



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodního hospodářství obcí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Tomáš Halašta
Název	Plasty a mikroplasty ve vodách
Vedoucí práce	Ing. Renata Biela, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2020
Datum odevzdání	28. 5. 2021

V Brně dne 30. 11. 2020

doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

- [1] CRAWFORD, CH. B., QUINN, B. Microplastic pollutants. 1st Edition. Elsevier, 2017. 315 p. ISBN 978-0-12-809406-8.
- [2] World Health Organization. Microplastics in drinking water. Switzerland: L'IV Com Sarl, 2019. ISBN 978-92-4-151619-8.
- [3] NOVOTNÁ, K., ČERMÁKOVÁ, L., PIVOKONSKÁ, L., CAJTHAML, T., PIVOKONSKÝ, M. Microplastics in drinking water treatment – Current knowledge and research needs. Science of the Total Environment, 667 (June), 2019, 730-740.
- [4] KOŽIŠEK, F., KAZMAROVÁ, H. Mikroplasty v životním prostředí a zdraví. Vodní hospodářství 2019, č. 9, s. 1–3. ISSN 1211-0760.
- [5] ČERMÁKOVÁ, L., NOVOTNÁ, K., PEER, P., JANDA, V., PIVOKONSKÝ, M. Plasty v pitné vodě. In Sborník konference Pitná voda 2018. České Budějovice: W&ET Team, 2018, s. 151-156. ISBN 978-80-905238-3-8.
- [6] Odborné časopisy (Slovak, Vodní hospodářství, TZB-info).

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Bakalářská práce se bude v úvodu věnovat problematice plastů – jejich dělení z různých hledisek, vlivem na životní prostředí, a to především vody (řeky, nádrže, moře, oceány). Budou uvedeny i příklady znečištění těchto vod a jeho odstranění. Práce se bude rovněž zabývat mikroplasty ve vodách, jejich přísunem do zdrojů pitné vody a možnostem eliminace. Budou uvedeny výsledky studií, které se zabývaly stanovením mikroplastických částic v pitné vodě a tyto budou teoretickým podkladem pro možný praktický výzkum.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).
2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

Ing. Renata Biela, Ph.D.

Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá výskytem plastů a mikroplastů ve vodách a dále se věnuje hlavně mikroplastům v úpravnách vody. Začátek práce je věnován plastům, jejich historii, popisu vlastností a jaké jsou nejčastěji používané plasty, které poté můžeme najít v podobě mikroplastů. Další téma je věnované výskytu plastů ve vodách, hlavně mořích a oceánech, a především také ve sladkovodních systémech. Poté je v práci uvedena definice mikroplastů, jejich zdroje a výskyt. Dále se pak práce věnuje studiím ohledně výskytu mikroplastů v pitné vodě, jejich odstraňování na úpravnách vody a analýze plastových mikročástic. Závěrem je shrnutí všech dostupných studií ohledně mikroplastů v pitné vodě a na úpravnách vody.

KLÍČOVÁ SLOVA

Plasty, mikroplasty, zdroje mikroplastů, úprava vody, pitná voda

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the occurrence of plastics and microplastics in water and also is mainly devoted to microplastic in water treatment plants. The beginning of the work is devoted to plastics, their history, description of properties and what are the most commonly used plastics, which can be found in the form of microplastics. Next topic is devoted to the occurrence of plastics in waters, mainly seas and oceans, and especially in freshwater systems. Then the definition of microplastics and their sources and occurrence is given in the work. Furthermore, the work deals with studies on the occurrence of microplastics in drinking water and their removal at water treatment plants and the analysis of plastics microparticles. The conclusion is a summary of all available studies on microplastics in drinking water and water treatment plants.

KEY WORDS

Plastics, microplastics, sources of microplastics, water treatment, drinking water

Bibliografická citace VŠKP

HALAŠTA, Tomáš. Plasty a mikroplasty ve vodách. Brno, 2021, 68 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodní hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Renata Biela, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne

.....

podpis autora

Poděkování

Chtěl bych poděkovat paní Ing. Renatě Biele, Ph. D. za trpělivost, ochotu, čas, odborné rady a za dohled jako vedoucí mé bakalářské práce.

Obsah

1. ÚVOD	10
2. Plasty	11
2.1 Historie plastů	11
2.2 Vlastnosti plastů	13
2.2.1 Základní dělení podle fyzikálních vlastností	13
2.3 Příprava (syntéza) polymerů	14
2.4 Nejběžněji používané plasty	14
2.4.1 Polyethylen (PE)	14
2.4.2 Polypropylen (PP)	15
2.4.3 Polyvinylchlorid (PVC)	15
2.4.4 Polystyren (PS)	15
2.4.5 Polyuretan (PUR)	16
2.4.6 Polyethylentetraftalát (PET)	16
3. Zpracování a recyklace plastů	17
3.1 Likvidace	17
3.2 Recyklace	18
4. Výskyt plastů ve vodách	19
4.1 Moře a oceány	19
4.1.1 Odpadkové skvrny	20
4.1.2 Působení plastů na život v oceánech a mořích	21
4.1.3 Systémy pro čištění oceánů	22
4.2 Sladkovodní systémy	23
4.2.1 Působení plastů na sladkovodní život	27
4.2.2 Systémy pro čištění sladkých vod	27
5. Mikroplasty	29

5.1	Rozdělení mikroplastů.....	30
5.1.1	Primární mikroplasty	30
5.1.2	Sekundární mikroplasty.....	30
5.2	Zdroje mikroplastů	31
5.2.1	Čistírny odpadních vod	31
5.2.2	Kosmetika a produkty osobní péče	32
5.2.3	Praní prádla	32
5.2.4	Použití kalu z čistíren odpadních vod.....	33
5.2.5	Pneumatiky a silnice	33
5.2.6	Barvy.....	34
6.	Mikroplasty v pitné vodě	35
6.1	Výskyt mikroplastů v úpravnách vody	37
6.1.1	Německé úpravný vod se zdrojem podzemní vody.....	38
6.1.2	Úpravný vody v Anglii a Walesu	38
6.1.3	Čínská moderní úpravna vod se zdrojem vody z řeky Yangtze .	39
6.1.4	Úpravna vody v Thajsku.....	43
6.2	Mikroplasty v pitné vodě v ČR.....	44
6.2.1	Studie z roku 2018.....	44
6.2.2	Studie z roku 2020.....	46
7.	Analýza mikroplastů.....	49
7.1	Příprava vzorků	49
7.1.1	Předúprava chemickými látkami	49
7.1.2	Hustotní separace	49
7.1.3	Filtrace	50
7.2	Identifikace mikroplastů.....	50
7.2.1	Vizuální metody.....	50
7.2.2	Mikroskopie	51

7.2.3	Spektrometrické metody.....	52
7.2.4	Tepelná analýza.....	53
8.	Souhrnné zhodnocení účinnosti úpravárenských procesů na odstranění mikroplastů z vody	55
9.	Závěr.....	58
	Použitá literatura	60
	Seznam tabulek	65
	Seznam obrázků	66
	Seznam použitých zkratk a symbolů	67
	Summary	68

1. ÚVOD

Plasty se vyskytují všude okolo nás a v dnešní době si ani nedokážeme představit žít bez použití tohoto vynálezu, kdy jeho první krůčky ke vzniku začaly v roce 1855. Tímto však vzniká problém kvůli obrovské spotřebě těchto materiálů a budujeme tak časovanou bombu pro naše budoucí generace.

Enormní užívání plastů a způsob nakládání s nimi míří k tomu, že velká část vyrobené umělé hmoty končí v životním prostředí, kde se rozpadá a rozkládá na mikroplasty. [4]

Voda na Zemi je jedna z mála nenahraditelných surovin, kterou si musíme za každou cenu chránit. Je nezbytnou podmínkou pro život a slouží k civilizačnímu a hospodářskému vývoji. Důležitost vody neurčuje jen její množství, ale také schopnost přenosu látek a energie jejím oběhovým cyklem. [1]

Mikroplasty se vyskytují ve všech vodních ekosystémech, v oceánech, mořích, řekách, jezerech i nádržích, které jsou schopny sloužit jako zdroj pitné vody. Ve srovnání se výzkumy věnovaly více mořím a oceánům, přestože pro lidskou potřebu jsou důležitější sladkovodní zdroje, a tedy i výskyt mikroplastů v nich. [2]

2. Plasty

Plastické hmoty jsou syntetické nebo polysyntetické látky, které obsahují makromolekulární látky (polymery) a další látky pro jejich zlepšení vlastností, např. barviva, plniva, změkčovadla a látky proti zhoršení kvality. Specifické chemické a fyzikální vlastnosti dodává seskupení atomů v makromolekule, délka řetězců a jejich tvar. Plasty dokážou při správném použití dokonale nahradit i překonat materiály používané dříve jako např. ocel, dřevo, vlna. Díky tomu se dnes mohou používat jako konstrukční nebo technické materiály. [3]

2.1 Historie plastů

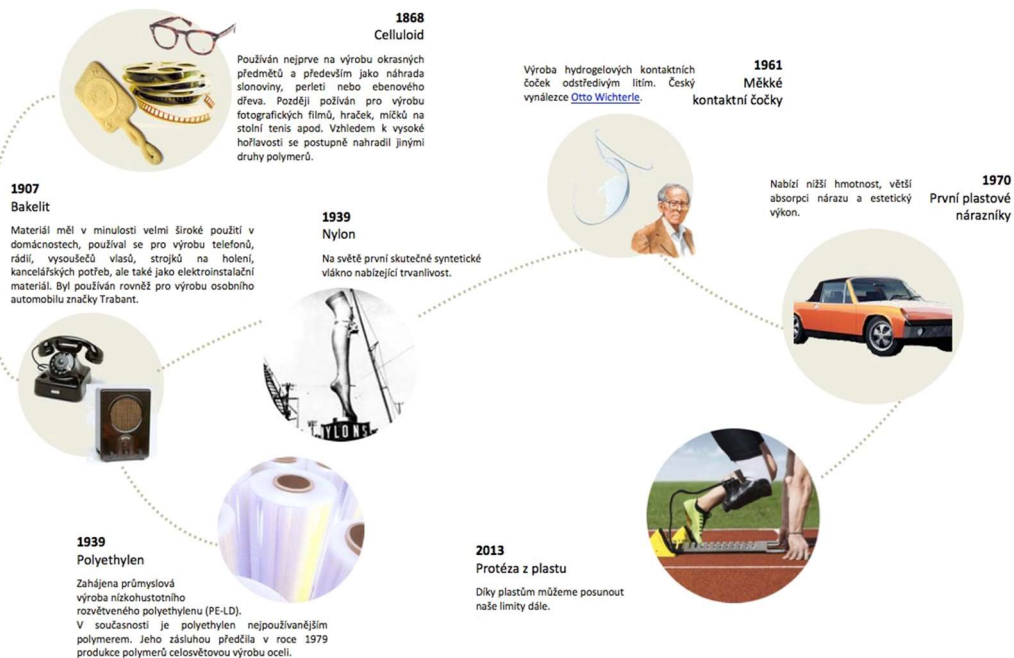
Přestože moderní rozvoj výroby plastů začal až ve 20. století, polymery se mezi námi vyskytovaly a byly používány už mnohem dřív. Prvním z nich byl v roce 1496 kaučuk, kdy ho do Evropy přivezl Kryštof Kolumbus z nově objevené, dnes nazvané Ameriky. Získává se z tropického stromu kaučukovníku brazilského. Trvalo však pár stovek let, než se kaučuk začal hojně využívat. Kaučuk je základním kamenem k výrobě pryže, která se často nesprávně nazývá guma, a tak v roce 1888 britský vynálezce John Boyd Dunlop patentoval svůj vynález a tím byla pneumatika. První přírodní polymer s obchodním využitím dostal název gutaperča v roce 1843. Malajský lékař Wiliam Montgomerie začal vzorky pryskyřice z tamních stromů posílat na výzkum do Anglie, kde ji zkoumal fyzik Michael Faraday. Zjistil, že gutaperča je skvělý izolant elektrického proudu i v kapalném prostředí. Díky tomu bylo možno v roce 1848 propojit Evropu s Amerikou telegrafními kabely vedeny pod mořem. [5] [19]

Za vznikem prvního syntetického polymeru nestojí tlak průmyslu na vynález revolučního materiálu. Šlo pouze o najetí nejlepšího možného materiálu pro kulečnické koule, které byly dříve vyráběny ze slonoviny, která se v polovině 19. století stávala více a více vzácnější. Proto byla vypsána soutěž s tehdejší výhrou 10 tisíc amerických dolarů, kterou vyhrál John Wesley Hyatt s prvním vyrobeným plastem vůbec, ten se nazýval celuloid.

Tento materiál však nebyl zcela plně syntetický. Obrovský milník nastal v roce 1907, kdy americký chemik Leo Baekeland vyrobil první čistě syntetický materiál s názvem bakelit. V České republice je první kontakt s polymery spojován se zlínskou firmou Baťa, která v roce 1931 poprvé začala vyrábět pláště pro jízdní kola. [5] [19]

Ve 20. století se z plastů stal fenomén a každých 5 let přišel někdo s novým vynálezem týkajícím se plastické hmoty. Ve třicátých letech byl vyroben první polystyren (PS), polyamid PA-66 (Nylon), nízkohustotní polyetylen (PE-LD). Vývoj plastů také ovlivnila 2. světová válka. Plasty v ní sehrály podstatnou roli pro výrobu moderních technologií jako např. polyamidová vlákna, která se používala pro výrobu padáků nebo také polytetrafluorethylen, díky kterému sestrojili Angličané první radar. [5] [19]

Díky libovolnému použití polymerních směsí a jejich kombinaci můžeme stále a stále připravovat specifické materiály s určitými vlastnostmi, které se nám zrovna hodí a díky tomu poptávka po tomto materiálu stále roste i v dnešní době.



Obr. 1 Historie polymerů [5]

2.2 Vlastnosti plastů

Chemické a fyzikální vlastnosti plastů závisí na délce, struktuře a v jakém vzájemném vztahu jsou řetězce makromolekul a na přidávaných látkách. Mechanické vlastnosti jsou určovány hlavně skladbou základních článků řetězce molekul, stupněm zesíťení, délkou řetězců a povahou mezimolekulárních sil. [3][4]

Čím menší mají polymery hustotu zesíťení, tím větší jsou jejich elastické vlastnosti a zvětšují svůj objem v rozpouštědlech, naopak hutnější zesíťení hmotu dělá tvrdou a nerozpustnou, tzv. pryskyřice. Klíčové je taky chování polymerů v různých teplotách, které ovlivňují vlastnosti plastů. Nízké teploty udávají polymerům sklovitou povahu a způsobují křehkost. Vysoké teploty způsobují elasticitu a při zatížení se mohou vratně deformovat nebo dojdou až do stavu plasticity, kdy se jejich vlastnosti přibližují viskózní kapalině. [3][4]

Plasty se hojně využívají díky jejich vysoké životnosti, nízké objemové hmotnosti, dokážou se přizpůsobit jakémukoliv tvaru, jsou prakticky nenasákavé, můžeme je brousit, svařovat, lepit, většina je elektricky nevodivá a dají se recyklovat. [4][5]

Žádný materiál není dokonalý, a i plasty mají své nevýhody, kde patří proměnlivost vlastností způsobena změnou teploty, při vysokých teplotách se roztápí a při nízkých zase křehnou, jsou hořlavé, špatně snáší UV záření, mají menší pevnost v tlaku a velkou teplotní roztažnost. [4][5]

Díky širokému rozhraní vlastností máme velkou možnost výběru pro efektivní použití toho materiálu.

2.2.1 Základní dělení podle fyzikálních vlastností

Reaktoplasty jsou látky, které při zahřátí na vyšší teplotu měknou a můžeme vytvářet jejich tvar, avšak po ochlazení se materiál ustálí do požadovaného tvaru, a díky chemické reakci, která způsobí vznik zesíťované struktury (vytvrzování) po opětovném zahřátí už se dále nedá tvarovat, svařovat ani převést jeho skupenství. Do této skupiny plastů se řadí všechny druhy pryskyřice. [3][5]

Termoplasty jsou materiály, u kterých při zahřívání nedochází k chemické reakci a nedochází tak ke změně jejich chemické struktury, tím pádem je můžeme opakovaně zahřívát a chladit teoreticky do nekonečna. Při změně teplot se mění jen jejich fyzikální vlastnosti. Při vysokých teplotách se taví, při nízkých tuhnou. Do této skupiny polymerů patří polyethylen (PE), polypropylen (PP), polystyren (PS), polyvinylchlorid (PVC). [3][5]

2.3 Příprava (syntéza) polymerů

Polymery se připravují díky funkci řetězení z nízkomolekulárních látek (monomerů) třemi chemickými způsoby: polymerací, polykondenzací a polyadící. Princip vytváření polymerů spočívá v opakování chemické reakce, kdy se z nízkomolekulárních sloučenin stávají vysokomolekulární látky polymery. [3][5]

Polymerace je způsob, kdy monomery vytváří řetězce, které se spojí do jedné řetězovité molekuly polymeru. Příklad této reakce je vznik PE z ethylenu (etenu). [3][5]

Polykondenzace je reakce, u které opět monomery vytvářejí řetězce spojující se do molekuly polymeru, ale při každém připojení nového monomeru se vytvoří jedna molekula vedlejší látky, nejčastěji voda. [3][5]

Polyadice způsobuje stupňovitou reakci dvou odlišných monomerů, při této reakci nedochází ke štěpení jiných látek. Při této reakci vzniká např. polyuretan. [3][5]

2.4 Nejběžněji používané plasty

2.4.1 Polyethylen (PE)

Polyetylen vzniká pomocí polymerace etylenu. Jeho vlastnosti výhradně závisí na molekulové struktuře. Díky tomu, že je nepolární, má výborné elektroizolační vlastnosti a je odolný vůči polárním rozpouštědlům, vodě, kyselinám, zásadám a solím. Má menší hustotu jak voda. Vzhledem

k teplotním vlivům jsou produkty z PE stálé do max. 75 °C. Jsou vysoce hořlavé a citlivé na UV záření. Ve vodárenství se tento materiál používá pro potrubí. Dělí se na dva typy:

Vysokohustotní polyethylen (PE-HD) má lineární tvar molekul. Má nižší teplotní odolnost.

