

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

Katedra aplikované ekologie



Bakalářská práce

Mikroplasty v terestrickém prostředí

Vedoucí práce: Ing. Lenka Wimmerová, MSc., Ph.D.

Bakalant: Denisa Hrdličková

© 2023 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Denisa Hrdličková

Aplikovaná ekologie

Název práce

Mikroplasty v terestrickém prostředí

Název anglicky

Microplastics in Terrestrial Environment

Cíle práce

Cílem bakalářské práce je zhodnocení dostupných informací o výskytu mikroplastů v terestrickém prostředí. Pozornost bude zaměřena na definici mikroplastů, dostupné metody jejich analýzy v půdách a sedimentech a na možná rizika mikroplastů pro terestrické organismy a ekosystémy.

Metodika

Bakalářská práce má charakter rešerše. Metodicky půjde o vytvoření aktuálního literárního přehledu z oblasti výskytu a rizik mikroplastů v terestrickém prostředí.

Doporučený rozsah práce

cca 50 stran textu

Klíčová slova

mikroplasty, riziko, toxicita, půda, sediment, životní prostředí

Doporučené zdroje informací

- Corradini, F. a kol., 2019: Evidence of microplastic accumulation in agricultural soils from sewage sludge disposal. *Science of the Total Environment* 671: 411–420.
- ECHA , ©2018-2021: Hot topics: Microplastics. Dostupné z <<https://echa.europa.eu/hot-topics/microplastics>>.
- TUHÁČEK, M. – JELÍNKOVÁ, J. *Právo životního prostředí : praktický průvodce*. Praha: Grada, 2015. ISBN 978-80-247-5464-2.
- Wang, J. a kol., 2019: Microplastics as contaminants in the soil environment: A mini-review. *Science of the Total Environment* 691: 848–857.
- Wu, M. a kol., 2020: Microplastics in waters and soils: Occurrence, analytical methods and ecotoxicological effects. *Ecotoxicity and Environmental Safety* 202: 110910.
-

Předběžný termín obhajoby

2022/23 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Lenka Wimmerová, MSc, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra aplikované ekologie

Elektronicky schváleno dne 3. 2. 2022

prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 6. 2. 2022

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 24. 12. 2022

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „*Mikroplasty v terestrickém prostředí*“ vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědoma, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědoma, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne 21. 03. 2023

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucí své bakalářské práce Ing. Lence Wimmerové, MSc., Ph.D. za její odborné vedení při vypracování bakalářské práce a za užitečné a cenné rady a připomínky. Ráda bych také poděkovala své rodině za trpělivost a podporu během mého studia.

Abstrakt

Bakalářská práce je zaměřena na zhodnocení dostupných informací o výskytu mikroplastů v terestrickém prostředí. V první části bakalářské práce je pozornost věnována definici plastů, jejich rozdělení a používaným aditivům. Dále se práce zaměřuje na definici a rozdělení mikroplastů, jejich zdroje, kterými se dostávají do životního prostředí a dostupné analytické metody stanovení mikroplastů z půdního prostředí a sedimentů. Závěrem jsou shrnuty možná rizika mikroplastů pro terestrické organismy a ekosystémy. Ve výsledném zhodnocení bylo provedeno srovnání množství dostupné odborné literatury s ohledem na životní prostředí, ve kterém byla problematika mikroplastů studována. Ze srovnání vyplynulo, že z celkového množství dostupných odborných prací, zabývajících se mikroplasty, se jen nepatrné množství týká mikroplastů v terestrickém prostředí. Kontaminace životního prostředí mikroplasty je však i přesto aktuálním celosvětovým problémem nejen ve vodním prostředí. Problematice výskytu mikroplastů v terestrickém prostředí a zejména jejich vlivu na terestrické organismy a ekosystémy musí být dále zkoumána.

Klíčová slova: mikroplasty, riziko, toxicita, půda, sediment, životní prostředí

Abstract

The bachelor work is focused on the evaluation of available information on the occurrence of microplastics in the terrestrial environment. In the first part, it deals with a definition of plastics, their division and additives. Furthermore, the work focuses on a definition and division of microplastics, their sources from which they enter the environment and available analytical methods for their determination in soils and sediments. Finally, potential risks of microplastics for terrestrial organisms and ecosystems are summarized. In the final assessment, a comparison of the amount of available literature was performed with respect to the environmental matrix in which the microplastics issue was studied. The comparison showed that of the total amount of the available literature, dealing with microplastics, only a small portion concerns microplastics in terrestrial environments.

However, the environmental contamination caused by microplastics is a hot global problem not only in the aquatic environment. Thus, the issue of microplastics' presence in the terrestrial environment, and in particular their impact on terrestrial organisms and ecosystems must be further studied.

Keywords: microplastics, risk, toxicity, soil, sediment, environment

Obsah

1 Úvod.....	10
2 Cíle práce	11
3 Literární rešerše	12
3.1 Plasty	12
3.1.1 Vybrané druhy polymerů	12
3.1.1.1 Reaktoplasty.....	12
3.1.1.2 Termoplasty	14
3.1.2 Aditiva v plastech.....	17
3.1.2.1 Barviva.....	17
3.1.2.2 Změkčovadla.....	18
3.1.2.3 Maziva	18
3.1.2.4 Tepelné stabilizátory	18
3.1.2.5 Světelné stabilizátory	19
3.1.2.6 Antioxidanty	19
3.1.2.7 Plniva	19
3.1.2.8 Vyztužovadla	19
3.1.2.9 Nadouvadla	19
3.1.2.10 Opticky zjasňující látky	20
3.1.2.11 Prostředky snižující hořlavost.....	20
3.2 Mikroplasty	20
3.3 Rozdělení mikroplastů	21
3.4 Zdroje mikroplastů	22
3.5 Mikroplasty v terestrickém prostředí	25
3.6 Stanovení mikroplastů v půdách a sedimentech	28
3.6.1 Předúprava vzorku	29
3.6.2 Kvantitativní analýza	31
3.6.3 Kvalitativní analýza	32
3.7 Rizika mikroplastů v terestrickém prostředí	35
4 Výsledné zhodnocení.....	38
5 Diskuse	42
6 Závěr.....	44
7 Seznam literatury a použitých zdrojů	45
7.1 Odborné publikace	45
7.2 Internetové zdroje.....	48
Seznam obrázků	50

Seznam použitých zkratk

ATR	zeslabený úplný odraz
BASF	firma Badische Anilin- & Soda-Fabrik
BBP	butyl-benzyl-ftalát
ČSÚ	Český statistický úřad
DBP	dibutyl-ftalát
DEHP	bis(2-ethylhexyl)-ftalát
DIDP	diisodecyl-ftalát
DINP	diisononyl-ftalát
DNOP	di-n-oktyl-ftalát
EDS	elektronově disperzní spektrometr
FTIR	infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací
HBCD	hexabromcyklododekan
HDPE	vysokohustotní polyethylen
MZe	Ministerstvo zemědělství
PAE	ftaláty (estery kyseliny ftalové)
PBDE	polybromované difenylethery
PC	polykarbonát
PE	polyethylen
PET	polyethylentereftalát
PMMA	polymethylmethakrylát
PP	polypropylen
PS	polystyren
PTFE	polytetrafluorethylen
PVA	polyvinylalkohol
PVC	polyvinylchlorid
Pyr-GC/MS	pyrolýza s plynovou chromatografií s hmotnostní spektrometrií
SEM	rastrovací elektronová mikroskopie
TBBPA	tetrabrombisfenol-A
TGA	termogravimetrická analýza
ToF-SIMS	statická hmotnostní spektrometrie sekundárních iontů
UV	ultrafialový

1 Úvod

Plasty jsou syntetické materiály patřící do skupiny polymerů. Polymery jsou makromolekuly, které se skládají z monomerů, které se vzájemně propojují a tvoří dlouhé řetězce. Základní vlastnosti polymerů ovlivňuje především chemická a molekulová struktura. Mohou mít tři typy makromolekul – rozvětvené, síťované a lineární. Vlastnosti polymerů pak závisí na typu makromolekul, na poloze atomů nebo jejich skupin v prostoru makromolekulárního řetězce (Běhálek, 2016).

Plasty dělíme do dvou skupin na termoplasty a reaktoplasty. Rozdíl mezi nimi je zásadní. Termoplasty se při zahřátí roztaví a mohou se dále tvarovat. Jejich recyklace je snadnější. Reaktoplasty při zahřátí mění svou chemickou strukturu. Tudíž se nedají opětovně tvarovat a jejich recyklace se stává obtížnější (Pêgo a kol., 2018).

Plasty v dnešní moderní době hrají zásadní roli, využití mají téměř ve všech odvětvích. Od 50. let dvacátého století využití produktů z plastů v našich každodenních životech mnohonásobně vzrostlo (Pêgo a kol., 2018). Množství plastového odpadu se nekontrolovatelně zvyšuje a je zanášeno do životního prostředí (Zhang a kol., 2021). Představují tak čím dál větší problém. Nadace Ellen MacArthur zveřejnila v roce 2017 odhad, že do roku 2050 bude v oceánech více plastů než ryb. Ve všech oceánech na světě se stále častěji objevují tzv. „oceánské odpadkové víry“, což jsou obrovské oblasti plné mikroplastů vytvářejících rotující vodní sloupec (Dorey, 2018).

Výskyt mikroplastů je ve dnešní společnosti velmi aktuální téma. V médiích se o mikroplastech začalo hovořit častěji od roku 2017, tehdy byly zveřejněny výsledky první širší studie. Analyzovaly se vzorky pitných vod z různých kontinentů a bylo zjištěno, že většina vzorků obsahuje vlákna plastů o velikostech zhruba od 2,5 μm do 1 mm. Následně se začala objevovat řada studií a dohadů o možných zdravotních rizicích na člověka (Kožíšek a Kazmarová, 2019).

Z důvodů nalezení obrovského kvanta plastového odpadu v mořích, byla vědecká pozornost zaměřena převážně na mikroplasty v oceánech. Ukazuje se, že mikroplasty mohou být problémem i v terestrickém prostředí (Hale a kol., 2019).

2 Cíle práce

Bakalářská práce má charakter literární rešerše a jejím cílem je zhodnocení dostupných informací o výskytu mikroplastů v terestrickém prostředí. Pozornost je věnována definici mikroplastů, dostupným metodám jejich analýzy v půdách a sedimentech a možným rizikům pro terestrické organismy a ekosystémy.

3 Literární rešerše

3.1 Plasty

První polysyntetický plast, byl vynalezen v roce 1856 Alexanderem Parkesem, tzv. parkesin. Byl složený z celulózy a kyseliny dusičné. Bakelit, první již zcela syntetický plast, byl vynalezen v roce 1907. Lidé ve 30. letech dvacátého století díky jeho vlastnostem začali vnímat plast jako zázračný materiál.

Výraz „plast“ zahrnuje v současnosti ohromné množství materiálů. Plast je lehký, ohebný, produkty z něj vyrobené mohou mít různou texturu, formu, hustotu, mohou být barevné či průhledné, ale hlavně jsou trvanlivé a levné. V 50. letech minulého století započala masová výroba plastových předmětů (Pêgo a kol., 2018). Začaly se z něj vyrábět předměty, které napodobovaly dražší materiály, jako například eben, slonovinu či perleť (Miodownik, 2014). V roce 1955 mnoho zemí považovalo jednorázové zboží z plastu za moderní a pokročilý životní styl. Využití plasty našly ve všech odvětvích k výrobě nejrůznějších předmětů. Plast se tak stal nejpoužívanějším materiálem na světě (Pêgo a kol., 2018).

Ročně se na světě vyprodukuje přes 300 mil. tun výrobků z plastu (Pivokonský a kol., 2019). Královská statistická společnost Velké Británie v roce 2018 uvedla, že recyklací prošlo v daném roce v Evropské unii pouze 9 % plastového odpadu. Uvádí se, že většina plastů se rozloží za více než 400 let. V roce 2015 byla autorským kolektivem Science Advances zveřejněna studie, dle které skončí ročně v oceánech 8 mil. tun plastů (Parkerová, 2018).

Je potřeba získat kontrolu nad plastovým odpadem, omezit používání plastů a lépe recyklovat. V roce 2017 se v Evropě recyklovalo okolo 30 % plastového odpadu, v Číně 25 % a v USA se recyklovalo pouze 9 % plastů (Parkerová, 2018). Pokud srovnáme množství zrecyklovaných plastů v Evropě v roce 2005 a 2017, je vidět zlepšení o 18 %. Z původních zrecyklovaných 24 % se zrecyklovalo 42 % plastového odpadu (ČSÚ, ©2021).

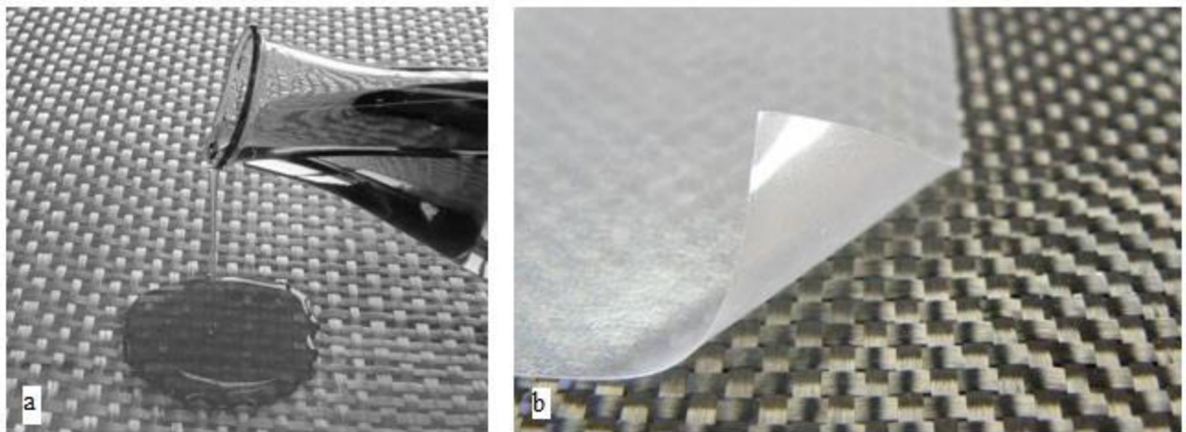
3.1.1 Vybrané druhy polymerů

3.1.1.1 Reaktoplasty

Reaktoplasty jsou plasty, které lze roztavit a následně tvarovat jen určitou dobu po zahřátí. Během dalšího zahřátí, příp. pomocí katalyzátorů dochází k chemické reakci. Při této reakci se původní molekuly zesítují, materiál ztrácí termoplastický charakter a stává se tak dále netavitelný a nerozpustný. Této chemické reakci, která způsobuje vznik zesíťované struktury, se říká vytvrzování. Vytvrzování je nevratný děj. Vytvrzený materiál nejde dále

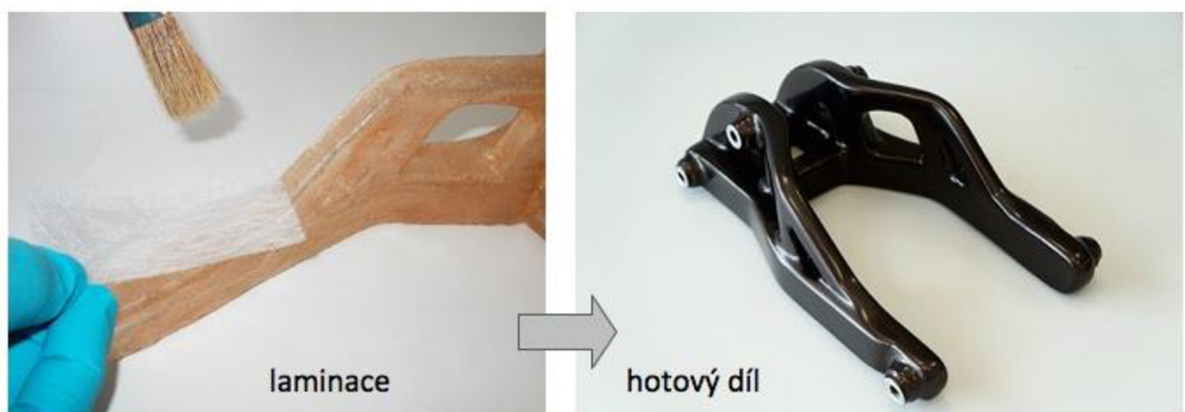
tvarovat, svařovat ani převést do taveniny. Výrobky, které jsou vyrobeny z reaktoplastů se vyznačují zejména vysokou chemickou a tepelnou odolností, tvrdostí a tuhostí. Produkt z reaktoplastů se obvykle nazývá pryskyřice (Běhálek, 2016).

