala na odběr vzorků z řeky Labe a Vltavy, konkrétně z měst Ústí nad Labem, Hřenska a Prahy. Vzorky byly analyzovány na Univerzitě v Exeteru ve Velké Británii. Laboratorní rozbory prokázaly přítomnost mikroplastových fragmentů ve všech odebraných vzorcích, nicméně jejich koncentrace nebyla příliš vysoká, průměrně činila 3,7 částic na litr. Nejvyšší počet částic byl zaznamenán u vzorku odebraného z vody vytékající z ČOV v Neštěmicích (Greenpeace Research Laboratories, 2019; Wimmerová, Henzlová, Lexa, 2021).

Další výzkum se zaměřil na kvantifikaci obsahu mikroplastových částic ve vodách vstupujících i vystupujících ze třech ČOV v ČR. Analýzy vzorků detekovaly nežádoucí částice ve všech odebraných vzorcích. Zajímavým zjištěním bylo, že jejich koncentrace byla ve vytékajících vodách z ČOV výrazně nižší, konkrétně v rozmezí 338 až 628 částic/litr. Zatímco v přitékajících vodách byl průměrný počet částic přibližně 1473 až 3605 na litr vody, což je v průměru o 83 % více (Pivokonsky a kol., 2018).

Wimmerová, Henzlová a Lexa (2021) realizovali studii, která se rovněž zabývala danou problematikou. V rámci studie byly analyzovány vzorky odebrané z vod na území města Chebu, jednalo se o dvě povrchové vody, dvě odpadní a jednu vodu pitnou. Rozbory opět prokázaly přítomnost mikroplastových částic ve všech odebraných vzorcích, včetně vzorku kontrolního, tzv. slepého vzorku. Nejnižší koncentrace byla detekována ve vzorku pitné vody, zatímco nejvyšší obsah vykazovala odpadní voda natékající do ČOV. Výsledky rovněž potvrdily poměrně vysokou účinnost čistíren při zachycování mikroplastů, a sice 83 %, což odpovídá hodnotám studie Pivonského a kol. (2018). Dále se zjistilo, že znečištění obou povrchových vod je srovnatelné spolu se slepým vzorkem, což dokazuje jeho důležitost při studiích tohoto typu (Wimmerová, Henzlová, Lexa, 2021).

Za nejnovějším výzkumem na území ČR stojí vědci Hornicko - geologické fakulty VŠB – TUO (Vysoká škola báňská - Technická univerzita v Ostravě) ve spolupráci se státním podnikem DIAMO. Zaměřili se na odběry vzorků z vod hluboko pod zemským povrchem, přibližně až do 700 metrů. Sledované lokality zahrnovaly důl Jeremenko situovaný v ostravské městské části Vítkovice, dále důl Žofie v Orlové-Porubě a pro účely srovnání také dvě mělké studně nacházející se nedaleko. Za pomoci mikrospektroskopie bylo u odebraných vzorků zjištěno, že mikroplastové částice byly přítomny na všech zkoumaných místech. Jednalo se zejména o úlomky PET, PE a PP a jejich počet se pohyboval mezi 2,5 až 20 mikroplasty v jednom litru vody (Chytilová, 2021). *“Vlákna byla nejčastějším tvarem a modrá byla nejrozšířenější barvou. Šířka částic se nejvíce pohybovala v rozmezí 1-50 μm a délka v rozmezí 100–500 μm ,”* přibližuje Kristina Čabanová z Katedry environmentálního inženýrství a Centra pokročilých inovačních technologií, VŠB-TUO. *„Naše výsledky potvrzují, že mikroplasty jsou součástí nejen prostých podzemních vod, ale i vod z hlubinných dolů. Jejich výskyt je v případě důlních vod z takové hloubky překvapivě výrazný, navíc srovnatelný s počtem částic mikroplastů nalezených ve vzorcích vod z hloubky cca 5 m, kde je pravděpodobnost kontaminace mikroplasty jistě vyšší,”* tvrdí Kateřina Brožová z Katedry environmentálního inženýrství HGF VŠB-TUO.

3.7 Dopad na živočichy

Vodní živočichové jsou ohroženi zejména tím, že mohou malé plastové částice snadno zaměnit s planktonem, který je pro ně přirozenou potravou. Do těla se dostávají buď skrze kůži nebo konzumací. V průběhu dýchání a krmení projde tělem některých živočichů až několik tisíc metrů křehlových vody, čímž se pravděpodobnost požití mikroplastů rapidně zvyšuje. Ryby ve sladkovodních i mořských ekosystémech pravidelně polykají mikroplasty, což způsobuje například poškození tkání, záněty, potíže s trávením a v důsledku i růstové abnormality (Foley et al., 2018). Řada studií prokazuje, že mikroplasty, zejména ty obsahující změkčovadla, mohou mít u různých sladkovodních i mořských druhů ryb napříč taxonomickými skupinami vliv na oxidativní stres. Ten se vyznačuje nadprůměrnou tvorbou reaktivních forem kyslíku (ROS – reactive oxygen species). ROS v těle živočichů mohou následně poškozovat důležité biomolekuly, jako jsou lipidy, proteiny a DNA, což vede k narušení buněčných funkcí a vede například k narušení reprodukčních orgánů (Rochman et al., 2013). Některé typy změkčovadel, jako jsou ftaláty, byly navíc identifikovány jako potenciální karcinogeny u zvířat. U ryb vystavených vysokým dávkám ftalátů byly pozorovány nádorové léze. (Liang et al., 2014). "Studie Rochman et al. (2014) zjistila, že expozice mikroplastům měla za následek zvýšené hladiny estrogenů a vitelogeninu u samčích mořských ryb. To může vést k feminizaci, snížené plodnosti a reprodukčním abnormalitám. Obojživelníci jako žába bylinná (*Lithobates catesbeianus*) (Shaw, 1802) vykazovali po konzumaci mikroplastů narušenou imunitu a zpomalený růst (Hu et al., 2021).

Polystyren, který je odolný vůči biodegradaci, se může v žaludku ryb hromadit a translokovat krevním oběhem (Avio et al., 2015). Zároveň platí, že čím menší je velikost fragmentů, které se mohou dostávat až do velikosti nanometrů, tím vyšší vznikají rizika narušení buněčných stěn, či membrán vyskytujících se v placentě a mozku živočichů (Machado, 2017).

Riziko vystavení se mikroplastům je spjato napříč celou živočišnou říší. Bezobratlí živočichové, jako jsou například mlži rodu *Mytilus* (*Mytilus spp*), kteří přijímají potravu filtrací vody, pozřou značné množství mikroplastů. To vede ke snížení jejich růstu, reprodukčních schopností a celkové kondice (Avio et al., 2015; Bour et al., 2018). Podobné negativní dopady byly pozorovány i u korýšů, například u raků rodu *Procambarus*. U červené krevety obecné (*Procambarus clarkii*), která byla původně popsána Girardem v roce 1852 (citováno dle Singh Ajwana & Pukhraj, 2021), se ingescí mikroplastů projevila sníženou plodností a vývojem vajíček (Qiao et al., 2019). Stejně tak hmyz, obzvláště vodní larvy, rovněž běžně konzumuje mikroplastové částice, což narušuje jejich metabolismus a vývoj (Al-Jaibachi et al., 2018).

Mezi druhy živočichů, které jsou existenčně ohroženi mikroplasty, patří například plážovka vejcorodá (*littorina littorea*) (Graham, 1988). Tento mořský plž hraje významnou roli v potravním řetězci u pláží a taktéž je velmi oblíbený jako delikatesa, zejména ve Francii. Přirozenými predátory plážovky jsou krabi. Když plážovka ucítí blízcího se kraba, její obrannou strategií je schování se do ulity, či pod kameny. Dle studií je dokázáno, že mikroplasty plážovkám způsobují poškození nervové soustavy. Vlivem toho plážovky nedokáží na blízcího se kraba zareagovat a stávají se jeho snadnou kořistí. Hovoří se dokonce o jejich postupném vyhynutí a tím i narušení celého potravního řetězce (Carrington, 2018).