Nízkohustotní polyethylen (PE-LD) tvoří rozvětvený tvar molekul. Oproti PE-HD vydrží teploty nad 100 °C. [3] [5]

2.4.2 Polypropylen (PP)

Další používaný plast vyráběný pomocí polymerace. Díky vyskytujícímu se metylu v jeho struktuře má vyšší bod měknutí než PE. Vlastnosti tohoto materiálu se přibližují k vysokohustotnímu PE. Je hořlavý, nepolární, má nejnižší hustotu ze všech nelehčených plastů, ale zase má větší pevnost, tvrdost a odolnost. Měkne mez 165-175 °C, ale má menší odolnost v mrazu (cca 15 °C). Používá se převážně na výrobu potrubí. [3] [5]

2.4.3 Polyvinylchlorid (PVC)

Jedná se o jeden z nejvíce používaných a vyráběných plastů na světě. Pevnost PVC je způsobena díky obsahu atomu chloru. Oproti PE a PP má nízkou odolnost proti organickým rozpouštědlům, pro lepení se musí aplikovat anorganická lepidla. Odolává pouze nízkým teplotám do 65 °C, a proto se používá pouze pro odpadní potrubí. Upravený PVC-C, který má díky dodatečnému chloru vyšší odolnost teploty trvale do 85 °C se dá použít pro potrubí k rozvodu teplé vody. [3] [5]

2.4.4 Polystyren (PS)

Vyrábí se polymerací styrenu (vinylbenzenu). Tento plast má díky své struktuře velmi dobrou propustnost světla, odolnost proti působení vody, určitých kyselin a zásad. Problémovými jsou organická rozpouštědla, ve kterých je PS rozpustný. Za běžných podmínek je pevný a křehký. Při použití ve venkovních prostorech díky fotooxidaci žloutne a křehne. Je hořlavý a tvoří

saze. Ve stavebnictví se používá lehčená forma pěnového PS jako izolační materiál pro tepelnou a zvukovou izolaci. [3] [5]

2.4.5 Polyuretan (PUR)

Díky kombinaci isokyanátů a polyalkoholu (polyolu) vzniká uretan, a tím dodává výrobkům z PUR různé vlastnosti podle potřeby a můžeme z něj udělat termoplast, reaktoplast i elastomer. Výhoda PUR je jejich možnost vytvářet je v různé hustotě – měkké, polotvrdé, a tvrdé. Nejvýznamnější je lehčený PUR, který se vyrábí za vzniku CO₂ (vytváří v hmotě póry) a díky tomu má látka objemovou hmotnost až 30 kg/m³. Jejich dobrá izolační schopnost je výsledkem toho, že se ve stavebnictví často používají jako tepelná izolace. [3] [5]

2.4.6 Polyethylentetraftalát (PET)

Jde o nejvýznamnější polyester. Je to špatně krystalizující termoplast, může se dodávat v amorfní podobě (potlačuje krystalizaci, z důvodu rychlého chlazení) nebo v podobě semikrystalické. Má vynikající mechanické vlastnosti. Je schopný krátkodobě vydržet až 200 °C, normálně používat se dá do 100 °C. Za běžných podmínek díky teplotě zesklnění (75 °C) je křehký a nedeformuje se. V pevném amorfním skupenství má vysokou propustnost na světlo. Nejčastější použití, se kterým jsme v kontaktu každý den, jsou nápojové lahve. PET je hlavně určen pro výrobu vláken (textílie, tkaniny a lana) a fólií. Často se také používá jako vyztužení polymerů pro lepší izolační schopnost a tuhost. [5]

3. Zpracování a recyklace plastů

3.1 Likvidace

Od vzniku prvního plastu v roce 1855 uplynulo 166 let a od té doby bylo po celém světě vyrobeno přes 8,3 miliardy tun plastové hmoty. Podle výpočtů se bude za 30 let v přírodě a na skládkách vyskytovat až 12 miliard tun plastů. Pro představu je to 35 000krát větší hmotnost než nejznámější budova v New Yorku Empire State Building. [7]

Důležité je si uvědomit rozdíl mezi tříděním a recyklací. Spousta lidí si myslí, že když vhodí plastový obal do žlutého kontejneru, tak recyklují. Recyklace však přichází až po třídění. Je to technologický postup, kdy přeměňujeme použitý materiál na nový. Pokud by se 100 % všech použitých plastů recyklovalo, tento vynález by vlastně neměl žádnou nevýhodu a vynikal v ekonomickém a hlavně ekologickém odvětví. Problém nastal tehdy, kdy se začalo vyrábět více výrobků z plastů a dříve, než se odpad dostal k recyklaci, končil na skládkách, kde se velmi těžce a dlouho rozkládá. Zde vzniká další problém, jako je míchání směsného odpadu s plastovým, kdy se tyto odpady od sebe špatně separují nebo jsou znečištěny jinými látkami a tím pádem se zabraňuje možné recyklaci. [6] [7]

V dnešní době je koncentrace plastů na skládky nejrychlejší a nejlevnější způsob, jak se plastů zbavit. Naneštěstí, tato verze je pro náš ekosystém jedna z nejhorších možných. Další možnost zbavení se plastů je spalování. Tento proces je jednoduchý z hlediska nízké teploty na roztavení plastové hmoty, kdy plastům stačí k roztavení 900 °C. Bohužel to má za následky únik exhalátů jako jsou chlorovodík a fluorovodík, které se vytváří při spalování a odstranění těchto odpadních látek je velice nákladné. Díky vývoji v technologiích se objevila nová možnost zpracování jako náhrada spalování a tou je termická depolymerizace. Tento způsob je účinnější a šetrnější k životnímu prostředí, ale není moc rozšířený. [7] [8]

3.2 Recyklace

Oproti ostatnímu nakládání s plastovým odpadem je recyklace nejlepší možnost zpracování plastů díky tomu, že je můžeme znovu využít, nevzniká obrovské množství odpadních látek, snižujeme obsah skládek a plasty neunikají do našeho ekosystému. [7] [8]

Statistiky v roce 2018 poukazují na fakt, že z celkové výroby plastového materiálu se recyklovalo pouze 9 %. Přitom recyklace plastu vůbec není složitá. Pokud máme k dispozici technologie pro výrobu, můžeme je použít i pro recyklaci, protože jsou tyto činnosti téměř identické. Recyklaci je schopna ovlivnit i cena ropy na trhu, pokud cena ropy klesne, sníží se cena plastových výrobků např. PE, PP, PVC, a pro výrobce už není peněžně přínosné vyrábět materiál z druhořadých surovin. Poptávka tedy klesá a tím tedy i recyklace. K výrobě plastů se na celém světě spotřebuje asi 8 % ropy, bez energií na výrobu a dopravu. V roce 2050 je odhadnuto dokonce až 20 %. [9]

I když se recyklace stále řeší, pořád nemá tato technologie silnou podporu, aby se recyklovalo pořádně ve velkém množství. Velkým problémem jsou především velkofirmy např. ve stavebnictví, které recyklování podstatně nepodporují a je pro ně jednodušší a levnější s plasty zacházet jinak, než je recyklovat. Skutečnost poukazuje na to, že pokud nejsme schopní najít pro recyklované výrobky použití, je tato práce zbytečná stejně jako všechna před jejím získáním, stejně jako třídění. Využití recyklovaného materiálu dokáže být ve velkém měřítku, pokud by se do toho však zapojilo více lidí. Pro kvalitní recyklaci je také důležité, jaké plasty vlastně třídít. [9]

4. Výskyt plastů ve vodách

4.1 Moře a oceány

Podle některých studií by se v roce 2050 mělo v mořích a oceánech vyskytovat více plastů jak ryb. Důvodem téhle budoucnosti je špatné zacházení s likvidací plastového odpadu. Ročně se do moří a oceánů dostává 8 až 12 milionů tun a podle statistik to bude každých deset let dvojnásobek. Nejvíce plastů se do moří a oceánů dostává z pevniny pomocí řek, to se odhaduje na 80 %. Zbytek odpadu doputuje do moří z lodní dopravy a částí rybářského vybavení a také díky povětrnostním podmínkám, většinou ze znečištěných pláží a pevniny blízko moře. Skoro všechn plastový odpad se do moří a oceánů dostává z Asie nebo Afriky, kde špatně funguje odpadové hospodářství. Výzkumné výpravy z roku 2007 až 2013, které uskutečnil oceánograf Marcus Erikson s dalšími vědci ukázaly, že až 70 % plastů končí na dně moří a oceánu 6000 a více metrů pod hladinou. Dokonce objevili igelitovou tašku v 11 kilometru hlubokém Mariánském příkopu, nejhlubším místě na planetě. Plastový odpad skončil i na nejvzdálenějším místě na Zemi, tím je Point Nemo, kdy nejbliže k němu má Mezinárodní vesmírná stanice ISS, když prolétá nad touto oblastí. Výzkumný tým objevil, že na tomto místě plave až 26 kusů plastové hmoty na jeden metr krychlový. [10][11][12]

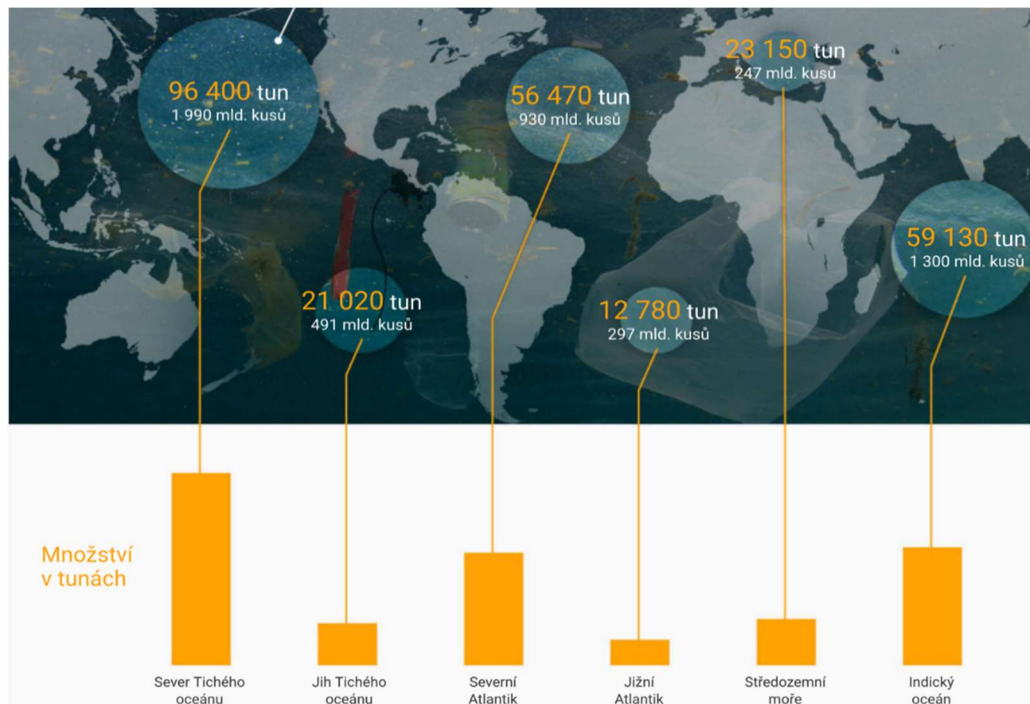
Obrovský problém nevytváří jen viditelné odpadky na hladině oceánů. Mikroplasty se vyskytují ve všech oceánech po celém světě, dokonce i na Antarktidě. Podle odhadů moře a oceány obsahují z více než pěti bilionů kusů plastu až 92 % mikroplastů, které se usazují na dně. Je to z důvodu toho, že strukturální integrita plastů v mořské vodě klesá fyzikálními, biologickými a chemickými procesy, což vede k rozkladu plastového odpadu klidně od jednoho metru až po nanometry a dále také velké množství mikroplastů přitéká z řek ze středozemí. Studie provedeny univerzitami v Manchesteru, Durhamu a Bermudách s výpomocí francouzského výzkumného oceánografického ústavu IFREMER ukázala, že na pohyb a rozložení po mořském dně mají největší vliv vodní proudy. Tyto proudy slouží jako dopravní prostředky pro mikroplasty a roznášejí je na velkou vzdálenost a

tvoří obrovské pole sedimentů nazývaných microplastic hotspots. V těchto sedimentech se podle výzkumu nachází až 1,9 miliónů částic na jeden m². To je mnohem víc, než se vědci domnívali. Mikroplastové částice se potápí oproti většímu plastovému odpadu z důvodu menších částic, které rychle změní svou specifickou hustotu, což vede k jejich potopení k vůli jejich relativně vysokému poměru povrchu k objemu. Výzkum mikroplastů v sedimentech je velmi důležitý, protože sedimenty, zejména v hlubinách, jsou považovány za hlavní jímku mikroplastů v oceánech. [24]

4.1.1 Odpadkové skvrny

Větší a vytrvalejší kusy plastů jsou schopny v moři vydržet dlouhou dobu a přepravovat se díky povětrnostním podmínkám na velkou vzdálenost. Tomuto faktu také pomáhají mořské proudy, které plastové části stmelují k sobě. Pokud proud chytí plastový materiál a ten se díky vlivům slunečního záření, vln nebo mořského života nerozpadne, začne se plast akumulovat do jednoho místa, které se anglicky nazývá ocean gyre a tím vznikají tzv. odpadkové skvrny. Pro tyto odpadkové ostrovy je obtížné určit a zmapovat přesnou polohu a rozsah velikosti, protože je ovlivňují oceánské proudy a větry v různých ročních obdobích a jsou v neustálém pohybu. [13]

Největší ze šesti odpadkových plovoucích ostrovů ve světových oceánech je Velká tichomořská odpadková skvrna (The Great Pacific Garbage Patch). Pohybuje se mezi Havají a Kalifornií. Vědci odhadují, že tato skvrna má rozlohu asi 1,6 milionu km², to je přibližně jako 20 Českých republik. Tento odhad vědci stanovili pomocí 30 člunů plujících vedle sebe, za které zapojili síť sbírající plastové kousky a pomocí 2 letadel se speciálním skenovacím zařízením, díky kterému mohli vytvořit v počítačovém programu. Odborníci se domnívají, že se v odpadkové skvrně nachází od 1,1 do 3,6 bilionu plastových kusů. A byly zde dokonce nalezeny kusy odpadu ze 70. let. Podle studií se zde vyskytuje 92 % obsahu částic nad 0,5 cm, ale tyto kousky se během let budou rozkládat a začnou z nich vznikat mikroplasty (částice 0,05-0,5 cm), které velice škodí mořskému životu. [11]



Obr. 2 Odpadkové skvrny (vlevo Velká tichomořská odpadková skvrna) [10]

4.1.2 Působení plastů na život v oceánech a mořích

Při znečištění v oceánech a mořích plasty nejde jen o vizuální stránku např. ostrovy plastů, znečištěné pláže atd. Plastový odpad obrovsky škodí celému podmořskému světu a ovlivňuje život podvodních živočichů. Až u 233 mořských druhů byly nalezené plastové části v jejich trávicí soustavě. Plast se vyskytl u 59 % procent mořských ptáků, u 100 % druhů mořských želv a u více jako 25 % ryb z celého světa. Podle OSN plast zabíjí každoročně až milion mořských ptáků, sto tisíc mořských savců, mořských želv a nespočet ryb. Živočichové si plastové kousky pletou s potravou nebo se zamotávají do zbytků částí sítí z rybářského průmyslu, těmito rybářským pomůckám se říká tzv. sítě duchů. Konzumací větších částí plastů se mohou udusit, těmi menšími zase do sebe dostávají toxické nebo chemické látky, které plastový materiál obsahuje nebo pozřou tolik části, že si zaplní žaludek a nepřijímají potřebnou potravu pro přežití. Nebezpečné jsou plasty nejen pro ryby, ale i pro mořské ptáky, kdy se podle výzkumu našly v jejich střevech kousky plastové hmoty až v 90 %. Plastové zbytky mohou také sloužit jako dopravní prostředek pro menší mořské živočichy jako např. kraby, korýše, řasy a jiné druhy, kteří se k částem odpadu připoutají a díky mořskému proudu je

odnesou do jiné části moře či oceánu. Pokud je tento druh v jedné části dominantnější než jiné, dokáže ostatní živočichy přeplnit a tím narušuje a ovlivňuje ekosystém mořského života. [13]