Epoxidové pryskyřice jsou hmoty s konzistencí kapalin až tvrdých, křehkých látek. Jsou bezbarvé až nažloutlé. Využívají se jako lepidla, nátěrové, zalévací a lisovací hmoty a lakařské pryskyřice (Ducháček, 2006).



Obrázek 1 - Epoxidová pryskyřice a) tekutá b) foliová (Běhálek, 2016)

Polyesterové pryskyřice jsou nenasycené polymery rozpuštěné v monomeru, který je schopný kopolymerace, při níž se vytvrzují pryskyřice. Zpracovávají se zejména na nevyztužené výrobky, jako jsou knoflíky, bižuterie a výrobky vyztužené skleněnými vlákny, tj. lamináty, dále na tmely a lepidla (Ducháček, 2006).

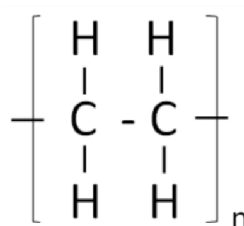


Obrázek 2 - Sklolaminát impregnovaný polyesterovou pryskyřicí (Běhálek, 2016)

3.1.1.2 Termoplasty

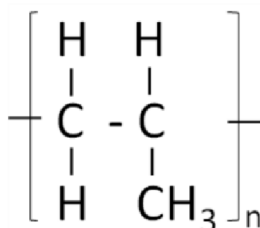
Termoplasty jsou plasty, které při vysokých teplotách měknou a lze je formovat do požadovaného tvaru. Do stavu taveniny přechází zahřátím nad teplotu tání daného plastu a zpětným ochlazením přejdou do tuhého stavu. Jelikož se během tohoto procesu nemění chemická struktura, lze jej teoreticky recyklovat do nekonečna (Běhálek, 2016).

Polyethylen (PE) je za normálních podmínek bílý. V tenké vrstvě může být až průhledný. Je velmi odolný nízkým teplotám. Za běžné teploty je PE odolný vůči vodě a neoxidujících chemikálií. Z polyethylenu se vyrábí například folie, pláště kabelů, hračky nebo výrobky pro domácnost. Jeho hlavním využitím je obalový materiál (Ducháček, 2006).



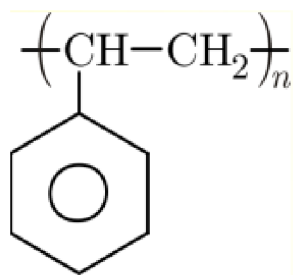
Obrázek 3 - Strukturální vzorec polyethylenu (Běhálek a kol., 2019)

Polypropylen (PP) je svými vlastnostmi velmi podobný vlastnostem polyethylenu. Je velmi odolný vůči alkoholům a organickým rozpouštědlům. Ve srovnání s polyethylenem má menší propustnost pro plyny a páry. Využití nalezneme při výrobě mnoha částí strojů a přístrojů, zejména v automobilovém průmyslu. Široké využití mají i polypropylenové desky (Ducháček, 2006).



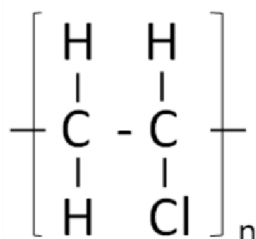
Obrázek 4 - Strukturální vzorec polyethylenu (Běhálek a kol., 2019)

Polystyren (PS) patří mezi nejstarší syntetické polymery. Vynalezla ho firma BASF kolem roku 1949. Mezi jeho vlastnosti patří tvrdost, křehkost a za běžných podmínek nepodléhá oxidaci. Je lehce barvitelný na pestrou škálu odstínů. Má skvělé izolační vlastnosti (Ducháček, 2006). Uvádí se, že až 80 % vyrobeného PS se využije ve stavebnictví. Využití však najde i v obalovém průmyslu. Ročně se ho v České republice spotřebuje zhruba 60 000 tun (Tříděníodpadu.cz, ©2007-2021).



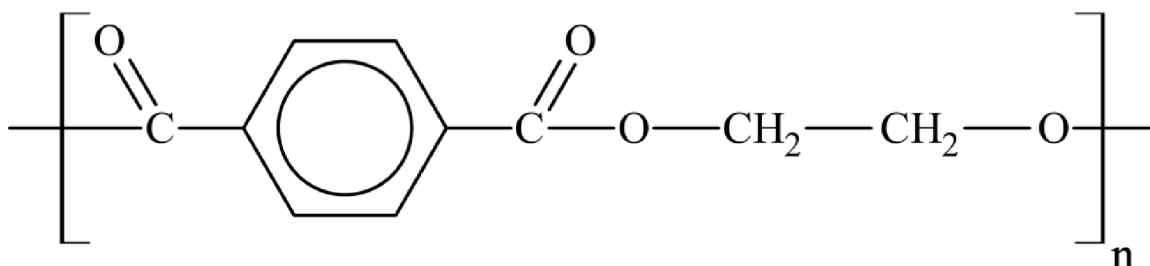
Obrázek 5 - Strukturální vzorec polystyrenu (Běhálek a kol., 2019)

Polyvinylchlorid (PVC) je velmi používaným plastem. V žebříčku nejvíce používaných polymerů ho nalezneme na třetím místě. Je levný a dá se upravovat všemi možnými směry. Z PVC se může uvolňovat chlor, který tento polymer obsahuje. Z tohoto důvodu se obalové materiály z PVC nerecyklují. Při nedokonalé tepelné likvidaci se může uvolňovat chlorovodík a dioxiny (Tříděníodpadu.cz, ©2007-2021).



Obrázek 6 - Strukturální vzorec polyvinylchloridu (Běhálek a kol., 2019)

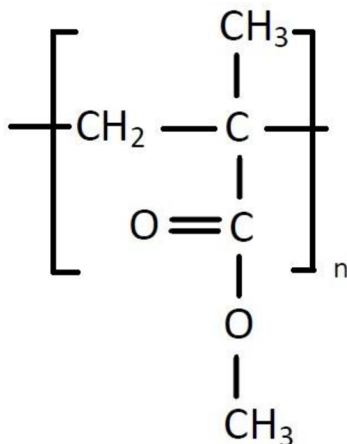
Polyethyltereftalát (PET) má velmi dobré kluzké a mechanické vlastnosti. Využívá se pro výrobu vláken, folií a nápojových lahví. Z vláken se dále vyrábí textilie, tkaniny a lana (Běhálek, 2016).



Obrázek 7 - Strukturální vzorec polyethyltereftalátu (Bačiak a kol., 2019)

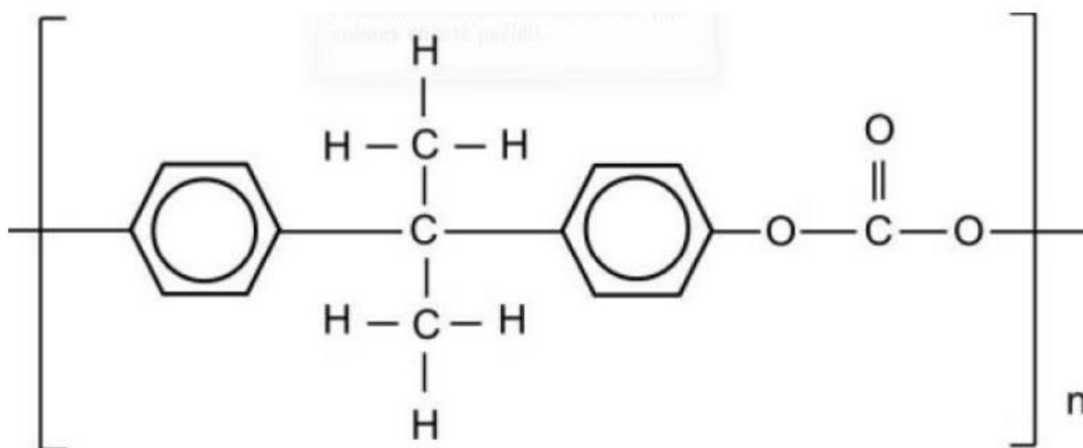
Polymethylmethakrylát (PMMA) je známý pod názvem organické sklo. Mezi jeho vlastnosti patří dokonalá propustnost světla, odolnost vůči větru a UV záření. Řadí se mezi konstrukční plasty. Vyrábí se z něj kryty světel, okna sportovních letadel, zubní protézy,

střechy hal a průhledné protihlukové stěny. Využívá se také k zasklívání verand (Běhálek, 2016).



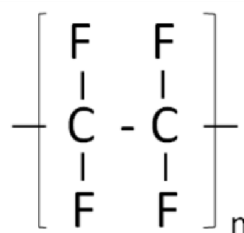
Obrázek 8 - Strukturální vzorec polymethylmethakrylátu (e-chembook.eu, ©2023)

Polykarbonáty (PC) patří mezi polymery s výbornými mechanickými, elektroizolačními a dielektrickými vlastnostmi. Mají malou nasákavost, jsou povětrnostně odolné a průhledné. Mezi další vlastnosti PC patří výborná tvrdost, tuhost, pevnost a jsou samozhášivé. Využívají se k výrobě čoček fotoaparátů, skel do brýlí nebo ochranných štítů policejních motocyklů (Ducháček, 2006).



Obrázek 9 - Strukturální vzorec polykarbonátu (Ducháček, 2006)

Polytetrafluorethylen (PTFE) je velmi odolný vůči chemikáliím a vysokým teplotám. Je nehořlavý a má skvělé elektroizolační vlastnosti. Tento polymer nalezneme na povrchu kovových předmětů a potrubí, kde má za úkol chránit kovy před agresivním prostředím. Dále se využívá na výrobu teflonových pánví a na různé druhy těsnění (Běhálek, 2016).



Obrázek 10 - Strukturální vzorec polytetrafluorethylenu (Běhálek a kol., 2019)

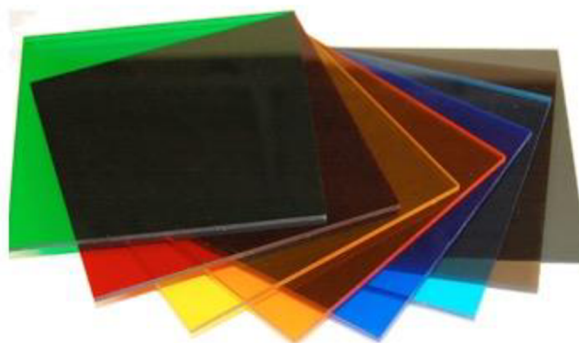
3.1.2 Aditiva v plastech

Syntetické polymery jsou obvykle považovány za inertní. Plasty však často obsahují různé příměsi látek, jako jsou změkčovadla, stabilizátory, pigmenty, plnidla nebo zpomalovače hoření. Tyto látky jsou často klasifikovány jako toxické, karcinogenní nebo endokrinně aktivní. Všechny tyto přísady se mohou dostat do životního prostředí a negativně ovlivnit živé organismy, a to i při nízké koncentraci (Ivleva a kol., 2016). Často jsou definovány jako látky s velkými environmentálními riziky (Yang a kol., 2021).

Aditiva jsou látky, které se přidávají do polymerních výrobků za účelem vylepšení a zajištění mnohých speciálních vlastností. Bez těchto látek by samotný polymer vlastností, jako je například dobrá tepelná odolnost, nízká hořlavost nebo kluzké vlastnosti, nedosáhl. Mohou být organického či anorganického typu. Ne všechny typy aditiv se mohou používat v libovolném množství. Například materiály, které jsou určeny k použití ve farmaceutickém či potravinářském průmyslu mají značná omezení. Tyto výrobky mohou obsahovat jen vybraná aditiva, která prošla schválením z hlediska uvolňování a možné toxicity (Samsoněk a Puype, 2015). Mohou to být barviva, změkčovadla, maziva, tepelné a světelné stabilizátory, antioxidanty, plniva, vyztužovadla, nadouvadla či opticky rozjasňující látky.

3.1.2.1 Barviva

Díky barvivům lze vyrobit plastový výrobek v jakémkoli barevném odstínu. Mohou být organického nebo anorganického původu. Organická barviva se v polymeru rozpouští a zachovávají tak jeho průhlednost, anorganická barviva toto neumí (Běhálek, 2016).



Obrázek 11 - Vzorník organických barev (Běhálek, 2016)

3.1.2.2 Změkčovadla

Změkčovadla jsou kapaliny s vysokým bodem varu, většinou organického původu (Běhálek, 2016). Mezi jejich vlastnosti patří odolnost, tvárnost a vláčnost (Ducháček, 2006). Fungují na principu zvýšení vnitřní pohyblivosti makromolekul, jejich oddálení a pokles sil mezi nimi (Běhálek, 2016).

Estery kyseliny ftalové (PAE) jsou široce používaná změkčovadla, která se často vyskytují v půdě (Zhang a kol., 2020). Dříve se ftaláty považovaly za neškodné. Zejména šest z nich se však ukázalo jako nebezpečné pro lidské zdraví. Jedná se hlavně o bis-(2-ethylhexyl)-ftalát (DEHP), dibutyl-ftalát (DBP), butyl-benzyl-ftalát BBP a di-isononyl-ftalát (DINP), diisodecyl-ftalát (DIDP) a di-n-oktyl-ftalát (DNOP) (MZe, © 2009-2021).

3.1.2.3 Maziva

Maziva především usnadňují zpracování polymerů (Běhálek, 2016). Ale také zlepšují vzhled povrchu, tepelnou a světelnou stabilitu a odolnost vůči větru (Ducháček, 2006). Můžeme je rozdělit na dva typy, a to na maziva s vnějším nebo vnitřní účinkem. Maziva s vnějším účinkem zůstávají na povrchu (nejsou rozpustné) polymeru a mohou tak usnadnit vyjmutí výrobku z formy. Naopak maziva s vnitřním účinkem jsou v polymeru dobře rozpustná. Jejich cílem je snížení viskozity taveniny polymeru (Běhálek, 2016).

3.1.2.4 Tepelné stabilizátory

Tepelné stabilizátory mají za úkol zpomalit proces degradace (Běhálek, 2016). Umožňují tvarování plastu za tepla u polymerů, jejichž teplota měknutí a rozkladu má úzké rozmezí (Ducháček, 2006). Tepelná degradace u polymerů se může projevit zhoršením svých vlastností a změnou zbarvení (Běhálek, 2016).

3.1.2.5 Světelné stabilizátory

Jejich úkolem je zpomalit degradační procesy v důsledku působení slunečního záření (Běhálek, 2016). Jako světelné stabilizátory se využijí látky, které UV záření nepropouští nebo pohlcují, například deriváty benzofenolu, deriváty kyseliny salicylové nebo deriváty benzotriazolu (Ducháček, 2006).

