

Univerzita Palackého v Olomouci
Přírodovědecká fakulta
Katedra ekologie a životního prostředí



Mikroplasty v trávicím ústrojí ryb

Lucie Srcháčková

Bakalářská práce
předložená
na Katedře ekologie a životního prostředí
Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci

jako součást požadavků
na získání titulu Bc. v oboru
Ekologie a ochrana životního prostředí

Vedoucí práce: Doc. RNDr. Martin Rulík Ph.D.

Olomouc 2023

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením

Doc. RNDr. Martina Rulíka Ph.D. a jen s použitím citovaných literárních pramenů.

V Olomouci 3. května 2023

.....

podpis

Srcháčková L. 2023. Mikroplasty v trávicím ústrojí ryb [bakalářská práce]. Olomouc: Katedra ekologie a životního prostředí PřF UP v Olomouci. 52 s. 8 příloh. česky.

Abstrakt

Znečištění životního prostředí plasty je jeden z hlavních globálních problémů dnešní doby. Vlivem vnějších faktorů dochází k degradaci a fragmentaci plastových materiálů a vznikají mikroplasty. Tyto drobné částice se hojně nacházejí ve vodních ekosystémech, kde mohou negativně působit na organismy v nich žijících. Výskyt mikroplastů v rybách byl potvrzen celosvětově, přesto v České republice doposud nemáme dostatek informací, které by výskyt potvrzovaly. Bakalářská práce se zaměřuje proto na výskyt mikroplastů v trávicím ústrojí českých sladkovodních ryb, respektive v kapru obecném a porovnává zastoupení, tvar, barvu a velikost částic u ryb ze dvou oblastí ve Zlínském kraji. Mikroplasty byly izolovány pomocí 10% roztoku NaOH a zachyceny na skleněném filtru o porozitě 0,7 μm . Celkem bylo analyzováno 20 vzorků ryb, v jejich trávicím ústrojí bylo zjištěno 54 mikroplastických částic. Z 98 % byly nalezené částice vlákna a ze 2 % fragmenty. V obou oblastech dominovala modrá vlákna a jejich průměrná velikost byla okolo 282,9 μm . Nebyl zjištěn žádný signifikantní rozdíl mezi oblastmi v délce a váze analyzovaných kaprů a zároveň se statisticky mezi studovanými oblastmi nelišila ani abundance mikroplastických částí, ani jejich délka. Výsledky mé bakalářské práce dokazují, že sladkovodní ryby, včetně kapra, plastové částice v potravě aktivně požívají a že vodní ekosystém je jeden z nejohroženějších ekosystémů, pokud se jedná o plastové znečištění.

Klíčová slova: kapr, mikroplasty, ryby, vodní ekosystém, znečištění plasty

Srcháčková L. 2023. Microplastics in fish gut [bakalářská práce]. Olomouc: The Department of Ecology & Environmental Sciences, Faculty of Science, Palacky University of Olomouc. 52 pp. 8 Appendices. Czech.

Abstrakt

Environmental pollution by plastic is one of the major global problems at current times. External factors cause the degradation and fragmentation of plastic materials, which leads to the formation of microplastics. These tiny particles are abundant in aquatic ecosystems, where they can negatively affect the organisms living there. The occurrence of microplastics in fish has been confirmed worldwide, although, in the Czech Republic, we do not have enough information to confirm the occurrence yet. The bachelor thesis focuses on the occurrence of microplastics in Czech freshwater fish, more specifically in common carp, and compares the abundance, shape, colour and particle size in fish in two areas in the Zlin region. The microplastics were isolated by using a 10% NaOH solution, and they were collected on a 0.7 µm porosity glass filter. A total of 20 fish samples were analysed, and 54 microplastic particles were detected in their gut. 98% were fibres, and 2% were fragments. Both areas were dominated by blue fibres, and the average size of particles was 282.9 µm. There was no significant difference between areas in the length and weight of the analysed carp, and neither the abundance of microplastic parts nor their length differed statistically between the study areas. The results of the bachelor thesis show that freshwater fish, including carp, actively ingest plastic particles in their diet and that the aquatic ecosystem is one of the most endangered ecosystems when it comes to plastic pollution.

Key words: aquatic ecosystem, carp, fish, microplastics, plastic pollution

Obsah

Seznam tabulek	viii
Seznam obrázků	ix
Seznam grafů.....	x
Seznam zkratk	xi
Poděkování.....	xii
1. Úvod.....	1
2. Cíle práce	2
3. Plasty	3
3.1 Velikost plastů.....	3
4. Definice mikroplastů.....	4
4.1 Tvary MP	4
4.2 Barvy MP	5
4.3 Typy MP	5
4.4 Zdroje MP	7
5. Mikroplasty v mořské vodě.....	9
6. Mikroplasty ve sladké vodě	10
7. Dopad mikroplastů	11
7.1 Dopad na životní prostředí	11
7.2 Toxické účinky.....	12
7.3 Dopad na živé organismy.....	12
7.4 Potenciální dopad MP na člověka	12
8. Strategie k odstranění mikroplastů.....	13
9. Faktory ovlivnění příjmu mikroplastů u ryb v závislosti na typu částice	14
9.1 Velikost částic	14
9.2 Barva částic	14
9.3 Hustota a vztlak.....	14
9.4 Tvar částic	15
9.5 Stáří částic	15
9.6 Abundance částic	15

10. Faktory ovlivnění příjmu mikroplastů u ryb v závislosti na vnějším prostředí nebo druhu ryby	16
10.1 Požití částic v závislosti na hloubce.....	16
10.2 Požití částic v závislosti na sezóně.....	16
10.3 Požití částic v závislosti na místě výskytu	16
10.4 Požití částic v závislosti na druhu, věku, velikosti, chování ryb, či typu preferované kořisti	17
11. Vliv mikroplastů na ryby	18
11.1 Fyziologické dopady	18
11.2 Biologické dopady	18
12. Materiál a metody	19
12.1 Popis oblasti	19
12.1.1 Býčina	19
12.1.2 Chlumské rybníky	20
12.2 Sběr vzorků	21
12.3 Pitva ryb a izolace mikroplastů	22
12.4 Kontrola kvality pomůcek.....	22
12.5. Analýza dat.....	23
13. Výsledky	24
14. Diskuze.....	27
14.1. Množství a tvar nalezených částic.....	27
14.2. Barva a délka nalezených částic.....	28
15. Závěr	29
16. Citace.....	30
Přílohy	37

Seznam tabulek

Tabulka 1: Státy produkující největší množství plastového odpadu v oceánech (Wicaksono 2023)	9
Tabulka 2: Seznam vzorků z 1. oblasti	21
Tabulka 3: Seznam vzorků z 2. oblasti	21
Tabulka 4: Zastoupení mikroplastů a jejich délka u zkoumaných ryb z obou oblastí	24

Seznam obrázků

Obrázek 1: Velikostní dělení plastů (Van Cauwenberghe et al. 2015)	3
Obrázek 2: Různé tvary mikroplastů nalezené v životním prostředí (Hu et al. 2022).....	5
Obrázek 3: Poptávka plastů v roce 2021 v Evropě (PlasticEurope 2022)	6
Obrázek 4: (Mikro)plastické znečištění plážových sedimentů v Dominikánské republice (foto M. Rulík)	11
Obrázek 5: Mapa vzdálenosti 2 oblastí	19
Obrázek 6: Mapa 1. oblasti odchytu kaprů	20
Obrázek 7: Mapa 2. oblasti odchytu kaprů	20

Seznam grafů

Graf 1: Porovnání počtu mikroplastů v rybách zjištěných v obou oblastech.....	25
Graf 2: Porovnání zastoupení barvy částic z 1. oblasti	25
Graf 3: Porovnání zastoupení barvy částic z 2. oblasti	26
Graf 4: Porovnání délky nalezených mikročástic z obou oblastí.....	26

Seznam zkratek

PP – polypropylen

PE – polyethylen

PE-LD – polyethylen s nízkou hustotou

PE-LLD – lineární polyethylen s nízkou hustotou

PE-HD – polyethylen s vysokou hustotou

PE-MD – polyethylen se střední hustotou

PS – polystyren

PS-E – expandovatelný polystyren

PVC - polyvinylchlorid

PET – polyethylentereftalát

PES – polyester

PUR – polyuretan

ČOV – čistírna odpadních vod

NaOH – hydroxid sodný

MP – mikroplasty

Poděkování

Ráda bych poděkovala především Doc. RNDr. Martinu Rulíkovi Ph.D. za potřebné konzultace při vedení mé bakalářské práce, RNDr. Petru Hekerovi Ph.D., který mi pomohl zorientovat se v laboratoři a Mgr. Lukáši Weberovi za pomoc při mikroskopování a počítání. Dále bych chtěla poděkovat kolegyni Tereze Vrtělové, která mi pravidelně a ochotně pomáhala v laboratoři, mé rodině a přátelům, kteří mi během psaní a celého studia byli velkou oporou a v neposlední řadě také rybářům: Marku Bartošovi, Stanislavu Malíškovi a Pavlu Hoškovi, bez kterých by tato práce nikdy nevznikla.