V závislosti na velikosti plujícího plastu a velikosti živočicha, se setkáváme i s případy požití větších částí plastu. Mořské želvy například zaměňují plastové sáčky za medúzy či řasy, kterými se přirozeně živí (Lutcavage et al., 2017). V roce 2020 Jennifer Lynch a její výzkumný tým provedli studii, během které pitvali mořské želvy, které byly nalezeny uhynulé na plážích. Zkoumali celkem devět mláďat želvy obecné, která se vylíhla před méně než třemi týdny. Při pitvě jednoho z mláďat bylo v jeho trávicím traktu objeveno 42 kusů plastového odpadu, přičemž většinu tvořily mikroplastové částice. Ačkoli výzkumníci neměli přímé důkazy, že by ingesce plastového odpadu byla příčinou smrti těchto mláďat, nemohli vyloučit, že přítomnost těchto částic v jejich trávicím traktu mohla mít negativní vliv na jejich růst a vývoj (Lim, 2021).

Problém se netýká jen živočichů žijících ve vodním prostředí, ale také mořských ptáků. Například v žaludcích racků v oblasti Severního moře, bylo nalezeno v průměru 30 kusů na jedince (Rodríguez et al., 2012). Způsobů, jak se do nich plastové částice dostávají, je celá řada. Ať už z vody samotné, nebo z těl mořských živočichů, které ptákům často slouží jako potrava. Přítomnost plastu v trávicím systému může způsobit fyzické poškození, obstrukci nebo falešný pocit sytosti, což vede k podvýživě, hladovění a v některých případech i smrti. U uhynulých ptáků můžeme v místech jejich žaludku vidět pozůstatky pozřené plastu. Dále mohou plovoucí plasty do tkání ptáků vypouštět změkčovadla, která se zde koncentrují, a tím zhoršují reprodukční schopnost, imunitní systém a hormonální rovnováhu (Mathieu-Denoncourt et al., 2015). Podle Proctera et al. (2019) plasty vylučují dimethylsulfid (DMS), sloučeninu síry, která se poté slučuje s mořskými řasami. Bylo zjištěno, že DMS je pro některé druhy mořských ptáků látkou, zajišťující spouštěcí impuls k hledání jejich přirozené potravy, krillu. Jedná se zejména o ptáky z řádu trubkonosí, například albatrosy, nebo buňáky (Procter et al., 2019).

3.7.1 Mechanické působení

Mnoho mořských tvorů, včetně mořských želv, tuleňů, lachtanů, mořských ptáků, ryb, velryb, nebo delfinů, padnou za oběť opuštěnému rybářskému vybavení. Jedná se zejména o opuštěné rybářské sítě (Hammer et al., 2012), které za sebou rybáři většinou zanechají kvůli nepříznivému počasí, nebo nelegálnímu rybolovu. Mořští živočiši se do nich zamotávají a je pro ně obtížné se ze spárů sítí dostat (Gregory & Murray, 2009). V „lepší“ případě mohou živočichům způsobit tržné rány, vředy nebo infekce. V tom horším zemřou na udušení, vyhladovění, nebo se stávají snadnou kořistí pro případného predátora (Hammer & Kraak, 2012).

Vystavení plastům neunikne ani život na mořském dně. Z počátku nadnášející plastové předměty klesají na mořské dno a mají neblahý dopad na druhy, zdržující se v sedimentech. Taktéž již zmiňované sítě, které se mohou táhnout po dně vystavují zde žijící organismy nebezpečí a nejen je, ale mohou taktéž rapidně poškozovat korálové útesy (Gregory & Murray, 2009). Nepříznivě ovlivnit celkové zdraví korálů mohou i samotné mikroplasty. V konečném důsledku to může docházet k jejich blednutí, a dokonce až k úmrtí (Huang a kol., 2021).

Dalším příkladem plastu, do kterého se mohou organismy zamotat jsou tzv. six pack rings. Jedná se o šest plastových kruhů spojených do sebe. Jsou to prstence, které mají za úkol držet zejména nápoje v plechovkách pohromadě. Náchylní na uvíznutí v těchto kruhových okách, jsou především živočiši s menším tvarem hlavy nebo krku. Jedná se například o ryby, želvy, ale také mořské ptáky, kteří se noří do vody zobákem napřed, aby se nakrmili, přičemž se mohou do plastových kruhů zaklínit. To může způsobit neschopnost dýchání, krmění, létání a ve většině případech i smrt (Hammer & Kraak, 2012).

Znepokojující fotografie zapletených mořských ptáků a dalších živočichů do šestidílných kroužků vedla ke změnám plastového složení, aby se urychlil jejich rozpad v životním prostředí. Polymer lze během výroby chemicky změnit tak, aby absorboval UV – B záření ze slunce a během krátké doby se rozložil na velmi křehký materiál. Bohužel se tento způsob nepoužívá u sítí a vlasců a výsledné částice nejsou stále biologicky odbouratelné. (Gregory & Andrady, 2003).

Pivovarní společnost Saltwater Brewery, sídlící na pobřeží Floridy, přišla s inovativním nápadem. Místo klasických plastových prstenců na držení plechovek vyrábí biologicky rozložitelné, které jsou pro živočichy dokonce jedlé. Nové kroužky jsou vyrobeny z vedlejších pivních produktů, ječmene a pšenice. Cena piva s těmito prstenci je sice dražší, jelikož je nákladnější i jejich výroba, avšak kupce, kterému záleží na životním prostředí si jistě najde.

Pivovar doufá, že svým krokem inspiruje velké společnosti produkující nápoje k výrobě vlastních biologicky rozložitelných kroužků (McCarthy, 2016).

3.8 Vliv mikroplastů na zdraví člověka

3.8.1 Vystavení člověka mikroplastům

Existují dva hlavní způsoby, jak se mikroplasty mohou v lidském těle objevit. Dýcháním vzduchu a konzumací potravin. Studie Kwon et al. (2020) shrnula dosavadní poznatky o výskytu mikroplastů v potravinách. Jejich přehledová studie odhalila, že v kuchyňské soli může být obsaženo až 5 400 mikroplastových částic na jeden kilogram. Běžnější jsou však nižší koncentrace, typicky v řádech desítek či stovek částic/kg. Dále se studie zabývala tekutými potravinami, jako jsou pivo, mléko a med. I zde byly identifikovány obsahy mikroplastů dosahující několika stovek částic/l (Kwon et al., 2020).

Ve studii Hantoro et al. (2019) se zaměřili na analýzu 24 studií ze 6 kontinentů, které zkoumaly výskyt mikroplastů v různých druzích mořských plodů, zejména korýšů, měkkýšů a ryb. Ve všech zkoumaných vzorcích byly detekovány mikroplasty. U korýšů (krevety a krabi) bylo zaznamenáno 0,1 – 8,6 částic/g, u měkkýšů (ústřice a srdcovky) 0,07 – 5,5 částic/g a u ryb 0,03 – 9,6 částic/g.

Spotřeba na jedince je individuální a mění se v závislosti na stravovacích preferencích, věku, nebo pohlaví. V průměru by jeden člověk s jídlem a pitím mohl spotřebovat okolo 50 000 mikroskopických částic ročně, přičemž do tohoto čísla nejsou připočteny mikroplasty vstupující z dýchání vzduchu (Yee et al., 2021). Podle Kwona a kol. (2020), více než 50 % mikroplastů v potravinách tvoří PE, PP, PS a PET.

3.8.2 Vstřebávání mikroplastů v lidském organismu

I když lidský dýchací systém obsahuje mechanismy, které brání pronikání částic do hlubších částí dýchacího traktu, některé částice se tam přesto dostávají a mohou mít škodlivý vliv na naše zdraví v závislosti na jejich množství. Hlavním problémem jsou malé částice označené jako PM_{2,5} a PM_{1,0}, které jsou schopné proniknout hlouběji do dýchacího traktu, pokud mají správnou velikost a tvar. Chovají se jako prašný aerosol a mohou se stejně jako prach dostat až do plicních sklípků (Kwon et al., 2020).

Pokud se jedná o požití mikroplastů z potravin, či vody, většina z nich projde trávicím traktem a bývá vyloučena stolicí. Způsoby, jakými procházejí trávicím traktem zahrnují endocytózu a prabuněčnou persorpci. Pouze malé množství se dostává do krevního oběhu a rychle se následně vylučuje močí (Kožišek & Kazmarová, 2021).