Dokonce, podle teorie Mathew Savoca, existuje možnost, že mořští živočichové konzumují plasty kvůli jejich vůni. U mořských ptáku živících se určitým druhem řas, které ze sebe vylučují dimethylsulfid se našlo v jejich vnitřnostech více plastového odpadu než u jiných. Jde o to, že se vyloučená látka přichytí na plovoucí odpad a jedinci ryb a ptáků tuto látku cítí a myslí si, že je to jejich oblíbená potrava ve formě řas, naneštěstí je to plast, na kterém se přichytil dimethylsulfid z řas. [14]



Obr. 3 Tuleň zamotaný ve zbytcích sítí z rybářských lodí [10]

4.1.3 Systémy pro čištění oceánů

V posledních letech se o znečištění oceánů po vydání studií o problematice plastového odpadu plavajícího v mořích a oceánech začíná zajímat více a více ekologických organizací, které si dali za úkol tento problém vyřešit. V dnešní době již vzniklo několik systémů a konceptů snažících se o vyčištění přeplněných vod plasty. Organizace se částečně zabývají sbíráním plastového odpadu nebo jsou tu další, které se věnují tomu, co se bude se sesbíraným odpadem dít a snaží se vymyslet různé způsoby zpracování. Existuje jen málo společností, které dokážou propojit sbírání a zpracování dohromady. [23]

Nejznámější je nizozemská nezisková organizace The Ocean Cleanup vedena mladým Boyanem Slatem, která si získala obrovské množství fanoušků a mediální pozornosti. Díky tomu projekt získal obrovské finanční prostředky, a i přes negativní reakce některých odborníků, je to jeden z mála systémů, který už dokázal získat nějaké úspěchy v čištění. Ostatní projekty jsou kvůli zastínění The Ocean Cleanup menší a dostávají méně pozornosti jako například Mr. Trash Wheel fungující několik let v přístavu města Baltimore v Americe nebo také vodní drony WasteShark, které sbírají odpad v rotterdamském přístavu. Tyto menší projekty fungují na podobném principu a technologie funguje na principu plovoucích boxů, které do sebe sbírají odpad. Odlišnou technologií se zabývá společnost The Great Bubble Barrier. Tato technologie funguje jako bariéra tvořená vzduchovými bublinkami. Existuje dalších mnoho projektů, které jsou zatím ve formě výzkumu, testování a inovací a v blízkosti budou vypuštěny na hladiny oceánů. [23]

4.2 Sladkovodní systémy

Hlavním zdrojem znečištění oceánů a moří jsou řeky. Tepny, které do oceánů přinášejí plasty z pevniny. Podle studie německých vědců s vedením Dr. Christiana Schmidta z roku 2017, kteří zkoumali 57 řek z celého světa, došli k závěru, že do moří a oceánů přitéká až 90 % plastového odpadu z 10 obrovských řek (viz obr. 2). Jsou to řeky, které protékají nejhustěji osídlenými oblastmi, kde ke všemu cca 2 miliardy lidí žije bez fungování svozu a zpracování odpadu. Kdyby podle výpočtů došlo ke snížení znečištění alespoň o 50 % v těchto 10 řekách, globální znečištění oceánů by kleslo o 45 %. V nejznečištěnější řece Jang-c'-ťiang propluje ročně asi 1,5 milionu tun odpadu. Pro srovnání řekou Temží v Londýně proteče ročně zhruba 19 tun. Koncentrace plastového odpadu samozřejmě závisí na spoustě faktorů a každá řeka má jiné množství, avšak průměr koncentrace ze zkoumaných řek je 40 – 50x větší než maximální koncentrace v otevřeném oceánu. [16]



Obr. 4 Deset nejvíce znečištěných řek plastovým odpadem [10]

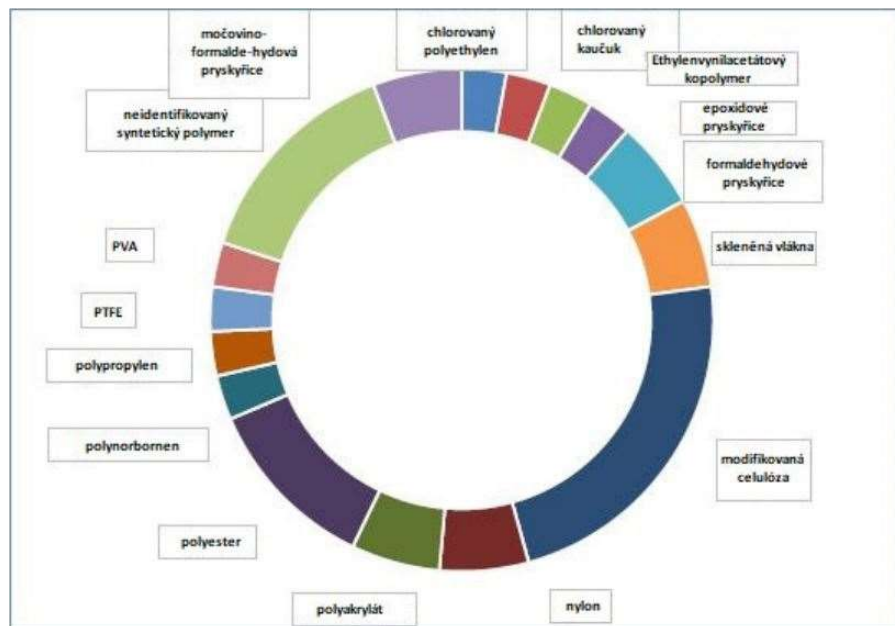
Oproti širokému výzkumu zaměřenému na výzkum plastů v oceánech jsou data z průzkumu sladkých vod slabší a je jen málo studií o výskytu plastů ve sladké vodě. I přesto však vědci objevují stále nové výsledky, které prokazují veliké množství výskytu plastů a mikroplastů. Z těchto poznatků tedy vychází, že největším znečišťovatelem na světě je Asie, kdy je z tohoto kontinentu odhadovaný únik odpadu z řek 86 % a zbytku světa zůstává 14 %. Z toho 7,8 % plastového odpadu pochází z Afriky, 4,8 % z Jižní Ameriky, 0,95 % ze Střední a Severní Ameriky, 0,28 % z Evropy a 0,02 % z Austrálie a Oceánie. Pokud se zaměříme na řeky v Evropě, tak řeka Dunaj vypouští do Černého moře až 1500 tun plastů za rok, z řeky Rýn, vlévající se do Severního moře, uniká 20-31 tun za rok. [17]

Pozorované koncentrace v řekách je ale složité porovnávat a mohou se lišit i o několik řádů jednotek, jak studie ukazují. Významnou roli ve výsledné koncentraci odpadu v řekách způsobují hydrologické charakteristiky. Do těchto charakteristik patří fyzikální vlastnosti vodního tělesa jako je rychlost proudění vody, hloubka, topografie dna a sezónní kolísání průtoku vody. Malé hodnoty proudění a nestabilní hloubka nebo rychlost toku mohou způsobovat tvorbu biofilmu na povrchu plastů, což podporuje jejich usazování. Naopak podmínky jako je vyšší rychlost v tocích může vést k transportu usazených částic a uvolnění kontaminovaných prvků do jiného

prostředí. Například srážky také mohou ovlivnit transport mikročastic. V asijském regionu je při monzunovém období (červen–září) až 5x větší přísun plastového odpadu do moří a oceánů než v méně deštivých obdobích. [20]

V několika posledních letech studie prokázaly výskyt mikroplastů ve sladkovodních soustavách po celém světě. Nejblíže k nám je např. Labe, Rýn, Dunaj, Ženevské jezero ve Švýcarsku a italské Gardské jezero. Všechny tyto mikroplasty mají různý původ a jsou různého složení. Vyskytují se zde jak primární, tak sekundární mikroplasty. Primární jsou uváděny například jako částice z pracích a kosmetických prostředků nebo také plastové pelety používané k výrobě plastových materiálů. Mezi sekundární zdroje patří vlákna a částice rozpadlých větších kusů plastů. Většina mikroplastů ve sladkých vodách jsou původem z průmyslu a z domácností, kdy nebyly zlikvidovány v čistírnách odpadních vod. [15] Dalším zdrojem může být kal z ČOV, který často obsahuje větší množství mikroplastů než samotná odpadní voda. Čistírenské kaly se nejvíce používají pro skládkování nebo jako hnojivo v zemědělství a do řek a jezer se dostávají povrchovým odtokem. Proto by měl být kladen větší důraz na měření mikroplastů z vypouštěné vody ČOV, abychom zvětšili přehled o tom, odkud mikroplasty pochází. [18]

Testování výskytu mikroplastů ve sladkovodních systémech proběhlo také v České republice. Testy byly uskutečněny v roce 2018 na řekách Vltava a Labe. Bylo zkoumáno celkem deset vzorků z různých míst v Praze, Ústí nad Labem a Hřensku. Ve vzorcích se vyskytovali většinou od jednoho do čtyř syntetických vláken nebo fragmentů. Asi polovina ze vzorků tvořila mikroplasty a zbytek části průmyslově upravená celulózová vlákna. Výsledkem byla průměrná koncentrace 3,7 mikroplastových částic na jeden litr. Tento výsledek je srovnatelný s výsledky podobných studií ze zahraničí. Na německo-české hranici v Labi proteče během sekundy 308 000 litrů vody, a pokud je vynásobíme průměrem výskytu mikroplastových částic, výsledkem jsou až desítky miliard mikroplastů mířících do Severního moře. [21]



Obr. 5 Druhy plastů vyskytující se v řece Labi a Vltavě [21]

Stále probíhá více a více výzkumů v oblasti věnované se výskytu mikroplastů ve sladkovodních soustavách. Výzkumné týmy našly plastové mikročástice ve velkém množství od povrchových vnitrozemských řek v Evropě až po sedimenty odlehlého jezera v Mongolsku. Studie testující vodu Velkých jezer v Americe prokázala, že 2 z 21 vzorků měli výrazně větší (11x) množství mikroplastů na km² než celkový průměr. Tento závěr vědci přisuzovali faktu, že tyto dva vzorky byly odebrány po proudu řeky, která tekla ze dvou velkých významných měst Detroitu a Clevelandu, které mají vysokou hustotu obyvatelstva. Další studie se věnovala Chovsgolskému jezeru v Mongolsku, které leží v nadmořské výšce 1645 m a oproti americkým jezerům leží toto jezero v odlehlé horské krajině. Práce však ukázala, že znečištění je dokonce větší než průměr vyskytujících se mikroplastů právě ve Velkých jezerech. Tento výsledek byl způsoben z velké části turistickým průmyslem a také velmi špatným nakládáním s odpadem v Mongolsku. Další studie věnující se řekám a jezerům v Asii zjistila, že počet mikroplastových částic klesá se vzdáleností od center měst, což kromě špatného nakládání s odpady v Asii přispělo ke znečištění sladkovodních systémů. Další zajímavou studií se stalo testování u jezera Garda v Itálii, kde vznikl markantní rozdíl výskytu mikroplastů mezi severním a jižním břehem. Severní břeh obsahoval asi 10x víc mikroplastových částic na km² než jižní břeh. Na

výsledek tohoto závěru může mít vliv síla větru Ora, který fouká z jihu na sever, což má za následek silnou povrchovou cirkulaci a vítr rotuje na severní straně jezera proti směru hodinových ručiček. [20]

Kvůli rostoucímu počtu studií mikroplastů ve sladkovodních systémech by bylo žádoucí mít možnost začít shromažďovat a porovnávat výsledná data. Hlavním problémem je, že na sběr vzorků z životního prostředí není žádný standardní protokol a autoři výzkumných studií k výzkumu používají různé metody. Přestože metody postupu a techniky včetně zatřídění podle velikosti, separace hustoty jsou podobné, tak se stále specifické parametry studií liší, pokud se jedná o objem studovaného vzorku, meze velikosti částic, média pro separaci a kritéria identifikace částic. Další problém vzniká v užívání nestandardních měrných jednotek při určování koncentrace mikroplastů. Tyto rozdílné způsoby zkoumání poukazují na vyšší důraz o standardizaci metod pro studování plastových mikročástic ve sladkovodních systémech. [22]

4.2.1 Působení plastů na sladkovodní život

Při studii z roku 2012, kdy se odchytilo v 11 francouzských řekách okolo 200 pstruhů, se našly v trávícím traktu mikroplasty u 12 % z tohoto počtu. Tato zpráva dokazuje, že i sladkovodní živočichové přijímají mikroplasty. Pro podrobnou analýzu se ryby rozdělily do tří skupin: ryby s výskytem mikroplastů, s možným výskytem a ryby bez pozorovaných mikroplastů. Ryby s obsahem částic plastu byly odchyceny v řekách, kde jejich trasa vedla přes městské části nebo průmyslové zóny. Zatímco ryby bez výskytu mikroplastů byly chyceny v horních oblastech povodí zkoumaných řek. [18]

4.2.2 Systémy pro čištění sladkých vod

Omezením toku plastového materiálu ve sladkovodních systémech do moří a oceánů je klíčovým prvkem k redukci globální akumulace plastů vyskytující se v životním prostředí. I přes zastavení výroby plastů by plastový odpad v životním prostředí zůstával dlouhou dobu. Plastová láhev se například ve vodním prostředí rozkládá podle odhadu asi 58 let. [25]

Systemy pro čištění sladkých vod ještě nejsou tak rozšířeny jako třeba pro čištění oceánů a jenom pár společností, které mají své koncepty na čištění moří a oceánů se věnuje i sladkým vodám. Při posuzování systémů na čištění sladkovodních systémů bylo hodnoceno 40 existujících systémů a konceptů. Z tohoto počtu jich je v provozu 60 %, ostatní zařízení jsou ve fázi zkoušení (20 %) a zbytek je ve vývoji. Všechny organizace zabývající se výzkumem čistících systému vyrábí podobné mechanismy. Jsou to buď výložníky, které fungují jako bariéra sloužící k vedení úlomků nebo zabránění nepřetržitému toku, dále plovoucí kontejnery, které hromadí a zadržují odpad v úložném prostoru a posledním systémem jsou plavidla, které se dají využívat k transportu a mají v sobě místo pro sběr odpadků. Tyto mechanismy se dají kombinovat a zajistit účinnější čištění. [25]

Kvůli nedostatku tolika znalostí o koncentracích, osudu a transportu plastového odpadu ve sladkovodním prostředí je složité vymyslet systém, který by fungoval stoprocentně. Dalším problémem je, že navržená zařízení jsou schopny pohlcovat pouze makroplasty a asi jen 2 ze zkoumaných systémů dokážou zachytávat větší částičky mikroplastů (0,5 μm). Některé systémy dokonce ovlivňují chování ryb nebo je zachycují a značně působí na chování živočichů ve vodním prostředí. Vývoj systémů pro čištění sladkých vod je v začátcích, ale výzkum probíhá rychle a v budoucnosti můžeme očekávat technologie, které nám stoprocentně pomůžou k snížení znečištění plastovým odpadem. [25]

5. Mikroplasty

Přirozeně se vyskytující podmínky ve vodním ekosystému jako je dynamika proudu, sluneční záření, abraze a spojení s organismy způsobují, že se plastový materiál pomalu rozkládá na menší částice známé jako mikroplasty. Tyto malé částičky plastu mají různé definice, podle odlišných studií. Podle studie Arthur a kol. (2009) je tento termín označován jako „*plastové částice menší než 5 mm*“. Tato definice byla upřesněna studií Cole a kol. (2011), kdy se rozlišují mikroplasty na primární a sekundární. A třeba společná skupina odborníků na vědecké aspekty ochrany mořského prostředí (GESAMP) definuje mikroplasty jako „*plastové částice o průměru <5 mm, které zahrnují částice v rozsahu nano velikostí (1 nm)*“. Během posledních deseti let došlo k výraznému zvýšení počtu studií v oblasti výzkumu mikroplastů a jejich chování k životnímu prostředí. A i s ohledem na zvýšenou pozornost této problematiky pořád neexistuje jasná shoda definice, která by byla na tolik rozsáhlá, aby splňovala všechna kritéria pro popis mikroplastů. [26]

Důležitý aspekt pro definici mikroplastů je velikost. A i pro tuto vlastnost neexistuje shoda, která se týká spodního a horního limitu velikosti. Nejpoužívanější je ta první, kterou navrhl Arthur a kol. (2009). Pro určení horní a dolní meze velikosti mikroplastů výrazně přispěla studie Gigault a kol. (2018) zaměřená na nanoplasty, ze které vyšlo, že dolní limit velikosti mikroplastu je 1 mikrometr. [26]

Další vlastnost pro definici mikroplastů je typ a tvar. Nejčastějšími typy mikroplastů, které uvádí celosvětové studie jsou pelety, fragmenty, vlákna mikrokuličky a pěna. Je ale důležité vědět, že každá země používá odlišnou terminologii pro klasifikaci stejného typu plastu. Barevné spektrum pro definování mikroplastů není považováno za zásadní. Avšak pro studie zabývající se vodními organismy je tento aspekt důležitý z hlediska předpokladu, že některé druhy živočichů pohlcující částičky plastu preferují určité barvy a tím pádem si to mohou plést s potravou. Dále by se měla definice zaměřit na fyzichemické vlastnosti, jako je rozpustnost ve vodě nebo chemické složení. [26]