1. Úvod

Plasty překonaly většinu umělých materiálů a již dlouho jsou všeobecně považovány za celosvětovou hrozbu pro životní prostředí. Jedním z důvodů je, že převážná většina monomerů používaných k výrobě plastů, jako jsou ethylen a propylen, se získává z fosilních uhlovodíků. Dále pak skutečnost, že žádný z běžně používaných plastů není biologicky zcela odbouratelný, resp. jeho odbourání trvá velmi dlouho. V důsledku toho se plasty na skládkách nebo v přírodním prostředí spíše hromadí, než aby se rozkládaly. Téměř trvalá kontaminace přírodního prostředí plastovým odpadem, tak představuje rostoucí problém. Pokud budou současné trendy výroby a nakládání s odpady pokračovat, bude do roku 2050 na skládkách nebo v prostředí zhruba 12 000 tun plastového odpadu (Geyer et al. 2017).

V poslední době také vzbuzuje obavy degradace a fragmentace makroplastů na mnohem menší částice (často i částice o velikosti menší než 100 nm.) Vlivem chemických a fyzikálních faktorů tak mohou vznikat drobné částice, kterým se říká mikroplasty, popř. nanoplasty. V takto malých rozměrech jsou plasty obtížně zjištěitelné a mohou se přenášet ve vzduchu, půdě a vodě (Alimi et al. 2017). Samotné mikroplasty, které mají rozměry do 5 mm, pochází z různých zdrojů a jejich množství se liší podle lokality (Crawford & Quinn 2016). Mohou ale vyvolat několik škodlivých fyzikálních účinků na člověka a živé organismy (Alimi et al. 2017).

Z hlediska mikroplastů jsou nejvíce prozkoumány hlavně moře a oceány, protože tam je jejich vliv nejvíce patrný, naopak o částicích ve sladkých vodách není ani zdaleka tolik informací. Abundance a vliv mikroplastických částic je tedy dobře prozkoumána u většiny mořských obratlovců. Ve sladkých vodách je výzkum z živočichů zaměřen zejména na ryby, přesto je jen velmi málo publikací z České republiky, které by tento problém blíže zkoumaly a popisovaly. To je hlavní důvod, proč jsem se tedy rozhodla zkoumat mikroplasty v trávicím ústrojí sladkovodních ryb, respektive u kapra obecného. Ve své práci navazuji na zahraniční studie o mikroplastech ve sladkovodních, popř. mořských rybách - zajímalo mne, jaké je zastoupení, tvar, barva a velikost částic u zkoumaných ryb. Na detekci mikroplastů jsem použila nejčastěji popisovaný postup, a to vypreparování trávicího ústrojí, jeho následné rozpuštění v hydroxidu sodném a přefiltrování pod tlakem přes skleněný filtr.

2. Cíle práce

Hlavním cílem je potvrdit předpoklad, že se částice mikroplastů nacházejí i v potravě sladkovodních ryb v České republice. Dílčími cíli pak je porovnat zastoupení, tvar, barvu a velikost částic nalezených u ryb pocházejících ze dvou různých oblastí a s pomocí odborné literatury popsat vliv částic na organismy, prostředí, popř. člověka.

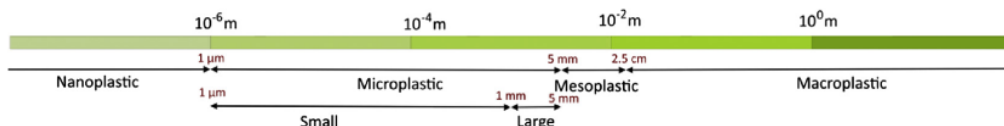
3. Plasty

Plasty jsou polymerní materiály s nízkou hustotou, elektrickou vodivostí, průhledností a schopností změny tvaru působením tlaku a tepla. Tyto vlastnosti umožňují vyrábět z plastů širokou škálu produktů. Skládají se z atomů uhlíku a vodíku dohromady vázaných v polymerních řetězcích. Další chemické látky v nich přítomné jsou například ftaláty, polybromované difenylethery (PBDE), nebo tetrabrombisfenol A (TBBPA). Tyto látky se při vstupu do životního prostředí z plastů uvolňují (Rodriguez 2022).

Plasty jsou součástí každodenního života. Výroba plastů exponenciálně roste od 60. let 20. století a očekává se, že se do roku 2036 produkce zdvojnásobí (Bourguignon 2017). Ačkoli máme přes 100 typů plastů, plasty dělíme zejména na 3 hlavní skupiny a to podle teplotního chování na termoplasty, reaktoplasty a elastomery. Termoplasty jsou polymery, které lze po zahřátí tvarovat. Zpětným ochlazením opět přechází do tuhého stavu. Proces měknutí a tuhnutí je vratný (Rodriguez 2022). Termoplasty mají širokou škálu využití, vyrábí se z nich zejména předměty spotřebního průmyslu (Běhálek 2022). Reaktoplasty jsou materiály, které jsou tavitelné a tvarovatelné jen určitou dobu po zahřátí. Během dalšího zahřívání dochází k chemické změně, při které původní molekuly zesílňují a od tohoto okamžiku se stávají netavitelné a nerozpustné. Vyznačují se vysokou fyzickou a chemickou odolností (Rodriguez 2022). Nejčastěji se používají jako pojiva, lepidla nebo pěny v nábytkářském, leteckém nebo i zdravotním průmyslu (Běhálek 2022). Elastomery jsou velice měkké a dobře tvarovatelné (Rodriguez 2022). Využívají se zejména ve strojírenství, dopravě, textilním a chemickém průmyslu (Běhálek 2022).

3.1 Velikost plastů

V životním prostředí se plasty v současné době nacházejí ve velmi rozmanitých rozměrech, pohybující se v rozmezí od mikrometrů až po metry. Plasty pro lepší orientaci rozdělujeme do 4 hlavních kategorií, a to na nanoplasty (10^{-9} - 10^{-6} m), mikroplasty (10^{-5} - 0,005 m), mesoplasty (0,005 - 0,025 m) a makroplasty (částice větší než 0,025 m) (obr. 1)



Obrázek 1: Velikostní dělení plastů (Van Cauwenberghe et al. 2015)

4. Definice mikroplastů

Za mikroplasty se nejčastěji považují plastové částice menší 5 mm. Avšak, co se týče velikosti, stále nejsou dohodnuté horní ani spodní velikostní limity pro mikroplasty. Od doby, kdy byly mikroplasty původně popsány, existují neúspěšné pokusy o vytvoření všezahrnující definice, která zohledňuje nejen velikost, ale také fyzikálně-chemické vlastnosti, jako je např. rozpustnost ve vodě nebo chemické složení (Verschoor 2015). Prozatímní společná definice mikroplastů říká, že mikroplasty jsou jakékoli syntetické pevné částice nebo polymerní matrice pravidelného nebo nepravidelného tvaru a velikosti od 1 μm do 5 mm, primárního nebo sekundárního výrobního původu, které jsou nerozpustné ve vodě (Frias & Nash 2019).

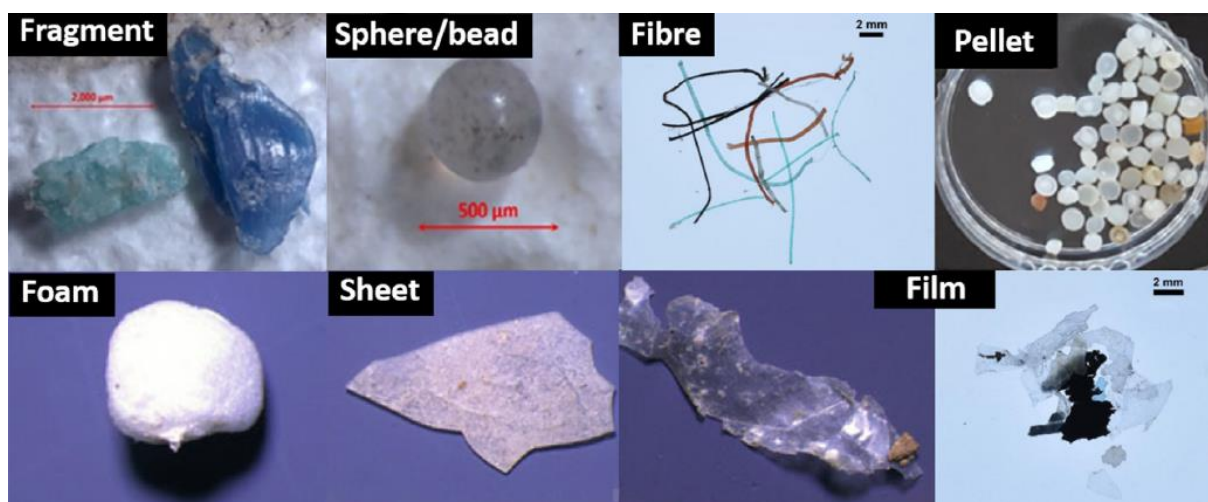
Mikroplasty (MP) se nachází v životním prostředí v důsledku znečištění plasty. Jsou součástí různých produktů a díky odpadům se dostávají do životního prostředí.