3.8.3 Zdravotní dopady mikroplastů na člověka

I když důkazy prokazují přítomnost mikroplastů v potravinářských produktech a pitné vodě, stále neexistují vědecky podložené důkazy o vlivu mikroplastů v lidském těle po jejich požití, či vdechnutí (Wright & Kelly, 2017). Otázky jejich vlivu na lidský organismus zůstávají nadále otevřené, například zda mikroplasty hrají roli ve vývoji rakoviny (Erren et al., 2015).

Spekuluje se, že mikroplasty, které jsou menší než 150 μm se po pozření mohou přemístit ze střevní dutiny do lymfatického a oběhového systému a způsobit systémovou expozici. Adsorpce těchto částic by však měla být omezená. Pouze mikroplasty o velikosti zhruba 20 μm a méně, by mohly proniknout přes buněčné stěny a mít fatální vliv na zdraví jedince (Wright & Kelly, 2017). Některé studie poukazují na možnou spojitost mezi hladinou mikroplastů a zkoumaným onemocněním. Studie Yan et al. (2022) zkoumala vztah mezi přítomností mikroplastů a výskytem idiopatických střevních zánětlivých onemocnění, jako je Crohnova choroba a ulcerózní kolitida. Výsledky naznačily, že existuje souvislost mezi množstvím mikroplastů nalezených ve stolici pacienta a závažností jeho onemocnění. Konkrétně bylo zjištěno, že ve stolici nemocných osob se vyskytovalo průměrně 41,8 částic mikroplastů na gram, zatímco ve stolici zdravých jedinců to bylo 28,0 částic na gram.

3.9 Detekce mikroplastů ve vodním prostředí

S narůstajícím zájmem o výzkum mikroplastů v životním prostředí se zvyšuje i rozmanitost metod jejich detekování. Detekce mikroplastů spočívá v první řadě odběrem vzorků, následuje jejich vyčištění a extrakce. Získané částice poté čeká identifikace (Rocha-Santos & Duarte, 2015). Pro identifikaci mikroplastů v prostředí dnes existuje řada metod a způsobů. Řadí se mezi ně mikroskopie, spektroskopie a termická analýza. Mikroskopická analýza spočívá v ruční identifikaci a kvantifikaci částic menších než mikrometr za pomoci optických mikroskopů. Mezi její výhody patří nízkonákladovost analýzy vzorku a jednoduchost. Nevýhodou této metody je časová náročnost, poměrně nízká spolehlivost a přesnost a také nutná kombinace s některou další identifikační metodou pro získání bližší specifikace vzorku (Woo a kol., 2021). K detekování mikroplastů pomocí spektroskopie se využívá schopnost látek pohlcovat a odrazovat elektromagnetické záření. Nejběžnějšími používanými spektroskopickými technikami jsou FTIR (z angl. Fourier-transform infrared spectroscopy) neboli Infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací a Ramanova spektroskopie. Mezi hlavní nevýhodu metody FTIR je nedostatečná možnost identifikace mikroplastů nepravidelného tvaru a

rozeznání částic pouze do velikosti 500 μm , zatímco Ramanova spektroskopie dokáže detekovat částice až do velikosti 1 μm (Jin a kol., 2022).

Termická analýza představuje soubor technik, které sledují proměny fyzikálních a chemických vlastností polymerních materiálů v závislosti na změnách teploty. Na rozdíl od mikroskopických a spektroskopických přístupů nabízí termická analýza možnost zpracovat větší objemy vzorků najednou. Její nevýhodou však je, že umožňuje pouze kvalitativní identifikaci mikroplastových částic, nikoli jejich kvantitativní stanovení (Woo et al., 2021).

3.10 Nakládání s plastovým odpadem

3.10.1 Skládání

Skládání plastového odpadu představuje jednu z nejrozšířenějších metod nakládání s plasty. Odhaduje se, že až 55 % celosvětové produkce plastového odpadu končí na skládkách (Ferdous, 2021). Plasty uložené na skládkách podléhají pomalému rozkladu, který může trvat stovky let. Během tohoto procesu dochází k uvolňování toxických látek, jako jsou aditiva, změkčovadla a další chemikálie, které se do polymerů přidávají pro zlepšení jejich vlastností. Zmíněné látky mohou v okolí skládky kontaminovat půdu i podzemní a povrchové vody (Doležal et al., 2019). Problematika skládání plastového odpadu úzce souvisí s uvolňováním mikroplastů do životního prostředí. Během již zmíněného pomalého rozkladu plastů dochází k jejich fragmentaci a uvolňování (Zhang et al., 2020). Mikroplasty se ze skládek mohou šířit a dostávat do prostředí několika cestami, například vzdušnou cestou, kdy větrná eroze může částice roznášet až do vzdáleného okolí skládky. Dále pak vodní cestou, kdy se mikroplasty mohou vyplavovat spolu se skládkovými vodami a v poslední řadě biologickým přenosem, při kterém jsou mikroplasty konzumovány živočichy a následně přenášeny potravním řetězcem (Huerta Lwanga et al., 2017 ; He et al., 2018).

3.10.2 Recyklace

Recyklace je nejlepší způsob, jakým lze s plastovým odpadem nakládat, jelikož nám umožňuje plasty znovu použít, snižuje množství produkovaného odpadu a zabraňuje tomu, aby plasty unikly do ekosystému. Recyklace je jednoduchý proces. Pokud máme k dispozici technologie pro výrobu, můžeme je použít taktéž na recyklaci, jelikož tyto procesy jsou velmi podobné (Kizlink, 2017).

Způsobů recyklací je více, nejzákladnějším je mechanická recyklace. V první řadě se na pásu třídící linky vyberou PET lahve, plastové fólie, kelímky a obaly od kosmetických a čistících

přípravků. Ty se následně rozdrťí na menší částice, které se properou ve vodě. Účelem je odstranění nečistot, kterými jsou zbytky potravin, tekutin, lepidla atd. Vyčištěné částice se následně roztaví a vytvoří se z nich směs, která se tepelně upraví a je vtlačována do kovových forem, podle svého dalšího využití. Hotové výrobky putují ke svým odběratelům. Někteří odběratelé odebírají i částice rozdrčeného plastu před jeho roztavením (Hopowell et al., 2009). Chemická recyklace plastů zahrnuje několik konkrétních metod, které umožňují rozložit polymerní řetězce na menší molekuly, známé jako monomery nebo oligomery. Tato depolymerace poskytuje cesty pro opětovné využití plastových odpadů, které nelze efektivně recyklovat mechanickými procesy. První metodou je hydrolyza polyesterů, mezi které řadíme zejména PET. Ta využívá horkou vodu, nebo vhodné roztoky kyselin a zásad k rozštěpení polymerních vazeb a získání monomerů, jako jsou ethylenglykol a kyselina tereftalová (Lopez et al., 2015). Další metodou depolymerace polyesterů je glykolýza. Při ní se používají vícesytné alkoholy, jako jsou ethylen- a propylenglykol, spolu s katalyzátory za vzniku bis(hydroxalkyl) monomerů (Al-Sabagh et al., 2016). Možným řešením je také metanolýza PET, které probíhá v metanolu, často za přítomnosti katalyzátorů, a vede k produkci dimethyltereftalátu a ethylenglykolu (Lopez et al., 2015).

Termický rozklad plastů bez přístupu kyslíku za vysokých teplot (obvykle 300-900 °C) představuje termická depolymerizace, zvaná též jako pyrolýza. Umožňuje rozložit řadu polymerů, jako jsou PE, PP, PS a PVC, na nižší uhlovodíky ve formě plynů (metan, etan, propan, butan), pevného zbytku a kapalin (benzín, nafta, oleje), které se následně využívají jako paliva (Anuar Sharuddin et al., 2016). Pyrolýza výrazně snižuje objem plastových odpadů, které by jinak skončily na skládkách, nebo ve spalovnách (Lopez et al., 2015). Zároveň může být navržena jako energeticky soběstačný, či dokonce přebytečný proces, kdy část produkovaných plynů a kapalin slouží jako palivo pro udržení tepelného procesu. Dodržení energetické soběstačnosti však závisí na řadě faktorů, jako je složení vstupních plastových odpadů, použitá technologie pyrolýzy, provozní podmínky (teplota, rezidenční doba atd.) a v neposlední řadě také energetická integrace celého systému a efektivní využití produktů jako paliva (Anuar Sharuddin et al., 2016).