Proto tedy autoři často uvádí tuto definici mikroplastů: „*Mikroplasty jsou jakékoli syntetické pevné částice nebo polymerní matrice, s pravidelným nebo nepravidelným tvarem a s velikostí v rozmezí od 1 mikrometru do 5 mm, primárního nebo sekundárního výrobního původu, které jsou nerozpustné ve vodě.*“ [26]

5.1 Rozdělení mikroplastů

5.1.1 Primární mikroplasty

Jsou to plasty, které jsou vyráběny v mikroskopické velikosti. Tyto mikroplasty se nejčastěji objevují v kosmetice, čistících prostředcích, náplni pro 3D tiskárny nebo také jako abraziva u technologie tryskání vzduchem. V 80. letech 20. století vznikl patent, kdy se místo přírodních přísad jako mleté mandle nebo ovesné vločky začaly používat v mýdlech a peelingu „microplastic scrubbers“. Tyto plasty se obvykle prodávají jako mikrokuličky a mohou se lišit tvarem, velikostí a složením. U technologie tryskání vzduchem pomáhají tyto plastové částičky zbavovat kovové materiály od rzi. Díky tomu, že se tato plastová náplň do trysek používá opakovaně dokud neztratí svou velikost a brusnou sílu, často jsou kontaminovány těžkými kovy. [27]

5.1.2 Sekundární mikroplasty

Oproti primárním mikroplastům se sekundární nevyrábí, ale vznikají vlivem fyzikálních, biologických a chemických procesů působících na velké části plastů, které se pak rozkládají na mikroplasty. Největší podíl na rozklad plastů má UV záření, které způsobuje oxidaci polymerových řetězců a ty se štěpí. Tato degradace může vést k vyluhování přísad pro zvýšení životnosti nebo odolnosti, které plasty obsahují. Oproti chladným hlubokým vodám oceánů a moří působí sluneční záření na plasty na plážích nebo v mělkých vodách a způsobuje jejich rychlý rozklad a křehkost. K UV záření také degradaci pomáhá působení vln a větru. Tento proces postupně probíhá až do úplného rozložení makroplastů na mikroplasty. Podle nových studií se

mikroplasty dokážou dále rozložit na nanoplasty, avšak nejmenší detekované částice v oceánu mají průměr 1,6 mikrometru. [27]

5.2 Zdroje mikroplastů

Většina mikroplastů se netvoří ve vodách, ale hlavním zdrojem je pevnina. Podle výpočtů se jedná až o 80 % plastů, které do vody vstupují z pevniny a zbytek se vytváří ve vodním prostředí. Hlavním dopravním prostředkem pro mikroplasty je dešťová voda a vítr, které dopravují mikroplasty do řek a ty je dopravují do moří a oceánů. [28]

5.2.1 Čistírny odpadních vod

Čistírny odpadních vod (ČOV) akumulují vodu z různých zdrojů od různých uživatelů od civilních až po průmyslové. Ve většině případů jimi také protéká voda dešťová, která sebou nese prach a všechny nečistoty nasbírané po cestě, než stečou do kanalizace. I přes výzkumy a testování ČOV při kterých bylo zjištěno, že dokážou odstranit až 99 % mikroplastů z odpadních vod, které se vrací do recipientů, je 1 % neodloučených látek vysoké číslo. Například ČOV v Glasgow ve Velké Británii, která čistí vodu od 650 tisíc obyvatel a její účinnost na odstranění mikroplastů je kolem 99 %, stále vypouští do životního prostředí až 65 milionů mikroplastových částic každý den. Čistírny, které nemají tak vysokou účinnost odstranění mikroplastů a s vyššími ekvivalentními obyvateli např. 1 milion, mohou do recipientů vypouštět až 160 milionů částic za den. [28]

Účinnost odstranění mikroplastů v ČOV závisí na filtračním zařízení, na jeho konstrukci, aplikaci a použití technologií. Dále také může při intenzivnějších deštích dojít k maximální hranici kapacity čistírny a přebytečný průtok ve stokové síti se vypustí nevyčištěn do řek. Tyto, i když ne moc časté situace, mohou mít významný dopad na celkové množství a výskyt mikroplastů v životním prostředí. [28]

5.2.2 Kosmetika a produkty osobní péče

Jak už bylo zmíněno výše, tak se v 80. letech 20. století začaly mikroplasty hojně používat v kosmetickém průmyslu pro lepší dermatologické účinky. Vyráběné mikrokuličky jsou převážně z polyethylenu a mají různé tvary, od hladkých až po nepravidelné mikročástečky. Jejich velikost se pohybuje okolo 0,1-0,2 mm. Obsah mikrokuliček v přípravcích se vysoce liší. Někteří výrobci uvádí 0,4 %, ale hodnota se může vyšplhat až na 10,5 % obsahu. Peelingy a exfoliační (odstranění odumřelých kožních buněk z povrchu kůže) prostředky nejsou jediné, které obsahují mikroplasty. Patří k nim také zubní pasty, sprchové gely, šampony, oční stíny, deodoranty, pleťové krémy, tekuté make-upy, řasenky a také třeba opalovací krémy. Mikroplasty v těchto přípravcích fungují také jako regulátory viskozity, pojiva, objemová činidla, třpytky. V hodně přípravcích tyto mikrokuličky obsahují také jiné chemické sloučeniny a látky, které jsou usazeny v jejich mikropórech. [28]

Podle průzkumu založeném na datech Evropské asociace kosmetického průmyslu (Cosmetics Europe) a databáze spotřebního zboží (Euromonitor International) bylo spočítáno, že se v Evropě za rok použije až 4130 t mikrokuliček v kosmetice. Výzkum v Anglii ukázal, že průměrné zvyklosti žen způsobují vypouštění až 94 500 mikroplastových částic denně. Podrobnější německá studie odhadla celkovou roční spotřebu na 6,2 g na obyvatele. Z toho 1,9 g mýdlo, 2,2 g prostředky na péči o tělo, 0,5 g výrobky pro pokožku, 1,2 g zubní hygiena a 0,4 g pro jiné výrobky na péči o tělo. [28]

V několika zemích, u kterých vyvolaly vědecké zprávy a výzkumy obavy, začaly vydávat opatření k zákazu dávání mikrokuliček do kosmetiky a jiných výrobků pro domácnost. [28]

5.2.3 Praní prádla

Mikrokuličky používané v kosmetice nejsou jedinými mikroplasty, které jsou zdrojem znečištění ve vodním prostředí. Jsou to také syntetická vlákna uvolňující se z textilu při jeho praní. Podle prvních statistik se z jednoho textilu uvolňuje až 1900 vláken. Toto množství se hodně liší, protože množství

uvolněných vláken ovlivňuje materiál, typy praček, stáří oblečení a druhy pracích prostředků. [28]

Z praní 6 kg prádla se může uvolnit až 6 milionů vláken. Podle studií Pirc a kol. (2016) textil při jednom praní sníží svou hmotnost o 0,0012 % a vypočítal, že za rok se uvolní 70 mg na osobu. Například malá země jako je Slovinsko vypouští do vodního prostředí 144 kg vláken za rok, což se rovná asi 41 700 m² textilního povrchu. Z finského výzkumu Sillanpää a Sainio (2017) vyšlo mnohem větší číslo a podle výpočtů Finsko vypouští do životního prostředí 154 t za rok. [28]

5.2.4 Použití kalu z čistíren odpadních vod

Využívání kalů z čistíren odpadních vod pro zemědělství je běžné v mnoha zemích. V Evropě je určeno asi 50 % kalu pro zemědělství. Je to ekonomicky výhodné jak pro zemědělce, tak i pro vodárenské společnosti. Kal se používá jako činidlo upravující půdu a hnojivo. Problémem je, že mikroplasty, které mají větší hustotu jak voda, se zadržují v čistírenském kalu během primárního a sekundárního čištění. Podle výzkumu je vstup mikroplastů do půdy až 430 tisíc tun za rok. Pro srovnání do povrchových vod vstupuje asi 236 tisíc tun za rok. Komplikace pak vznikají při odtoku vody z pole nebo větrné eroze, kdy mikroplasty putují přímo do vodního prostředí. [28]

5.2.5 Pneumatiky a silnice

Pneumatiky jsou složité polymery různého složení, různých typů syntetických sloučenin s přidanými chemikáliemi pro potřebné vlastnosti. U pneumatik dochází k velkému opotřebení a při tření o vozovku produkují velkou část nanočástic a mikročástic. Vzniká jemný prášek v rozmezí 0,001–0,1 µm, 0,1–2,5 µm a 2,5–10 µm. Tento jemný prášek se dostává do vodního prostředí pomocí dešťového odtoku z pozemních komunikací. Odtéká buď do kanalizace nebo přímo do vodních systémů. Dále se může šířit pomocí vlivů větru a také se dostává do vodního prostředí nebo do půdy. Odhaduje se, že v zemích Evropské Unie se vytváří asi 503 tisíc tun mikroplastů z pneumatik za rok a až 136 tisíc tun za rok může skončit ve vodách. Tímto

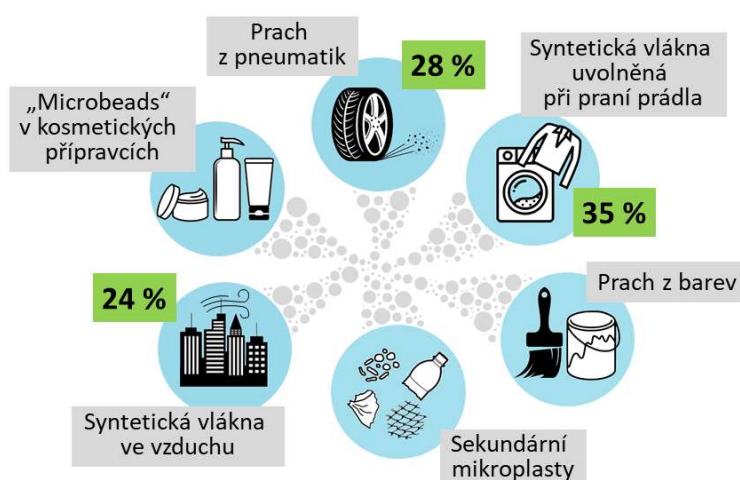
posudkem se staly mikroplasty z pneumatik nejhojnějším zdrojem výskytu zkoumaných plastových mikročástic ve vodním prostředí. Podle výzkumu končí v mořích a oceánech mezi 5 % až 10 % částeczek z pneumatik. [28]

Při tření pneumatik o vozovku se neopotřebovávají pouze ony, ale také samotné silnice. To má za následek odstraňování částic jako jsou termoplastické značkovací barvy, které jsou široce využívány pro značení okrajů silnic, přechodů a pruhů. [28]

5.2.6 Barvy

Mikroplasty se přidávají do barev kvůli poskytnutí povrchového efektu, také jako zvýrazňovače barev, snižují hustotu, zlepšují přilnavost, zvyšují tvrdost a odolnost proti poškrábání a dodávají efekt lesku. Tyto částice mají v průměru několik mikrometrů, akorát mikroplasty používané pro lesklé barvy jsou v řádech milimetrů. Největší degradaci barev způsobuje UV záření, které na nátěry působí a díky zvětrávání se jemné částice odlupují a např. deštěm stékají do kanalizace nebo životního prostředí. [28]

Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj odhaduje, že celková ztráta barvy za její životnost je 6 %. Z toho je 1,8 % během lakování, 1 % v důsledku povětrnostních vlivů a 3,2 % během odstraňování. Pro země v EU se zjistilo, že produkce mikroplastů z barev je až 35 tisíc tun za rok, které se primárně ukládají v půdě a asi až 8 tisíc tun za rok putuje do vodních systémů. [28]



Obr. 6 Zdroje mikroplastů [29]

6. Mikroplasty v pitné vodě

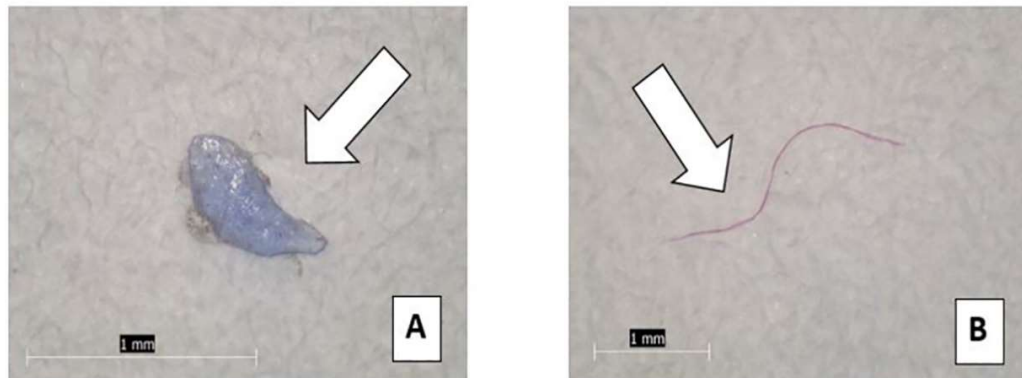
O první známou studii ohledně testování pitné vody se pokusil Kosuth a kol. v roce 2017, kdy shromáždili vzorky v období ledna až dubna 2017 z následujících 14 zemí: Kuba, Ekvádor, Anglie, Francie, Německo, Indie, Indonésie, Irsko, Itálie, Libanon, Slovensko, Švýcarsko, Uganda a USA. S touto prací pomáhala také organizace Orb Media, která se zabývá analýzou životního prostředí a pomáhala získávat vzorky z různých kontinentů světa. Vzorků bylo sesbíráno celkem 159, z toho 3 byly vzorky balené vody. Většina z nich byla odebírána z vodovodu po dobu jedné minuty plněním 500 ml lahve až po přetečení. Voda se nechala téct a lahev byla dvakrát naplněna a vyprázdněna a až třetí naplněná láhev byla uzavřena a zůstala jako vzorek. [30]

Plastové mikročástice byly nalezeny u 81 % ze 159 testovaných vzorků. Rozsah mikroplastů byl ve vzorcích od 0 až po 61 částic na 1 litr. A z toho vznikla průměrná hodnota 5,45 částic/l. Nejvyšší průměr ze všech zemí měla USA s 9,24 částic/l a nejnižší hodnoty měly státy EU v průměru 3,60 částic/l. U balené vody byl průměr výskytu mikroplastů 3,57 částic/l, což je méně než celkový průměr vody z vodovodu. Nejzajímavější zjištění byl poměr obsahu částic, co se týká rozvinutých zemí oproti rozvojovým zemím, kdy ty rozvinutější měly průměrný obsah 6,85 částic/l a rozvojové měly průměr 4,26 částic/l. [30]

Tab. 6.1 Obsah částic ve vzorcích v různých zemích světa (upraveno) [30]

Země/zdroj	Počet vzorků [ks]	Minimum [částice/l]	Maximum [částice/l]	Průměr [částice/l]
Kuba	1	-	-	7,17
Ekvádor	24	0,00	9,04	4,02
Anglie	3	3,66	13	7,73
Francie	1	-	-	1,82
Německo	2	0,00	1,82	0,91
Indie	17	0,00	20	6,24
Indonésie	21	0,00	10,8	3,23
Irsko	1	-	-	1,83
Itálie	1	-	-	-
Libanon	16	0,00	23,3	6,64
Slovensko	8	0,00	10,9	3,83
Švýcarsko	2	0,00	5,47	2,74
Uganda	26	0,00	12,7	3,92
USA	33	0,00	60,9	9,24
Balená voda	3	1,78	5,37	3,57

Z 539 objevených mikroplastů byla většina (98,3 %) určena jako vlákna, zbytek byl označen jako fragmenty a filmy. Délka vláken byla v rozhraní 0,1 až 5 mm a průměr byl stanoven na 0,96 mm. Ze 159 vzorků 66, což je 41,5 % obsahovaly vlákna i po druhém filtračním kroku, což naznačuje, že se filtrace nejeví jako nejefektivnější způsob odstranění mikroplastů z vody. Vlákna po filtraci měly průměrnou délku 0,85 mm, která je o 0,11 mm menší než částice nalezené ve vzorcích jako celek. [30]



Obr. 7 (A) Fragment z indického vodovodu, (B) Vlákno z USA vodovodu [30]

Jak už bylo jednou zmiňované, tak se u rozvojových zemí překvapivě objevilo méně částic než u zemí rozvinutých. Všichni očekávali, že u rozvojových zemí bude koncentrace vyšší kvůli špatnému hospodaření s odpady a spousta zemí nemá možnosti filtrace vody. Tento rozdíl nejspíše vysvětluje proměnné jako je vodní zdroj, hustota lidské populace a metody filtrace vody, avšak je určitě zapotřebí dalšího detailnějšího výzkumu pro srovnání. [30]

Protože byl tento výzkum jako první, co se týče výskytu mikroplastů v pitné vodě, je potřeba brát výsledky s rezervou a jako počáteční varování. Také je potřeba zmínit odebrání vzorků z různě osídlených oblastí. Například v USA byly vzorky odebrány z velkoměst s 8,5 miliony obyvatel, ale také některé vzorky odebrány z měst s 5 tisíci obyvateli, oproti Ekvádoru, kde byly vzorky odebrány pouze z hlavního města s 5 miliony obyvatel. [30]