Mikroplasty rozlišujeme na primární a sekundární. *Primární mikroplasty* jsou plasty přímo uvolňované do životního prostředí ve formě drobných částic. Jsou především komerčně využívané jako součást různých produktů, jako jsou čistící prostředky, kosmetické přípravky nebo i mikrovlákná uvolňované z textilií. Tvoří přibližně 15-31% mikroplastů v oceánech. *Sekundární mikroplasty* jsou částice, které vznikají rozpadem větších plastových předmětů, jako jsou např. lahve s vodou. Rozpad je důsledkem vystavení plastových předmětů environmentálním faktorům, zejména slunečnímu záření nebo mořským vlnám. Tato skupina tvoří většinu mikroplastů v oceánech, jejich podíl se odhaduje mezi 69-81% (National Geographic Society 2022)

Mikroplasty se kromě velikosti, rozlišují také na základě tvaru, barvy a typu.

4.1 Tvary MP

Nejčastěji uváděné tvary mikroplastů, zaznamenané světovou literaturou, jsou pelety, fragmenty a vlákna (Frias et al. 2018). Je však třeba poznamenat, že různé země mohou používat odlišnou terminologii pro klasifikaci stejného předmětu nebo typu plastu (Frias & Nash 2019). Zastoupení různých tvarů částic se liší mezi prostředími, například ve vodním sloupci a sedimentech vodního prostředí byly nejčastěji nalezeny mikroplastická vlákna (z 52 % ve vodním sloupci a ze 45 % v sedimentech). Vlákna jsou také nejhojnějším tvarem v atmosféře (Zhang et al. 2020). Naopak třeba v Severním ledovém oceánu se nejčastěji vyskytují fragmenty (Cózar et al. 2017). K dalším tvarům patří například nitky (filaments), blány/fólie (films) nebo mikroplastické kuličky (spheres) (obr. 2).



Obrázek 2: Různé tvary mikroplastů nalezené v životním prostředí (Hu et al. 2022)

4.2 Barvy MP

Aspekty, jako je barva, nejsou považovány za rozhodující při definování mikroplastů, protože barevná diferenciací je subjektivní, a sama o sobě nemůže přispět k vizuální identifikaci mikroplastů (Lusher et al. 2017). Avšak zaznamenávání barvy mikroplastů je důležité pro studie o vodních organismech, protože se předpokládá, že organizmy potenciálně konzumují mikroplasty na základě barvy (Wright et al. 2013).

4.3 Typy MP

Doposud se většina plastů vyrábí z ropy. Vlastnosti různých typů plastů ovlivňují distribuci a rozklad a to poté ovlivní jejich dopad na životní prostředí. Proto je důležité znát vlastnosti plastů a porozumět jejich chování. Mezi nejvíce vyráběné plasty patří PE, PP, PS, PET a PVC

V současné době se vyrábí několik typů polyethylenu (PE) v různých hustotách. Jeho výhodou je především nízká cena, snadné zpracování a recyklovatelnost. Je vysoce hydrofobní, pružný a má větší adsorbční kapacitu než ostatní plasty (Alimi et al. 2017). PE se hojně využívá v domácnostech, jako nákupní tašky, lahve, fólie na balení potravin atd. Kvůli jeho vysoké poptávce a nízké hustotě je to nejhojnější mikroplast nacházející se na hladinách vod a pobřežích (Bond et al. 2018).

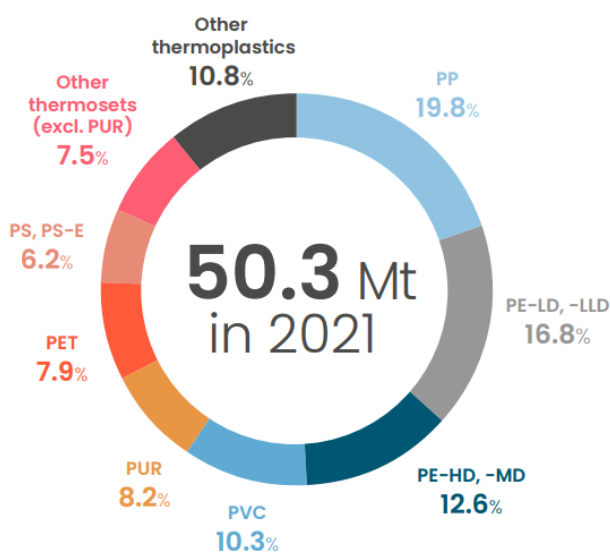
Polypropylen (PP) je nízkomolekulární a vysoce krystalizovaný polymer. Díky odolnosti vůči chemikáliím a teple je PP nejprodávanější ze všech polymerů, představuje celkem 20 % veškeré plastové poptávky v Evropě (PlasticEurope 2022). Používá se k balení potravin, je součástí bankovek, potrubí, automobilů apod. (Bond et al. 2018). PP také patří k nejméně recyklovaným plastům. V roce 2016 bylo v USA recyklováno pouze 1 %

z veškeré výroby (USEPA 2019). Kvůli nízké hustotě se PP nejčastěji vyskytuje na hladinách, pobřežích, ale i v plážových sedimentech (Bond et al. 2018).

Díky svým vynikajícím fyzikálním vlastnostem a nízkým nákladům se polystyren (PS) používá k izolaci budov, balení potravin, jako kryt na lampy a má mnoho dalších využití (Yousif & Haddad 2013). V roce 2021 PS představoval 6,2 % veškeré evropské plastové poptávky (PlasticEurope 2022), nicméně míra recyklace je opět velmi nízká. Částice z PS se nejčastěji nachází na hladinách moří, pobřežích a v odpadních vodách (Bond et al. 2018).

Čistý polyvinylchlorid (PVC) je křehký a bílý, ale díky přidaným plastifikátorům je měkkší a flexibilnější. Je odolný vůči kyselinám, zásadám, solím i tukům a toho se využívá zejména ve stavebnictví (kanalizační potrubí, izolace kabelů...) (Baker 2018). Poptávka PVC činila v Evropě v roce 2021 10,3 % (PlasticEurope 2022). PVC byl nalezen v přílivových oblastech, říčních sedimentech i podpovrchových vodách, ale oproti ostatním plastům se zde nacházel minimálně. To je způsobeno tím, že se PVC nejčastěji používá ve stavebnictví než k výrobě obalů a díky vysoké hustotě se mikroplasty obtížně izolují (Bond et al. 2018).

Díky tomu, že je průhledný a odolný vůči rozbití, se polyethylentereftalát (PET) používá zejména v textilních vláknech a plastových lahvích (Taniguchi et al. 2019). V roce 2021 tvořil 7,9 % evropské plastové poptávky (PlasticEurope 2022) (obr. 3). Díky své vysoké hustotě byl PET nejčastěji nalezen v hlubinách moře a v odpadních vodách (Bond et al. 2018).



Obrázek 3: Poptávka plastů v roce 2021 v Evropě (PlasticEurope 2022)

4.4 Zdroje MP

Mikroplasty se mohou do životního prostředí dostat mnoha způsoby, ale k největší produkci patří zejména průmysl, textilie, kosmetické přípravky a odpady z plastového materiálu.

Z kosmetických přípravků jsou to tzv. „microbeads“, což jsou drobné plastové fragmenty, které jsou součástí čistících prostředků a exfoliantů. Začaly se také ale přidávat do různých kosmetických přípravků, jako jsou tělové mléka, peelingy a sprchové gely (Marine Litter Solutions 2011).