3.1.2.6 Antioxidanty

Antioxidanty jsou látky, které chrání polymery proti stárnutí. Ochrana spočívá v zabránění průběhu oxidace, která má autokatalizační průběh. Zvýšením teploty se degradace zvyšuje. V takovém případě mluvíme o tepelně-oxidačním stárnutí (Ducháček, 2006).

3.1.2.7 Plniva

Plniva mohou být organického či anorganického původu. Většinou se jedná o tuhé látky využívané formou prášku nebo krátkých vláken. Výrazně ovlivňují mechanické vlastnosti směsí a výrobků, mohou zejména zvyšovat pevnost, odolnost vůči oděru, houževnatost nebo tuhost. Dále vylepšují odolnost polymeru vůči teplu a ohni, korozi, ale mohou také ovlivňovat vzhled. Mezi tyto aditiva patří například vlákna konopí (*Cannabis*) nebo lnu (*Linum*) (Ducháček, 2006).

3.1.2.8 Vyztužovadla

Díky svému tvaru a struktuře mohou zpevnit výrobky z polymeru. Využívají se zejména pro vyztužení reaktoplastů. Jedná se převážně o vláknité a textilní materiály na základě celulózy, polyamidů, polyesterů, skla, dřeva, papíru nebo kovů (Ducháček, 2006).

3.1.2.9 Nadouvadla

Nadouvadla jsou látky, které se využijí k přípravě lehčených hmot. Tyto látky se při dané teplotě rozkládají a uvolňují plyny, nejčastěji oxid uhličitý nebo dusík. Ty poté ve výrobku vytvoří uzavřené nebo otevřené póry. Jako nadouvadlo se velmi často využívají izokyanáty, ty jsou klasifikovány jako zdraví škodlivé látky, zejména při vdechování (Běhálek, 2016).



Obrázek 12 - Zátka z termoplastického elastomeru vyrobená pomocí nadouvadla (Běhálek, 2016)

3.1.2.10 Opticky zjasňující látky

Opticky zjasňující látky jsou převážně organické sloučeniny. Dovedou absorbovat část ultrafialového záření. Energií, kterou pohltí, následně formou fluorescence (což je záření o větší vlnové délce) vyzáří. V lidském oku tak vytvoří dojem, že sledovaná látka má jasnější barvu (Ducháček, 2006).

3.1.2.11 Prostředky snižující hořlavost

Prostředky snižující hořlavost, neboli zhašedla, zpomalují proces hoření (Běhálek, 2016). Využívají se také k výrobě nehořlavých nátěrových hmot (Ducháček, 2006). Mezi látky, které snižují hořlavost a jsou toxické, patří například polychlorované bifenyly, polybromované difenyletery (PBDE), hexabromcyklododekan (HBCD) a tetrabrombisfenol A (TBBPA). Jejich produkce se pohybuje v desítkách tisíc tun za rok (Wit, 2002).

3.2 Mikroplasty

Velký problém pro životní prostředí představují mikroplasty. Mikroplasty na rozdíl od PET lahve či mikrotenového sáčku nejsou vidět. Je jasné, že mikroplasty v životním prostředí mají vliv na vodní i suchozemské ekosystémy (Podlesná, 2021). Mikroplasty jsou biologicky nerozložitelné, a tak se v životním prostředí hromadí. Hromadí se v moři, v půdě, ale také ve

zvířatech. Byly nalezeny na Mount Everestu, v Mariánském Příkopu, také v lidské stolici, v placentě, v plicích nebo v krvi. Nalezneme je téměř všude. Nikdo ale nedokáže spočítat, kolik mikroplastů se v přírodě nachází. Kolik jich dnes plave ve vodě či kolik se jich nachází v půdě, na které pěstujeme obživu. Stávají se tak součástí našeho potravního řetězce (ECHA, ©2018-2023).

Malé fragmenty plastů byly nalezeny v lidském těle již v roce 1990. Tehdy byly nalezeny v plicích lidí, kteří zemřeli na rakovinu plic. Ovšem termín mikroplasty se začal používat až v roce 2004, tehdy charakterizoval pouze částice o velikosti v řádu mikrometrů. V roce 2009 se k mikroplastům začali řadit i o něco větší částičky. Mikroplasty jsou definovány jako malé kousky plastů, které svou velikostí nepřesahují 5 mm. Jsou to pevné plastové částice, které se skládají ze směsí polymerů a funkčních přísad (ECHA, ©2018-2023). Mikroplasty se časem mohou dále fragmentovat na menší a menší částice až se z nich stanou nanoplasty. Nanoplasty nelze spolehlivě analyzovat. Vyskytují se v různých formách, jako jsou kuličky, filmy, pěny, folie, vlákna nebo fragmenty (Hale a kol., 2019).

Široká veřejnost mnohdy předpokládá, že složení plastů je vždy stejné. Plastů však máme mnoho typů a je zřejmé, že se budou lišit i svým složením. Různorodost složení a přítomnost potenciálně toxických látek v plastech nám komplikuje opětovné použití a také ovlivňuje závažnost důsledků pro životní prostředí (Hale a kol., 2019).

3.3 Rozdělení mikroplastů

Podle původu můžeme mikroplasty rozdělit na primární a sekundární. Primárními mikroplasty jsou ty mikroplastové částice, které jsou záměrně vyráběny, aby se s jejich pomocí vylepšily vlastnosti některých vyráběných produktů. Nejčastěji se využívají ke zlepšení viskozity, vzhledu nebo se k výrobkům přidávají za účelem získání abrazivního účinku. Tyto mikroplasty můžeme nalézt například v zubních pastách, čistících a pracích prostředcích, ale využívají se také v textilním průmyslu při výrobě materiálů jako je například fleece či nylon. Přidávají se do nátěrových barev a impregnací. Používají se i ve farmaceutickém průmyslu (ECHA, ©2018-2023). Primární mikroplasty se do životního prostředí dostávají kvůli konkrétní lidské činnosti (Podlesná, 2021).

Sekundární mikroplasty se ve většině případů uvolňují z větších kusů plastů na základě působení různých faktorů, tzv. fragmentací. Mezi tyto faktory můžeme uvést například mechanické opotřebení jako je sjíždění pneumatik, působení chemických látek nebo světla (Boucher a kol., 2017). Množství mikroplastů se zvyšuje se zmenšující se velikostí fragmentů

(Hale a kol., 2019). Na rozdíl od primárních mikroplastů nemůžeme vstup sekundárních mikroplastů do životního prostředí omezit. Sekundární mikroplasty vznikají a šíří se naprosto nekontrolovatelně (ECHA, ©2018-2023).

3.4 Zdroje mikroplastů

Mikroplasty, které jsou využívány v kosmetických a čisticích prostředcích, patří do skupiny primárních mikroplastů, tudíž jsou používány záměrně (ECHA, ©2018-2023). První zmínka o využívání mikroplastů jako složky v kosmetických produktech pochází z roku 1959 z USA (Sherrington a kol., 2016). Přidávají se do kosmetických a čisticích výrobků pro zvláštní účely (ECHA, ©2018-2023). Nejčastěji se mikroplasty nalézají v kosmetických výrobcích s abrazivními vlastnostmi. Umí skvěle odstranit odumřelé kožní buňky a nečistoty z pokožky. Za účelem zlepšení abrazivních vlastností se mikroplasty začaly využívat již v roce 1972 (Sherrington a kol., 2016).

S mikroplasty výrobci kosmetických produktů nešetří, do produktů je přidávají ve velkém množství. Jeden výrobek jich může obsahovat až milion. Nejběžnějším typem mikroplastů, který se nachází v zubních pastách je PE. Dále je nalezneme v peelinzích, sprchových gelech, detergentech pro domácnost nebo v líčidlech. Používají se také jako třpytky. Mikroplasty v kosmetických výrobcích jsou nejčastěji z polyethylenu či polypropylenu. Jsou vyrobené lehce a levně, ale v přírodě se budou rozkládat stovky let (ECHA, ©2018-2023).

Používáním kosmetických výrobků se do životního prostředí dostane zhruba 42 000 tun mikroplastů každý rok (ECHA, ©2018-2023). Tomu chce Evropská unie zabránit vydáním nové legislativy, která používání mikročástic v kosmetických produktech v celé EU zakáže (Podlesná, 2021). Návrh na rozsáhlé omezení podala v lednu v roce 2019 Evropská agentura pro chemické látky. V červnu roku 2020 bylo stanovisko přijato Výborem pro posuzování rizik (*Risk Assessment Committee*) a následně v prosinci bylo přijato i Výborem pro socioekonomickou analýzu (*Socio-economic Analysis Committee*). Cílem této legislativy je zákaz trhu s výrobky, do kterých jsou mikroplasty záměrně přidávány a při jejich použití se dostávají do životního prostředí. Mezi takové výrobky patří výše zmíněné kosmetické výrobky, dále čisticí prostředky, hnojiva, přípravky na ochranu rostlin, ale také využívání mikroplastů jako výplň sportovních hřišť s umělým trávníkem. Tímto omezením se zabrání zhruba 500 000 tunám mikroplastů, aby v průběhu 20 let skončily v životním prostředí. Komise vypracovala návrh, který byl předložen k hlasování členským státům EU ve výboru REACH (MPO, ©2020). Předtím, než je možné omezení přijmout, musí být přezkoumáno

Evropským parlamentem a Radou (*Environmental Parliament and Committee*). V září roku 2022 byl návrh na omezení používání mikročastic v kosmetických produktech Evropským parlamentem a Radou schválen. Úplný zákaz využívání primárních mikroplastů v kosmetice by měl platit až od roku 2030 (ECHA, ©2018-2023).

Mezi zdroje mikroplastů patří také praní syntetického prádla. Během jednoho pracovního cyklu se z fleecové bundy může uvolnit až milion mikrovláken, která putují do čističky odpadních vod. Vlákna mikroplastů jsou vtkaná nejen do oblečení, ale také do ručníků, záclon, prostěradel nebo koberců (EEA, ©2021a). Množství textilu, který je vyrobený ze syntetických vláken stále přibývá. Na konci 90. let se polyester stal používanější než bavlna. V Evropské unii se ročně vyhodí zhruba 5,8 milionu tun textilu, z toho zhruba 2/3 jsou vyrobeny ze syntetického materiálu. Zhruba 60 % oblečení a 70 % textilu do domácnosti obsahuje syntetická vlákna typu polyester a nylon (EEA, ©2021b). Podle odhadů se do životního prostředí dostává 200 až 500 000 tun mikroplastových vláken každý rok (Sherrington a kol., 2016). V dnešní moderní době je velmi oblíbeným pomocníkem domácností sušička na prádlo. Sušička je také velkým zdrojem mikroplastů. Nejčastěji se jedná o polyesterová, akrylová a nylonová vlákna. Tyto mikroplastové částice se během pracovního a sušicího cyklu uvolňují zejména působením tření a tepla (Freidinger, 2018). K praní se hojně využívají jednorázové prací kapsle, obsahují totiž správnou kombinaci a množství čisticích prostředků, díky nimž je oblečení svěží a dávkování snadné. Společnost zabývající se ekologickými čisticími prostředky požádala Agenturu pro ochranu životního prostředí (*Environment Protection Agency*), aby posoudila bezpečnost polyvinylalkoholu (PVA), který obsahuje plastová fólie, která kapsle obaluje. Jednodávkové kapsle pracích prostředků, které používají polyvinylalkohol, jsou často považovány za ekologičtější variantu ve srovnání s tekutým pracím práškem, který se prodává v plastových nádobách. Výzkum, který provedl Americký institut pro čistotu (*American Cleaning Institute*), uvádí, že nejméně 60 % PVA fólie se biologicky rozloží do 28 dnů a 100 % fólie do 90 dnů. Dále uvádí, že voda obsahující rozpuštěnou fólii se dostane do čistíren odpadních vod, kde bakterie a další mikroorganismy materiál rozloží přirozenou biodegradací. Ovšem společnost Blueland v roce 2021 zadala a pomohla financovat studii, která toto tvrzení zpochybňuje. Uvádí, že přibližně 75 % PVA z pracích kapslí a kapslí na mytí nádobí zůstalo po průchodu běžným čištěním odpadních vod neporušeno (Chiu, 2022).

Ze studií zabývajících se účinností čistíren odpadních vod je známo, že až 90 % mikroplastů je z vody odstraněno a zůstává v čistírenském kalu (Blasing a kol., 2018). Čistírenský kal obsahuje mnoho biogenních prvků, které jsou důležité pro růst a vývoj rostlin.

Těmito prvky jsou uhlík, dusík, fosfor a draslík. Z tohoto důvodu je používání kalů z čistíren odpadních vod jako hnojiva v zemědělství velmi rozšířenou praxí. Kaly jsou také využívány k rekultivaci krajiny. Denně je v Evropě vyprodukováno přibližně 90 g sušiny čistírenského kalu na člověka. V Evropě a Severní Americe se na zemědělská pole aplikuje přibližně 50 % všech čistírenských kalů. Ve Finsku a Irsku se pro zemědělské účely využívá dokonce až 72 % kalů (Blasing a kol., 2018). Mikroplasty v čistírenských kalech byly nalezeny po celém světě, bylo v nich nalezeno přes třicet různých druhů mikroplastových částic. Nejčastějšími mikroplasty v kalech jsou PE, PP, PVC, PET a PS (Zhang a kol., 2020). Čistírenské kaly obsahují celou řadu dalších znečišťujících látek, proto je jejich použití omezeno předpisy, včetně limitů pro obsah patogenů a těžkých kovů. Ovšem podle předpisů není plast považován za potenciálně nežádoucí složku (Blasing a kol., 2018).

Velký podíl mikroplastů pochází také z opotřebení pneumatik. Na běhoun pneumatiky při kontaktu s povrchem vozovky během jízdy působí smykové a třecí síly, které způsobují oděr částic. Mikroplasty z vozovky jsou pak do půdy roznášeny větrem, nebo splachovány deštěm (Boucher a kol., 2017).

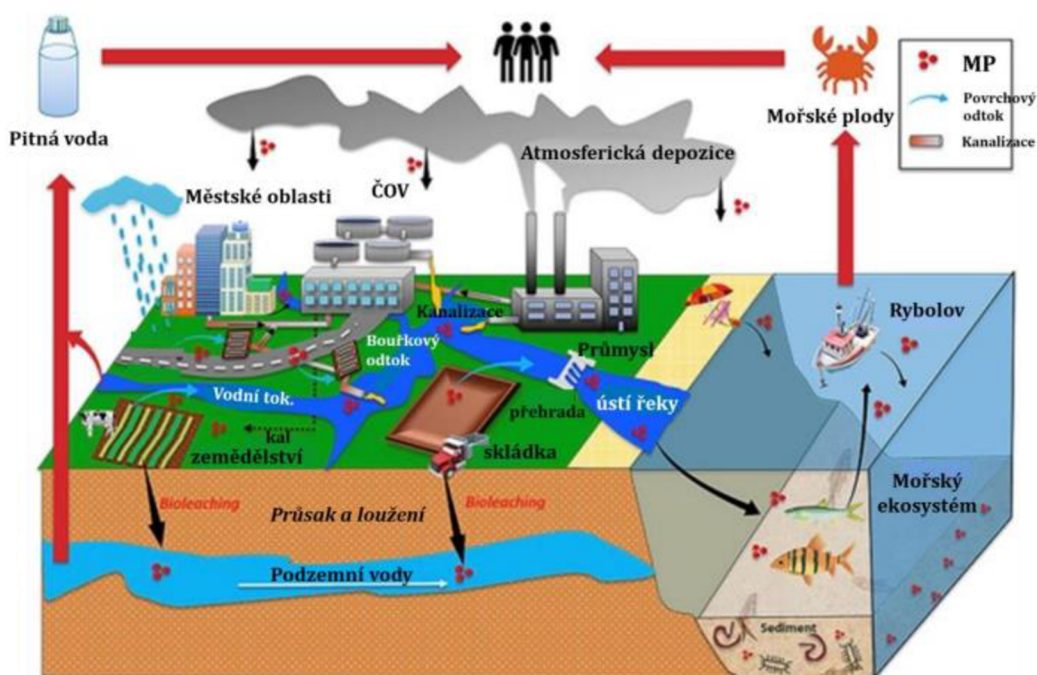
K množství mikroplastů v životním prostředí přispívá i pevný plastový odpad (Gotwala a kol., 2021). Plastového odpadu na naší planetě je ohromné množství. V současné době je až 95 % plastového obalového materiálu určeno na jedno použití. Například mikrotenový sáček se využívá v průměru 12 minut, poté putuje do odpadkového koše, ale v přírodě se bude rozkládat půl tisíciletí (Karmakar, 2020). Plastový odpad časem degraduje, fragmentuje na mikročástice a ty se hromadí v životním prostředí. Hromadění plastových fragmentů je znepokojivé, protože je velmi obtížné je z životního prostředí odstranit (Barnes a kol., 2009).