3.11 Odstraňování plastů

3.11.1 Spalování

Spalování plastů dochází při vysokých teplotách (800-1400 °C) za přístupu vzduchu. Tento proces umožňuje redukci objemu a hmotnosti plastového odpadu až o 90 % (AI – Salem et al.,

2009). Při spalování dochází k řadě chemických reakcí, při níž se organické materiály rozkládají za uvolňování energie, oxidu uhličitého, vody a řady dalších vedlejších produktů, například oxidy dusíku, oxid siřičitý, oxid uhelnatý, polycyklické aromatické uhlovodíky, perzistentní organické populanty a také skleníkové plyny (Verma et al., 2016). Podle OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) se z celosvětové produkce plastového odpadu spaluje 25 % (OECD, 2022).

Značnou obavou je také tvorba mikroplastů, které mohou vznikat nedokonalým spálením nebo rozpadem větších plastových částic při extrémních teplotách (Peng et al., 2018). K úniku mikroplastů do životního prostředí může dojít i při recyklačním procesu, záleží na odolnosti daného plastového materiálu (Nechvátal & Klouda, 2021).

3.11.2 Fyzické odstraňování plastů

Způsobů, jak zamezit dostávání se plastu do oceánu je celá řada. Například úklidy pláží prováděné dobrovolnými skupinami zvyšují povědomí široké veřejnosti o problému s plastovým odpadem, nejsou však tolik časté a nezastaví příliv odpadků (Hurley et al., 2022). Na Severozápadních Havajských ostrovech vynakládá organizace National Oceanic and Atmospheric Administration 2 miliony amerických dolarů ročně na odstranění 50–60 tun opuštěných rybářských sítí a zařízení ve snaze zachránit kriticky ohroženého tuleně havajského, z nichž se více než 200 zamotalo od doby, kdy byly vedeny záznamy (Moore, 2008).

V Indonésii a jiných zemích slouží sběr plastu z pláží a zátok místními obyvateli jako zdroj obživy. Organizací zajišťující tento sběr je například Ocean – Waste. Většina pracovníků této organizace jsou místní, kteří byli dříve orientováni na sběr mušlí, ten jim však vydělával dvakrát méně peněz než sběr plastových výrobků. Nyní mají dokonce základní plat a měsíční bonus za každé kilo plastu (Hurley et al., 2022).

3.12 Metody odstraňování mikroplastů

3.12.1 Filtry

Filtry pro zachytávání mikroplastů jsou považovány za klíčové řešení pro omezení šíření mikroplastového znečištění do životního prostředí (Hantoro et al., 2019). Rozšířenou technologií jsou filtry pískové, které se široce využívají v ČOV k odstraňování suspendovaných částic včetně částí mikroplastů. (Zhang et al., 2020). Talvitie et al. (2017) zkoumali účinnost pískových filtrů a zjistili, že mohou odstranit 90 – 95 % mikroplastů ze surové (nezpracované přírodní) vody o velikosti do 100 μm .

Dalším typem filtrů jsou tkaninové a síťové. Skládají se z jemných vláken nebo sítí s malými oky zachytávajícími částice nad určitou velikost (Masura et al., 2015). Studie provedená Masurou et al. (2015) testovala schopnost zachytit mikroplastové částice pomocí polypropylenového síťového filtru s velikostí ok 333 μm . Bylo zjištěno, že filtr byl schopen odstranit více než 98 % mikroplastů větších než 500 μm z odpadních vod (Masura et al., 2015).

3.12.1.1 Reverzní osmóza

Reverzní osmóza je proces separace, při kterém je využíván membránový proces k odstranění rozpuštěných pevných látek, organických látek a nerozpustných částic vody. Využívá se například při odsolování mořské vody, rovněž se tento proces stal velmi účinnou technologií při odstraňování mikročástic z vodního prostředí (Talvitie et al., 2017). Proces reverzní osmózy zahrnuje aplikaci tlaku na koncentrovaný roztok na jedné straně polopropustné membrány, což způsobí, že část rozpouštědla (voda) proteče membránou, zatímco rozpuštěné pevné látky, obsahující mikroplasty, budou zadrženy (Nguyen et al., 2017). Studie Enfrina et al. (2020) zkoumala účinnost kombinované technologie fotokatalýzy a membránové destilace pro odstranění mikroplastů a mikrokopulantů z odpadních vod. Fotokatalýza využívající oxid titaničitý byla použita k počáteční degradaci organických mikrokopulantů, následovaná membránovou destilací pro separaci mikroplastů. Experimenty ukázaly, že reverzní osmóza jako závěrečný krok tohoto hybridního procesu dokázala odstranit 99,9 % mikroplastových částic z roztoku. Jedná se o částice větší než 0,0001 mikrometrů, jelikož každá reverzní osmóza je vybavena osmotickou membránou o pórech do této velikosti. Důležité je rovněž poznamenat, že tento proces spotřebovává značné množství energie, lze použít pouze na předem předčištěnou vodu a vyžaduje pravidelnou výměnu a čištění membrán. I přes tyto nevýhody je ale reverzní osmóza velmi účinnou a často využívanou metodou k odstraňování mikroplastů z vod (Poerio et al., 2019).

3.12.2 Aktivovaný kal

Jedná se o mechanismus směsných kultur mikroorganismů udržovaných v aktivovaném stavu provzdušňováním a míšením v nádržích s odpadní vodou (Iyamu et al., 2020). Tato biomasa mikroorganismů se podílí na odstraňování mikroplastů několika způsoby. Zaprvé, některé bakterie a houby přítomné v aktivovaných kalcích dokáží produkovat enzymy schopné štěpit a rozkládat zejména typy mikroplastů na bázi přírodních polymerů, jako jsou polyhydroxyalkanoáty, polyaktidy nebo polysacharidy. Tento proces se nazývá biodegradace mikroplastů (Dudková et al., 2021). Dále mají mikroplasty díky velkému povrchu schopnost

adsorbovat na svůj povrch organické i anorganické látky (He et al., 2018). V aktivovaných kalech tak může docházet k navázání mikroplastových částic na biomasu aktivovaného kalu, která je poté odstraněna sedimentací kalu. Na povrchu mikroplastů se rovněž mohou tvořit biofilmy složené z mikroorganismů, které pak mohou být likvidovány společně s mikroplasty pomocí separace biomasy. (Iyamu et al., 2020). Mikroorganismy v aktivovaných kalech také produkují extracelulární polymerní látky, které napomáhají flokulaci neboli vločkování a sedimentaci mikroplastů spolu s biomasou (Luo et al., 2020).

Účinnost těchto mechanismů závisí na složení aktivovaných kalů, provozních podmínkách čistírny a vlastnostech konkrétních druhů mikroplastů, zejména jejich velikosti, tvaru a chemickém složení (Sun et al., 2019). Obecně se proces s aktivovanými kaly považuje za účinný při mikroplastech větších než přibližně 100 μm (Lares et al., 2018).

3.13 Možnosti minimalizace dopadů plastového znečištění

Hlavními zdroji plastového znečištění jsou zejména odpadní vody z průmyslových podniků a kanalizací, dále pak neřízené skládky odpadu, zvláště v rozvojových zemích. Proto je nezbytné budovat systémy pro sběr, třídění a recyklaci plastů, zejména v chudších zemích. (UNEP, 2021). Je důležité rozšiřovat programy sběru odpadků z vodních toků, které zabrání transportu plastů do oceánů. Zásadní je také důsledné vymáhání zákazů vypouštění odpadů z lodí a průmyslových provozů u pobřeží. Prevence a správné nakládání s odpady jsou klíčové, stávající znečištění je však třeba aktivně odstraňovat (Heidbreider et al., 2022).

Vědci intenzivně pracují na vývoji materiálů biodegradovatelných v přírodě bez negativních dopadů. Zkouší se využití speciálních enzymů, bakterií a hub urychlujících rozklad plastů (Narancic et al., 2018). Zkoumají se i metody pro efektivní recyklaci znečištěných plastů a separaci nebezpečných aditiv jako změkčovadla či pojiva. Klíčový je rovněž výzkum způsobů odstraňování mikroplastů z tkání živočichů určených pro lidskou konzumaci. (McIlgorm et al., 2008).