Syntetické textilie jsou vyráběny buď z plastů jako je polyester, polyamid a akryl nebo z rostlinných materiálů, které jsou chemicky rozpuštěné a poté spřádané do vláken jako je viskóza, lyocell nebo modal. Nejčastěji používaným plastem v textiliích je PET nebo PES. Ve vodách se vyskytují především mikrovlákná polyesteru, akrylu a nylonu (Podlesná 2021). Z textilií se při praní uvolňují drobná mikroplastická vlákna, které jsou součástí odpadních vod, ale ČOV nejsou schopny všechna tato malá vlákna zachytit. Až 30 % mikroplastů ve vodách se vyskytuje v důsledku výroby a praní syntetického prádla. Jeden z výzkumů dokonce prokázal, že odpadní voda z čistíren odpadních vod je zdrojem mikroplastických vláken, která se vyskytují v mořských sedimentech (Browne 2021). V České republice jsou hlavním zdrojem mikroplastů právě vlákna uvolňována při praní.

Zdrojem primárních mikroplastů jsou průmyslové plasty (prášek nebo granule ze syntetické pryskyřice, surový materiál používaný k výrobě plastových výrobků). Důsledkem průmyslové výroby se mikroplasty dostávají do životního prostředí zejména nesprávnou manipulací s odpady, uvolňují se ve formě průmyslově užívaných pelet, které se používají například jako brusné částičky pro čištění lodí (Teuten et al. 2009). Velké množství je také vypouštěno skrz odpadní vody z průmyslových podniků.

Plastový odpad se do životního prostředí dostává zejména lidskou činností. V roce 2009 v celosvětovém průměru tvořily plasty 10 % veškerého komunálního odpadu (Barnes et al. 2009). Částice uvolněné z plastového odpadu, jako jsou lahve, netvoří velkou část mikroplastického znečištění v České republice, zato v asijských státech tvoří podstatnou většinu. Dalším významným zdrojem mikroplastů jsou kromě zmíněných i syntetická vlákna ve vzduchu, prach z pneumatik, prach z barev a mnoho dalších neméně významných. Problém mikroplastů spočívá v jejich rozkladu: stejně jako ostatní plastové předměty jakékoli velikosti se snadno nerozpadají na neškodné molekuly. Plastům může trvat stovky nebo tisíce let, než se rozloží.

Mikroplasty byly zjištěny v mnoha prostředích, v mořských organismech od planktonu po velryby, v komerčně prodávaných mořských plodech, v pitné vodě, placentě a podle

nejnovějších studií dokonce i v lidské krvi. Většina mikroplastů obsažených ve vodách pochází z pevniny (Tománek 2019).

5. Mikroplasty v mořské vodě

První zprávy o plastovém odpadu v oceánech pochází již ze začátku 70. let (Harper & Fowler 1987) a plastové částice se hromadí v oceánech již nejméně poslední čtyři desetiletí (Thompson et al. 2004). Vyskytují se ve všech oceánech, dokonce i na Antarktidě (Zarfl & Matthies 2010).

Většina mikroplastů se do moří a oceánů dostává ze sladkých vod a až v moři se částice nejvíce hromadí (Galloway et al. 2017). Asi 18 % veškerého plastového odpadu v mořích a oceánech se ale připisuje rybářskému průmyslu (Watson et al. 2006). Rybáři nejčastěji používají plastové vybavení a části jsou buď ztraceny, nebo dokonce záměrně vyhozeny do vody. Dále moře zatěžuje i turistika na pobřežích, různé lodě a plavidla a třeba i průmysl spjatý s moři a oceány. Po vstupu do mořského prostředí začínají mikroplasty okamžitě vlivem oceánských proudů a procesů migrovat napříč oceánem. Mikročástice pak vstupují do vodního sloupce (Wang et al. 2016) a dosahují mořského dna jako tzv. mořský sníh. Přirozeně mořský sníh vzniká jako biologicky zvýšená agregace malých částic. Díky zabudování mikroplastových částic do těchto seskupení se mohou ke dnu dostat i částice plastické hmoty s nízkou hustotou, které běžně plovou na vodní hladině, jako jsou například PE a PP (Wang et al. 2016). Podle nejnovějších studií oceány plastovým odpadem nejvíce znečišťují Filipíny, a to až z 35 %, přičemž až 75 % veškerého plastového odpadu v oceánech pochází z asijských zemí. Kromě asijských zemí se na odpadu významně podílí i Brazílie (tabulka 1) (Wicaksono 2023).

K plastům, které jsou v oceánech nejčastěji nalézány, patří zejména PE, PP a PS. Hluboké mořské sedimenty obsahují největší množství plastových částic, dále jsou to potom pobřežní oblasti. Naopak na hladině se částice akumulují nejméně (Erni-Cassola et al. 2019), ačkoliv obrovské masy plastů naakumulované vlivem mořského proudění, tzv. plastové skvrny (např. „Great Pacific garbage patch“) svědčí k opačnému názoru.

Tabulka 1: Státy produkující největší množství plastového odpadu v oceánech (Wicaksono 2023)

Rank	Country	Annual Ocean Plastic Waste (Metric tons)
#1	 Philippines	356,371
#2	 India	126,513
#3	 Malaysia	73,098
#4	 China	70,707
#5	 Indonesia	56,333
#6	 Myanmar	40,000
#7	 Brazil	37,799
#8	 Vietnam	28,221
#9	 Bangladesh	24,640
#10	 Thailand	22,806
	 Rest of the World	176,012
	Total	1,012,500

6. Mikroplasty ve sladké vodě

Přestože jsou mikroplasty relativně dobře a často zkoumané v mořských ekosystémech, jejich role a význam ve sladkých vodách zůstává nejistá. Téměř 80% veškerého plastového znečištění ve sladkých vodách pochází z pevniny. Zatížení mikroplasty je ovlivněno urbanizací v blízkosti pobřeží, rekreačními aktivitami jako je rybolov nebo přímo plastovým odpadem. Mikroplasty jsou poté odvedeny dešťovou kanalizací přímo do řek a jezer. Další významnou složkou sladkovodního mikroplastického znečištění jsou syntetická vlákna uvolněná při praní. Částice jsou ve vodě dále přenášeny ve vodním sloupci nebo jsou nesený podél dna, popřípadě jsou požitý některými organismy nebo sedimentují. Mikroplasty zachycené v sedimentech mohou nakonec proniknout až do podzemních vod. (Andrady 2011)

Ve sladkých vodách jsou nejčastěji nalézány PP (z 24 %) a PE (taktéž z 24 %), z tvarů jsou to až z 59 % vlákna a 20 % fragmenty (Li et al. 2020).

7. Dopad mikroplastů

7.1 Dopad na životní prostředí

Hlavním činitelem pro přenos mikroplastů je atmosféra a s ní spojené meteorologické faktory. Částice v atmosféře mohou ovlivnit sněhové jevy a následně i změnu klimatu (Ganguly & Ariya 2019). Mikroplastické částice se v terestrickém prostředí nejvíce akumulují v půdě, protože jsou odolné vůči degradaci. Ukazuje se, že kontaminace půdy mikroplasty může být 4 - 23 x vyšší než v oceánu. To může mít dopady na půdní strukturu, úrodnost, přenos živin, mikrobiální aktivitu nebo i přímo na rostliny a živočichy. Nejvíce se částice objevují v urbanizovaných oblastech a v okolí zemědělsky využívaných půd. Mikroplasty se také usazují v plážových sedimentech (obr. 4). Sedimenty obsahující plastové částice se zahřívají pomaleji a dosahují nižších maximálních teplot. Vyšší propustnost má za důsledek nepřírozené vysychání dané lokality a ulehčení odtoku podzemní vody z pevniny do moře. Zbytky z plastických hmot mohou také poskytnout na hladině plovoucí substráty pro mikrobiální kolonizaci, přepravu a následnou invazi těchto organismů na nepůvodní stanoviště (Wang et al. 2016).



Obrázek 4: (Mikro)plastické znečištění plážových sedimentů v Dominikánské republice (foto M. Rulík)

7.2 Toxické účinky

Jelikož jsou mikroplasty hydrofobní a mají velký povrch, mají možnost snadno adsorbovat, akumulovat či přenášet různé polutanty, toxické kovy, antibiotika nebo patogeny (Cole et al. 2019). Při výrobě se navíc do plastů přidávají další látky, jako jsou změkčovadla, plnidla a zpomalovače hoření (Geyer et al. 2017). Tyto chemikálie se po likvidaci plastů usazují v půdě nebo ve vodním prostředí (Alimba & Faggio 2019). Když částice klesnou k sedimentům, kde je přebytek kovů, adsorbují kovové ionty (Auta et al. 2017). Pokud jsou mikroplastické částice rozloženy nebo požitý, toxické látky se mohou uvolňovat.