Od poloviny roku 2021 vstoupila v platnost Směrnice 2019/904/EU o omezení dopadu některých plastových výrobků na životní prostředí, kterou EU zakazuje prodej jednorázových plastových výrobků. Zákaz se týká jen určitých výrobků. Jedná se zejména o jednorázové plastové příbory, talíře, brčka, vatové tyčinky, tyčinky k uchycení balonků, míchátko, nádoby na nápoje z expandovaného polystyrénu a výrobky z oxo-rozložitelných plastů. Následně s účinností od 1.10.2022 vstoupil v platnost v České republice zákon č. 243/2022 Sb., o omezení dopadu vybraných plastových výrobků na životní prostředí. Tento zákon převádí do českého práva výše zmíněnou evropskou směrnici (MZP, ©2008-2022).

Již v roce 1950 se začaly plastové odpady dostávat do moře. Plasty představují 80 % z celkového množství odpadu v oceánech. Přítomnost mikroplastů v oceánech a mořích způsobuje nespočet zdravotních problémů. Zasaženy už jsou mořské řasy, ryby i mnohé další

organismy. Mikroplasty jsou obsažené i v půdě. Představují tak hrozbu i pro suchozemské organismy (Pêgo a kol., 2018).

Skládkování, jeden z technických způsobů nakládání s pevným odpadem, je hlavním úložištěm a šířitelem mikroplastů, jak primárních, tak sekundárních. Vnější vlivy prostředí (např. vítr nebo déšť) pomáhají přenášet mikroplasty ze skládek do okolního prostředí (Gotwala a kol., 2021). Obrázek č. 13 prezentuje schéma hlavních zdrojů mikroplastů dostávající se do životního prostředí.



Obrázek 13 - Koloběh a hlavní zdroje mikroplastů (upraveno dle Wu a kol., 2020)

3.5 Mikroplasty v terestrickém prostředí

Informace o tom, že suchozemské ekosystémy mohou být plné mikroplastů se objevila relativně nedávno. Negativní dopady mikroplastů na vodní živočichy jsou viditelnější a je jim věnována větší pozornost než jejich dopadům na živočichy v terestrickém prostředí. Současně, z analytického hlediska je mnohem snazší rozpoznat a stanovit mikroplasty ve vodním prostředí. Z těchto důvodů bylo mikroplastové znečištění studováno nejprve v mořském a později i sladkovodním prostředí. Vliv mikroplastů na suchozemské ekosystémy se v posledních pár letech začíná více studovat a diskutovat. V současné době je již potvrzeno, že mikroplasty se nacházejí i v půdách (Yang a kol., 2021).

Zpočátku se výzkum mikroplastů zaměřoval na polyethylenové kuličky, protože je lze snadno získat od dodavatelů ve standardizované podobě. Dále se experimentální práce přesunuly k mikrovláknům a v poslední době také k biologicky rozložitelným materiálům. Další typy, jako jsou například pěny, které zatím nejsou zcela prozkoumány (Lehmann a kol., 2019). Mikroplasty byly zaznamenány v půdě v celosvětovém měřítku, včetně Asie, Evropy, Severní Ameriky, Afriky a Oceánie. Množství mikroplastů se napříč různými vzorky liší, od téměř žádného po desítky tisíc na kilogram (Yang a kol., 2021). Byly nalezeny v mnoha půdách suchozemských ekosystémů, jako jsou zemědělské plochy, města, průmyslové oblasti, ale také v půdách odlehlých oblastí (Lehmann a kol., 2019). Zejména městské a zemědělské půdy jsou nejvíce zasaženy mikroplastovým znečištěním, protože jsou nejčastěji vystaveny a přicházejí do styku s umělými činnostmi, a tím i s cestami vstupu mikroplastů do půdy.

Většina výzkumů mikroplastů v půdě je pak z důvodu zemědělské produkce zaměřena hlavně na zemědělskou půdu (Yang a kol., 2021). Půda je velmi důležitá součástí životního prostředí, je to dynamický, stále se vyvíjející živý systém. Mezi její základní vlastnosti řadíme půdní texturu, strukturu, pórovitost, barvu a tepelné poměry v půdě. Je základem prakticky všech suchozemských ekosystémů a patří k důležitým přírodním zdrojům lidské společnosti. Poskytuje ekosystémové služby, jako je ukládání atmosférického uhlíku, odstraňování patogenů a znečišťujících látek z vody, rozklad organické hmoty, a hlavně zásobování plodin a rostlin vodou a živinami, které nezbytně potřebují k růstu. Půda také obsahuje obrovskou diverzitu mikrobů a organismů, kteří hrají zásadní funkci ve výše zmíněných ekosystémových službách (Helmerger a kol., 2020). Pokud jsou půdní mikrobi vystaveni působení mikroplastů, zejména jejich vysokým koncentracím po delší dobu, vykazují sníženou plodnost i rychlost růstu, což naznačuje možné nepříznivé účinky mikroplastů na půdní ekosystém (Zhang a kol., 2020).

Jakmile se plast nahromadí v půdě, stává se součástí složité směsi organických látek a minerálních substituentů. Plastový materiál je sorbentem pro jiné toxické a znečišťující látky, jako jsou těžké kovy a polychlorované bifenyly, dále také pesticidy, perzistentní organické znečišťující látky nebo také antibiotika, pokud jsou mikroplasty převzaty biotou, působí jako nosič těchto látek (Blasing a kol., 2018). Kombinace a interakce mikroplastů s kontaminanty, které absorbovaly, může ovlivnit zdraví a funkci půdy, a dokonce i migraci v potravním řetězci. Mikroplasty různých typů, velikostí a tvarů mají odlišné účinky na půdu kvůli své struktuře a povaze. Výskyt a dopad mikroplastů na půdu závisí jak na půdní morfologii, tak chemických složkách a přírodních faktorech (Yang a kol., 2021).

V případě, že mikroplasty absorbují ionty těžkých kovů, jako je kadmium, arsen, olovo, měď, železo a stříbro, může vést jejich požití k buněčné apoptóze a účinkům endokrinních disruptorů, tyto kovy totiž přímo interagují s DNA. Většina chemických látek, které se běžně používají při výrobě plastů, včetně těch, které se používají při výrobě běžných výrobků pro domácnost, výrobků pro péči o pleť a obalů potravin, může mít škodlivé účinky na lidské zdraví. Kromě látek, které mikroplasty absorbují, mohou škodit půdním organismům také uvolňováním aditiv, která byla do daného plastu přidána. V mnoha typech plastů, jsou tyto přísady volně začleněny do struktury polymeru, a proto mohou být uvolněny (Blasing a kol., 2018). Může se tak uvolňovat řada toxických nebo endokrinních látek, jako například bisfenol A. Bisfenol A, který je mimořádně rozšířenou přídatnou látkou, je vysoce toxický pro mikroby a jeho původ lze vysledovat v mikroplastech z PVC. Z tohoto důvodu je PVC plast všeobecně považován za nejnebezpečnější mikroplast se silnou mutagenitou a karcinogenitou (Zhang a kol., 2020). Bylo zjištěno, že některé z těchto látek, např. bis(2-ethylhexyl)-ftalát, inhibují mikrobiologickou aktivitu půd. Ftaláty mají relativně slabé chemické vazby, a proto se některé ftaláty snadno uvolňují během degradace plastů. Ftaláty jsou endokrinní disruptory. Epidemiologické studie u lidí prokázaly, že expozice ftalátům má významný nepříznivý vliv na reprodukční výsledky, včetně dřívější menopauzy, nízké porodní hmotnosti, předčasného porodu, zvýšené inzulinové rezistence, obezity u malých dětí, rizika alergie a astmatu a vyššího systolického krevního tlaku (SooJung a kol., 2022).

Půda může být zamořena jak primárními, tak sekundárními plasty. K tvorbě sekundárních mikroplastů přispívají půdní organismy, jako jsou žížaly (*Lumbricina*). Žížaly spolu s dalšími suchozemskými organismy, včetně roztočů (*Acari*), syslů (*Spermophilus*) a krtků (*Talpa*), přispívají nejen k rozkladu plastových částic na pevném povrchu, ale také je začleňují do půdy (Zhang a kol., 2020). Pokud tedy nedojde k eliminaci vstupu plastů do půdy, nelze vyloučit jejich negativní účinky na půdní organismy, úrodnost půdy a lidské zdraví (Blasing a kol., 2018).

První zprávy o výskytu mikroplastů v sedimentech pocházejí z konce 70. let 20. století. Tato první pozorování se týkají pelet z průmyslových pryskyřic (2-5 mm) na plážích na Novém Zélandu, v Kanadě, na Bermudách, v Libanonu a ve Španělsku. Již v těchto prvních výzkumech koncentrace pelet přesahují 1 000 pelet na metr pláže. Za hlavní zdroje jsou považovány velké přístavy a místní plastový průmysl, zatímco v případě Bermud, které takové místní zdroje nemají, vysvětluje vysoké koncentrace vliv oceánské cirkulace. Od těchto prvních studií je hlášena kontaminace pláží peletami po celém světě. U většiny těchto

studií nebylo hlavním cílem posoudit výskyt a množství těchto pelet, ale spíše vyhodnotit kontaminační zátěž přítomnou na těchto peletách (Cauwenberghe a kol., 2015) .

V současné době jsou mikroplasty detekovány v sedimentech po celém světě. Zkoumány byly zejména pláže, příbřežní a pobřežní sedimenty. Mikroplasty obsahují i hlubokomořské sedimenty. V hloubce 5 000 m bylo v sedimentech zjištěno až 2 000 částic na m². Na silně znečištěných plážích mohou mikroplasty tvořit 3,3 % hmotnosti sedimentu. Vzhledem k tomu, že velikost mikroplastů je podobná (nebo dokonce menší) velikosti zrn sedimentů, mohou mikroplasty přijímat nejen organismy nižší trofické úrovně, ale také další organismy žijící v sedimentech. Organismy žijící v sedimentech jsou citlivými indikátorovými druhy pro mnoho druhů přirozených i antropogenně vyvolaných narušení a jsou celosvětově využívány jako bioindikátory zdraví ekosystémů (ibid).

3.6 Stanovení mikroplastů v půdách a sedimentech

Metody stanovení mikroplastů můžeme rozdělit na kvantitativní a kvalitativní. Pomocí metod kvantitativní analýzy určujeme množství mikroplastů ve vzorku. Metody kvalitativní analýzy určují, jaké druhy mikroplastů se ve vzorku nachází. Dále metody dělíme na destruktivní a nedestruktivní. V případě, že mikroplasty ze vzorku stanovujeme pomocí více metod, musíme vždy postupovat od nedestruktivních metod k destruktivním. Při stanovení vzorku pomocí nedestruktivních metod se vzorek nemění a lze jej používat dále, kdežto při využití destruktivních metod se vzorek zcela spotřebuje nebo chemicky upraví (Klouda, 2003). Konfirmační metody jsou necitlivé a jejich technické limity detekce velikosti částic se pohybují od 2 do 100 µm. Vzhledem k tomu, že analytické a statistické postupy jsou v různých studiích často upravovány na různých úrovních, je náročné extrapolovat a porovnávat koncentrace mikroplastů v životním prostředí (Machado a kol., 2017).

Běžně používané metody analýzy mikroplastů často zahrnují některé z následujících postupů: filtrování velkých objemů tekutin, separace od jiných částic flotací, degradace přírodní organické hmoty ve vzorcích a vizuální výběr pod optickým mikroskopem s následnou analytickou identifikací (Machado a kol., 2017).

Ačkoli již byly vyvinuty různé analytické metody pro studium mikroplastů v mořských nebo sladkovodních systémech, neexistuje žádná ověřená metoda pro analýzu syntetických polymerů v půdním systému (Corradini a kol., 2019). Identifikace a kvantifikace plastových materiálů v půdě proto může být obzvlášť náročná, přičemž největší odchylky během stanovování byly nejčastěji pozorovány právě u půdních vzorků. Půda je složitý heterogenní

system, který se skládá z řady komplexních složek, jako je organická hmota, minerální půda a chemické látky. Organická hmota tvoří velkou část půdy v rozmezí od 0,02 % (pouštní půdy) do téměř 100 % (rašeliniště) s velmi různorodými složkami, včetně zbytků z rozkládajících se mikroorganismů a rostlin v různých stádiích. Výťažnost mikroplastů je tedy silně ovlivněna vysokými koncentracemi organických látek a také jemnými půdními částicemi. Proto je pro charakterizaci mikroplastů v půdách zapotřebí rychlá, vysoce výkonná, snadná a spolehlivá analytická metoda (Zhang a kol., 2020).

Typický postup analýzy mikroplastů v půdách lze rozdělit do následujících kroků: 1) odběr půdních vzorků, který je klíčovým krokem při analýze mikroplastů; 2) hustotní separace a rozklad organické hmoty po vysušení, prosetí, flotaci, filtraci a separaci půdních vzorků; 3) vizuální identifikace potenciálních mikroplastů (Zhang a kol., 2020). Podrobnosti uvádí podkapitoly níže.

3.6.1 Předúprava vzorku

K analýze mikroplastů v půdách jsou zapotřebí standardizované metodiky pro sedimenty. Je třeba zvážit standardní velikosti sít, nasycené roztoky v metodě hustotní separace a optimalizaci extrakční metody nebo detekčních technik na základě různých vlastností půdy (Zhang a kol., 2020).

Vzorky se před vlastní analýzou nejprve **suší**, protože výsledky jsou většinou udávány ve vztahu k hmotnosti sušiny. Aby se dosáhlo absolutních výsledků, vlhkost půdy je eliminována sušením. To se provádí na vzduchu při pokojové teplotě nebo v sušících pecích při teplotách mezi 50 a 70 °C. Použití sušících pecí výrazně urychluje proces sušení, ale nadměrně vysoké teploty mohou negativně ovlivnit některé plasty. Teploty tání polymerů se pohybují mezi 20-60 °C pro PE, 20-30 °C pro PET, 30-80 °C pro PP a PS, a 85-120 °C u PC, v závislosti na výrobních vlastnostech každého polymeru. Rozhodnutí provést sušení při nízkých nebo vysokých teplotách závisí na příslušné výzkumné otázce a dalším rozsahu šetření. Jak bylo zmíněno výše, teploty sušení v rozmezí teplot tání různých polymerů mohou změnit povrchy polymerů nebo způsobit nežádoucí reakce mezi polymery a půdní maticí (Weber a kol., 2020).