Řešení plastové krize v oceánech vyžaduje globální koordinovaný přístup. Proto Národní akademie věd USA vyzvala k vytvoření nové mezinárodní smlouvy, která by plastový odpad regulovala od výroby až po nakládání s odpady. Taková smlouva by měla obsahovat závazné cíle a časové plány pro omezení spotřeby plastů (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2022). Státy by měly spolupracovat na společných monitorovacích misích, čištění zamořených oblastí a sdílení informací o efektivních technologiích. Vyspělé země by

měly rozvojovým zemím poskytovat technickou a finanční podporu k vybudování funkčních systémů nakládání s odpady (McIlgorm et al., 2008).

Situace vyžaduje systematické kroky směřující k cirkulární ekonomice plastů a přechodu na plně recyklovatelné a přírodě blízké materiály. Pouze tak lze účinně ochránit mořský ekosystém před dopady plastového znečištění (Hurley et al., 2022). Lidstvo si musí uvědomit naléhavost tohoto problému a společně usilovat o řešení. Úspěch bude záviset na mezinárodní spolupráci, zodpovědném přístupu vlád, firem i každého jednotlivce (Lau et al., 2020).

3.14 Legislativní zásahy

3.14.1 Směrnice EU o obalech a odpadech z obalů

V prosinci 1994 byla Evropskou unií vydána Směrnice o obalech a odpadech z obalů. Ta klade přímou odpovědnost a cíle snížení obalového odpadu na všechny výrobce, dovozce a distributory výrobků na trhu EU. Aby výrobci, dovozci a distributoři splnili požadavky této legislativy, musí buď vyvinout svůj vlastní systém zpětného odběru, nebo se připojit k průmyslově řízeným neziskovým organizacím, jako je Green Dot, aby sbírali, třídili a recyklovali použité obaly. Green Dot je v současnosti standardním programem zpětného odběru v 19 evropských zemích a v Kanadě (McDonough & Braungart, 2010).

3.14.2 Směrnice EU o plastech na jedno použití

Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2019/904 omezující dopad určitých plastových výrobků na životní prostředí byla implementována prostřednictvím zákona č. 243/2022 Sb. Cílem této směrnice je minimalizovat negativní vliv vybraných plastových výrobků na zejména vodní ekosystémy, pomocí inovativních a udržitelných modelů, výrobků a materiálů. Tento zákon zakazuje uvádět na trh plastové příbory, talíře, brčka, plastové tyčky k balónkům, vatové tyčinky, nápojová míchátky a další plastové výrobky (Směrnice EU 2019/904).

3.14.3 Rezoluce OSN

V březnu roku 2022 země z celého světa učinily významný krok k ukončení hromadění plastového odpadu. Shromáždění OSN pro životní prostředí jednomyslně odsouhlasilo vypracování právně závazné smlouvy o ukončení plastového znečištění a přijalo jedno z nejambicióznějších ekologických opatření na světě od Montrealského protokolu z roku 1989,

který účinně odstraní látky poškozující ozonovou vrstvu. Přijatá rezoluce OSN nastiňuje vývoj rozsáhlé smlouvy, která umožňuje globální pravidla a povinnosti po celý životní cyklus plastů. To požene národy, podniky a společnost k odpovědnosti za odstranění plastového znečištění z našeho prostředí.jednání v průběhu příštích dvou let pomohou stanovit, jaké ambice bude do smlouvy zahrnuty. (World Wildlife Fund, 2022).

4 Závěr

Znečištění vodních ekosystémů plasty a mikroplasty představuje globální výzvu, které v současnosti čelíme. Tato práce poukázala na rozsah a závažnost dané problematiky a nastínila možná řešení směřující k minimalizaci negativních dopadů.

Nejpoužívanějším typem plastů je polyethylen, který slouží například k výrobě potravinových obalů a sáčků. Těch se v plastovém odpadu v oceánech vyskytuje nejvyšší množství. Rozklad plastů je obecně časově náročný, ve vodním prostředí je však značně zpomalen vlivem nízkých teplot, nedostatku kyslíku, UV záření, a nízké hydrolytické aktivity. Mikroplasty se tak akumulují ve všech složkách vodních ekosystémů od povrchových vod přes sedimenty až po organismy. Vystavení těmto částicím může negativně ovlivnit fyziologii, růst, chování a reprodukci vodních živočichů napříč potravním řetězcem. Potenciální rizika pro lidské zdraví jsou zatím spíše ve fázi výzkumu.

Studie realizované v České republice i celosvětově potvrzují přítomnost mikroplastů ve vodách všech forem - odpadních, povrchových a dokonce i podzemních. Jejich výskyt byl zaznamenán až 700 metrů pod zemí a to právě na území ČR vědci Hornicko - geologické fakulty VŠB – TUO (Vysoká škola báňská - Technická univerzita v Ostravě).

Řešení této krize vyžaduje komplexní přístup. Klíčová je prevence dalšího znečišťování skrze omezování výroby plastů, rozšiřování recyklace a využívání udržitelných alternativ, například využití bakterií a enzymatického rozkladu. Nezbytné jsou rovněž účinné systémy sběru a zpracování odpadů, zejména v rozvojových zemích. S rostoucí poptávkou po monitorování znečištění mikroplasty bude nutné zdokonalit stávající metody a vyvinout nové metodiky, aby se zkrátila doba a úsilí identifikace.

Závěrem je třeba zdůraznit, že úspěch v boji proti plastové krizi závisí na koordinované mezinárodní spolupráci, zodpovědném přístupu vlád i občanů a aplikaci legislativních opatření reflektujících naléhavost tohoto problému. Pouze komplexními a cílenými kroky můžeme ochránit naše vodní ekosystémy před dalším poškozováním plasty.

Práce dle mého názoru splnila cíle, které si zadala. Zasloučila čtenáře do celkové problematiky. Shrnula negativní dopady plastového a mikroplastového znečištění ve vodních ekosystémech jak v globálním měřítku, tak se zaměřením na Českou Republiku. Nastínila taktéž možnosti minimalizace dopadů a možná řešení k úspěšnému boji proti plastovému znečištění vodních ekosystémů.

5 Seznam použité literatury

Al-SABAGH, A. M., Yehia, F. Z., Eshaq, Gh., Rabie, A. M., & ElMetwally, A. E. (2016). Glycolysis of poly(ethylene terephthalate) waste for recycling of value-added product. *Egyptian Journal of Petroleum*, 25(1), 115-123. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2015.03.009>

ANDRADY, A. L., & Neal, M. A. (2009). Applications and societal benefits of plastics. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 1977–1984. <http://doi.org/10.1098/rstb.2008.0304>

ANDRADY, Anthony L. Microplastics in the marine environment. *Marine pollution bulletin*, 2011, 62.8: 1596-1605.

Anuar Sharuddin, S. D., Abnisa, F., Wan Daud, W. M. A., & Aroua, M. K. (2016). A review on pyrolysis of plastic wastes. *Energy Conversion and Management*, 115, 308-326. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.02.037>

ASANTHAKUMARI, R. a A. PENNING. *Synthesis, Properties, and Applications of Polymers from Sustainable Resources*. Wiley, 2021. ISBN 978-3527345175.

AVIO, C. G., Gorbi, S., & Regoli, F. (2015). Experimental development of a new protocol for extraction and characterization of microplastics in fish tissues: first observations in commercial species from Adriatic Sea. *Marine Environmental Research*, 111, 18-26.

BARNES, D. K. A., Galgani, F., Thompson, R. C., & Barlaz, M. (2009). Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 1985–1998. <http://doi.org/10.1098/rstb.2008.0205>

BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery*. Paramo, 2016. ISBN 978-80-7064-016-3.

BIRON, Michel. *Industrial Plastics Theory and Applications*. Cengage Learning, 2017. ISBN 978-3662543119.

BOUCHER, J., & Friot, D. (2017). Primary microplastics in the oceans: a global evaluation of sources. Gland, Switzerland: IUCN.

BOUR, A., Avio, C. G., Gorbi, S., Regoli, F., & Hylland, K. (2018). Presence of microplastics in benthic and epibenthic organisms: influence of habitat, feeding mode and species. *Environmental Pollution*, 243, 1217-1225.

BRIASSOULIS, D., Babou, E., Hiskakis, M., & Kyrikou, I. (2015). Analysis of long-term degradation behaviour of polyethylene mulching plastic films with pro-oxidants under natural and elevated temperature and exposure conditions. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(4), 2907-2929.