7.3 Dopad na živé organismy

Mikroplasty mají v přírodním prostředí největší dopad na organismy. Díky svým malým velikostem jsou lehce dostupné pro všechny organismy, zejména pro vodní planktonofágní druhy. Tyto druhy potom mohou být kořistí (potravou) pro ostatní živočichy - je známo, že mikroplasty se již staly součástí potravních řetězců. Především obratlovci trpí řadou důsledků, zejména blokací trávicího traktu, která vede až k hladovění. Bezobratlí trpí podobnými důsledky, ale u nich mohou částice ovlivnit i antioxidační systém (Wright et al. 2013). Mikroplasty však neovlivňují pouze metabolismus obratlovců, bezobratlých, vodních či půdních druhů, ale i struktury jejich populací. Rostliny nejvíce trpí poruchou růstu. MP se ukládají na listech, a tak blokují dopad slunečního záření na povrch listů a brání tak fotosyntéze. Částice se do rostlin mohou dostat i skrz kořeny v půdě, potom uvolňují různé chemikálie a těžké kovy, které jsou pro rostliny škodlivé (Hu et al. 2022). Člověk pak může požít mikroplasty např. konzumací mořských a sladkovodních organismů, ovoce a zeleniny nebo i medu (Kalčíková 2020).

7.4 Potenciální dopad MP na člověka

Přestože účinky mikroplastů na rostliny a živočichy byly podrobně zkoumány, odpovídající vlivy na člověka stále nejsou jasné, přestože příjem částic i jejich výskyt v různých částech těla (tkáně, krev) byl mnohokrát potvrzen (Pauly et al. 1998). Hlavním zdrojem kontaminace je podle všeho dýchání (Zhang et al. 2020). Dopad na lidský organismus může být různý, ale zejména se jedná o oxidační stres, cytotoxicitu (= schopnost ničit buňky) a narušení metabolismu. Jelikož jsou mikroplasty odolné vůči trávicím šťávám, mohou narušit i složení a funkci střevní mikrobioty (Prata et al. 2020).

8. Strategie k odstranění mikroplastů

V současné době je odstranění plastových mikročástic stále omezené. Pro částice nacházející se ve vodním prostředí je nejlepším řešením jejich odstranění v čistírnách odpadních vod. Daly by se použít lepší technologie, které by zabráňovaly úniku částic do vod. Například membránový bioreaktor (MBR) může odstranit až 99,9 % částic (Talvitie et al. 2017). Kromě katalytických procesů by šla použít i biodegradace, která je šetrnější k životnímu prostředí a vykazuje i nižší náklady (Hu et al. 2022).

9. Faktory ovlivnění příjmu mikroplastů u ryb v závislosti na typu částice

Vodní systémy obsahují velké množství mikroplastů, které mají dopad na samotný ekosystém, ale hlavně také na organismy v něm žijící. Podle dat OSN z roku 2017 plave v mořích až 51 bilionů částic mikroplastů. Dopad částic na organismy žijící ve vodách je velký. Ryby přijímají mikroplasty na základě několika aspektů.

9.1 Velikost částic

Většina ryb se živí pouze určitým typem potravy, proto je pravděpodobné, že požijí pouze částice podobné jejich potravě (Ory et al. 2018). Klíčovým faktorem je velikost. Mikroplasty jsou díky jejich malé velikosti dostupné pro všechny organismy, včetně těch nejmenších. Podle výzkumu menší částice jsou jednodušejší a častěji nasávány, projdou trávicím ústrojím ryby rychleji a také je větší pravděpodobnost, že se dostanou do jiných tkání, než u větších částic (Browne et al. 2008).

9.2 Barva částic

Barva mikroplastů je podstatná při hledání kořisti, může přispět k pravděpodobnosti požití kvůli podobnosti ke kořisti (Shaw & Day 1994). Například u většiny planktonofágních ryb byly nalezeny především průhledné, bílé, modré a zelené mikroplastické částice, které připomínají plankton (Cheung et al. 2018).

9.3 Hustota a vztlak

Hustota ovlivňuje dostupnost ve vodním sloupci. Ovlivňuje rozšíření a polohu mikroplastů, tím že působí na trajektorii a rychlost klesání částic. Různé druhy ryb upřednostňují různé stanoviště pro život a hledání potravy a jsou pro ně tedy dostupné mikroplasty s různou hustotou, proto se typy požitého plastu můžou mezi organismy lišit. Planktonofágní druhy, filtrátoři, ale i zooplankton a fytoplankton obývají spíše horní část vodního sloupce, a proto se setkávají spíše s částicemi, popř. i požívají částice s menší hustotou jako je PE. Naopak plasty s vysokou hustotou, jako PVC, byly nalezeny spíše u bentických druhů a detritofágů (Wright et al. 2013). Vztlak plastů je ovlivněn i „biologickým znečištěním vody“. Biofilm se tvoří prakticky na všech předmětech ponořených ve vodě, ale např. na PE sáčcích se vytvořil už po jednom týdnu a po třech týdnech už byl biofilm tak masivní, že sáčky začaly klesat ke dnu (Lobelle & Cunliffe 2011).

9.4 Tvar částic

Tvar je morfologickým znakem, který se mění stárnutím a podmínkami prostředí. Tvar ovlivňuje především hydrodynamické vlastnosti, dynamiku a rychlost usazování částic (Ma et al. 2020). Mikroplastická vlákna a fólie mají vyšší vztlak a nižší rychlost usazování než např. fragmenty stejné hustoty a objemu (Zhang 2017). Z toho vyplývá, že vlákna se vodním prostředím transportují rychleji než fragmenty. Obecně proto i tvar mikroplastů ovlivňuje jejich možné požití. Po požití navíc tvar působí na dobu setrvání v těle. Výzkum například ukázal, že částice pravidelného tvaru prošly trávicím ústrojím rychleji, než částice tvaru nepravidelného. Plastické kuličky rovněž procházely ústrojím rychleji než vlákna, tudíž vlákna se díky delší době setrvání v rybě staly toxičtějšími (Bayo et al. 2017). Výzkum rovněž ukázal, že vlákna způsobují vyšší mortalitu, protože jsou z těla obtížněji vyplavována (Gray & Weinstein 2017).

9.5 Stáří částic

Stáří mikroplastů je neméně důležitým faktorem: starší částice mají tendenci degradovat, vytvářet biofilmy a vázat na povrch jiné chemikálie, v důsledku tedy mají pozměněnou strukturu a chemické složení. Existuje proto větší pravděpodobnost, že budou požitá rybou než novější částice (Song et al. 2020).

9.6 Abundance částic

V neposlední řadě je to i množství mikroplastů v životním prostředí, která ovlivňuje dostupnost, protože šance na to, že se organismus s částicí setká, je vyšší. Fragmentace makroplastů proto může zvyšovat i dostupnost mikročástic pro ryby (Thompson et al. 2009).

10. Faktory ovlivnění příjmu mikroplastů u ryb v závislosti na vnějším prostředí nebo druhu ryby

10.1 Požití částic v závislosti na hloubce

V eufotické zóně se nachází lehké částice, které nejvíce ohrožují fytoplankton, zooplankton, ryby a predátory (Song et al. 2014). Prevalence mikroplastů pod eufotickou zónou závisí především na diurnální vertikální migraci mesopelagických ryb, které přenášejí mikroplasty z hladiny moře do afotické zóny. Mesopelagické ryby vykazují vysokou rychlost požití částic. Mikroplastické částice z afotické zóny sedimentují a ovlivňují tak především bentické druhy (Lusher et al. 2016). Bylo zjištěno, že zatížení mikroplasty v sedimentech je vyšší než na hladině (Savoca et al. 2021b), z toho důvodu by bentické druhy měly mít větší pravděpodobnost požití částic než druhy pelagické. Mikroplasty se nachází i v povrchové mikrovrstvě, která tvoří hranici mezi atmosférou a oceánem (mořem) (tzv. neustonická blanka). Částice obsažené v této vrstvě ovlivňují fotochemické reakce, v důsledku toho jsou ovlivněny fotosyntéza, dýchání a fyziologické reakce planktonu. Díky přítomnosti mikroplastů je ovlivněn i růst řas nebo jiných vodních rostlin (Wurl & Obbard 2004).