Po vysušení jsou vzorky půdy **prosety**, obvykle na <2 mm. Ačkoli se zdá, že na základě stanovené velikosti mikroplastů z jejich definice bude vždy použito síto o velikosti 5 mm, v některých případech se k prosévání půdních mikroplastů využívá i síto o velikosti oka 1 mm (Yang a kol., 2021).

Po prosetí lze minerální fázi půd snadno odstranit pomocí metod **hustotní frakcionace**, které se využívají i pro analýzu sedimentů. Aby byla zaručena spolehlivá identifikace a kvantifikace mikroplastů v půdě, měla by být odstraněna půdní organická hmota. Pouhou hustotní frakcionací však nelze oddělit organickou hmotu od plastových materiálů v půdě, protože půdní organická hmota má typickou hustotu mezi 1,0 a 1,4 g/cm³, podobnou hustotě několika typů plastů, jako je PET a nylon. Dostatečné odstranění půdní organické hmoty bez zničení malých plastových polymerů je náročné, protože velká část půdní organické hmoty je žáruvzdorná. Při analýze mikroplastů v sedimentech, vodě nebo biologických vzorcích se organické látky odstraňují pomocí kyselého, zásaditého nebo oxidačního ošetření a také enzymatického rozkladu. Nejběžnější metoda odstranění organických látek z půdy spočívá v aplikaci peroxidu vodíku. Mnoho druhů plastů je vůči ošetření peroxidem vodíku odolná, ale rozhodně ne všechny. Například PE a PP při kontaktu s peroxidem vodíku degradují (Blasing a kol., 2018).

Po vyčištění je potřeba mikroplasty z půdní matrice extrahovat. Běžnou metodou pro extrakci mikroplastů v půdě je **hustotní separace** (Yang a kol., 2021). Ze vzorků sedimentů, lze k oddělení mikroplastů od písčité nebo bahnité matrice použít několik metod. Nejvyužívanější metodou je i v tomto případě metoda hustotní separace, stejně jako u vzorků půd (Cauwenberghe a kol., 2015). Všechna řešení hustotní separace mají však v současné době svá omezení.

Nejčastěji používanými roztoky pro separaci mikroplastů jsou destilovaná voda ($\rho = 1,0 \text{ g/cm}^3$), chlorid sodný ($\rho = 1,2 \text{ g/cm}^3$), chlorid vápenatý ($\rho = 1,5 \text{ g/cm}^3$), chlorid zinečnatý ($\rho = 1,6 \text{ g/cm}^3$) a jodid sodný ($\rho = 1,8 \text{ g/cm}^3$). Destilovaná voda je snadno dostupná, ale dokáže oddělit pouze několik druhů mikroplastů s hustotou menší než 1,0 g/cm³. Chlorid sodný je také snadno dostupný, levný a netoxický. Sodík napomáhá dispergaci částic, ale pro mikroplasty s vysokou hustotou, jako je PET a PVC, je hustota roztoku chloridu sodného nízká. Pro separační roztoky s vyšší hustotou se často používá chlorid zinečnatý, ale jeho vodný roztok je korozivní a toxický. Hustota roztoků jodidu sodného je dostatečně vysoká, ale jeho použití je nákladné. Z hlediska hustoty, nákladů a šetrnosti k životnímu prostředí je nejvhodnější pro separaci mikroplastů chlorid vápenatý. Nicméně vápenaté ionty mohou přemostit záporný náboj organických molekul, následkem čehož dojde k flokulaci organických látek a jejich přichycení na filtrační membránu, což může bránit počítání a identifikaci mikroplastů (Yang a kol., 2021).

Všechny běžně používané solné roztoky mají proto svá omezení. Mohou ovlivnit účinnost separace mikroplastů, také tvar nebo velikost zachycených mikroplastových částic.

Aby se dosáhlo lepšího separačního účinku, využívá se také vícestupňová separační technika. Například separace destilovanou vodou, poté roztokem chloridu sodného a roztokem chloridu zinečnatého. Nebo se využívá kombinace chlorid sodný a následně chlorid zinečnatý (ibid).

Lze také využít **sekvenční extrakci** plastů $<30\ \mu\text{m}$ ze vzorků půdy pomocí tlakové extrakce kapalinou. Tato metoda je spolehlivá pro různé typy plastů, včetně PE, PVC, PP a dalších, a proto je jednou z nejslibnějších metod oddělení mikroplastů ze vzorků půdy. Nevýhodou metody však je, že neumožňuje extrahovat větší plastové fragmenty ($>30\ \mu\text{m}$). Vynechává velkou část typických mikroplastů (<1 nebo $5\ \text{mm}$). Kromě toho existuje riziko, že extrakce změní morfologii částic, což může ztížit fyzikální charakterizaci, např. k vysledování zdroje (Blasing a kol., 2018).

Dalším krokem po hustotní separaci je **filtrace**. Filtrování často vede k nízké retenci a následně k podhodnocení částic menších než otvor oka, např. ve vodních systémech se pro tento účel používají planktonové sítě. V důsledku toho jsou environmentální údaje o distribuci mikroplastů menších než $300\ \mu\text{m}$ ve sladkých vodách vzácné a přesný význam jejich výskytu je tím opominut. Půdní částice jsou však méně náchylné k hydrodynamickému výběru. Proto jsou charakterizovány širším rozložením velikosti a hustoty částic (Machado a kol., 2017).

Na závěr probíhá **vlastní identifikace a kvantifikace** mikroplastů ve vzorku. Nejprve se provede vizuální detekce, ta je ovšem vystavena lidské chybě a má zjevné omezení přesnosti pro malé částice, tj. lidské oko nerozpozná částice menší než $0,42\ \mu\text{m}$ (ibid). Potenciální mikroplasty se tedy identifikují pod mikroskopem a následně se jejich výskyt a množství potvrdí použitím vhodných analytických metod (Yang a kol., 2021).

3.6.2 Kvantitativní analýza

Optická neboli světelná mikroskopie je jednoduchá, rychlá a relativně levná zobrazovací metoda. Optické mikroskopy jsou široce používanými nástroji pro identifikaci menších plastových částic, které nelze spatřit pouhým okem. K zobrazení se uplatňuje viditelná část spektra, což je spektrum o vlnové délce $420\text{-}760\ \text{nm}$. Částice lze pozorovat v tisícinásobném zvětšení a rozlišit detaily na úrovni $0,2\ \mu\text{m}$ (Li a kol., 2018). Důležitými nástroji pro záznam fyzikálních vlastností mikroplastů jsou hlavně stereomikroskopy. Stereomikroskop ve srovnání s klasickým mikroskopem má větší hloubku ostrosti, díky čemuž zobrazuje předměty trojrozměrně (Yang a kol., 2021).

Morfologické charakteristiky jsou hlavním základem pro určení, zda je podezřelá částice mikroplast (Yang a kol., 2021). Vizuální kontrola mikroplastů podle tvaru, velikosti, struktury a barvy částic pomocí mikroskopu je vhodná pro detekci větších mikroplastů, udává

se rozmezí 0,5-5 mm s ohledem na odlišnost plastů od ostatních organických/anorganických půdních částic, například hlinitokřemičitany, které mají identický vizuální vzhled. Kromě toho je potřeba zohlednit kvalitu zraku osoby, která vykonává práci s mikroskopem, její zkušenosti a kvalitu mikroskopu (Kelly a kol., 2021). Snadněji lze identifikovat barevné mikroplasty, zatímco plasty bez výrazného zbarvení se identifikují hůře (Li a kol., 2018). Samotná vizuální kontrola tak může vést k vysoké míře falešně pozitivních nálezů, zejména u menších částic. Pro přesnější optickou detekci mikroplastů ve vzorku lze využít barviv. Lze obarvit plasty či okolní prostředí. Nejčastěji využívaným barvivem je bengálská červen a Nile red. Barvivo je nutné volit dle předpokládaného druhu plastu, který se vyskytuje ve vzorku. Vzorek je pozorován před i po obarvení. Pro potvrzení správné identifikace mikroplastů je nutná následná chemická analýza (Yang a kol., 2021). Obecně lze říct, že s klesající velikostí mikroplastů se zvyšuje doba testování a náklady na charakterizaci (Kelly a kol., 2021).

Metoda založená na extrakci tlakovou kapalinou umožňuje nejlépe kvantifikovat mikroplasty ve složitých vzorcích životního prostředí, jako jsou vzorky komunálního odpadu a půdy. Tato metoda se skládá ze dvou po sobě jdoucích extrakcí. Při první extrakci se methanolem při 100 °C odstraní polotěkavé organické sloučeniny, jako jsou tuky a oleje. Při druhé extrakci (tlaková fluidní extrakce) se dichlormethan využije k získání frakce mikroplastů. Získané dichlormethanové extrakty se odpaří do sucha a změří se gravimetricky. Výhodou této metody je její jednoduchost, cena, rychlost a jednotnost při vykazování výsledků koncentrace, jakož i možnost automatizace extrakční složky, což minimalizuje požadavky na dovednosti obsluhy a související chyby. Ovšem citlivost metody je zároveň omezením. Kvůli malému množství extrahovaných vzorků je náročné přesně kvantifikovat vzorky mikroplastů (Silva a kol., 2018).

3.6.3 Kvalitativní analýza

Infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací (FTIR) je nedestruktivní analytická metoda. Tato metoda je drahá a časově náročná na provedení (Du a kol., 2020). Je to metoda, která je založená na principu infračervené spektroskopie (Baudot a kol., 2010). FTIR včetně mikro-FTIR a infračervené spektroskopie s Fourierovou transformací s oslabeným úplným odrazem (ATR-FTIR) je nejčastěji využívaná metoda pro kvalitativní analýzu mikroplastů (Qui a kol., 2016).

FTIR metodou můžeme analyzovat pouze mikroplasty s velikostí částic větší než 10-20 μm . Pomocí FTIR spektroskopu lze poskytnout informace o funkčních skupinách a molekulární struktuře organických materiálů (Wu a kol., 2020). Protože se mikroplasty

skládají z funkčních skupin na bázi uhlíku spojených kovalentními vazbami, lze na základě porovnání jejich spekter se spektry známých plastů rychle a přímo určit typ polymeru. Z tohoto důvodu se právě FTIR spektroskopie využívá ke kvalitativní analýze mikroplastů. Přestože je FTIR spektroskopie považována za spolehlivou analytickou metodu, tak i u této metody může být přítomnou půdní organickou hmotou identifikace a kvantifikace plastů falešně detekována (Du a kol., 2020).

Technika mikro-FTIR je omezena vizuální rozpoznání mikroplastů a měření jsou prováděna ručně nebo poloautomaticky. K počítání a identifikaci mikroplastů se používá také FTIR mikroskop (Qui a kol., 2016). Mikro-FTIR spektroskopie umožňuje současnou vizualizaci, mapování vzorků a sběr spekter pro menší typy polymerních částic. Kombinace technik mikro-ATR-FTIR usnadňuje identifikaci mikroplastů nepravidelného tvaru (Rocha-Santos a Duarte, 2015).

Ramanova spektrometrie je v současné době spolu s FTIR nejrozšířenějšími metodami k identifikaci mikroplastů. Výhodou Ramanovy spektrometrie oproti FTIR je ta, že má lepší prostorové rozlišení (Blasing a kol., 2018). Ramanova spektrometrie má lepší odezvu nepolárních, symetrických vazeb, zatímco FTIR umožňuje jasnější identifikaci polárních skupin, čímž se tyto techniky doplňují. Kromě toho poskytuje širší spektrální pokrytí (Silva a kol., 2018).

Ramanova spektrometrie je také nedestruktivní analytická metoda vhodná ke stanovení mikroplastů větších než 1 μm a menších než 20 μm . Jedním z jejích hlavních omezení je, že je vzorek náchylný k rušení fluorescencí, což může vést k nepřesné identifikaci mikroplastů (Du a kol., 2020). Dalším omezením při analýze je stáří analyzovaných mikroplastů, tj. jejich degradace působením UV záření (Silva a kol., 2018).

Termogravimetrická analýza (TGA) je termoanalytická metoda, která dokáže rozdělit půdy podle tepelné (v inertní atmosféře) nebo termooxidační (na vzduchu nebo v kyslíku) stability, kdy sleduje tepelnou stabilitu a podíl těkavých látek v materiálu. Metoda měří změnu hmotnosti vzorků v závislosti na teplotě termolýzy, čímž kvantifikuje těkavé sloučeniny. Různé plastové materiály vykazují specifické termolytické chování v širokém rozsahu teplot, což umožňuje identifikovat konkrétní typy plastů, pokud jsou odpadní materiály plně odděleny a vyčištěny od matrice prostředí. Kvantifikovat podíl jednotlivých plastů ve vzorcích životního prostředí a směsích polymerů však může být náročné (Jung a kol., 2021). Je třeba také zmínit, že se jedná se o metodu destruktivní, na rozdíl od výše zmíněné FTIR a Ramanovy spektrometrie.

Rastrovací elektronová mikroskopie (SEM) dokáže zobrazit stovky částic o velikosti nanometrů (Jung a kol., 2021). Tato metoda při identifikaci mikroplastů poskytuje mimořádně kvalitní obraz plastových částic, což usnadňuje rozlišení mikroplastů od organických sloučenin. Ve spojení s metodou snímací elektronové spektroskopie s elektronickou závěrou diferencíálu EDS-SEM lze získat prvkové složení plastových částic, čímž lze rozlišit plasty s převahou uhlíku od anorganických látek. Při současném použití Ramanovy spektrometrie a FTIR, poskytuje EDS-SEM přesnější informace o studovaných mikroplastech. Metoda EDS-SEM je však nákladná, časově náročná a zahrnuje pracné kroky přípravy vzorků. Její časová náročnost omezuje počet částic, které lze analyzovat v daném časovém rozmezí. Dalším omezením je, že barvy částic nelze při analýzách SEM použít jako identifikátory. Tato omezení mohou vést k nepřesnostem při určování množství mikroplastů v určitém prostředí. Z tohoto důvodu se tato metoda využívá ke stanovení pouze specifických plastových částic. (Silva a kol., 2018).

Statická hmotnostní spektrometrie sekundárních iontů (ToF-SIMS) je metoda povrchové analýzy s vysokou molekulární specifičností a zobrazovací schopností. Je vhodná pro analýzu anorganických prvků a organických sloučenin. Lze s ní provádět rychlé skenování hmotnostní spektrometrií a zobrazování charakteristických organických iontů. Může tedy poskytnout informace o velikostech částic a jejich distribuci. V posledních letech byla ToF-SIMS široce používána při analýzách vzorků životního prostředí, zejména pro analýzu mikroplastů v půdě (Du a kol., 2020), o velikosti částic do 25 μm (Yang a kol., 2021). Analýza mikroplastů pomocí této metody je však náchylná k rušivým vlivům přirozeně se vyskytujících organických látek v půdě. Ty je třeba pro před testováním z půdy extrahovat (Du a kol., 2020).

Pyrolýza s plynovou chromatografií s hmotnostní spektrometrií (Pyr-GC/MS) tepelně rozkládá plasty na těkavé organické sloučeniny, které lze následně identifikovat. Identifikace mikročástic se často provádí pomocí určitých charakteristik dobře definovaných pro známé polymery, jako je specifická hustota, tvar a barva. Tato metoda je ekonomičtější, ale může vést k chybné charakterizaci mikročástic (Rocha-Santos a Duarte, 2015).