CARRINGTON, Damian. Microplastic toxins leave shellfish at mercy of predators - research. *The Guardian* [online]. 2018 [cit. 2023-02-21]. Dostupné z: <https://www.theguardian.com/environment/2018/nov/28/microplastic-toxins-leave-shellfish-at-mercy-of-predators-research>

CRAWFORD, CB a Quinn, B. (2017) Výroba plastů, odpady a legislativa. In: Crawford, CB a Quinn, B., Eds., *Microplastic Pollutants*, Elsevier Science, Amsterdam, 39-56. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809406-8.00003-7>

CRAWFORD, R. J. *Plastics Engineering*. 3rd ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1998. ISBN 978-0-7506-3764-1.

DE FALCO, Francesca. *Environmental Pollution*, Evaluation of microplastic release caused by textile washing processes of synthetic fabrics. [online]. 2018 [cit. 2023-02-22]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749117309387>

DING, J., et al. (2020). Concentrated distribution of buoyant microplastics in the western Indian Ocean. *Science Advances*, 6(49).

DOLEŽAL, P., Horáková, M., & Vosáhlová, S. (2019). Plasty a jejich recyklace. *Chemické listy*, 113(4), 223-231.

DUDKOVÁ, V., Cupáková, Š., Studenka, B., & Makovcová, J. (2021). Mikroplasty a možnosti jejich odstranění z odpadních vod. *Vodní hospodářství*, 71(2), 4-9.

DUCHÁČEK V.: *Polymery - výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. 2. vyd. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2006. Str. 065. ISBN 80-7080-617-6

EBEWELE, Robert O. *Polymer Science and Technology*. CRC Press, 2000. ISBN 978-0849381638.

ENFRIN, Marie et al. Kinetic and mechanical aspects of ultrafiltration membrane fouling by nano- and microplastics. *Journal of Membrane Science*, 2020, 601: 117890.

ERIKSEN, Marcus, et al. Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes. *Marine pollution bulletin*, 2013, 77.1-2: 177-182.

EVROPSKÝ PARLAMENT A RADA EVROPSKÉ UNIE. Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2019/904 ze dne 5. června 2019 o omezení dopadu některých plastových výrobků na životní prostředí [online]. EUR-Lex [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2019/904/oj>

FENICHELL, Stephen. *Plastic: the making of a synthetic century*. New York: HarperCollins, 1996. ISBN 0-88730-732-8.

FERDOUS, Wahid a kol. 2021. Recycling of landfill wastes (tyres, plastics and glass) in construction – A review on global waste generation, performance, application and future opportunities. *Resources, Conservation and Recycling*. 173. ISSN 0921-3449. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105745>

FOLEY, C. J., Feiner, Z. S., Malinich, T. D., & Höök, T. O. (2018). A meta-analysis of the effects of exposure to microplastics on fish and aquatic invertebrates. *Science of The Total Environment*, 631, 550-559.

FREIDINGER, Jan. Co jsou mikroplasty a proč je musíme omezit [online]. 2018 [cit. 2023-02-21]. Dostupné z: <https://www.greenpeace.org/czech/clanek/894/co-jsou-mikroplastya-proc-je-musime-omezit/>

GOOD, T. P., June, J. A., Etnier, M. A., & Broadhurst, G. (2010). Derelict fishing nets in Puget Sound and the Northwest Straits: Patterns and threats to marine fauna. *Marine Pollution Bulletin*, 60(1), 39-50.

GRAHAM, Alastair. *Molluscs: Prosobranchs and Pyramidellid Gastropods: Keys and Notes for the Identification of the Species*. Brill Archive, 1988.

GREGORY, Murray R. Environmental implications of plastic debris in marine settings—entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2009, 364.1526: 2013-2025.

HAMMER, Jort; KRAAK, Michiel HS; PARSONS, John R. Plastics in the marine environment: the dark side of a modern gift. *Reviews of environmental contamination and toxicology*, 2012, 1-44.

HANG, Y., Kang, S., Allen, S., Allen, D., Gao, T., & Sillanpää, M. (2020). Atmospheric microplastics: A review on current status and perspectives. *Earth-Science Reviews*, 203, 103118.

HURLEY, Rebecca et al. Tackling Plastic Pollution: Legislating the Transition to a Circular Plastics Economy. World Resources Institute, 2022. Dostupné z: <https://files.wri.org/d8/s3fs-public/tackling-plastic-pollution.pdf>

HANTORO, I., Lohr, A. J., Van Belleghem, F. G. A. J., Widianarko, B., & Ragas, A. M. J. (2019). Microplastics in coastal areas and seafood: implications for food safety. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 36(5), 674-711. <https://doi.org/10.1080/19440049.2019.1585581>

HARPER, Charles A. *Handbook of plastics, elastomers, and composites*. McGraw-Hill Education, 2002.

HARPER, Charles A., ed. Handbook of plastics technologies: the complete guide to properties and performance. New York: McGraw-Hill, 2006. ISBN 0-07-145857-1.

HE, D., Luo, Y., Lu, S., Liu, M., Song, Y., & Lei, L. (2018). Microplastics in soils: Analytical methods, pollution characteristics and ecological risks. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 109, 163-172.

HO, B. T., Roberts, T. K., & Lucas, S. (2018). An overview on biodegradation of polystyrene and modified polystyrene: The microbial approach. *Critical reviews in biotechnology*, 38(2), 308-320.

LWANGA Huerta, E., Vega, J. M., Quej, V. K., del Cid, A., Segura, G. E., Cho, S., ... & Geissen, V. (2017). Field evidence for transfer of plastic debris along a terrestrial food chain. *Scientific Reports*, 7(1), 1-7.

HUANG, Wei a kol. 2021. Microplastics in the coral reefs and their potential impacts on corals: A mini-review. *Science of The Total Environment*. 762. ISSN 0048-9697. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143112>

CHANDA, Manas a Salil K. ROY. *Plastics Technology Handbook*. 4th ed. Boca Raton: CRC Press, 2007. ISBN 978-0-8493-7826-5.

IVAMU, I., Okonkwo, J., & Rampedi, I. (2020). Microplastic removal in wastewater treatment plants and assessment of their activities on activated sludge. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(35), 43883-43899.

Jenna R. JAMBECK et al. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science* 347, 768-771 (2015). <https://doi.org/10.1126/science.1260352>

JIN, Meiqing a kol. 2022. Current development and future challenges in microplastic detection techniques: A bibliometrics-based analysis and review. *Science Progress*. 105(4). Dostupné z: <https://doi.org/10.1177/00368504221132151>

KANNANKAI, Madhuraraj P. a kol. 2022. Machine learning aided meta-analysis of microplastic polymer composition in global marine environment. *Journal of Hazardous Materials*. 440. ISSN 0304-3894. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129801>

Kane, I. A., Clare, M. A., Mazzini, A., Tomas, H., Cassidy, M., Steinführer, A., ... & Hubscher, C. (2020). Microplastics in marine sediments near the Antarctic Peninsula. *Nature*, 588(7837), 327-331. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2149-4>

KIZLINK, Juraj. *Nakládání s odpady*. Vyd. 2., upr. Brno: Fakulta chemická VUT v Brně, 2012. ISBN-978-80-214-4413-3.

Kole, P. J., Löhr, A. J., Van Belleghem, F. G. A. J., & Ragas, A. M. J. (2017). Wear and tear of tyres: A stealthy source of microplastics in the environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(10), 1265. <https://doi.org/10.3390/ijerph14101265>

KOŽÍŠEK, František a Helena KAZMAROVÁ. *Mikroplasty v životním prostředí a zdraví. Vodní hospodářství*. 2021.

KUŘITKA, I., Bulková, E., Puchnar, J., Bříza, J., Maršálková, E., Masařík, M., ... & Koutník, V. (2018). Výskyt mikroplastů ve vodním prostředí. *Waste Forum*, (2), 111-117.

KUTZ, Myer. *Applied Plastics Engineering Handbook: Processing, Materials, and Applications*. 2nd ed. William Andrew, 2017. ISBN 978-0323390408.

KWON, Jung-Hwan et al. "Microplastics in Food: A Review on Analytical Methods and Challenges." *International journal of environmental research and public health* vol. 17,18 6710. 15 Sep. 2020, doi:10.3390/ijerph17186710

KYRIKOU, I., & Briassoulis, D. (2007). Biodegradation of agricultural plastic films: A critical review. *Journal of Polymers and the Environment*, 15(2), 125-150.