10.2 Požití částic v závislosti na sezóně

Sezónní klimatické změny významně ovlivňují množství mikroplastických částic přítomných ve vodním prostředí. Například vítr působí na vlny, které jsou významným činitelem pro přenos částic. Nebo při obdobích dešťů je přítomnost částic výrazně vyšší než za sucha, a to kvůli vyššímu průtoku. Výskyt částic také značně ovlivňují slapové jevy. Důsledkem toho by mohlo dojít k sezónním výkyvům zatížení mikroplasty u různých organismů. Například v Baltském moři bylo v trávicím traktu dvou planktonofágních ryb, sledě obecného (*Clupea harengus*) a šprota obecného (*Sprattus sprattus*), zjištěno více mikroplastů během léta než na jaře. Rozdíly v zatížení mikroplasty byly způsobeny především díky sezónnímu rozdílu v období krmení (Beer et al. 2018).

10.3 Požití částic v závislosti na místě výskytu

Nejvíce mikroplastů bylo nalezeno u mořských ryb z východní Asie, naopak v mořích obklopující Evropu ryby vykazovaly nejmenší zatížení mikroplasty. Dále bylo zjištěno, že nejvíce zatížené mikroplasty byly ryby, které žijí v estuáriu, po těchto rybách následují ryby žijící ve volném oceánu a nejméně zatížené byly ryby z pobřežních oblastí (Savoca et al. 2021b).

Meandrování řek, struktura sedimentu nebo i rychlost průtoku ovlivňuje zátěž mikroplastů v různých oblastech. Degradace a modifikace částic může působit na uvolnění chemikálií z mikroplastů, popřípadě vazbu různých látek na mikroplasty. Sladkovodní ryby jsou klíčovým bioindikátorem znečištění mikroplasty a představují tak i model pro rozvoj znalostí o tom, jak částice ovlivňují ekologii a chování zvířat. Největší zatížení mikroplasty ve sladkých vodách je obecně v Asii, v Evropě je jedna z nejvíce znečištěných řek mikroplasty Rýn (Parker et al. 2021).

10.4 Požití částic v závislosti na druhu, věku, velikosti, chování ryb, či typu preferované kořisti

Velikost mikroplastů ovlivňuje požití částic. Předpokládá se, že větší ryby mají možnost požít částice větší než druhy menší. Bylo zjištěno, že různé variace mikroplastů (barva, velikost, tvar...) požitých rybou závisí až ze 42% na velikosti ryby (Jâms et al. 2020). Uvádí se, že na složení mikroplastů u ryb má vliv i pohlaví, ačkoli to může být vysvětleno velikostí v důsledku sexuálního dimorfismu (Parker et al. 2021).

Efekty mikroplastů mohou být často různé pro různé fáze životního cyklu ryb. Částice jsou často více škodlivé pro larvální stádia než pro dospělé jedince, především proto, že částice mohou ovlivnit vývoj larev (Pannetier et al. 2019). Mikroplasty se mohou dostat i do jiker a ovlivnit čas vylíhnutí (Batel et al. 2018).

Předpokládá se, že se částice do ryb dostávají především v potravě, ale stále přibývá důkazů o tom, že částice mohou procházet i skrz žábry nebo pokožku. Nejvíce částic se našlo u aktivních predátorů a filtrátorů. Bentické druhy jsou nejvíce zatíženy mikroplasty usazenými v sedimentech, naopak pelagické druhy lehkými plovoucími částicemi. Málo ryb požívá částice samostatně, většinou jen v kombinaci s potravou. Všeobecně je to dáno tím, že býložravé ryby mají tendence požívat mikroplasty, které jsou součástí řas a vodních rostlin, predátoři částice nacházející se v kořisti, filtrátoři v planktonu... Obligátní piscivoři požijí částice buď pasivně nebo nepřímo skrz kořist. Avšak nejdůležitějším faktorem při ovlivnění příjmu částic je expozice (Parker et al. 2021).

Vezmeme-li v úvahu všechny studie, které zaznamenaly mikroplasty od roku 2010 do roku 2019, průměrná zátěž mikroplastů u ryb se zdvojnásobila a nadále roste (Savoca et al. 2021b)

11. Vliv mikroplastů na ryby

Po požití mohou mikroplasty působit na ryby různými způsoby. Například samotné částice mohou mít fyzický dopad na ryby (např. blokováním trávicího ústrojí), nebo mohou desorbovat různé škodlivé látky. Účinky jsou vysoce variabilní, závisí jak na mikroplastech samotných (tvaru, velikosti, typ polymeru), tak i na rybě (fyziologii, rychlosti příjmu potravy, pohybu...). Často mohou samotné částice nebo látky z nich vylučované interagovat i s ostatními látkami v rybě (Wen et al. 2018).

11.1 Fyziologické dopady

Chemikálie uvolňované uvnitř těla ryb mohou vést ke změně aktivity imunity, projevu různých chemických látek obsažených v krvi v reakci na cizí částice nebo jakékoli jiné asociované částice/látky uvolňované z mikroplastů.

Oxidační stres (= nerovnováha mezi antioxidační kapacitou buňky a množstvím volných radikálů) nebo přímo histologické poškození tkáně či orgánu jsou poměrně běžné dopady. Zpracování částic nebo jakýkoliv sdružených chemikálií vede k imunitní odpovědi organismu, což může vést až k poškození buněk a změně morfologie různých fyziologických struktur (Lu et al. 2016). Změny morfologie trávicího ústrojí mohou také změnit typ nebo aktivitu symbiotických organismů, což přispívá k dysbióze a změně metabolismu. Z poškození buněk se rychle může stát poškození orgánů či tkání (Jabeen et al. 2018). Škodlivé částice se např. krví mohou snadno přenášet do dalších částí těla a škodit orgánům i tkáním mimo trávicí ústrojí. Obměny složení krve mají také mnoho negativních dopadů, jako je změna koloběhu živin. Částice v mozku souvisí s poškozením CNS, což ovlivňuje růst, chování a tělesnou kondici (Athey et al. 2020). Funkční narušení orgánů pak zásadně ovlivňuje přežití jedince.

U juvenilních kaprů je důsledkem pozření plastů oxidační stres, změna složení krve a množství proteinů (Hatami et al. 2019), a dále změna aktivity proteinů a imunity (Banaee et al. 2019). U larev je negativně ovlivněn růst, dochází k poškození trávicího ústrojí a ke změnám v množství bílkovin (Xia et al. 2020).

11.2 Biologické dopady

Částice v mozku mají, jak už bylo řečeno, dopad na CNS, ale tudíž i na plavání ryb (Limonta et al. 2019). Byly zjištěny také změny chování predátorů vůči kořisti, což může vést k pozměnění celé potravní sítě (Huang et al. 2020).

k zavlažování, které však v poslední době ustalo, nyní je využívána k rekreaci a využití volného času při rybaření (Mitáček 2022) (obr. 6).

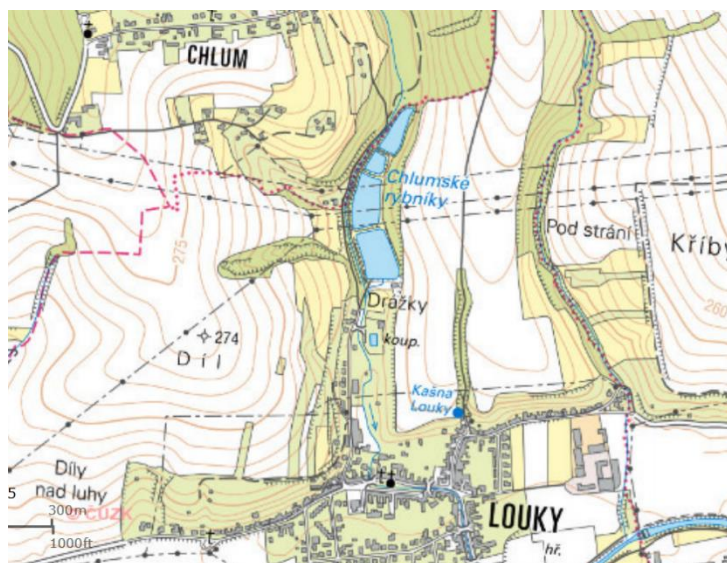


Obrázek 6: Mapa 1. oblasti odchyty kaprů

12.1.2 Chlumské rybníky

GPS souřadnice : 49°22'55''N, 17°61'37''

Chlumské rybníky je soustava 4 rybníků, které leží v nadmořské výšce 219 m a nachází se blízko obce Chlum ve Zlínském kraji. Rybníky leží v údolí Chlumského potoka, náleží do katastrálního území Louky nad Dřevnicí a nachází se v mírně teplé klimatické oblasti. Celá soustava dosahuje délky asi 400 m. První 2 rybníky jsou největší (až 90 m) a jsou od sebe odděleny hrází. Rybníky slouží k chovným účelům a pravidelně se v nich vyskytují kapři, ale i candáti, líni, amuři, popř. tolstolobici. V blízkosti rybníků se nachází hospoda, koupaliště a vede zde místní komunikace (Lysáček 2014) (obr. 7).