Další studie o výskytu mikroplastů ve vodovodech vyšla v srpnu roku 2020 v Číně. Z určitých částí Číny bylo vybráno 38 vzorků vody z vodovodu. Vzorky byly odebrány z různých úpraven vod s různými zdroji. Vzorky byly odebrány přímo z kohoutků v domácnostech zásobovaných běžným

vodovodním systémem. Voda se nechala téct jednu minutu a poté se naplnila 1 l láhev do přetečení. V každém místě odběru se získaly dva vzorky. Z 38 vzorků bylo až na 2 potvrzený výskyt mikroplastů. Množství se pohybovalo mezi 0 až 1247 částic/l a z toho byla stanovena průměrná koncentrace 440 částic/l. [34]

6.1 Výskyt mikroplastů v úpravnách vody

Podle poslední studie z dubna roku 2021 existuje, společně s touto, jen šest publikovaných výzkumů zabývajících se problematikou mikroplastů v prostředí úpraven vod. Úpravný vod jsou navrženy tak, aby snižovaly či eliminovaly biologické kontaminanty a chemikálie. Stupně úprav se určují podle druhu vodního zdroje, ze kterého se voda čerpá, přičemž povrchová voda potřebuje mnohem větší úpravu než voda podzemní. Pokud se zaměříme na plastové mikročástice, jsou zvláště důležité procesy určené pro odstranění mikroplastů při úpravě vody. První částí je obvykle přidání koagulantů (nejčastěji sůl pro neutralizaci náboje) a nebo flokulantů (obvykle polymer, který je vázaný na částice) pro podporu shlukování částic. Nedávný výzkum odborníků z Ústavu pro hydrodynamiku v České republice ukázal, že zatímco sůl železa usadila pouze 20 % mikročástic polyethylenu, aniontový polyakrylamid dokázal odstranit 90 % stejného materiálu. [31]

Existující studie uvádějící mikroplasty a jejich výskyt v úpravnách vody mají velmi lišící se výsledky. Studie z ČR, Číny (ÚV Yangze) a Thajska, které zahrnují metody věnující se záznamu velmi malých částic plastů (do velikosti 1 μm) pomocí rastrovaných elektronových mikroskopů a mikro-Ramanových zobrazovacích mikroskopů ukazují hodnoty mezi 300 až 900 částic mikroplastů/l. Německá studie zaměřující se na čerpání vod na ÚV z podzemních vod zaznamenala výskyt pouze 0,0007 mikroplastových částic/l, ale v tomto případě se jednalo o částice do velikosti 20 μm nebo větší. Anglická studie s osmi různými zdroji je na tom podobně jako německá. Kvůli těmto rozdílným hodnotám ve velikosti zkoumaných částic a typu použitých metod se tyto výsledky velmi liší. [31]

6.1.1 Německé úpravní vod se zdrojem podzemní vody

Výzkum věnovaný výskytu mikroplastů v surové podzemní vodě a poté přečištěné v úpravárnách vod probíhal v severozápadní části Německa, kde se čerpá voda (71 milionů m³/rok) z hloubky nejméně 30 m a poté je dopravována do patnácti ÚV a čištěna pomocí několika filtračních a provzdušňovacích kroků. [32]

Vzorky se odebíraly mezi 13. až 20. srpnem 2014. Vybráno bylo 5 ÚV, kde byly vybrány vzorky jak surové vody, tak vody upravené a dále v dosahu 5 až 42 km od ÚV se odebraly vzorky přímo z domácností. Vzorky tímto pokryly všechny kroky úpravy, přepravy a dodávky pitné vody. [32]

U 14 z 24 vzorků nebyly nalezeny žádné mikroplasty. Koncentrace plastových mikročástic u zbylých vzorků se pohybovala okolo 0 až 7 částic/m³ (0 až 0,007 částic/l). Při celkovém souhrnu vzorku byla tomuto výzkumu udělena výsledná hodnota 0,0007 částic/l. Což je oproti jiným výzkumům velmi malá hodnota. Tento výsledek může poukazovat na to, že se tato studie věnovala velikosti částic větší než 20 μm, oproti výzkumům zkoumajícím částice do 1 μm, které vykazují mnohem větší hodnoty. [32]

6.1.2 Úpravní vody v Anglii a Walesu

V této studii bylo vybráno osm úpraven vod s různými zdroji. Tři úpravní odebíraly vodu z nížinných řek, další dvě čerpaly vodu také z nížinných řek, ale voda nějakou chvíli zůstávala v akumulacích nádrží, další dva vzorky byly odebrány z úpraven vod se zdroji podzemní vody a poslední vzorky byly odebrány z úpravní vody se zdrojem z horské nádrže. U každé úpravní vody bylo odebráno pět vzorků v různém časovém úseku od srpna 2018 do května 2019. [31]

V této studii je třeba na začátku říct, že ve všech výsledcích jsou uváděny jen částice větší jak 25 μm (>25 μm). Ze všech zdrojů alespoň jeden vzorek surové vody obsahoval mikroplasty. Pokud vzorek mikroplasty obsahoval, bylo to průměrně 15 částic/l. Nejvyšší koncentrace částic byla zaznamenána u zdroje nížinné řeky s akumulací nádrží 113 částic/l. Je nutno říct, že analýza vzorků surové vody byla narušena kvůli velkému znečištění vody zákalem a

tím bylo zamezeno detailnějšímu prozkoumání mikroplastů ve vzorku. Toto poukazuje na složitost problematiky ohledně analýzy mikroplastových částic ve vodě a je potřeba mít kvalitní vzorky a mikroplasty oddělené od ostatních nečistot ve vodě pro jejich detailní zkoumání, protože pokud jsou jiné látky připojené k plastovým mikročasticím, je těžké je pomocí mikroskopu rozeznat. [31]

Výsledky vzorků vody upravené byly průměrně 0,002 částic/l a moc se neliší od hodnot z německé studie, o které je psáno výše. Ve vodě se určitě vyskytovalo mnohem více částic menších než 25 μm (<25 μm), avšak pokud by otázka zněla, jak účinné jsou úpravny vod v Anglii a Walesu v odstraňování mikroplastů velikosti >25 μm , tak by měly fungovat dobře. [31]

6.1.3 Čínská moderní úpravna vod se zdrojem vody z řeky Yangtze

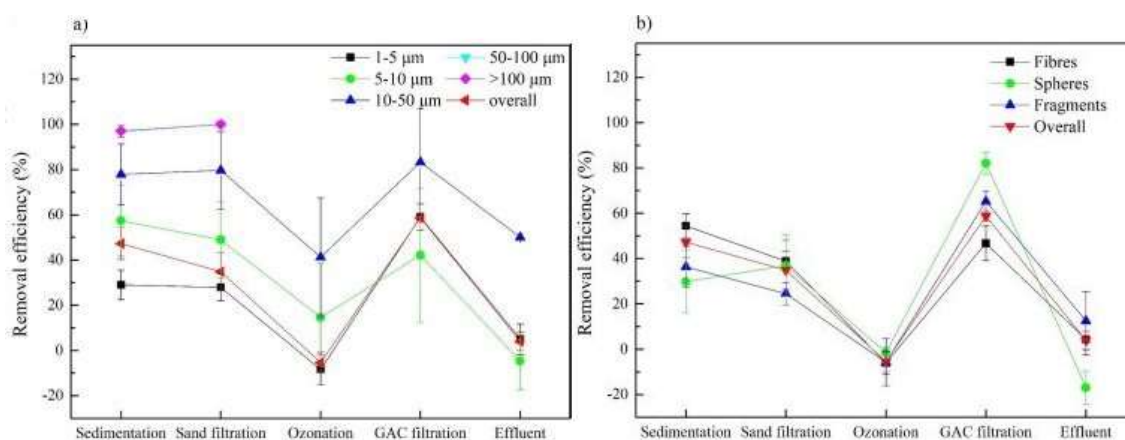
Výzkum výskytu mikroplastů v surové a poté přečištěné vodě probíhal na jedné z největších úpraven vod v Číně (obvyklá/maximální kapacita: 120/150 milionů m^3/d), která odebírá vodu z dolní řeky Yangtze a úprava vody zahrnuje koagulaci/flokulaci, sedimentaci, pískovou filtraci a pokročilé úpravy jako dezinfekce ozonem kombinovaná s filtry s granulovaným aktivním uhlím. [33]

Vzorky byly odebrány vždy ze surové vody a poté i na straně upravené vody u každého technologického kroku. Doba odběru byla během prosince 2018 až ledna 2019 ve třech náhodných dnech. [33]

Mikroplasty se objevily ve všech testovaných vzorcích. Výsledné hodnoty byly vyjádřeny jako průměr \pm standartní odchylka. Koncentrace plastových mikročastic v surové vodě byla 6614 ± 1132 částic/l. Podle velikosti byly nejčastěji nalezeny částice o velikosti 1-5 μm , které obsahovalo asi 54,6-56 % vzorků. Druhou nejčastější velikostí byly částice v rozsahu 5-10 μm (20-27,6 %). Z hlediska tvarů zastupovaly největší podíl vlákna, kdy byl jejich obsah ve vzorcích 53,9-73,9 %. Toto tvrzení lze obhájit skutečností, že se vlákna do vody dostaly díky uvolňování z praní textilu a do povrchové vody se dostaly přes čistírnu odpadních vod. [33]

Vzorčky po úpravě vody vykazovaly lepší hodnoty. Na výtoky z ÚV byla koncentrace mikroplastů 930 ± 72 částic/l. Tento výsledek poukazuje na to, že úprava vody hraje významnou roli v odstraňování mikroplastů z vod, a tedy celková účinnost odstranění plastových mikročástic byla 82,1-88,6 %. Ve vzorcích upravené vody stále dominovaly částice velikosti 1-5 μm (asi 84,4-86,7 %). A to samé platí i pro tvar částic, kde opět převládala vlákna (kolem 51,6-78,9 %). Nejčastěji vyskytovaným typem plastu byly polyethylentereftalát (PET), polyethylen (PE), polypropylen (PP), polystyren (PS) a polyvinylchlorid (PVC). Nejvyšší obsah z výše uvedených plastů měl PET, jak v surové vodě (55,4-63,1 % mikroplastů), tak i ve vodě upravené (47,2 – 58,8 % mikroplastů). [33]

Odstranění větších částic mikroplastů bylo více efektivní než u částic menší velikosti. Například částice větší jak 10 μm byly z vody odstraněny úplně. Pokud se zaměříme na tvar částic, tak se nejlépe odstraňují mikrokuličky, kterých se eliminovalo 89,1-92,7 %, vláken se podařilo odstranit 82,9-87,5 % a fragmentů 73,1-88,9 %. [33]



Obr. 8 Grafy efektivního odstranění mikroplastů v procesech úpravy (A) Podle velikosti částic, (B) Podle tvaru částic [33]

Odstranění mikroplastů v procesech úpravy vody na Yangtze

Koagulace v kombinaci se sedimentací

Účinnost tohoto procesu je 40,5-54,5 %. Jako koagulant byla používána vysoká koncentrace soli hliníku (Al). U procesu koagulace/sedimentace se ukázalo, že částice větších mikroplastů měly vyšší účinnost odstraňování.

Částice větší jak 10 μm ($>10 \mu\text{m}$) byly díky tomuto procesu téměř úplně odstraněny, částice ve velikosti v rozmezí 5-10 μm byly eliminovány ze 44,9-75 %. Podle studie vyšlo najevo, že má koagulační proces vyšší účinnost na větší částice, protože se na sebe částice dobře vážou a vytváří dobré sedimentační vlastnosti. Pro mikroplasty o velikosti 1-10 μm se jednalo o dost špatnou účinnost odstraňování (asi 28,3-47,5 %), avšak pro celkovou velikost menší než 10 μm ($<10 \mu\text{m}$) byla účinnost kolem 53,5-74,6 %. Je to díky tomu, že obsah mikroplastů $<10 \mu\text{m}$ v surové vodě byl kolem 76,5-85,6 %. Účinné odstranění plastových mikročástic $<10 \mu\text{m}$ proto může být potenciálním přístupem ke zlepšení účinnosti odstraňování mikroplastů koagulací/sedimentací. Pokud se zaměříme na účinnost odstranění mikroplastů podle tvaru, tak se nejlépe odstraňují vlákna (kolem 50,7-60,6 %). Je to nejspíše způsobené tím, že se vláknité kontaminanty slučují do vloček a ty se pak snadno vysráží. [33]

Písková filtrace

Ve srovnání s koagulací byla účinnost pískových filtrů 29-44,4 %. Ze studie vychází, že pískové filtry dokážou zachytit mikroplasty větší jak 50 μm ($>50 \mu\text{m}$), protože se na výtoku za tímto procesem ve vzorku žádné nenacházely. Z pohledu tvaru mikroplastu písková filtrace zachytila 30,5-49,3 % vláken, 23,5-50,9 % mikrokuliček a 18,9-27,5 % fragmentů. Z toho výsledku lze usoudit, že se písková filtrace nepovažuje za primární roli ohledně odstranění mikroplastů na ÚV. Výzkum čistě zaměřený na filtraci mikroplastů na ÚV pomocí písku neexistuje, ale podle tohoto výzkumu je vidět, že část plastových mikročástic může být zachycena mezi zrnky písku nebo se držet na povrchu zrn. [33]

Dezinfekce ozonem kombinovaná s filtry s granulovaným aktivním uhlím

Při procesu ozonizace v tomto výzkumu došlo ke značnému negativnímu odstraňování malých částic plastu a vláken. Tento jev mohly způsobit působící smykové síly proudu vody, které rozbily mikročástice na ještě menší částičky a tím se zvýšila koncentrace mikročástic. V předešlých procesech

tento jev nebyl pozorován v důsledku přísné kontroly narušení a stříhového účinku toku vody právě, proto aby se například u koagulace vločky nerozbily na menší částice a nevznikala tak větší koncentrace mikroplastů. V tomto výzkumu byla hodnota rychlostního gradientu snížena z 80 s na 25 s a horizontální průtok během srážení klesl z 0,5 m/s na 0,2 m/s a rychlost proudění vody u sedimentace se udržovala okolo 14 mm/s. Díky tomu nedocházelo k destrukci mikroplastů a ty se nerozkládaly na menší částice. U ozonizace výzkumníci také uvažovali, že za detekováním vyšší koncentrace mikroplastů stojí zbytková organická hmota, která je navázána na částice plastu a díky tomu je snadnější je identifikovat. Přestože před provedením spektroskopických technik byla provedena mokrá oxidace peroxidu pro eliminaci organického materiálu, tak bylo zjištěno, že se ve vzorcích stále ukazovala určitá organická hmota. Díky této studii bylo znázorněno, že po dezinfekci ozonem byla koncentrace mikroplastů vyšší jak u surové vody a ostatních procesech čištění. [33]

Výsledky koncentrace mikroplastů po výtoku z procesu filtrace s granulovaným aktivním uhlím byly s účinností 56,8-60,9 %. Tento typ úpravy měl nejlepší výsledné hodnoty eliminace mikroplastů o velikosti od 1 do 5 μm . Účinnost odstranění vláken byla 38-52,1 %, mikrokuliček 76,8-86,3 % a fragmentů 60,3-69,1 %. Tento výsledek je důkazem, že je filtrace s granulovaným aktivním uhlím schopna účinně odstranit mikroplasty u výtoku procesu dezinfekce ozonem. Když byla ozonizace kombinována s filtry s granulovaným aktivním uhlím, organické látky s velkou molekulovou hmotností degradovaly na menší frakce, což zvyšuje biologickou odbouratelnost na přítoku k filtru s granulovaným aktivním uhlím. Proces úpravy pomocí granulovaného aktivního uhlí by pro zvýšení informací ohledně účinnosti potřeboval další zkoumání. [33]

V konečném hodnocení měla kombinace těchto dvou procesů asi 17,2-22,2 % a hlavní odstraněná velikost mikroplastů byla 1-5 μm . [33]

6.1.4 Úprava vody v Thajsku

Cílem této studie bylo vyhodnotit vzorky sesbírány na řece Chao Phraya v období sucha a dešťů a stanovit, jaká je účinnost odstranění mikroplastů na úpravě vod s řekou jako zdrojem. Maximální kapacita úpravy vody je 4,4 milionu m³ a upravuje vodu pro 3 miliony obyvatel. Úprava vody se skládá z procesů jako jsou síta/česle, koagulace/flokulace a sedimentací, duální filtrace (rychlá písková filtrace/ filtry s granulovaným aktivním uhlím) a chlorace. Vzorky byly odebírány každých osm hodin ze surové vody, po výstupu z česlí, z výstupu koagulace, poté z konce filtrace, a nakonec celkově z upravené vody. [35]

Všechny vzorky obsahovaly mikroplasty od velikosti větší jak 6,5 μm ($>6,5 \mu\text{m}$). U vody surové byl průměrný výsledek 1590 ± 145 částic/l. U vody upravené byla tato průměrná hodnota 609 ± 85 částic/l. To znamená, že celková průměrná účinnost všech procesů byla $62,4 \pm 5$ %. V období sucha to bylo 67,6 % a v období dešťů 57,2 %. V tomto případě je možné, že u silných dešťů dochází k většímu proudu vody a turbulence, což způsobuje vlny, a to například může dělat potíže u čiření, kdy částice plují moc rychle a nechají se unést a poté nedojde k sedimentaci. Z této studie vyšlo najevo, že menší částice mikroplastů se nejlépe odstraňovaly čiřením a ty větší viditelnější pomocí filtrace. [35]