LARES, M., Ncibi, M. C., Sillanpää, M., & Sillanpää, M. (2018). Occurrence, identification and removal of microplastic particles and fibers in conventional activated sludge process and advanced MBR technology. *Water Research*, 133, 236-246.

LAU, Winnie W Y et al. "Evaluating scenarios toward zero plastic pollution." *Science (New York, N.Y.)* vol. 369,6510 (2020): 1455-1461. doi:10.1126/science.aba9475

LE GUERN, Claire. When the mermaids cry: the great plastic tide. *Santa Anguila Foundation*, 2018.

LEBRETON, Laurent, et al. Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic. *Scientific reports*, 2018, 8.1: 1-15.

LIANG, K., Srognathis, C., Nahar, M.S., Khan, R.A., 2014. Phthalates: Dealing with the effects in freshwater and marine organisms. *Aquatic Toxicology* 150, 67-75. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2014.02.019>

LOPEZ, G., Artetxe, M., Amutio, M., Bilbao, J., & Olazar, M. (2015). Thermochemical routes for the valorization of waste polyolefinic plastics to produce fuels and chemicals. A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, 346-368. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.142>

LUO, Y. M., Wang, B., Li, H. J., & Zhou, Y. (2020). Role of extracellular polymeric substances in removal of microplastics via adsorption and flocculation. *Environmental Science & Technology Letters*, 7(11), 836-842.

LUTCAVAGE, M. E., et al. The biology of sea turtles. *Human Impacts on Sea Turtle Survival*. *CRC Press, Boca Raton, FL*, 1997, 387-409.

MACHADO, A. A. (2017). Nanoplastics: The Unseen Threat. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 20(1), 14-16.

MASURA, J., et al. (2015) Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments.

Silver Spring, MD, NOAA Marine Debris Division, 31pp. (NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-48). DOI: <http://dx.doi.org/10.25607/OBP-604>

MATHIEU-DENONCOURT, Justine, et al. Plasticizer endocrine disruption: Highlighting developmental and reproductive effects in mammals and non-mammalian aquatic species. *General and comparative endocrinology*, 2015, 219: 74-88.

MCDONOUGH, William; BRAUNGART, Michael. *Cradle to cradle: Remaking the way we make things*. North point press, 2010.

MCILGORM, A., Campbell, H. F., & Rule, M. J. (2008). Understanding the economic benefits and costs of controlling marine debris in the APEC region (MRC 02/2007). A report to the Asia-Pacific Economic Cooperation Marine Resource Conservation Working Group by the National Marine Science Centre.

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

MOORE, Capt. Charles. *Plastic Ocean*. Santa Monica: Penguin, 2011. Print. ISBN 978-0143119561. "The topmost layer of the vortex in the North Pacific Gyre is often referred to as the Great Pacific Garbage Patch, a soup of microscopic plastic particles and larger debris."

NACIONO-LIPENES D., Sánchez-Rubio, G., Elorriaga-Verplancken, F. R., & Sierra-Beltrán, A. P. (2021). Derelict fishing gear from the shrimp fleet in the Mexican Gulf of Mexico: findings from a fishery gear characterization survey. *Marine Pollution Bulletin*, 173, 112941.

NAPPER, I. E., Bakir, A., Rowland, S. J., & Thompson, R. C. (2015). Characterisation, quantity and sorptive properties of microplastics extracted from cosmetics. *Marine Pollution Bulletin*, 99(1-2), 178-185. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.07.029>

NARANCIC, T., Verstichel, S., Reddy Chaganti, S., Morales-Gamez, L., Kenny, S.T., De Wilde, B., Babu, R. & O'Connor, K.E. (2018). Biodegradable plastic blends based on

poly(lactic acid): Sustainably leveraging the present and future. *Environmental Science & Technology*, 52(17), 10441-10454. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b02301>

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2022). *Reckoning with the U.S. Role in Global Ocean Plastic Waste*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/26132>

NECHVÁTAL, Marek; KLOUDA, Karel. 2021. Mikroplasty a nanoplasty v životním prostředí. *Časopis výzkumu a aplikací v profesionální bezpečnosti (JOSRA)*. 14(4). ISSN 1803-3687. Dostupné z: <https://www.bozpinfo.cz/node/78411/pdf-export>

NGUYEN, T. A., Babel, S., & Ngo, H. H. (2017). Removal of microplastics from water using membrane filtration systems: A review. *Journal of Environmental Management*, 204, 901-911. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.08.001>

NOVÁK, Adam. 2022. Právní regulace nakládání s primárními mikroplasty na úrovni EU a v některých evropských zemích. *Acta Universitatis Carolinae Iuridica*. 68(1), 75-90. Dostupné z: <https://doi.org/10.14712/23366478.2022.5>

OECD (2022) *Plastics use, waste & pollution*. OECD Publishing, Paris. Dostupné z: <https://www.oecd.org/environment/plastics/plastics-use-and-waste.htm>

OSSWALD, Tamás A. *Understanding Polymer Processing: Processes and Governing Equations*. Hanser Publishers, 2021. ISBN 978-1569907917.

OSSWALD, Tim A. a Georg MENGES. *Materials Science of Polymers for Engineers*. 3rd ed. Munich: Hanser, 2012. ISBN 978-1-56990-524-1.

PABORTSAVA, K., & Lampitt, R. S. (2020). High concentrations of plastic hidden beneath the surface of the Atlantic Ocean. *Nature Communications*, 11(1), 1-11. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-17932-9>

PENG, J., Wang, J., & Cai, L. (2018). Current understanding of microplastics in the environment: Occurrence, fate, risks, and what we should do. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 14(4), 476-482.

PENG, Jinping; WANG, Jundong; CAI, Liqi. Current understanding of microplastics in the environment: Occurrence, fate, risks, and what we should do. *Integrated environmental assessment and management*, 2017, 13.3: 476-482.

POERIO, T., Piacentini, E., & Mazzei, R. (2019). Membrane processes for microplastic removal. *Molecules*, 24(22), 4148. <https://doi.org/10.3390/molecules24224148>

PROCTER, Jade, et al. Smells good enough to eat: Dimethyl sulfide (DMS) enhances copepod ingestion of microplastics. *Marine pollution bulletin*, 2019, 138: 1-6.

RANDALL, David a Steve Lee. *The Polyurethanes Book*. 2. vyd. Shawbury: Smithers Rapra Technology, 2002. Tisk. ISBN 1-85957-382-7.

RAQUEZ, Jean-Marie, et al. Oxidative degradations of oxodegradable LDPE enhanced with thermoplastic pea starch: Thermo-mechanical properties, morphology, and UV-ageing studies. *Journal of Applied Polymer Science*, 2011, 122.1: 489-496.

RODRÍGUEZ, Airam; RODRÍGUEZ, Beneharo; CARRASCO, Maria Nazaret. High prevalence of parental delivery of plastic debris in Cory's shearwaters (*Calonectris diomedea*). *Marine Pollution Bulletin*, 2012, 64.10: 2219-2223.

ROCHA-SANTOS, T., & DUARTE, A. C. (2015). A critical overview of the analytical approaches to the occurrence, the fate and the behavior of microplastics in the environment. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 65, 47–53. <http://doi.org/10.1016/j.trac.2014.10.011>

ROCHMAN, C. M., Hoh, E., Kurobe, T., & Teh, S. J. (2013). Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress. *Scientific Reports*, 3(1), 1-7.

ROCHMAN, C.M., Hoh, E., Hentschel, B.T., Kaye, S., 2014. Long-Term Persistence of Nanoplastics and Microplastics in the Environment and Adverse Effects to Biota. *Proceedings*

of the Fifth International Marine Debris Conference. NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-48.

ROSATO, Donald V., et al. *Plastic Product Material and Process Selection Handbook*. Elsevier, 2004. ISBN 978-0127035375.

SHENG, N., et al. (2022). Global River Plastic Inputs to the Oceans. *Nature Sustainability*, 5(8), 677-687.

SCHEIRS, John a T.E. LONG. *Modern Polyesters: Chemistry and Technology of Polyesters and Copolyesters*. Hoboken: Wiley, 2003. ISBN 0-471-49856-4.