Měřením množství reprezentativních indexových chemických látek každého plasty může Pyr-GC/MS také kvantifikovat plasty ve vzorcích životního prostředí (Jung a kol., 2021). Tato metoda však neumožňuje určit počet, typ nebo morfologii mikroplastů, poskytuje pouze hmotnost polymeru ve vzorku, jedná se o destruktivní analytickou metodu (Hale a kol., 2019). Z tohoto důvodu se metoda využívá výhradně pouze pro ověření složení podezřelých mikroplastů. Ve srovnání s jinými analytickými metodami, které vyžadují několik předúprav

k získání izolovaných částic plastů pro identifikaci, nabízí Pyr-GC/MS tu výhodu, že pro identifikaci a kvantifikaci mikroplastů v životním prostředí nevyžaduje předúpravu vzorku. Díky tomu poskytuje metoda rychlé měření, které může být užitečné pro rutinní analýzy (Jung a kol., 2021).

3.7 Rizika mikroplastů v terestrickém prostředí

Znečištění půdy mikroplasty má dopad jak na nadzemní, tak na podzemní části půdního ekosystému. Nejčastěji se mikroplasty dostanou do půdy aplikací kalů z čistíren odpadních vod. Mikroplasty mohou změnit geochemické a biofyzikální vlastnosti půdního prostředí (Lozano a kol., 2021). Biofyzikální vlastnosti půdy mohou ovlivnit tím, že mají vliv na hodnotu pH, strukturu půdy, její úrodnost, množství živin, půdní mikroby a agregáty (Yang a kol., 2021). Obecně platí, že při rozpadu mikroplastových částic získávají tyto částice nové fyzikální a chemické vlastnosti, čímž se zvyšuje riziko, že budou mít toxický účinek na organismy. A čím větší je počet potenciálně zasažených druhů a ekologických funkcí, tím větší je pravděpodobnost, že se toxické účinky projeví. Z chlorovaných plastů se mohou do okolní půdy uvolňovat škodlivé látky, které pak mohou pronikat do podzemních vod nebo jiných okolních vodních zdrojů a také do ekosystému. To může způsobit řadu škodlivých účinků na druhy, které vodu využívají (UNEP, ©2021).

Mikroplasty se postupně včleňují do půdních agregátů. Půdní agregáty jsou základní jednotkou půdní struktury a hrají důležitou roli při utváření životního prostředí půdních organismů. Kromě toho mají půdní agregáty také důležitou roli v pórovitosti celé půdy, která následně ovlivňuje pohyb plynů, vody a činnost souvisejících mikrobiálních společenstev. Vytvářejí kanálky pro pohyb vody a mohou tak urychlit její odpařování. Tento účinek se s rostoucí koncentrací mikroplastů v půdě zvyšuje. Hromadění mikroplastů může také narušit strukturální integritu půdy a způsobit vysychavé trhliny na jejím povrchu (Yang a kol., 2021).

Kromě toho mohou mikroplasty dosáhnout úrovně, která může ohrozit biologickou rozmanitost, ekologické funkce půdy, a dokonce i globální produkci potravin. Ve skutečnosti je dlouhodobý osud mikroplastů stále nejasný. Proto je jejich interakce s půdní biotou a minerálními částicemi v posledních letech předmětem velkého zájmu vědců (Zhang a kol., 2020).

V současnosti není k dispozici mnoho informací o tom, jak reagují rostliny na přítomnost mikroplastů. Je pravděpodobné, že různé druhy rostlin ve společenstvu mohou být přídatkem mikroplastů (ať už směsí nebo jednotlivých typů) ovlivněny v různé míře

(Lehmann a kol., 2019). Vliv mikroplastů na rostliny je však zřejmý jak na podzemní, tak nadzemní části rostlin. Když se mikroplasty dostanou dovnitř rostliny, brání tím rostlině přijímat dostatek vody a živin, a to má vliv na vzrůst rostliny. Rostliny kontaminované mikroplasty jsou tak menšího vzrůstu. Dále byly zjištěny změny vlastností kořenů a listů rostlin, ale také změny celkové biomasy. Například PS způsobuje významný nárůst kořenové biomasy, zatímco účinky pozorované u rostlin vystavených HDPE, PET a PP byly opačné (Yang a kol., 2021).

Dále bylo prokázáno, že mikroplasty v půdě vedou k subletálnímu poškození půdních organismů, mezi které patří například hlístice (*Nematoda*), žížaly nebo chvostoskoci (*Collembola*). Takové poškození zahrnuje poruchu reprodukce, zpomalení růstu, oslabení adaptability, vnitřní poškození (např. poranění), nedostatečný příjem živin, zánětlivé reakce, tlak na játra a oxidační stres (Kelly a kol., 2021).

Na druhou stranu organismy hrají důležitou roli v distribuci mikroplastů. Pohybem žízal mohou být fragmenty mikroplastů přenášeny formou adheze, dále vylučováním a odumíráním těl. Bylo prokázáno, že žížaly jsou největším šířitelem mikroplastů v půdě. Žížaly a další půdní mikro živočichové jsou nepostradatelnou součástí půdního prostředí, ale hrají důležitou roli v transportu a přeměně mikroplastů. Roztoči z rodu Pancířníků (*Oribatida*) mají také schopnost transportovat mikroplasty, a to až do hloubky 9 cm (Wang a kol., 2019).

Bylo potvrzeno, že žížaly požívají mikroplasty a že se neustále zvyšuje množství mikroplastů, které požijí. Důvodem je stále se zvyšující koncentrace mikroplastů v půdě. Požití mikroplastů způsobuje falešné nasycení, což dále vede k vyčerpání energie, sníženému růstu, a dokonce i smrti. Mikroplasty byly nalezeny i v trávicím traktu plžů (*Gastropoda*). Larvy komárů (*Culex*) také ochotně konzumují mikroplasty, a ty mohou přetrvávat v komářích útrobach během metamorfózy z larválního stádia do dospělého (Guo a kol., 2020). Dále byl zjištěn nepříznivý vliv na fungování trávicí soustavy suchozemských stejnonožců (*Isopoda*) (Kelly a kol., 2021).

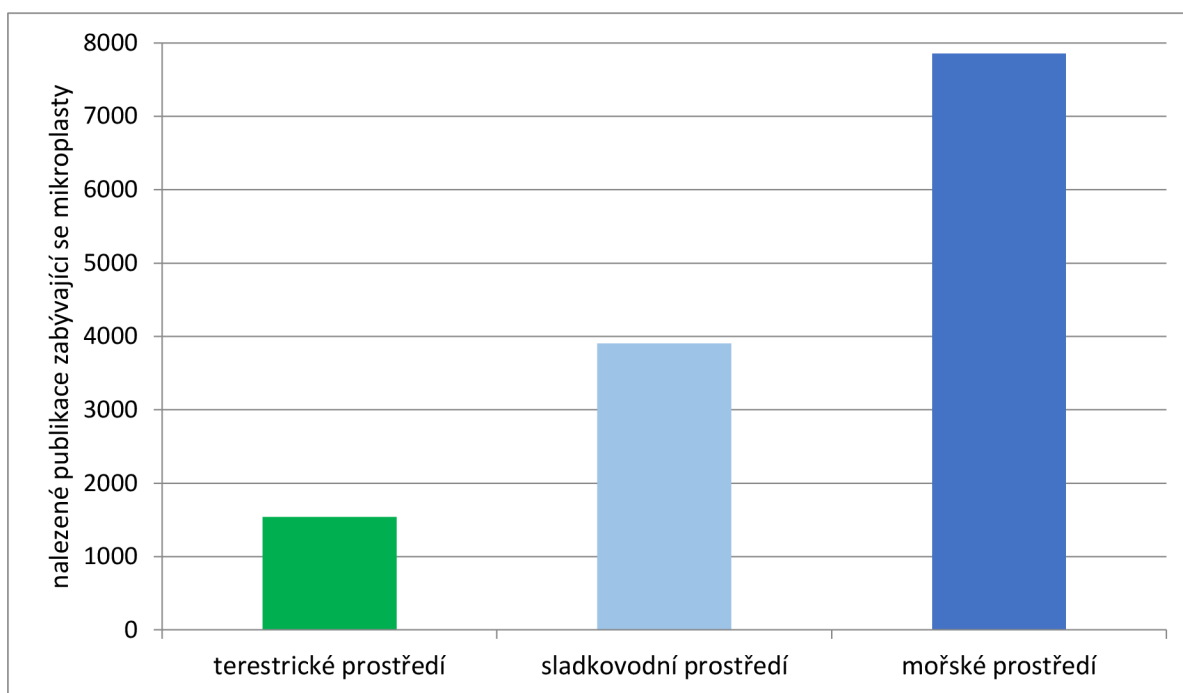
Všudypřítomnost mikroplastů v životním prostředí je velmi znepokojivá, protože má negativní dopad i na zdraví lidí (Gotwala a kol., 2021). Mikroplasty se do lidského těla dostávají přes potravu, vodu i vzduch. Mikroplasty mohou být přeneseny z kořisti na dravce v potravinovém řetězci (Singh a kol., 2020). Do lidského potravního řetězce se mohou mikroplasty dále dostávat ulpíváním na povrchu kořenové zeleniny v půdě nebo konzumací mořských plodů (Zhang a kol., 2020).

Mikroplasty se také z různých zdrojů uvolňovat do ovzduší a lidé je mohou vdechovat (Wu a kol., 2020). Dlouhodobá expozice mikroplastům může v lidském těle vyvolat řadu

zdravotních problémů, jako je zánět žaludku, poškození jater a ledvin, plicní infekce, rakovina nebo reprodukční dysfunkce. V trávicím traktu mohou způsobit problémy spojené s obezitou nebo diabetem. Patogeny, které se navazují na mikroplasty mohou v těle způsobit mnoho dalších zdravotních problémů (Singh a kol., 2020). Životní prostředí je předpokladem každého života a jeho kvalita je důležitá (Tuháček a kol., 2015).

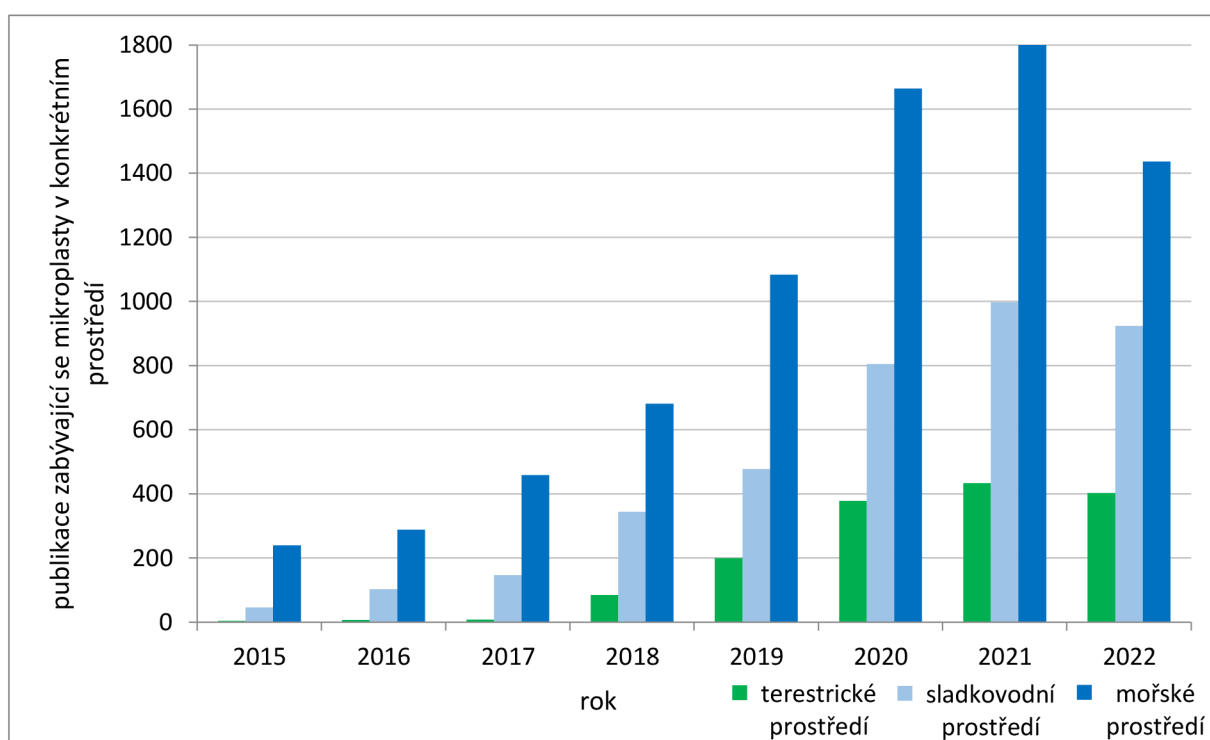
4 Výsledné zhodnocení

V rámci rešerše primárním zdrojem publikací byla databáze knihovny ČZU v Praze, publikovaných v letech 2015-2022. Databáze knihovny ČZU zahrnuje několik odborných databází, nejvíce využívanými jsou citační databáze Scopus a Web of Science. Pro své výsledné zhodnocení jsem se rozhodla použít publikace od roku 2015, jelikož do roku 2015 vycházelo ročně pro terestrické prostředí méně než 5 publikací. K identifikaci relevantních publikací byla použita klíčová slova: „mikroplasty“, „mikroplasty v terestrickém prostředí“, „mikroplasty v půdách“, „mikroplasty v mořích“, „mikroplasty ve sladkovodním prostředí“, „toxicita mikroplastů“, „toxicita mikroplastů v mořích“, „toxicita mikroplastů v terestrickém prostředí“, „toxicita mikroplastů ve sladkovodním prostředí“, „analytické metody stanovení mikroplastů“, „stanovení mikroplastů v terestrickém prostředí“, „stanovení mikroplastů v mořích“, „stanovení mikroplastů ve sladkovodním prostředí“, „množství mikroplastů v terestrickém prostředí“, „množství mikroplastů ve sladkovodním prostředí“, „množství mikroplastů v mořích“. Výsledkem vyhledávání bylo celkem 13 294 publikací, z čehož se 7 852 publikací týkalo mikroplastů v mořském prostředí, to odpovídá téměř 60 % z celkového množství publikací zveřejněných v letech 2015-2022. Dále 3 902 publikací, které se týkají sladkovodního prostředí, což odpovídá téměř 30 % a pouze 1 539 publikací, zhruba 12 %, se zabývalo mikroplasty v terestrickém prostředí, viz obrázek č. 14.