Pro lepší účinnost odstranění mikroplastů bylo v této studii navrženo několik metod pro zlepšení úpravy vod. U prvního procesu odstranění nečistot sítami/česlemi, který nedokáže účinně odstranit menší částice mikroplastů, by mohlo dojít ke snížení velikosti pórů ve filtru před tímto procesem pro snížení počtu částic při vstupu do úpravy vod. Pro zlepšení efektivnosti flokulace se dají zvýšit dávky koagulantu (kamenec) a polyelektrolytu. Kromě toho lze typ elektrolytu změnit, pokud můžeme detekovat povrchový náboj polymerů při výstupu. U filtrace by šlo zmenšit velikost pórů u spodní pískové vrstvy anebo také zvětšit tloušťku všech filtračních médií, které zvýší počet zachycených částic. [35]

6.2 Mikroplasty v pitné vodě v ČR

6.2.1 Studie z roku 2018

Kvůli nedostatečnému výzkumu mikroplastů v pitné vodě se odborníci z Akademie věd České republiky na Ústavu pro hydrodynamiku rozhodli vytvořit studii věnovanou výskytu mikroplastů v pitné vodě v České republice. Tento projekt je výjimečný, protože se zabývá výskytem mikročástic nejen ve zdrojích vody, ale také přímo ve vodě upravené. Vzorky vody získali ze tří různých úprav vod v ČR. Tyto úpravny se nachází v osídlených oblastech doplněných průmyslem a jejich rozdíl spočívá v typu vodního zdroje a technologie úpravy vody. [2]

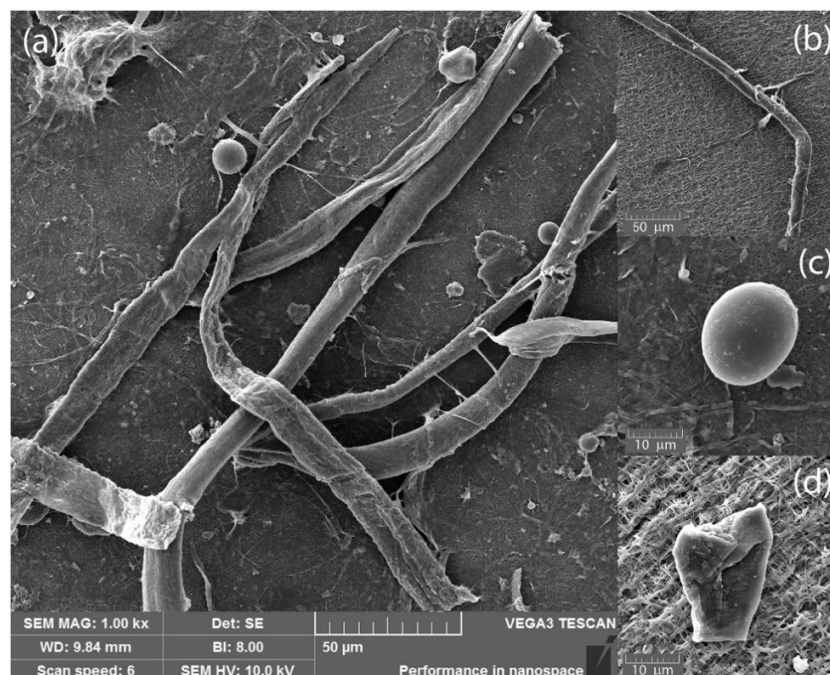
Jako zdroje byly vybrány velká vodní nádrž v údolí, malá vodní nádrž a řeka. Tyto vzorky byly pojmenovány jako ÚV1, ÚV2 a ÚV3. U ÚV1 se jedná o úpravnu, která odebírá vodu z velké nádrže, její obvyklá/ maximální kapacita je 3700/7000 l/s, zásobuje asi 1,5 milionu obyvatel a využívá technologie zahrnující koagulaci/flokulaci a pískovou filtraci. Druhý zdroj ÚV2 byl získán z úpravny odebírající vodu z malé vodní nádrže s obvyklou/maximální kapacitou 100/200 l/s se zásobováním pro 60 tisíc obyvatel s upravujícími prvky jako je koagulace/flokulace, sedimentace, písková filtrace a filtry s granulovaným aktivním uhlím. U třetího zdroje ÚV3 se jedná o úpravnu, která čerpá vodu z řeky s obvyklou/maximální kapacitou 90/150 l/s zásobující 130 tisíc obyvatel a proces úpravy zajišťuje koagulace/flokulace, flotace, písková filtrace a filtry s granulovaným aktivním uhlím. [2]

Kvůli minimálnímu výskytu fytoplanktonu, který by způsoboval problémy analýzy studované vody, se odběr vzorků prováděl v zimním období. U každé úpravny vody se zajistil vzorek surové vody a poté i vody upravené. Každý vzorek byl o objemu 1 litru v autoklávodatelných lahvích z borosilikátového skla. Odběr se prováděl každých 8 hodin, což znamená 3x za den a výběr dnů byl náhodný. [2]

Po přezkoumání vzorků se ukázalo, že každý obsahoval mikroplasty. Největší obsah mikročástic tvořily vzorky před úpravami ÚV3 3605 ± 497 částic/l, ÚV2 obsahoval 1812 ± 35 částic/l a ÚV1 1473 ± 34 částic/l. Tyto

rozdílné hodnoty jsou dány působením různých faktorů, které se týkají druhu vodního útvaru a v jakém prostředí se nachází, povětrnostních podmínkách v čase odběru a působením lidské činnosti v okolí zdroje. Díky tomu, že zdroj z ÚV1 je z velké vodní nádrže a má možnost upravit profil odběru podle kvality vody, tak obsahuje nejméně mikroplastů z těchto tří testovaných úpraven. U ÚV2 se jedná o menší nádrž, jak je zmíněno výše, a navíc je umístěna poblíž průmyslové oblasti a více obydlené oblasti oproti ÚV1. Nejznečištěnější vzorek je z úpravny ÚV3, která čerpá vodu z řeky protékající průmyslovou zónou. [2]

Vzorky po úpravě obsahovaly mikroplasty taktéž, i když v menší formě. ÚV1 443 ± 10 , ÚV2 338 ± 76 a ÚV3 628 ± 28 částic/l. Podle tohoto zjištění tedy ÚV1 odstranila v průměru 70 %, ÚV2 81 % a ÚV3 82 % částic plastu. Tyto rozdíly jsou nejspíše způsobeny odlišným způsobem úpravy vody. První úpravna ÚV1 používá pro čištění konvenční pískovou filtraci, zatímco další dvě ÚV2 a ÚV3 dvoustupňovou separaci. ÚV2 zpracovává vodu sedimentací + pískovou filtrací a ÚV3 funguje na principu flotace + pískové filtrace, a ještě se k obou přidává filtrace s granulovaným aktivním uhlím. Z tohoto hlediska je nejúčinnější k odstranění mikroplastů flotace, díky lehkosti a nadnášení plastových částic. [2]



Obr. 9 (a) Snímek mikroplastů z mikroskopu, (b) vlákna, (c) mikrokuličky, (d) fragmenty [2]

6.2.2 Studie z roku 2020

Tento výzkum se věnoval výskytu mikroplastů menších jak 1 μm ve vodě surové a upravené na dvou úpravnách vod vzdálených od sebe 90 km se stejným zdrojem vody (řeka Úhlava), ale s odlišnými procesy úpravy vody. Odběr vzorků byl prováděn v zimním období z důvodu menšího výskytu fytoplanktonu, který by ovlivňoval identifikaci mikroplastových částic. Odebíralo se třikrát denně každých 8 hodin, stejně jako v předchozí studii. Každý vzorek měl objem 2 l. [36]

Mikroplasty byly nalezeny ve všech vzorcích. Co se týče ÚV Milence (ÚVM), tak ta má jednoduchý systém úpravy vody (koagulace/flokulace, písková filtrace a dezinfekce chlorem). Proto se bral jeden vzorek při vtoku do úpravný a druhý při výtoku. V surové vodě se vyskytovalo v průměru 23 ± 2 částic/l a dále upravená voda obsahovala 14 ± 1 částic/l. [36]

ÚV Plzeň (ÚVP) obsahuje více procesů úpravy vody než ÚVM. Vzorky tedy byly odebrány ze surové vody, dále po každém procesu úpravy jako je koagulace/flokulace, sedimentace, písková filtrace, ozonizace a filtry s granulovaným aktivním uhlím. Vzorky odebrané ze zdroje této úpravný obsahovaly v průměru 1296 ± 35 částic/l. Vyšší výskyt mikroplastů oproti ÚVM lze vysvětlit tím, že ÚVM odebírá vodu z vodní nádrže na řece Úhlava, kdy nádrž leží v chráněné krajinné oblasti Šumava a znečištění v této oblasti je tedy minimální. Za to ÚVP odebírá vodu přímo z dolního toku Úhlavy a řeka protéká několika městy a slouží jako recipient pro vodu z ČOV. [36]

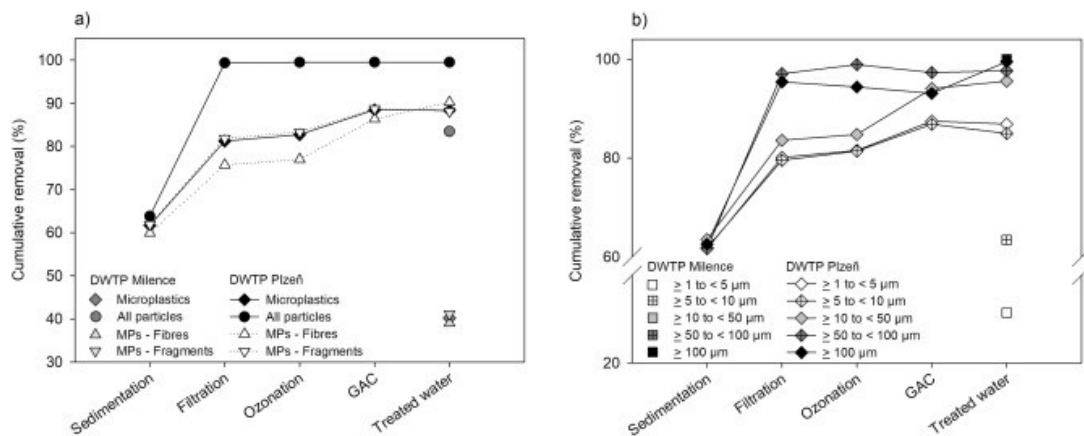
Co se týče tvaru mikroplastů, tak v obou zdrojích dominovaly z 80 % fragmenty a zbytek tvořily vlákna a mikrokuličky. Vlákna měla nejčastěji rozmezí od 5 μm do 10 μm . Nejčastěji zachycenými materiály byly PVC, PE, PP, PET. [36]

V této studii byla pozornost zaměřena na výskyt mikroplastů v určitých procesech úpravy vody. Proto se hlavně věnujme ÚVP kvůli více procesům úpravy. Při procesu koagulace/flokulace se sedimentací počet mikročástic klesl na 497 ± 44 částic/l. Úprava pokračovala filtrací, po které ve vodě zůstalo 243 ± 17 částic/l. U ozonizace se počet mikroplastů moc nesnížil a ve vodě jich zůstalo 224 ± 3 částic/l. U filtrace s filtry s granulovaným uhlím se počet

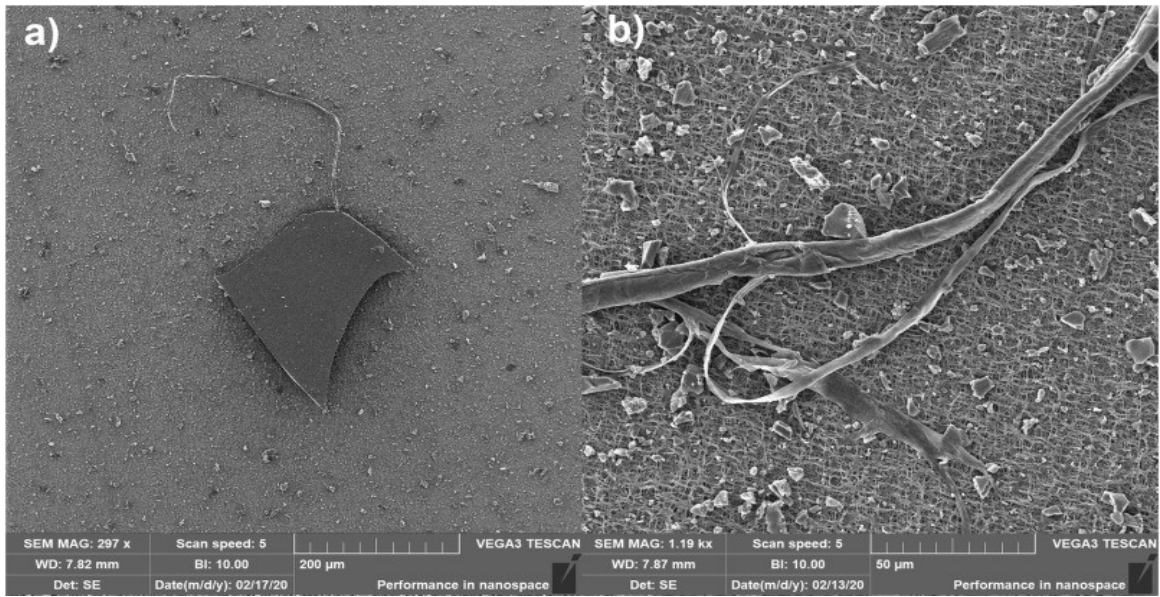
snížil na 149 ± 1 částic/l. Konečný počet mikroplastů po úpravě vody byl 151 ± 1 částic/l. [36]

ÚVM dosáhla účinnosti 40% odstranění mikroplastů. Obsah plastových mikročástic byl přece jen v surové vodě velmi nízký, a tak je množství mikroplastů v upravené vodě zanedbatelné. Finální účinnost odstranění mikroplastů na ÚVP byla až 88 %. Koagulací/flokulací se sedimentací se podařilo odstranit 62 %. Dále pomocí filtrace (filtrační materiál na bázi jílu a s aplikací manganistanu do vody před filtrací) se eliminovalo dalších 20 % a celková účinnost odstranění po tomto procesu se zvýšila na 82 %. Filtrace nejvíce přispěla k odstranění fragmentů. Po ozonizaci se výsledek moc nezměnil od posledního procesu. K odstranění dalších částic došlo až u posledního procesu úpravy, a tím jsou filtry s aktivním uhlím, kde došlo k odstranění dalších 6 % a výsledná celková eliminace tedy byla 88 %. Filtry s aktivním uhlím zlepšily odstranění vláken. [36]

Celkové odstranění se tedy blíží ke studiím z roku 2018, kde byla účinnost odstranění 81-83 % a také ke studii z Číny na řece Yangtze s účinností eliminace 86 %, kde používali podobné metody úpravy vod jako v této studii. [36]



Obr. 10 Grafy ukazující odstranění mikroplastů na procesech úpravy vod, (a) podle tvaru částic, (b) podle velikosti částic [36]



Obr. 11 Snímek mikroplastů z mikroskopu, (a) fragment, (b) vlákno [36]

7. Analýza mikroplastů

7.1 Příprava vzorků

Cílem přípravy vzorků pro identifikaci mikroplastů je extrahovat polymery ve formě částic. Tato část je velmi důležitá pro získání přesných a spolehlivých výsledků při celkové analýze mikroplastů. Metody přípravy vzorků jsou vybírány podle toho, co voda obsahuje a z jakého je zdroje. Například při kontaminaci vody organickými látkami je nejlepší použít předúpravu pomocí chemických látek. U vod s výskytem anorganických látek je dobré mikroplasty oddělit pomocí hustotní separace nebo, v případě kalu, prosévacím mechanismem. [37] [38]

7.1.1 Předúprava chemickými látkami

Tato metoda se používá pro odstranění organických látek ze vzorků. K tomu se používají kyseliny, zásady a peroxid vodíku. Nejvíce používanými kyselinami jsou kyselina chlorovodíková (HCL), kyselina dusičná anebo jejich kombinace. Je však důležité si dát pozor, aby kyselina nezměnila chemické vlastnosti povrchu plastových mikročástic. Nejlepší možnost pro čistotu a neponičení vzorku je použití peroxidu vodíku. [37] [38]

Kromě použití kyselin a zásad se dá použít i enzymové štěpení pro odstranění zejména biogenního materiálu a chemické složení plastů se nezmění. Tato varianta je však časově náročná. [37] [38]