SILAGHI, P. A., Corobcea, T. M., Trifoi, A. R., Onofrei, M. D., Spataru, C. I., & Favier, L. (2019). Thermo-oxidative degradation of polyolefins in a vasile parvu infinite cylindrical environment. *Polymers*, 11(5), 855.

SINGH AJWANA, S. & PUKHRAJ, K. (2021). *Crayfish: Biology and Exploitation*. XYZ Publishers.

SUN, J., Dai, X., Wang, Q., Van Loosdrecht, M. C., & Ni, B. J. (2019). Microplastics in wastewater treatment plants: Detection, occurrence and removal. *Water Research*, 152, 21-37.

TALVITIE, J., Mikola, A., Koistinen, A., & Setälä, O. (2017). Solutions to microplastic pollution – Removal of microplastics from wastewater effluent with advanced wastewater treatment technologies. *Water Research*, 123, 401-407. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.07.005>

TALVITIE, Julia, et al. Preliminary study on synthetic microfibers and particles at a municipal waste water treatment plant. *HELCOM BASE Project—Implementation of the Baltic Sea Action Plan in Russia*, 2014.

THOMPSON, R. C., Olsen, Y., Mitchell, R. P., Davis, A., Rowland, S. J., John, A. W., & Russell, A. E. (2004). Lost at Sea: Where is All the Plastic?. *Science*, 304(5672), 838-838.

TYREE, Chris; MORRISON, Dan. 2017. Invisibles, the plastic inside us. In: Orbmedia.org [online] Orb Media. [cit. 2023-02-02]. Dostupné z: <https://orbmedia.org/the-invisibles>

UNEP (2021). From Pollution to Solution: A global strategy for tackling marine plastic litter. Nairobi.

VAN CAUWENBERGHE, L., Devriese, L., Galgani, F., Robbens, J., & Janssen, C. R. (2015). Microplastics in sediments: A review of techniques, occurrence and effects. *Marine Environmental Research*, 111, 5–17. <http://doi.org/10.1016/j.marenvres.2015.06.007>

VERMA , R., Vinoda, K. S., Papireddy, M., & Gowda, A. N. S. (2016). Toxic pollutants from plastic waste-a review. *Procedia Environmental Sciences*, 35, 701-708.

VOSECKÝ, Vojtěch a Martin SEDLÁK, Konec doby plastové? Inovace mohou zachránit planetu od masové produkce umělých hmot [online]. 2019 [cit. 2023-02-21]. Dostupné z: <https://www.obnovitelne.cz/cz/clanek/688/konec-doby-plastove-inovace-mohouzachranit-planetu-od-masove-produkce-umelych-hmot/>

WAGNER, Martin; LAMBERT, Scott. *Freshwater microplastics: emerging environmental contaminants?*. Springer Nature, 2018.

WARDROP, Denice, et al. Technical review of microbeads/microplastics in the Chesapeake Bay. *STAC, Edgewater*, 2016.

WILKES, Charles E., et al. *PVC Handbook*. Cincinnati: Hanser, 2005. ISBN 978-1-56990-379-7.

WOO, Hyunjeong a kol. 2021. Methods of Analyzing Microsized Plastics in the Environment. *Applied Sciences*. 11(22). Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/app112210640>

WOO, Hyunjeong a kol. 2021. Methods of Analyzing Microsized Plastics in the Environment. *Applied Sciences*. 11(22). Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/app112210640>

WRIGHT, Stephanie L.; KELLY, Frank J. Plastic and human health: a micro issue?. *Environmental science & technology*, 2017, 51.12: 6634-6647.

YAN, Z., Liu, Y., Zhang, T., Zhang, F., Ren, H., & Zhang, Y. (2022). Analysis of Microplastics in Human Feces Reveals a Correlation between Fecal Microplastics and Inflammatory Bowel Disease Status. *Environmental science & technology*, 56(1), 414–421. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c03924>

YEE, Maxine Swee-Li, et al. Impact of microplastics and nanoplastics on human health. *Nanomaterials*, 2021, 11.2: 496.

Yoshida, S., Hiraga, K., Takehana, T., Taniguchi, I., Yamaji, H., Maeda, Y., ... & Oda, K. (2016). A bacterium that degrades and assimilates poly(ethylene terephthalate). *Science*, 351(6278), 1196-1199.

Zheng, Y., Yanful, E. K., & Bassi, A. S. (2005). A review of plastic waste biodegradation. *Critical Reviews in Biotechnology*, 25(4), 243-250.

6 Seznam webových zdrojů

Al-Salem, S. M., Lettieri, P., & Baeyens, J. (2009). Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review. *Waste Management*, 29(10), 2625-2643.

FREIDINGER, Jan. Co jsou mikroplasty a proč je musíme omezit [online]. 2018 [cit. 2023-02-21]. Dostupné z: <https://www.greenpeace.org/czech/clanek/894/co-jsou-mikroplasty-a-proc-je-musime-omezit/>

GREENPEACE RESEARCH LABORATORIES. 2019. A 'snapshot' survey of microplastics in surface waters of the Vltava and Labe (Elbe) Rivers in the Czech Republic. In Greenpeace.org [online] Greenpeace Česká republika, 03.2019. [cit. 2023-10-23] Dostupné z: <https://www.greenpeace.org/static/planet4-czech-republic-stateless/2019/03/7ed26618-czechia-river-microplastics-analytical-results-report-050319-1.pdf>

CHYTILOVÁ, L. (2021). Plasty se dostávají i do hlubokých podzemních vod - výzkumníci je našli v hlubinných dolech. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. <https://www.vsb.cz/veda/cs/detail-novinky/?reportId=46464&linkBack=%2Fveda%2Fcs%2Findex.html>

LIM, XiaoZhi. 2021. Microplastics are everywhere – but are they harmful?. In: Nature.com. [online]. Springer Nature Limited. [cit. 2023-10-04]. Dostupné z: <https://www.nature.com/articles/d41586-021-01143-3>

MCCARTHY, Joe. *These edible six pack rings are exactly what the world needs more of* [online]. Global poverty project, 20. května 2016 [cit. 2023-02-13]. Dostupné z: <https://www.globalcitizen.org/en/content/edible-six-pack-rings-plastic-ocean-marine-life/>

ROGERS, Kara. 2022. Microplastics. In: Britannica.com. [online] Encyclopædia Britannica, Inc., 05. 04. 2023 [cit. 2023-10-05]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/technology/microplastic>

STATISTA (n.d.). Roční produkce plastů po celém světě od roku 1950 do roku 2021. Statista.com [online]. [cit. 2023-02-19]. Dostupné z:

<https://www.statista.com/statistics/282732/global-production-of-plastics-since-1950/#statisticContainer>

UN takes huge step toward ending plastic pollution. *World Wildlife Fund* [online]. Washington DC: World Wildlife Fund, c1986-2023, 2.3. 2022 [cit. 2023-03-02]. Dostupné z: <https://www.worldwildlife.org/stories/un-takes-huge-step-toward-ending-plastic-pollution>

VOSECKÝ, Vojtěch a Martin SEDLÁK, Konec doby plastové? Inovace mohou zachránit planetu od masové produkce umělých hmot [online]. 2019 [cit. 2023-02-21]. Dostupné z: <https://www.obnovitelne.cz/cz/clanek/688/konec-doby-plastove-inovace-mohouzachranit-planetu-od-masove-produkce-umelych-hmot/>

WIMMEROVÁ, Lenka; HENZLOVÁ, Linda; LEXA, Martin. 2021. Plasty ve vodách – jejich analýza a toxicita pro vodní organismy. In: *Vodnihospodarstvi.cz* [online]. Vodní hospodářství. [cit. 2023-11-10]. Dostupné z: <https://vodnihospodarstvi.cz/mikroplasty-ve-vodach-jejichanalyza-a-toxicita-pro-vodni-organismy/>

ZHANG, Yulan, et al. Atmospheric microplastics: A review on current status and perspectives. *Earth-Science Reviews*, 2020, 203: 103118.

7 Seznam použitých zkratk a symbolů

ČOV – čistička odpadních vod

EU – Evropská unie

GPGP – Great Pacific garbage patch

PA – Polyamid

PE – Polyethylen

PET – Polyethylentetraflatát

PP – Polypropylen

PS – Polystyren

PVS – Polyvinylchlorid

UNEP – Program pro životní prostředí organizace spojených národů (United Nation Environmental Programme)

WHO – Světová zdravotnická organizace (World Health Organization)