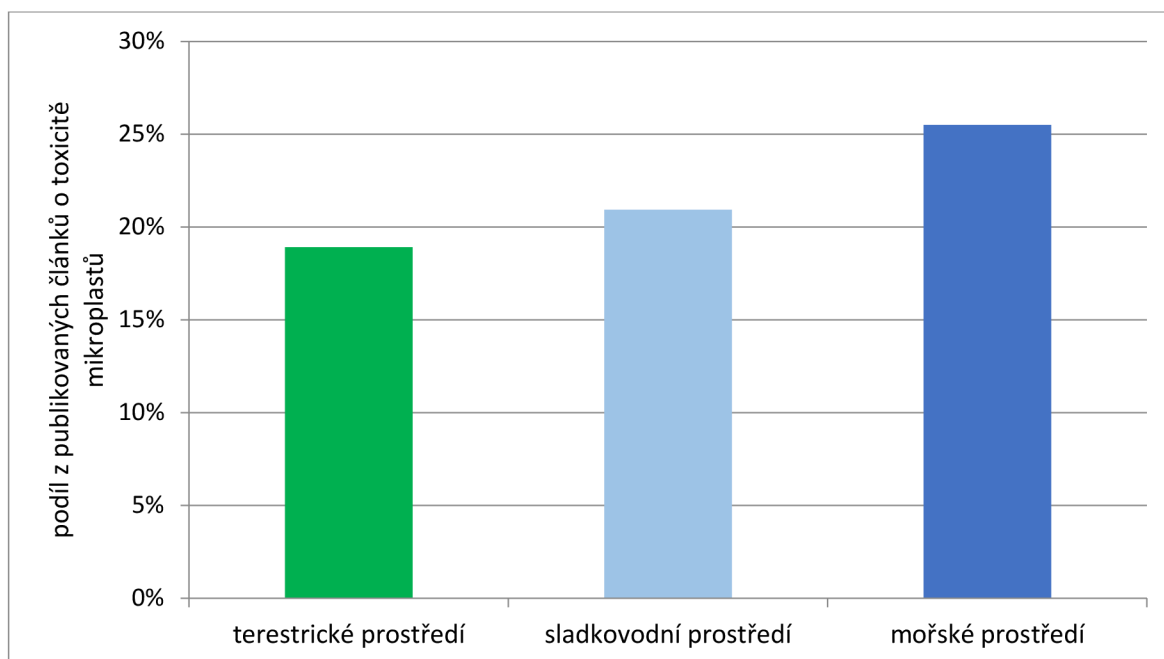
Obrázek 14 - Graf zobrazující celkové množství nalezených publikací o mikroplastech zveřejněných v letech 2015-2022 podle prostředí ve kterém se vyskytují

Obrázek č. 15 zobrazuje postupný vývoj množství vydávané odborné literatury v časovém horizontu 2015-2022 zabývající se mikroplasty v daném prostředí. Sloupce představují počet publikací publikovaných v odpovídajícím roku. Na první pohled je patrné, že stále nejvíce publikací přibývá pro mořské prostředí. Množství odborné literatury pro terestrické prostředí, a tudíž věnování se výzkumu mikroplastů v témže prostředí je zdatně méně. Od roku 2015 do roku 2018 bylo vydáno odborné literatury pro terestrické prostředí jen nepatrné množství. Naopak od roku 2019 každý rok vyjde téměř dvojnásobné množství v porovnání s tímž rokem 2019. Z grafu lze vyčíst, že v posledních 3 letech se výzkumu mikroplastů v terestrickém prostředí začalo více věnovat, ročně vyšlo kolem 400 publikací o této problematice.



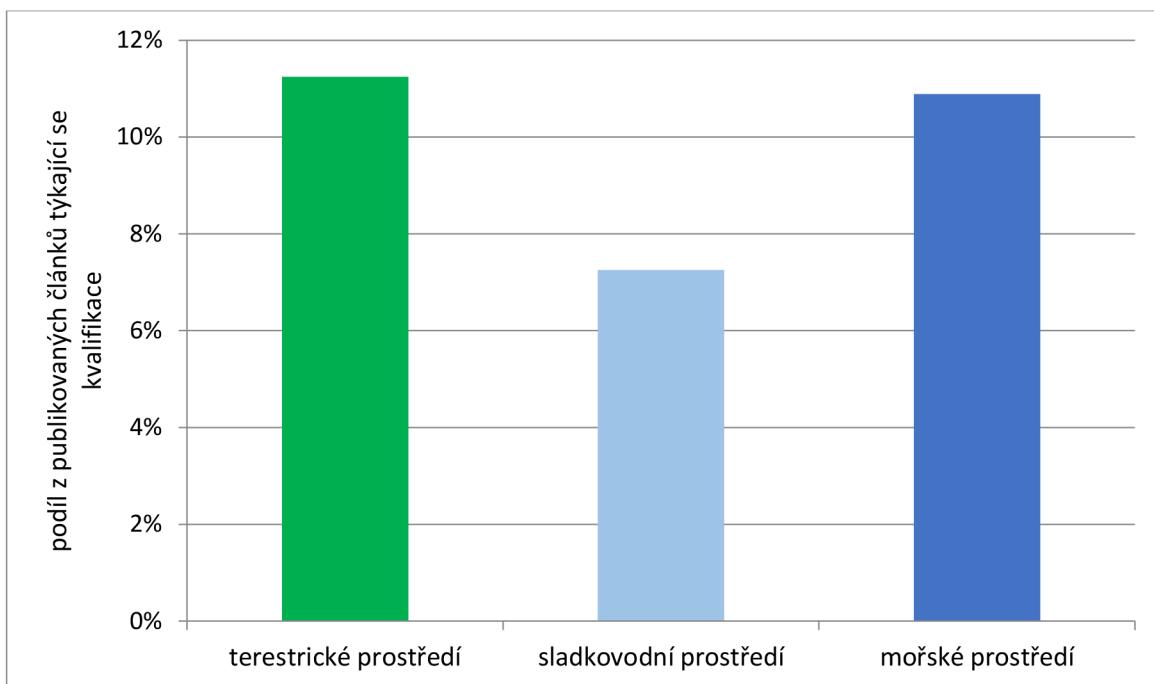
Obrázek 15 - Graf zachycující množství vydaných publikací týkajících se mikroplastů v daném prostředí v jednotlivých letech 2015-2022

Obrázek č. 16 prezentuje graf, z kterého se můžeme dočíst, že toxicita mikroplastů v terestrickém prostředí je oproti mořskému prostředí jen o něco méně prozkoumána. Hodnoty jsou téměř srovnatelné. Z celkového množství publikací zabývajících se mořským prostředím zveřejněných v letech 2015-2022, je 25 % publikací, které se zabývají toxicitou mikroplastů. Pro terestrické prostředí je to 19 % publikací z celkového množství publikací týkající se terestrického prostředí.



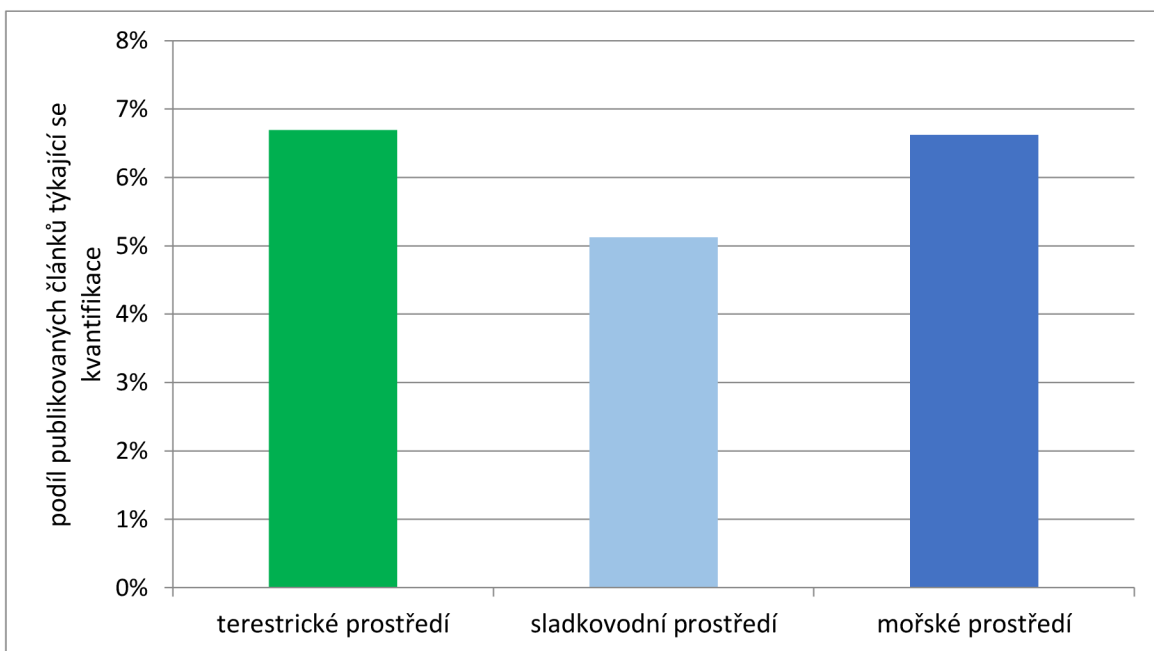
Obrázek 16 - Graf zobrazující podíl odborné literatury zabývající se toxicitou mikroplastů z celkového množství odborné literatury vztahující se k danému prostředí v letech 2015-2022

Na obrázku č. 17 je prezentováno množství odborné literatury vydané v letech 2015-2022 týkající se kvalifikace mikroplastů z daných prostředí. Z celkového množství publikované literatury je publikován stejný podíl literatury pro terestrické a pro mořské prostředí, a to 11 %. Pro sladkovodní prostředí je publikováno pouze 7 % odborné literatury týkající se kvalifikace pro stanovení ve sladkovodním systému z celkového množství. Ovšem stanovení mikroplastů ve sladkovodním a mořském prostředí bývá posuzováno společně jako vodní prostředí.



Obrázek 17 - Graf prezentující podíl publikací týkající se kvalifikace z celkového počtu publikací pro stanovení mikroplastů v daném prostředí zveřejněných v letech 2015-2022

Obrázek č. 18 porovnává množství publikací vyjádřeno jako podíl z celkového množství nalezených publikací k danému prostředí zveřejněných v letech 2015-2022, které se týkají kvantifikace mikroplastů, které je obsaženo v terestrickém, sladkovodním a mořském prostředí.



Obrázek 18 - Graf prezentující počet publikací vyjádřených v procentech týkající se množství mikroplastů, které je obsaženo v daném prostředí zveřejněných v letech 2015-2022

5 Diskuse

Odborných článků na téma mikroplasty ve vodním prostředí nalezneme tisíce, zejména pro prostředí mořské. Tyto články jsou rozšířeny o celou řadu studií a rozborů vod od standardizovaného odběru vzorků až po jejich vyhodnocení. Studie pochází z různých států napříč všemi kontinenty a byly realizovány se všemi možnými typy vod. Analýzy zahrnují určení druhů, velikostí, barev a množství přítomných mikroplastů ve vzorku.

Terestrickým ekosystémům a vlivu mikroplastů na ně se věnuje mnohem méně pozornosti, existuje pouze malé množství studií a odborných publikací. Odborné literatury nalezneme pouhou pětinu toho, co pro prostředí mořské. I přes desítky odborných článků publikovaných v posledních 5-ti letech není v problematice vlivu mikroplastů na terestrické prostředí k dispozici dostatek odborných informací. Stávající počty mikroplastů v půdách se často liší o mnoho řádů. Domnívám se, že je to zapříčiněno chybějícími standardizovanými metodami pro stanovení mikroplastů v půdním prostředí a také komplexností půdní matrice. Autoři používají různé druhy odběrů materiálu a různé analytické metody. Z tohoto důvodu není možné studie jednoduše porovnávat. Dalším problémem je nezbytnost předúpravy půdního vzorku na rozdíl od vzorku z vodního prostředí. Domnívám se, že zásadnějším krokem pro další studium vlivu mikroplastů v terestrickém prostředí bude sjednocení metod odběru, zpracování a analýzy mikroplastů ze vzorků s různým obsahem organické hmoty. V budoucích výzkumech bude nutné se dále zabývat degradací mikroplastů v půdě, jejich vlivu na půdní procesy a organismy žijící v půdě.

Dále z rešerše vyplynulo, že se ve všech typech půd nejvíce vyskytuje PP a PE, dále se hojně vyskytovaly mikroplasty PVC a PS. Mezi nejčastější typy nalezených mikroplastů patří vlákna, fragmenty a folie. Cauwenberghe (2015) uvádí, že koncentrace mikroplastů v půdě je mnohonásobně vyšší než ve vodním prostředí. Ve svrchní vrstvě půdy se vyskytuje jednoznačně více mikroplastů a s hloubkou půdy se množství a velikost mikroplastů snižuje. Naopak ve vodním prostředí roste koncentrace mikroplastů s klesající hloubkou a největší koncentrace je v sedimentech hluboko v mořích. Vzhledem k množství plastům, které se na naší planetě stále vyrábí a využívá, lze v následujících letech předpokládat zvyšující se koncentrace mikroplastů nejen v terestrickém, ale nadále i vodním prostředí. Důležitým krokem je značné omezení výroby primárních mikroplastů a omezení nadbytečného používání plastů, které mají za následek vznik sekundárních mikroplastů a jejich vstup do životního prostředí. V případech, kde není nutné využití plastu a využívá se jen z hlediska nižších nákladů a pohodlnosti, je lepší se plastům úplně vyhnout.

Primární i sekundární mikroplasty, které se dostanou do životního prostředí, v něm nadále přetrvávají a dále se rozpadají na menší částice. Horton (2017) uvádí, že menší fragmenty představují větší riziko pro zdraví organismů kvůli větší pravděpodobnosti jejich absorpce a většímu počtu částic na jednotku objemové hmotnosti. Ročně se do terestrického prostředí uvolní 4-23x větší množství mikroplastů než množství mikroplastů, které se uvolní do oceánů. Považuji za důležité věnovat se více studiu vlivu mikroplastů na zdraví organismů, ideální volbou zkušebního organismu jsou podle mého názoru žížaly (*Lumbricus*). Studovat vliv mikroplastů na organismus žížal je jednoduché a lze studovat jak přestup přes kůži, tak i po požití. Za důležité pro studium vlivu mikroplastů na zdraví organismů také považuji znalost nepříznivých důsledků ostatních nežádoucích látek v půdách a následně v kombinaci s mikroplasty.

6 Závěr

Stále existuje mnoho nezodpovězených otázek v oblasti přítomnosti mikroplastů v suchozemském prostředí a jejich působení na terestrické organismy. Problémem je nedostatečné množství odborných studií provedených v půdním prostředí. Pokrok v této oblasti je značně omezen z důvodu heterogenity terestrického prostředí a obtížné analýzy mikroplastových částic, které jsou často rušeny organickou hmotou v půdním prostředí. Pro vzájemné srovnání a vyšší vypovídající schopnost výsledků je třeba proto nejprve standardizovat metodiky používané při odběru, zpracování a analýzy mikroplastů v půdních vzorcích.

V současné době pracuje Evropská unie na vydání nové legislativy, která zakáže používání primárních mikroplastů v kosmetických produktech. Cílem legislativy je zákaz trhu s výrobky obsahující záměrně přidávané mikroplasty, které se následně uvolňují do životního prostředí. Ovšem musíme počítat s tím, že mikroplasty, které byly již uvolněny do životního prostředí v minulosti, z něj nezmizí a i nadále budou představovat riziko.

Hlavním přínosem bakalářské práce je zpracování aktuální literární rešerše z oblasti výskytu mikroplastů v terestrickém prostředí. Práce poukazuje na skutečnost nedostatečného množství odborné literatury z této oblasti a také na nedostatečné znalosti o možném riziku mikroplastů vůči terestrickému prostředí ve srovnání s vodním prostředím, zejména mořským. Současně však práce poukázala na pozitivní skutečnost nárůstu počtu publikací zabývajících se výskytem mikroplastů a jejich vlivem na terestrické organismy v posledních letech.