7.1.2 Hustotní separace

Separace založená na hustotě je zapotřebí, pokud vzorky obsahují anorganické částice, které mají větší hustotu jak mikroplasty. Hustota písku a usazenin má hodnoty okolo $2,65 \text{ g/cm}^3$. Pro tyto účely se k oddělení hustot používá nasycený roztok soli, který má větší hustotu jak plastové mikročástice. Po přidání soli do vzorku se vzorek promíchá a tím se sedimenty usadí na dno a mikroplasty s menší hustotou vyplavou na povrch a můžeme je snadno odebrat. Nejpoužívanější je díky své dostupnosti a nízké

ceně roztok mořské vody nebo chlorid sodný (NaCl) s hustotou 1,2 g/cm³. V mnoha případech však mají některé plasty hustotu vyšší (PET, PVC), proto se začaly používat jiné řešení pomocí např. chloridu zinečnatého (ZnCl₂), který má velkou míru regenerace a hustotu 1,5 g/cm³, ale během používání vytváří výpary. Dále můžeme použít jodid sodný (NaI), kvůli jeho dobré recyklaci a enviromentální bezpečnosti. A pro separaci hustších mikroplastů (PVC, PET) můžeme použít separátor využívající roztok lithium-metolframanu. [37] [38]

7.1.3 Filtrace

Filtrace se používá pro oddělení mikroplastů od větších částic ve vodách a sedimentech. Pro filtraci se používají síťové a membránové filtry, které odstraňují nežádoucí částice vyloučením velikosti. Velikost pórů ve filtrech je nastavitelná podle toho, jak potřebujeme. Filtrační metoda se často kombinuje s hustotní separací. Podle studií bylo zjištěno, že už pomocí filtru šlo zjistit, jaký je výskyt mikroplastů ve vodách podle velikosti. Koncentrace u filtru s velikostí ok 1 μm jsou 1000krát vyšší, než koncentrace zachycena filtrem s velikostí ok 500 μm. Tato skutečnost naznačuje, že velké množství malých mikročástic je přítomno, ale podhodnoceno. [37] [38]

7.2 Identifikace mikroplastů

U identifikace mikroplastů v pitné vodě jsou používány různé metody. Tyto techniky zahrnují světelnou mikroskopii, podporovanou předbarvením vzorků různými barvivy, rastrovací elektronovou mikroskopií (SEM), spektroskopické metody (infračervená a Ramanova spektrometrie) a termoanalytické metody (Pyr-GC/MS). Nejčastěji používanou metodou je Fourierova transformace infračerveného záření (FTIR) a Ramanova spektrometrie. [39]

7.2.1 Vizualní metody

Tato technika je nejjednodušší kontrolou pro analýzu identifikace mikroplastů. Používá se pro analýzu částic velikosti od 1 do 5 mm. Obecně

jsou zkoumané částice pozorovány pouhým okem nebo za pomoci mikroskopu. Dále se pak klasifikují podle barvy a tvaru. Tato metoda však má omezení v identifikaci velikosti. Pouhým okem totiž nemůžeme identifikovat všechny možné mikroplasty ze vzorku, proto je tato metoda méně účinná při detekci menších částic. Kvalita vyhodnocených dat závisí hlavně na vyhodnocující osobě, kvalitě a zvětšení mikroskopu a na kvalitě vzorku. Hranice chyb u vizuální metody se pohybuje od 20 % do 70 %, kdy záleží na velikosti vyhodnocovaných částic, to znamená, že čím jsou částice menší, tím vznikají větší chyby. V dnešní době se tato metoda pro identifikaci pouze větších částic nedoporučuje, ale stále se používá vzhledem k nízké ceně a jednoduchosti. A určitě je to nápomocná metoda pro další zkoumání a techniky ohledně analýzy mikroplastů. [40] [41]

7.2.2 Mikroskopie

Mikroskopie je další hojně používaná metoda pro identifikaci mikroplastů. Touto metodou můžeme detekovat částice do velikosti 100 μm ($<100 \mu\text{m}$). Díky možnosti zvětšení obrazu tato metoda umožňuje detailně zkoumat povrchovou strukturu a strukturní informace zkoumaného vzorku. Zkoumání mikroskopem stěžují biogenní materiály ve vzorcích, které byly špatně odděleny od zbytku vzorku. Hůře se také odlišují syntetické (polyester) a přírodní (vlákna z bavlny) vlákna. [40] [41]

Skenovací elektronová mikroskopie (SEM)

Díky této technice můžeme detailně sledovat jasné a zvětšené obrazy mikroplastů. Díky těmto vysoce přiblíženým snímkům můžeme snadno rozeznat plastové mikročástice od organických látek. Tato metoda je možná kombinovat s energeticky disperzní rentgenovou spektroskopií (EDS). SEM-EDS je vhodný pro analýzu uhlíkových plastů z anorganických částic. Tento způsob je však nákladný a je časově náročný na přípravu vzorků a jejich vyšetření. Proto se tento způsob identifikace mikroplastů doporučuje jako doplňující k dalším metodám analýzy. [40] [41]

7.2.3 Spektrometrické metody

K těmto metodám patří Ramanova spektroskopie a infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací (FTIR), které jsou běžně používané pro identifikaci a chemické složení mikroplastů. [40] [41]

Ramanova spektroskopie

Tato metoda funguje na principu rozptylu laserového paprsku. To znamená, že molekula rozptyluje dopadající světlo z vysoké intenzity laserového zdroje. Pokud vzorek vystavíme monochromatickému světlu z laserového paprsku, určité molekuly světlo absorbují a ostatní světlo rozptylují, což je známé jako Ramanův rozptyl. Tato technika je nedestruktivní. Vlnové délky u laseru se pohybují okolo 500 až 800 nm. [40] [41]

Výhoda této metody je rozpoznání částic i pod 20 μm . Detailní zkoumání má však nevýhodu v jejím dlouhém časovém zobrazování, které omezuje jeho praktické využívání. Dále není vhodné tuto metodu používat u vzorků, které produkují fluorescenci (zbytky biologického původu ve vzorcích) anebo u mikroplastů obsahující různé přísady a pigmenty. Ty totiž tuto metodu mohou rušit a může tak docházet k chybám identifikace. Fluorescenci můžeme zmírnit pomocí laserů s vyšší vlnovou délkou (>1000 nm), avšak čím vyšší hodnoty mají vlnové délky, tím je nižší energie laseru, a to zmenšuje signál vzorku mikroplastů. Proto je důležité provést další výzkumy pro nalezení optimální vlnové délky a intenzitu signálu při hodnocení mikroplastů ve vzorcích. [40] [41]

Infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací (FTIR)

FTIR (Fourier-transform infrared spectroscopy) je nejpoužívanější metodou pro identifikaci mikroplastů. Tato metoda funguje na principu ozařování částic infračerveným paprskem, kdy si můžeme určit rozptyl vlnové délky a každé infračervené záření je specifické pro určité chemické vazby a strukturu částic. Tento typ spektrometrie měří přechody mezi hladinami

vibrační molekulové energie, když absorpce infračerveného záření mění dipólové momenty molekuly. Když vzorkem prochází infračervený paprsek, tak ve výsledném spektru vytváří jedinečný obtisk. Plasty mají vysoce specifické infračervené spektrum s pruhovými vzory, a díky tomu je infračervená spektrometrie ideální metodou pro identifikaci mikroplastů. Před použitím této metody by měly být vzorky vysušeny, protože voda silně pohlcuje infračervené záření a může tak zkreslovat výsledky. [40] [41]

Pro identifikaci mikroplastů se používají tři různé režimy této metody, a to je oslabení celkové odrazivosti (attenuated total reflectance-ATR), režim přenosu a odrazu. ATR je nejlepší a nejstabilnější možnost pro spektroskopickou identifikaci. Dokáže během jedné minuty identifikovat mikroplasty s velikostí částic 300 μm nebo větší s velikou přesností. Přenos dokáže vytvořit snímky s vysokým rozlišením, avšak vzorkem musí proniknout infračervené světlo. Režim odrazu se nejčastěji používá pro vzorky, které jsou silnější a méně průhledné. [40] [41]

Nové pokroky ve výzkumu pomohly identifikaci mikroplastů vylepšit novější metodou nazývanou detektor ohniskové metody (focal plane array-FPA). Detektorem FPA se vybaví mikro-FTIR přístroj, který má automatizovaný stupeň pro prostorově rozlišitelná spektra. Detektor je schopen snímat pouze určitou část mřížky, oproti klasické metodě FTIR, která snímá celý vzorek umístěný na vzorkovací ploše přístroje. [40] [41]

7.2.4 Tepelná analýza

Pyr-GC-MS

Další běžně používaná metoda pro analýzu mikroplastů je pyrolýza-plynová chromatografie-hmotnostní spektrometrie (pyrolysis-gas chromatography-mass spectrometry Pyr-GC-MS). Touto metodou se dají identifikovat chemické složky plastových částic analýzou zahřátých vzorků a pozoruje typy přísad a plastů. Pyrolýza vytváří charakteristické pyrogramy, které zjednodušují identifikaci typu polymerů obsažených ve vzorku. Ve srovnání s výše uvedenými spektrometriemi nám tato metoda pouze dokáže

zjistit hmotnostní zlomek polymerů. Její nevýhodou je možnost na stroji provádět analýzu pouze malé části vzorku, což způsobuje velkou časovou náročnost při zpracování velkého množství vzorků a dále různě odlišné polymery mohou při rozkladu produkovat podobné látky, a to stěžuje správnost identifikace plastových mikročástic. [40] [41]

Tab. 7.1 Výhody a nevýhody u metod pro identifikaci mikroplastů (upraveno) [41]

Metoda identifikace	Výhody	Nevýhody
Mikroskopie	Jednoduché Snadné Rychlé	Žádné chemické potvrzení Možnost falešného výsledku Maximální zkoumané částice do 100 μm Nezjistíme žádné údaje o složení plastů
FTIR spektroskopie	Kvalitní zjištění údajů o studovaném vzorku Snížení počtu falešných údajů Nedestruktivní metoda Plasty můžeme detekovat až do velikosti 10 μm	Metoda náročná na čas a práci pro identifikaci celých částic Drahá technika
Ramanova spektroskopie	Kvalitní zjištění údajů o studovaném vzorku Snížení počtu falešných údajů Nedestruktivní metoda Plasty můžeme detekovat až do velikosti 1 μm	Metoda náročná na čas a práci pro identifikaci celých částic Drahá technika Problémy identifikace při výskytu biogenních prvků ve vzorku
Pyr-GC-MS	Současně probíhající analýza typu polymeru a přidávaných chemikálií	Desktruktivní metoda Složitá data

8. Souhrnné zhodnocení účinnosti úpravárenských procesů na odstranění mikroplastů z vody

Na základě dříve zmíněných studií, které se zabývaly úpravou vody s částicemi mikroplastů ve zdroji, jsem vytvořil souhrnnou tabulku, která udává přehled všech studovaných úpraven vod, jejich technologických procesů, koncentrací mikroplastů ve zdrojové vodě, účinnosti procesů úpravy vody a celkové odstranění mikroplastů.

Tab. 8.1 Zhodnocení účinnosti úpravárenských procesů na odstranění mikroplastů z vody

Označení úpravní vody	Typ procesu	Koncentrace mikroplastů ve zdroji [částice/l]	Účinnost procesu úpravy [částice/l]	Účinnost procesu úpravy [%]	Celkové odstranění mikroplastů [částice/l]	Celkové odstranění mikroplastů [%]
ČR ÚV1	Koagulace/flokulace	1473±34	Neuvedeno	Neuvedeno	443±10	70
	Písková filtrace					
ČR ÚV2	Koagulace/flokulace+sedim.	1812±35	Neuvedeno	Neuvedeno	338±78	81
	Písková filtrace					
	Filtry s aktivním uhlím					
ČR ÚV3	Koagulace/flokulace+flotace	3605±497	Neuvedeno	Neuvedeno	628±28	82
	Písková filtrace					
	Filtry s aktivním uhlím					
ČR ÚVM	Koagulace/flokulace	23±2	Neuvedeno	Neuvedeno	14±1	61
	Písková filtrace					
ČR ÚVP	Koagulace/flokulace+sedim.	1296±35	799±44	62	151±1	88
	Písková filtrace		254±17	20		
	Filtry s aktivním uhlím		94±1	6		
Čína ÚV1	Koagulace/flokulace+sedim.	6614±1132	799±44	47,5	930±72	86
	Písková filtrace		254±17	36,7		
	Filtry s aktivním uhlím		94±1	1,8		
Thajsko ÚV1	Síta/česle	1590±145	106	7,4	609±85	62
	Koagulace/flokulace+sedim.		461	29		
	Písková filtrace+Filtry s aktivním uhlím		414	26		

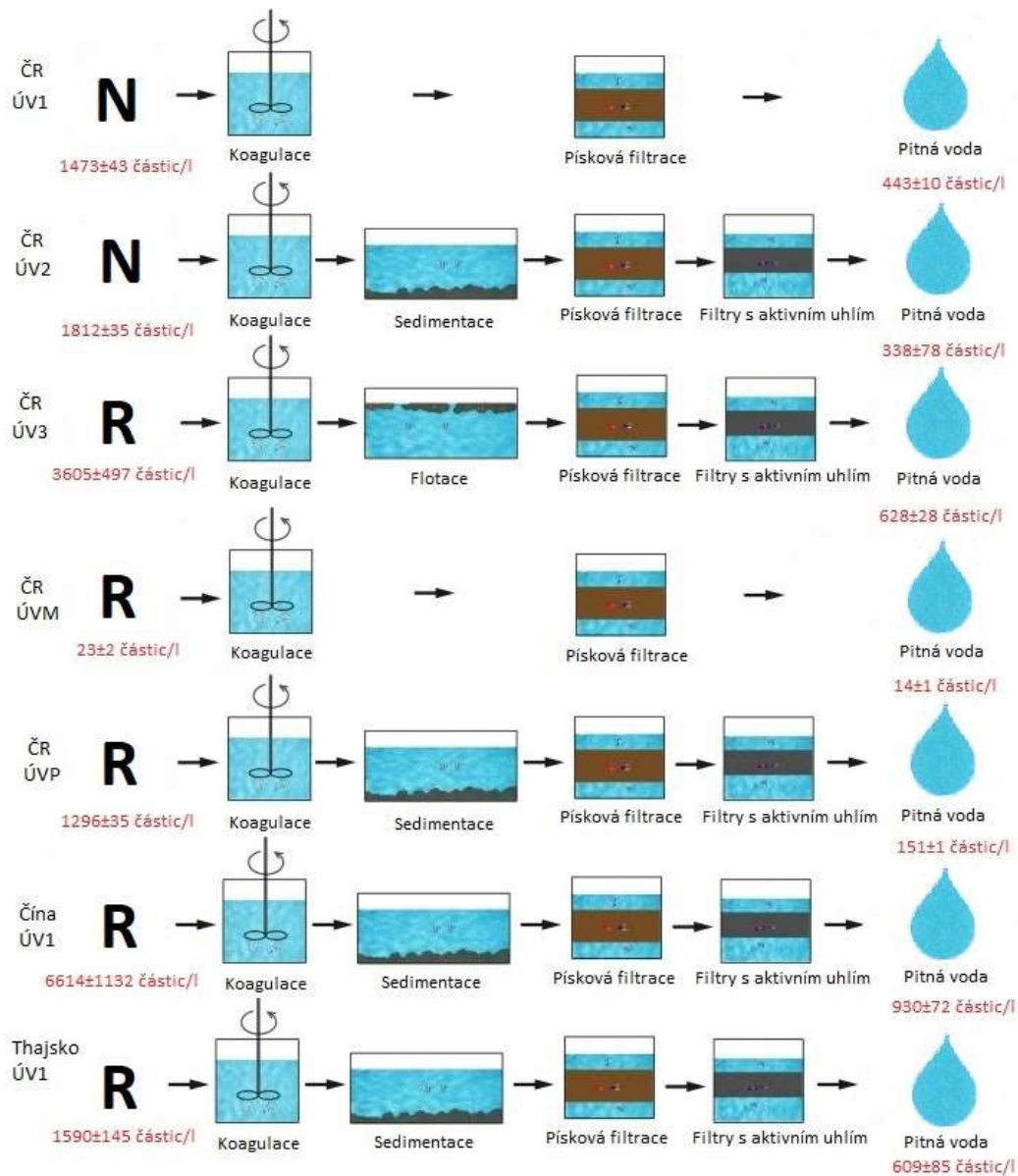
Zhodnocení se týká 7 studií, které se zabývaly výskytem mikroplastů na úpravárnách vody. Jedná se o pět českých úpraven vody a dvou zahraničních úpraven v Číně a Thajsku.

Největší koncentrace mikroplastů celkově byla u čínské úpravní vody se zdrojem z řeky Yangtze. Vysoká koncentrace je dána tím, že se jedná o nejznečištěnější řeku plastovým odpadem a protéká velkou řadou měst a průmyslových oblastí, které přispívají k znečištění. Nejmenší koncentrace je naopak na úpravně vody v ČR označené ÚVM na horním toku Úhlavy poblíž vodní nádrže Nýrsko, která leží v čisté oblasti s minimálním průmyslem a blízko CHKO Šumava. Tato skutečnost potvrzuje, že vyšší koncentrace mikroplastů ve sladkovodních systémech je dána především vlivem průmyslu a blízké vzdálenosti zdroje od velkých měst.

Nejúčinnější úpravna vody je ÚVP na dolním toku Úhlavy v ČR, kde se odstranilo 88 % mikroplastů a hned za ní s 86 % je čínská úpravna vody na

řece Yangtze. Tyto úpravy obsahují koagulaci/flokulaci se sedimentací, pískové filtry a filtry s granulovaným aktivním uhlím, čímž se jeví tyto úpravy s těmito procesy jako nejúčinnější.