Obrázek 7: Mapa 2. oblasti odchyty kaprů

12.2 Sběr vzorků

Vzorky ryb jsem s pomocí rybářů sbírala průběžně od listopadu roku 2021 do ledna roku 2023. Pro izolaci mikroplastů byly vnitřnosti ryb (žaludek, střevo, gonády, játra, žluč, srdce, plynový měchýř...) hned po vyjmutí zvlášť zmrazeny na -20 °C. U ryb byla změřena délka, váha, zjištěno datum výlovu a místo výlovu (tabulka 2 a 3).

Tabulka 2: Seznam vzorků z 1. oblasti

<i>Číslo vzorku</i>	<i>Datum výlovu</i>	<i>Délka</i>	<i>Váha</i>
1.	9.8.2021	58 cm	4,36 kg
2.	19.10.2021	52 cm	3,12 kg
3.	7.11.2021	51 cm	2,95 kg
4.	7.11.2021	46 cm	2,18 kg
5.	8.11.2021	47 cm	2,24 kg
6.	9.11.2021	53 cm	3,34 kg
7.	9.11.2021	58 cm	4,36 kg
8.	15.11.2021	49 cm	2,58 kg
9.	13.1.2023	50 cm	2,74 kg
10.	13.1.2023	52 cm	3,12 kg

Tabulka 3: Seznam vzorků z 2. oblasti

<i>Číslo vzorku</i>	<i>Datum výlovu</i>	<i>Délka</i>	<i>Váha</i>
1.	3.10.2021	48 cm	2,42 kg
2.	30.10.2021	49 cm	2,58 kg
3.	2.11.2021	48 cm	2,42 kg
4.	9.11.2021	48 cm	2,42 kg
5.	26.12.2021	69 cm	6,20 kg
6.	1.5.2022	52 cm	3,12 kg
7.	2.7.2022	45 cm	1,95 kg
8.	14.10.2022	50 cm	2,74 kg
9.	14.10.2022	52 cm	3,12 kg
10.	14.10.2022	49 cm	2,58 kg

12.3 Pitva ryb a izolace mikroplastů

Po vyjmutí z mrazicího boxu byly vnitřnosti vloženy do nádoby s teplou vodou. Po rozmrazení jsem vnitřnosti přendala do skleněné varné mísy, přenesla do digestoře a začala pitvat. Nejdříve jsem vždy oddělila plynový měchýř. Poté jsem odstranila ledviny, gonády, srdce, játra a žluč. Nakonec jsem se snažila vypreparovat trávicí ústrojí. Našla jsem (pokud bylo možno) začátek střeva a po jeho celé délce jsem oddělovala tkáň. V nejlepších případech šlo střevo od tkáně oddělit jen jemným tahem, v horších případech jsem tkáň odřízla skalpelem.

Po oddělení celého trávicího ústrojí jsem jej rozdělila na několik částí, podle velikosti (nejčastěji na 2 nebo 3 části). Jednotlivé části jsem poté přendala do 500 ml Erlenmeyerovy baňky.

Dále jsem si připravila 10% roztok NaOH. Hotový 10% roztok jsem postupně vlila do jednotlivých Erlenmeyerových baněk s částmi trávicích ústrojí, většinou okolo 500 ml na 1 baňku, v závislosti na velikosti části ústrojí (přibližně čtyřnásobek objemu tkáně). Jednotlivé Erlenmeyerovy baňky jsem zakryla alobalem a nechala inkubovat přes noc v termostatu s vodní lázní na 60 °C, aby došlo k dostatečnému rozkladu tkáně trávicího traktu, jak doporučují Dehaut et al. (2016). Po inkubaci jsem baňku pečlivě zkontrolovala na úplné štěpení tkáně a výslednou kapalinu jsem poté pod tlakem přefiltrovala skrz skleněný filtr o porozitě 0,7 µm.

Filtr jsem opatrně vyjmula pinzetou a přenesla na označenou Petriho misku. Filtry jsem nechala v Petriho miskách až do vlastní analýzy. Ta byla provedena s pomocí stereomikroskopu ZEISS Discovery V12 se softwarem ZEN 2012 vybaveným fotoaparátem. Při zkoumání jsem jeden filtr vždy pomocí pinzety přenesla na čistou Petriho misku a po zkontrolování pod lupou opět přenesla na původního Petriho misku a uzavřela. Filtry jsem zkoumala většinou při 20 násobném až 50 násobném zvětšení. U všech mikroplastických částic nalezených v trávicím ústrojí jsem zaznamenávala jejich tvar, barvu a velikost.

12.4 Kontrola kvality pomůcek

S cílem co nejvíce snížit případnou kontaminaci vzorků, jsem všechny nástroje vždy pečlivě umyla a zkontrolovala. Ve všech fázích přípravy vzorku jsem vždy nosila bílý laboratorní plášť a vinylové rukavice. Před zahájením pitvy jsem všechny nástroje (misky, skalpely, pinzety...) pečlivě umyla a opláchla destilovanou vodou. Při přípravě roztoku hydroxidu a filtrování platily stejné podmínky. Všechny baňky, kádinky, pinzety jsem vždy před použitím umyla, opláchla destilovanou vodou a nechala volně uschnout na papírových utěrkách. Skleněné filtry byly před použitím skladovány v uzavíratelné

papírové krabičky a uzavřené v zásuvce. Taktéž celé filtrační zařízení jsem před použitím umyla. Filtry v Petriho miskách byly skladovány v papírových uzavíratelných krabicích.

Aby se předešlo kontaminaci částicemi přenášenými vzduchem, většinu postupu jsem prováděla v digestoři (vypreparování trávicího ústrojí, přípravu roztoku hydroxidu i filtraci) a manipulovala jsem s filtry co nejrychleji.

12.5. Analýza dat

Analýza dat proběhla v R-studiu. Hladinu významnosti jsem pro všechny testy nastavila na $p \leq 0,05$. K odhalení významných rozdílů u délky a váhy kaprů ze dvou oblastí jsem použila dvouvýběrový t-test s nerovností rozptylů. K testování rozdílů u zastoupení a délky částic jsem použila stejný test.

13. Výsledky

Délka zkoumaných kaprů se pohybovala v rozmezí od 46 do 69 cm (průměrně 51,3 cm) a váže od 1,95 do 6,20 kg (průměrně 3,03 kg) (tabulka 4). Dle statistických výpočtů jsem nenalezla žádný signifikantní rozdíl mezi délkou kaprů z první oblasti a mezi délkou kaprů z druhé oblasti ($p = 0,41$), zároveň jsem neobjevila žádný rozdíl mezi váhou kaprů z obou oblastí ($p = 0,38$).

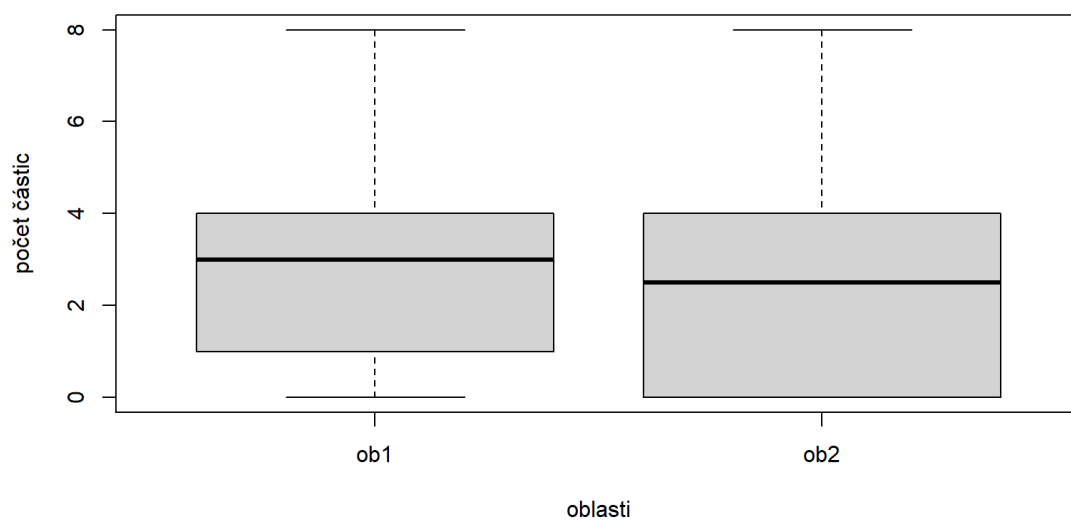
Celkem jsem v trávicím ústrojí zkoumaných kaprů našla 54 mikroplastických částic, které byly obsažené u 80 % ryb (tabulka 4). Výrazně dominovala vlákna (98%), pouze 2 % ze všech částic zaujímaly fragmenty. Průměrná délka částic byla 282,9 μm (tabulka 4). Nejčastěji jsem našla částice modré barvy, a to z 51,9 %. Při porovnávání zastoupení částic jsem nezjistila žádný signifikantní rozdíl mezi oblastmi ($p = 0,84$). Taktéž délka částic nebyla významně rozdílná ($p = 0,42$).