7 Seznam literatury a použitých zdrojů

7.1 Odborné publikace

Barnes, D. K. A., Galgani, F., Thomson, R. C., Barlaz, M., 2009: Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* 364(1526):1985– 1998. DOI: 10.1098/rstb.2008.0205

Baudot, Ch., Tan, Ch. M., Kong, J. Ch., 2010: FTIR spectroscopy as a tool for nano-material characterization. *Infrared Phys and Technol.* 53. 6. 434-438. DOI: 10.1016/j.infrared.2010.09.002

Běhálek, L., 2016: Polymery. Code Creator. Liberec. 23 s. ISBN, 978-80-88058-68-7

Běhálek, L., Brdlík, P., Borůvka, M., Lenfeldová, I., 2019: Úvod do technologií zpracování plastů. Liberec: TUL, 2019. ISBN 978-80-7494-460-4

Blasing, M., Amelung, W., 2018: Plastics in soil: Analytical methods and possible sources. *Sci Total Env.* 612, January 2018. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.086

Boots, B., Russell, C. W., Green, D. S., 2019: Effects of microplastics in soil ecosystems: Above and below ground. *Environ Sci and Technol.* 53. 19. 11496-11506. DOI: 10.1021/acs.est.9b03304

Boucher, J., Friot, D., 2017: Primary microplastics in the oceans: A Global Evaluation of Sources. IUCN. Gland, Switzerland. 43. DOI: 10.2305/IUCN.CH.2017.01.en

Cauwenberghe, L. V., Devriese, L., Galgani, F., Robbens, J., Janssen, C. R., 2015: Microplastics in sediments: A review of techniques, occurrence and effects: *Mar Env Res.* 111, October 2015, 5-17. DOI: 10.1016/j.marenvres.2015.06.007

Corradini, F., Meza, P., Eguiluz, R., Casado, F., Lwanga, E. H., Geissen, V., 2019: Evidence of microplastic accumulation in agricultural soils from sewage sludge disposal: *Sci Total Env.* 671. June 2019. 411-420. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.03.368

Dorey, M., 2018: No. More. Plastic.: What you can do to make a difference. Ebury Publishing. Velká Británie. 160 s. ISBN: 9781785039874

Du, Ch., Wu, J., Gong, J., Liang, H., Li, Z., 2020: ToF-SIMS characterization of microplastics in soils. *Surf and Interface Anal.* 52, 5, May 2020. DOI: 10.1002/sia.6742

Ducháček, V., 2006: Polymery - výroba, vlastnosti, zpracování, použití. VŠCHT Praha. Praha. 280 s. ISBN 80-7080-617-6

Golwala, H., Zhang, X., Iskander, A., Smith, L. A., 2021: Solid waste: An overlooked source of microplastics to the environment. *Sci Total Env.* 769, 144581. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.144581

- Guo, J., Huang, X. P., Xiang, L., Wang, Y. W., Li, H., Cai, Q. Y., Mo, C. H., Wong, M. H., 2020: Source, migration and toxicology of microplastics in soil. *Environ Int.* 137. 105263. DOI: 10.1016/j.envint.2019.105263
- Hale, C. R., Seeley, M. E., La Guardia, M. J., Mai, L., Zeng, E. Y., 2019: *A Global Perspective on Microplastics*. AGU. 40 s. DOI: 10.1029/2018JC014719
- Helmberger, M. S., Tiemann, K. L., Grieshop, J. M., 2020: Towards an ecology of soil microplastics. *Func Ecol.* 34, 3, March 2020. DOI: 10.1111/1365-2435.13495
- Horton, A. A., Walton, A., Spurgeon, D. J., Lahive, E., Svendsen, C., 2017: Microplastics in freshwater and terrestrial environments: Evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities. *Sci Total Env.* 586. May 2017. 127-141. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.01.190
- Ivleva, N. P., Wiesheusová, A. C., Niessner, R., 2016: Microplastic in Aquatic Ekosystem. *Angew Chem.* 56, 7. DOI: 10.1002/anie.201606957
- Jacques, O., Prosser, R. S., 2021: A probabilistic risk assessment of microplastics in soil ecosystems. *Sci Total Env.* 757. 25 February 2021. 143987. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.143987
- Jung, S., Cho, S., Kim, K., Ewon, E. E., 2021: Progress in quantitative analysis of microplastics in the environment: A review. *Chem Eng J.* 422, October 2021. 130154. DOI: 10.1016/j.cej.2021.130154
- Karmakar, G. P., 2020: Regeneration and recovery of plastics. *Material Science and Materials Engineering*. Kharagpur. 2020. DOI: 10.1016/B978-0-12-820352-1.00045-6
- Kelly, B. C., El-Zein, A., Liu, X., Patel, A., 2021: Microplastics in Soils: An Environmental Geotechnics Perspective. *Env Geotech.* March 2021. DOI: 10.1680/jenge.20.00179
- Klouda, P., 2003: *Moderní analytické metody*. Pavel Klouda. Praha. 132 s. ISBN: 978-80-86369-22-8
- Kožíšek, F., Kazmarová, H., 2019: Mikroplasty v životním prostředí a zdraví. *Vodní hospodářství* 69, 9/2019, 36 s.
- Lehmann, A., Machado, A. A. de S., Yang, G., 2019: Microplastic effects on plants. *New Phytol.* 223: 1066-1070. 5 s. DOI: 10.1111/nph.15794
- Li, J., Liu, H., Chen, P., 2018: Microplastics in freshwater systems: a review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection. *Water Res.* 137, 362–374. DOI: 10.1016/j.watres.2017.12.056
- Lozano, J. M., Aguilar-Trigueros, C. A., Onandia, G., Maabová, S., Zhao, T., Rilling, M. C., 2021: Effects of microplastics and drought on soil ecosystem functions and multifunctionality. *J. of Appl Ecol.* 58, 5. 891 – 1100. DOI: 10.1111/1365-2664.13839

- Machado, A. A., Kloas, W., Zarfl, Ch., Hempel, S., Rilling, M. C., 2017: Microplastics as an emerging threat to terrestrial ecosystems. *Global change biol.* 24. 4. 1405-1416. DOI: 10.1111/gcb.14020
- Miodownik, M., 2014: *Stuff Matters. The Strange Stories of the Marvellous That Shape our Man-Made World.* Penguin. London. 264 s. ISBN: 978-0-241-95518-5
- Parkerová, L., 2018: Planeta, nebo plast? Překvapivých 91% plastového odpadu neprojde recyklací. *National Geographic* červen 2018.
- Pêgo, A., Carvalho, B. P., Martins, I. M., 2020: Plasticus Maritimus. Invazivní druh. Přeložil: Skulinová, N., Jana Kostecká - Jakost. Praha. 176 s. ISBN: 978-80-907800-0-2
- Pivokonský, M., Pivokonská, L., Čermáková, L., Novotná, K., 2019: Mikroplasty. *Vesmír* 98, 688, 2019/12.
- Qui, Q., Tan, Z., Wang, J., Peng, J., Li, M., Zhan, Z., 2016: Extraction, enumeration and identification methods for monitoring microplastics in the environment. *Estuarine, Coastal and Shelf Sci.* 176. 102-109. DOI: 10.1016/j.ecss.2016.04.012
- Rocha-Santos, T., Duarte, A. C., 2015: A critical overview of the analytical approaches to the occurrence, the fate and the behavior of microplastics in the environment. *TrAC - Trends in Anal Chem*, 65, 47–53. DOI: 10.1016/j.trac.2014.10.011
- Sherrington, Ch., Darrah, Ch., Hann, S., Cole, G., Corbin, M., 2016: Study to support the development of measures to combat a range of marine litter sources. Report for European Commission DG Environment. 410 s.
- Silva, A. B., Bastos, A. S., Justino, C. I. L., Costa, J. P., Duarte, A. C., Rocha-Santos, T. A. P., 2018: Microplastics in the environment: Challenges in analytical chemistry – A review. *Analytica chimica acta* 1017. 9. 1-19. DOI: 10.1016/j.aca.2018.02.043
- Singh, P. R., Mishra, S., Das, P. A., 2020: Synthetic microfibres: Pollution toxicity and remediation. *Chemosphere.* 257, October 2020, 127199. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.127199
- SooJung, Y., Sampath, V., Prunicki, M., Aguilera, J., Allen, H., LaBeaud, D., Veidis, E., Barry, M., Erny, B., Patel, L., Akdis, C., Akdis, M., Nadeau, K., 2022: Characterization and regulation of microplastic pollution for protecting planetary and human health. *Environ Pollut.* 315. December 2022. 120442. DOI: 10.1016/j.envpol.2022.120442
- Tuháček, M., Jelínková, J., 2015: *Právo životního prostředí: praktický průvodce.* Praha. Grada. ISBN: 978-80-247-5464-2
- Wang, J., Liu, X., Li, Y., Powell, T., Wang, X., Wang, G., Zhang, P., 2019: Microplastics as contaminants in the soil environment: A mini-review: *Sci Total Env.* 691. November 2019. 848-857. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.07.209

Weber, C. J., Weihrauch, Ch., Opp, Ch., Chiffard, P., 2020: Investigating microplastic dynamics in soils: Orientation for sampling strategies and sample pre-processing. *Land degrad and dev.* 32. 1. 270-284. DOI: 10.1002/ldr.3676

Wit, C. A., 2002: An overview of brominated flame retardants in the environment. *Chemosphere* 46. 5. 583-624. DOI: 10.1016/S0045-6535(01)00225-9

Wu, M., Yang, Ch., Du, Ch., Liu, H., 2020: Microplastics in waters and soils: Occurrence, analytical methods and ecotoxicological effects. *Ecotox and Env Safety* 202. 110910. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2020.110910

Yang, L., Zhang, Y., Kang, S., Wang, Z., Wu, Ch., 2021: Microplastics in soil: A review on methods, occurrence, sources, and potential risk. *Sci Total Env.* 780, 1 August 2021, 146546. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.146546

Zhang, B., Yang, X., Chen, L., Chao, J., Teng, J., Wang, Q., 2020: Microplastics in soils: a review of possible sources, analytical methods and ecological impacts. *Chem Tech and Biotech.* 95, 8, August 2020. DOI: 10.1002/jctb.6334

Zhang, K., Hamidian, H. A., Tubic, A., Zhang, Y., Frang, K. h. J., Wu, CH., Lam, P. S. K., 2021: Understanding plastic degradation and microplastic formation in the environment: A review. *Environ Pollut.* 274, 116554. DOI: 10.1016/j.envpol.2021.116554

7.2 Internetové zdroje

Bačiak, M., Pátek, J., 2019: Pravda a mýty o termické depolymerace plastových polymerů (online) [cit. 20.01.2023], dostupné z <[Pravda a mýty o termické depolymerace plastových polymerů - WASTen, z.s.](#)>.

Chiu, A., 2022: Does the film around detergent pods really biodegrade? A debate is raging. (online) [cit. 20.01.2023], dostupné z <[Are detergent pods really biodegradable? - The Washington Post](#)>.

Český statistický úřad, ©2021: Česko patří k evropské špičce v recyklaci plastových obalů (online) [cit. 22.09.2021], dostupné z <[Česko patří k evropské špičce v recyklaci plastových obalů | Století statistiky \(czso.cz\)](#)>.

ECHA , ©2018-2023: Hot topics: Microplastics (online) [cit. 20.01.2023], dostupné z <[Mikroplasty - ECHA \(europa.eu\)](#)>.

EEA, ©2021a: Plastic in textiles: towards a circular economy for synthetic textiles in Europe (online) [cit. 14.10.2021], dostupné z <[Plastic in textiles: towards a circular economy for synthetic textiles in Europe — European Environment Agency \(europa.eu\)](#)>.

EEA, ©2021b: Plasty jako rostoucí problém v oblasti životního prostředí a klimatu: jak může Evropa tento trend zvrátit? (online) [cit. 14.10.2021], dostupné z <[Plasty jako rostoucí problém v oblasti životního prostředí a klimatu: jak může Evropa tento trend zvrátit? | Průmyslová ekologie \(prumyslovaekologie.cz\)](#)>.

Freidinger, J., 2018: Co jsou mikroplasty a proč je musíme omezit (online) [cit. 21.09.2021], dostupné z <[Co jsou mikroplasty a proč je musíme omezit - Greenpeace Česká republika](#)>.

Ministerstvo zemědělství, © 2009-2021: Ftaláty. (online) [cit. 21.11.2021], dostupné z <[Bezpečnost potravin A-Z \(bezpecnostpotravin.cz\)](#)>.

MPO, ©2020: Omezení záměrně přidaných mikroplastů v EU. (online) [cit. 26.10.2021], dostupné z <[Omezení záměrně přidaných mikroplastů v EU | MPO](#)>.

MZP, ©2008-2022: Začátek konce jednorázových plastů je tady. (online) [cit. 20.01.2023], dostupné z <[Začátek konce jednorázových plastů je tady. Od zítřka platí zákazy ze zákona - Ministerstvo životního prostředí \(mzp.cz\)](#)>.

Podlesná V., 2021: Mikroplasty: neviditelný škůdce všude kolem nás (online) [cit. 21.09.2021], dostupné z <[Mikroplasty: neviditelný škůdce všude kolem nás | E.ON Energy Globe](#)>.

Samsonek, J., Puype, F., 2015: Analýza aditiv v plastech pomocí termální desorpce – moderní způsob charakterizace polymerů. (online) [cit. 28.09.2021], dostupné z <[Analýza aditiv v plastech pomocí termální desorpce – moderní způsob charakterizace polymerů | PlasticPortal.cz](#)>.

Tříděníodpadu.cz, ©2007-2021: Mikroplasty (online) [cit. 19.09.2021], dostupné z <[MIKROPLASTY | TŘÍDĚNÍODPADU.CZ \(trideniodpadu.cz\)](#)>.

UNEP, ©2021: Plastic planet: How tiny plastic particles are polluting our soil (online) [cit. 04.10.2022], dostupné z <[Plastová planeta: Jak drobné plastové částice znečišťují naši půdu \(unep.org\)](#)>.

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Epoxidová pryskyřice a) tekutá b) foliová (Běhálek, 2016).....	13
Obrázek 2 - Sklolaminát impregnovaný polyesterovou pryskyřicí (Běhálek, 2016).....	13
Obrázek 3 - Strukturní vzorec polyethylenu (Běhálek a kol., 2019).....	14
Obrázek 4 - Strukturní vzorec polyethylenu (Běhálek a kol., 2019).....	14
Obrázek 5 - Strukturní vzorec polystyrenu (Běhálek a kol., 2019).....	15
Obrázek 6 - Strukturní vzorec polyvinylchloridu (Běhálek a kol., 2019).....	15
Obrázek 7 - Strukturní vzorec polyethylentereftalátu (Bačiak a kol., 2019).....	15
Obrázek 8 - Strukturní vzorec polymethylmethakrylátu (e-chembook.eu, ©2023).....	16
Obrázek 9 - Strukturní vzorec polykarbonátu (Ducháček, 2006).....	16
Obrázek 10 - Strukturní vzorec polytetrafluorethylenu (Běhálek a kol., 2019).....	17
Obrázek 11 - Vzorník organických barev (Běhálek, 2016).....	18
Obrázek 12 - Zátka z termoplastického elastomeru vyrobena pomocí nadouvadel (Běhálek, 2016).....	20
Obrázek 13 - Koloběh a hlavní zdroje mikroplastů (upraveno dle Wu a kol., 2020).....	25
Obrázek 14 - Graf zobrazující celkové množství nalezených publikací o mikroplastech zveřejněných v letech 2015-2022 podle prostředí ve kterém se vyskytují.....	38
Obrázek 15 - Graf zachycující množství vydaných publikací týkajících se mikroplastů v daném prostředí v jednotlivých letech 2015-2022.....	39
Obrázek 16 - Graf zobrazující podíl odborné literatury zabývající se toxicitou mikroplastů z celkového množství odborné literatury vztahující se k danému prostředí v letech 2015-2022.....	40
Obrázek 17 - Graf prezentující podíl publikací týkající se kvalifikace z celkového počtu publikací pro stanovení mikroplastů v daném prostředí zveřejněných v letech 2015-2022.....	41
Obrázek 18 - Graf prezentující počet publikací vyjádřených v procentech týkající se množství mikroplastů, které je obsaženo v daném prostředí zveřejněných v letech 2015-2022.....	41