Proces úpravy vody, který dokázal eliminovat nejvíce mikroplastů, je podle srovnání studií koagulace/flokulace se sedimentací.



Obr. 12 Schémata zhodnocených úprav vod zmíněných v této práci; N – nádrž, R – recipient

Ze zmiňovaných studií s porovnatelnými výsledky v tabulce a ve schématu mají dvě úpravy vod jako zdroj vodní nádrž a zbylých pět má zdroj řeku.

V souhrnném schématu můžeme vidět procesy úpravy na zkoumaných úpravnách vod v této práci. Dvě úpravy v ČR mají jednodušší

proces úpravy (koagulace/flokulace a písková filtrace), což je dáno především tím, že ÚV1 v ČR má zdroj vody jako vodní nádrž umístěnou v neznečištěném prostředí, kde není potřeba složité úpravy vod a má také možnost upravit profil odběru podle kvality vody. To samé platí pro ÚVM v ČR, kde je zdroj vody sice řeka, ale je to horní tok v neznečištěném a méně obydleném prostředí. Tento fakt můžeme sledovat i na koncentracích mikroplastů zjištěných ve zdroji a zobrazených ve schématu, kde je vidět, že v těchto zdrojích je jedna z nejmenších koncentrací plastových mikročástic.

Zbýlých pět úpraven má třístupňovou úpravu. Čtyři z nich mají první stupeň úpravy koagulaci/flokulaci spojenou se sedimentací a jedna má koagulaci/flokulaci s flotací. Všech pět má dále jako druhý stupeň úpravy pískovou filtraci a třetí stupeň jsou filtry s granulovaným aktivním uhlím. Všechny úpravny mají jako doplněk úpravu vody chlorem nebo ozonem, avšak tyto procesy eliminaci mikroplastů moc neovlivňují, proto nejsou zmíněny ve schématu a tabulce. Třístupňový proces je v úpravnách z důvodu toho, z jakého zdroje je čerpána voda. Jak je možno vidět ve studiích a ve schématu, jsou tyto zdroje znečištěné a mají vysokou koncentraci mikroplastů. ÚV2 má sice zdroj jako vodní nádrž, avšak ta leží poblíž průmyslové aktivity a zbylé čtyři úpravny mají zdroj vody na dolních tocích řek, které protékají městy a průmyslovými zónami.

9. Závěr

Tato práce je věnována především plastům a mikroplastům ve vodách a informuje čtenáře o dané problematice.

Jak už bylo v této práci zmíněno, plastická hmota je v dnešní době velmi populární flexibilní materiál, bez kterého si dnes už nedokážeme představit život. Základním problémem je řešení, jak nakládáme s plastovým odpadem, který se za dobu jeho vývoje akumuluje na naší planetě. Představa, že za několik desítek let bude v oceánech plavat více plastů než ryb je hrozná a myslím si, že výzkumy popsané v této práci jsou varováním pro lidstvo a je potřeba s tím něco dělat. Díky správnému zpracování plastového odpadu by nemuselo docházet k tak velkým únikům plastu do životního prostředí. Proto je první polovina práce zaměřena především na plasty a mikroplasty ve vodním prostředí.

V další části zaměřené čistě na mikroplasty je uveden hned první problém, a to ohledně definice mikroplastů, kdy vlastně není žádná, která by byla daná normou či zákonem. To je i proto, že se poprvé název mikroplast objevil necelých dvacet let zpátky, a tak je to celkem nové téma. S tím se vyskytuje i méně studií a výzkumů, které jsou zaměřeny pouze na určitou problematiku a je velmi těžké je mezi sebou porovnat. Každý výzkum má svou lokaci, ve které je problém studován, dále také udávají jiné definice a rozměry studovaných mikročástic a mají své způsoby analýzy. Proto je toto téma velmi citlivé a je těžké dojít k určitému závěru a porovnání s ostatními výzkumy.

Dále se tato práce zabývá výskytem mikroplastů v pitné vodě a na úpravách vody. V poslední části jsou vypsány studie, které se zaměřují na úpravy vod a snaží se určit účinnost odstranění plastových mikročástic. V porovnání s celkovým výzkumem mikroplastů v životním prostředí je těchto studií ještě méně, což může být způsobeno menším zájmem o tuto problematiku z důvodu aktuálnějších studií například ohledně těžkých kovů nebo léčiv v pitné vodě. Větší pozornost byla také věnována spíše čistírnám odpadních vod. Pokud ale bude výroba a nakládání s plasty probíhat dále stejně jako probíhá dnes a plastová hmota ve vodním prostředí bude nabývat stále více a více, bude se také vyskytovat více plastových částic v pitné vodě a

může to vést k problémům ohledně závadnosti pitné vody. Dále je potřeba zlepšovat analytické metody pro určování plastových mikročástic a sjednotit ty nejefektivnější a používat je pro všechny výzkumy. Proto si myslím, že je toto téma důležité do budoucna pro lepší informovanost a tím mít možnost připravit se na možný problém, který může nastat.

V rámci studií ohledně eliminace mikroplastů pomocí úpraven vody je nejlepší používat třístupňovou úpravu a jako nejúčinnější proces se jeví koagulace/flokulace se sedimentací. Avšak pro stoprocentní určení nejefektivnějšího procesu úpravy je potřeba více zkoumání a dat.

Použitá literatura

- [1] HLAVÍNEK, P. ŘÍHA, J. Jakost vody v povodí. Akademické nakladatelství CERM, 2004. Učební texty vysokých škol, Brno. ISBN 80-214-2815-5.
- [2] PIVOKONSKÝ, Martin, Lenka ČERMÁKOVÁ, Kateřina NOVOTNÁ, Petra PEER, Tomáš CAJTHAML a Václav JANDA. *Occurrence of microplastics in raw and treated drinking water* [online]. 2018 [cit. 2021-5-16]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.102>
- [3] ROVNANÍKOVÁ, Pavla, Pavel ROVNANÍK a Jitka MALÁ. *Stavební chemie: Degradace stavebních materiálů a chemie kovů*. Učební text pro FAST, 2014. ISBN 978-80-7204-902-8.
- [4] DROCHYTKA, Rostislav. *Plastické látky ve stavebnictví: Jednotlivé druhy plastických hmot*. 1998. Brno: CERM, 1998. ISBN 8021411481.
- [5] BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery* [online]. Code Creator, 2014 [cit. 2021-02-19]. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Uvod.html>
- [6] KURAŠ, Mečislav. *Odpady, jejich využití a zneškodňování*. 2. Praha: Český ekologický ústav, 1994. ISBN isbn80-85087-32-4.
- [7] KIZLINK, Juraj. *Nakládání s odpady*. Vyd. 2., upr. Brno: Fakulta chemická VUT v Brně, 2012. ISBN isbn978-80-214-4413-3.
- [8] *Třídění odpadu: Jak se plast recykluje*. *Třídění odpadu* [online]. [cit. 2021-03-06]. Dostupné z: <https://www.trideniodpadu.cz/jak-se-recykluje-plast>
- [9] *Plasty vrací úder*. *Greenpeace* [online]. [cit. 2021-03-07]. Dostupné z: https://www.greenpeace.org/czech/clanek/889/plasty-vraci-uder/?fbclid=IwAR2vQ1n342wHDcKZhwSLZdrKIRIhigpluX1VeU9T377ybtrwHQ_rlWKF6H0
- [10] *Moře plastů* [online]. [cit. 2021-03-07]. Dostupné z: https://zpravy.aktualne.cz/zahranici/more-plastu-grafika-plastovy-odpad-oceany-mikroplasty/r~a9f499305cf611e885e30cc47ab5f122/?fbclid=IwAR0oAl4jKQFAsvA8gtic_KVRCW2JydXCtFfJqkDM7CFmOtwrxw-kL6ycs
- [11] *Eriksen M, Lebreton LCM, Carson HS, Thiel M, Moore CJ, Borerro JC, et al. (2014) Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic*

- Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea. PLoS ONE 9(12): e111913.*
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111913>
- [12] *The Ocean Cleanup: The Great Pacific Garbage Patch* [online]. [cit. 2021-03-08]. Dostupné z: <https://theoceancleanup.com/great-pacific-garbage-patch/>
- [13] *Marine debris program* [online]. [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: <https://marinedebris.noaa.gov/info/patch.html>
- [14] *Popular Science: Why fish can't help but eat our plastic garbage* [online]. [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: <https://www.popsci.com/fish-eat-plastic-because-it-smells-like-food/>
- [15] ERKES-MEDRANO, Dafne, Richard C. THOMPSON a David C. ALDRIGE. *Microplastics in freshwater systems: A review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs, Water Research* [online]. 2015, 2015, , 63-82 [cit. 2021-03-14]. ISSN 0043-1354. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135415000858>
- [16] SCHMIDT, Christian, Tobias KRAUTH a Stephan WAGNER. *Export of Plastic Debris by Rivers into the Sea* [online]. 2017 [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: 10.1021/acs.est.7b02368
- [17] LEBRETON, Laurent. *River plastic emissions to the world's oceans* [online]. 2017 [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/ncomms15611>
- [18] Wagner, M. Scherer, C. Alvarez-Muñoz, D. *et al.* Microplastics in freshwater ecosystems: what we know and what we need to know. *Environ Sci Eur* **26**, 12 (2014). <https://doi.org/10.1186/s12302-014-0012-7>
- [19] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití. VŠCHT*, 2006. ISBN 8070806176, 9788070806173.
- [20] KEE HONG WONG, Johnny. *Microplastics in the freshwater and terrestrial environments: Prevalence, fates, impacts and sustainable solutions* [online]. 2020 [cit. 2021-04-05]. ISSN 0048-9697. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137512>
- [21] Testování vody v českých řekách: Denně posíláme do moře miliardy mikroplastů. *Greenpeace* [online]. 2019 [cit. 2021-04-05]. Dostupné z:

<https://www.greenpeace.org/czech/tiskova-zprava/2987/testovani-vody-v-ceskych-reakch-denne-posilame-do-more-miliardy-mikroplastu/>

- [22] HORTON, Alice A. *Microplastics in the freshwater and terrestrial environments: Evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities* [online]. 2017 [cit. 2021-04-05]. ISSN 0048-9697. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.190>.
- [23] JEDLIČKOVÁ, Kateřina. *Technologické koncepty pro čištění oceánů*. Brno, 2020. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Jiří Gregor, Ph.D.
- [24] ANDRADY, Anthony L. *Microplastics in the marine environment* [online]. 2011 [cit. 2021-04-05]. ISSN 0025-326X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>.
- [25] HELINSKI, Olivia K. *Ridding our rivers of plastic: A framework for plastic pollution capture device selection*. 2021. ISBN <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112095>.
- [26] FRIAS, J. P. G. L. *Microplastics: Finding a consensus on the definition*. 2019. ISBN <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.11.022>.
- [27] COLE, Matheww. *Microplastics as contaminants in the marine environment: A review*. 2011. ISBN <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025>.
- [28] GALAFASSI, Silvia. *Plastic sources: A survey across scientific and grey literature for their inventory and relative contribution to microplastics pollution in natural environments, with an emphasis on surface water*. 2019. ISBN <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.305>.
- [29] *Mikroplasty ve vodě* [online]. [cit. 2021-4-27]. Dostupné z: <https://www.ih.cas.cz/mikroplasty-ve-vode/>
- [30] KOSUTH, Mary, Sherri A. MASON a Elizabeth V. WATTENBERG. *Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt* [online]. 2018 [cit. 2021-4-27]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194970>
- [31] JOHNSON, Andrew C., Hollie BALL a Richard CROSS. *Identification and Quantification of Microplastics in Potable Water and Their Sources within Water Treatment Works in England and Wales* [online]. 2020 [cit. 2021-4-27]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c03211>

- [32] MINTENING, S.M., M.G.J. LÖDER a S. PRIMPKE. *Low numbers of microplastics detected in drinking water from ground water sources* [online]. 2019 [cit. 2021-4-27]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.178>
- [33] WANG, Zhifen, Tao LIN a Wei CHEN. *Occurrence and removal of microplastics in an advanced drinking water treatment plant (ADWTP)* [online]. 2020 [cit. 2021-4-27]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134520>
- [34] TONG, Huiyan, Qianyi JIANG, Xingshuai HU a Xiaocong ZHONG. *Occurrence and identification of microplastics in tap water from China* [online]. 2020 [cit. 2021-5-16]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126493>
- [35] KANKANIGE, Dinuka a Sandhya BABEL. *Contamination by $\geq 6.5 \mu\text{m}$ -sized microplastics and their removability in a conventional water treatment plant (WTP) in Thailand* [online]. 2021 [cit. 2021-5-16]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101765>
- [36] PIVOKONSKÝ, Martin, Lenka PIVOKONSKÁ, Kateřina NOVOTNÁ, Lenka ČERMÁKOVÁ a Martina KLIMTOVÁ. *Occurrence and fate of microplastics at two different drinking water treatment plants within a river catchment* [online]. 2020 [cit. 2021-5-16]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140236>
- [37] LEE, Jieun a Kyu-Jung CHAE. *A systematic protocol of microplastics analysis from their identification to quantification in water environment: A comprehensive review* [online]. 2021 [cit. 2021-5-16]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124049>
- [38] GONGAB, Jian a Pei XIE. *Research progress in sources, analytical methods, eco-environmental effects, and control measures of microplastics* [online]. 2020 [cit. 2021-5-16]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126790>
- [39] OSSMANN, Barbara E. *Microplastics in drinking water? Present state of knowledge and open questions* [online]. 2021 [cit. 2021-5-16]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.02.011>

- [40] LÖDER, Martin G. J. a Gunnar GERDTS. *Methodology Used for the Detection and Identification of Microplastics—A Critical Appraisal* [online]. 2015 [cit. 2021-5-16]. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3_8
- [41] SHIM, Won Joon, Sang Hee HONGAB a Soeun Eo EO. *Identification methods in microplastic analysis: a review* [online]. 2021 [cit. 2021-5-16]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1039/C6AY02558G>

Seznam tabulek

Tab. 6.1 Obsah částic ve vzorcích v různých zemích světa [30]	35
Tab. 7.1 Výhody a nevýhody u metod pro identifikaci mikroplastů [41]	54
Tab. 8.1 Zhodnocení účinnosti úpravárenských procesů na odstranění mikroplastů z vody.....	55

Seznam obrázků

Obr. 1 Historie polymerů [5]	12
Obr. 2 Odpadkové skvrny (vlevo Velká tichomořská odpadková skvrna)[10].21	
Obr. 3 Tuleň zamotaný ve zbytcích sítí z rybářských lodí [10]	22
Obr. 4 Deset nejvíce znečištěných řek plastovým odpadem [10]	24
Obr. 5 Druhy plastů vyskytující se v řece Labi a Vltavě [21]	26
Obr. 6 Zdroje mikroplastů [29]	34
Obr. 7 (A) Fragment z indického vodovodu, (B) Vlákno z USA vodovodu [30].36	
Obr. 8 Grafy efektivního odstranění mikroplastů v procesech úpravy (A) Podle velikosti částic, (B) Podle tvaru částic [33]	40
Obr. 9 (a) Snímek mikroplastů z mikroskopu, (b) vlákna, (c) mikrokuličky, (d) fragmenty [2]	45
Obr. 10 Grafy ukazující odstranění mikroplastů na procesech úpravy vod, (a) podle tvaru částic, (b) podle velikosti částic [36]	47
Obr. 11 Snímek mikroplastů z mikroskopu, (a) fragment, (b) vlákno [36]	48
Obr. 12 Schémata zhodnocených úpraven vod zmíněných v této práci	56

Seznam použitých zkratek a symbolů

PE – polyethylen

PP – polypropylen

PS – polystyren

PVC – polyvinylchlorid

PUR – polyuretan

PET - polyethylentetraftalát

°C – stupeň Celsia

ČOV – čistírna odpadních vod

ČR – Česká republika

GESAMP – Group of Experts on the Scientific Aspect of Marine Environmental Protection

USA – Spojené státy americké

ÚV – úpravna vody

ÚVM – úpravna vody Milence

ÚVP – úpravna vody Plzeň

HCL – kyselina chlorovodíková

NaCl – Chlorid sodný

NaI – jodid sodný

SEM – skenovací elektronová mikroskopie

EDS – energeticky disperzní rentgenová spektroskopie

Pyr-GC/MS – pyrolýza-plynová chromatografie-hmotnostní spektrometrie

FTIR – infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací

Summary

The subject of this bachelor thesis is to get acquainted with the issue of plastics and microplastics in water. In the first chapter, the work deals with plastics, their definition, history and properties of plastics, and there are also listed the most used plastics in the world, which also most often occur in the form of microplastics. Plastics are also involved in their disposal and recycling. Furthermore, the work deals with the occurrence of plastics in water, specifically in the seas and oceans, as well as in freshwater systems and the related cleaning and the effect of plastics on the life of animals in the water. The main subject of this work are microplastics, therefore a chapter with definition, division and also sources of microplastics is devoted to them. Then there are researches and studies focused on microplastics in drinking water, where the data obtained through research in the world are listed. Microplastics in drinking water are followed by studies that look at the occurrence of microplastics in water treatment plants. To determine microplastics in water, their analysis is also important, which is also discussed in the work. And the last chapter deals with a summary of all studies carried out up to the beginning of 2020 on the occurrence of microplastics in water treatment plants.