Tabulka 4: Zastoupení mikroplastů a jejich délka u zkoumaných ryb z obou oblastí

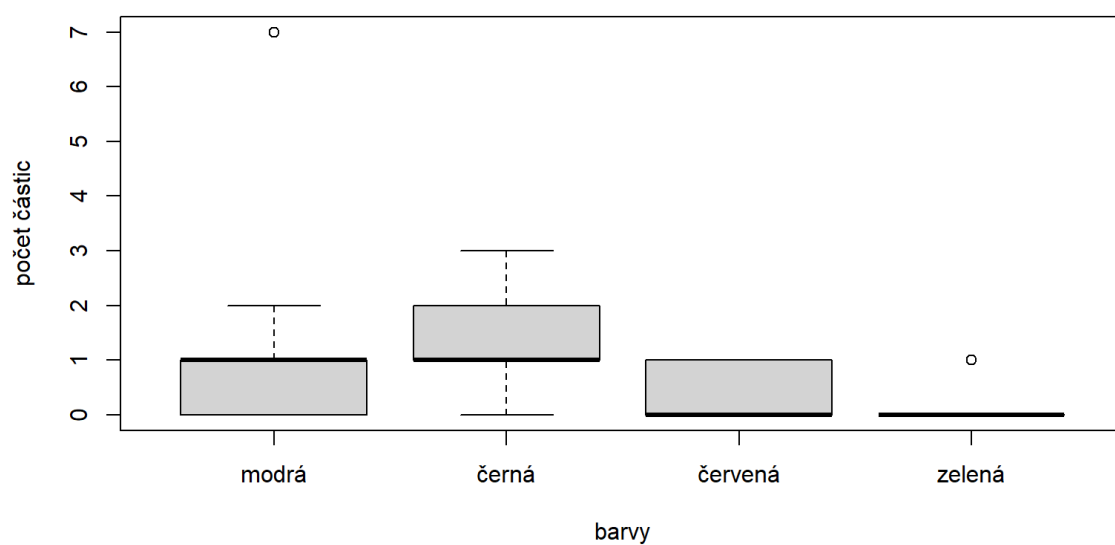
Místo	Počet vzorků	Průměrná délka ryby (cm)	Průměrná váha ryby (kg)	%	Celkový počet nalezených částic	Průměrná délka částic (μm)
Býčina	n=10	51,6	3,1	90	29	282,7
Chlumské rybníky	n=10	51	3,0	70	25	283,1
Obě oblasti	n=20	51,3	3,03	80	54	282,9

Celkově jsem ve vzorcích z první oblasti našla 29 mikroplastických částic celkově u 90 % ryb (tabulka 4). V rybách se nacházelo od 0 po 8 částic (průměrně 2,9 částic na rybu) (graf 1). Jediným zachyceným tvarem byla vlákna - 100 %, fragmenty jsem nenašla žádné. Velikost vláken byla od 59,6 μm do 546,9 μm (průměrně 282,7 μm) (graf 4). Nejčastěji jsem našla modrá vlákna, a to z 44,9 %, dále černá z 41,4 %, červená z 10,3 % a nejméně jsem zaznamenala zelených vláken, které jsem našla jen u 3,4 % ze všech částic (graf 2)

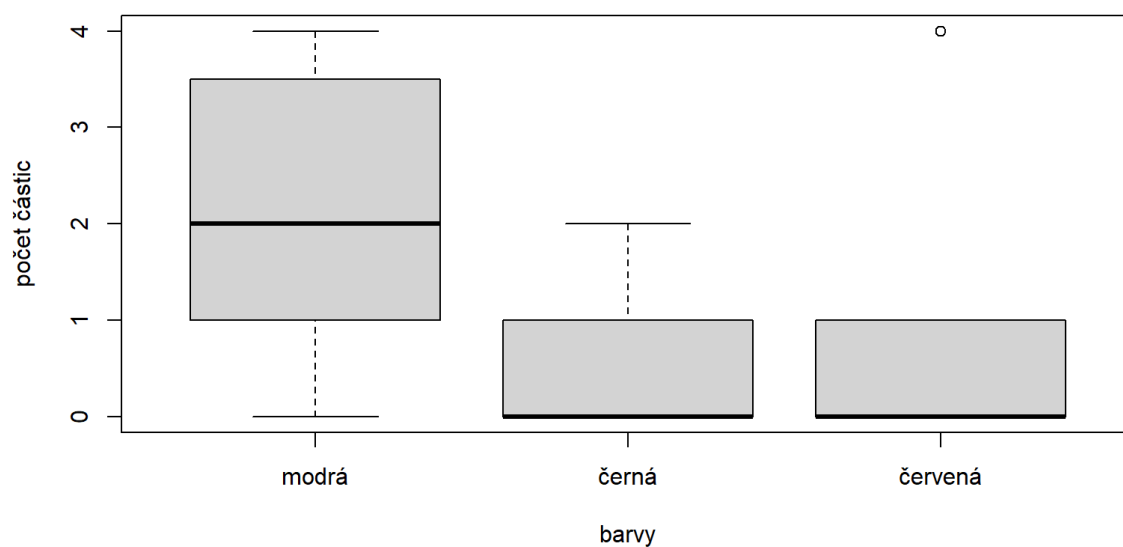
Ve vzorcích z druhé oblasti jsem celkem našla 25 mikroplastických částic, celkově u 70 % ryb (tabulka 4). V rybách se nacházelo od 0 po 8 částic (průměrně 2,5 částic) (graf 1). Dominantním typem byla vlákna (96 %). Ze všech částic zaujímaly fragmenty pouze 4 %. Nejčastěji jsem našla částice o velikosti od 86,9 μm do 728,6 μm (průměrně 283,1 μm) (graf 4). Mezi částicemi dominovaly částice modré barvy, a to z 60 %, poté červené z 24 % a nejméně bylo částic černých, jen 16 % (graf 3).



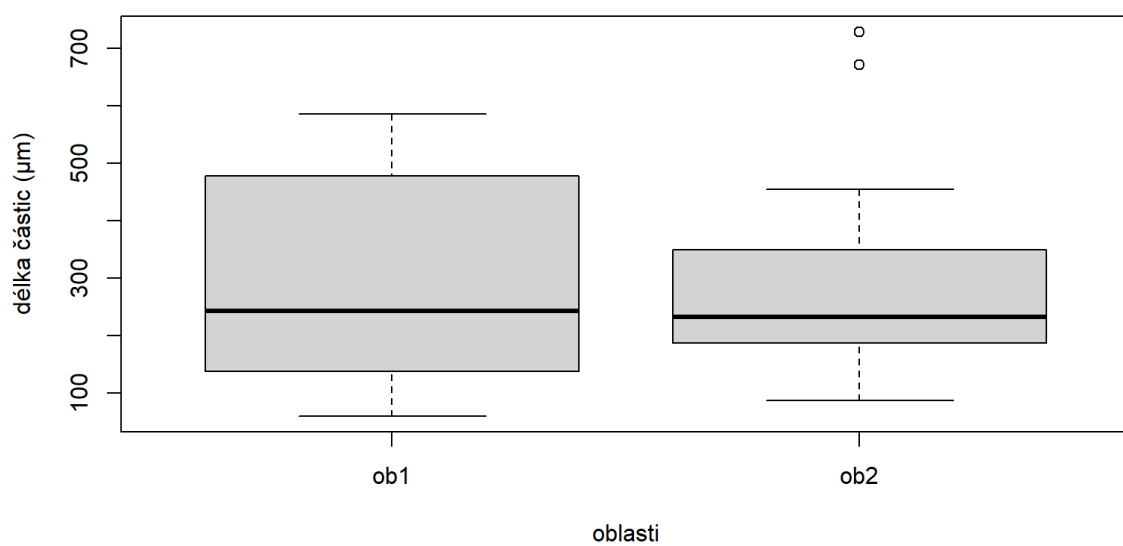
Graf 1: Porovnání počtu mikropplastů v rybách zjištěných v obou oblastech (středová tučná čára krabičkového grafu znázorňuje medián, horní a dolní hranice krabičky ukazuje horní a dolní kvartil, přičemž krabička celá znázorňuje mezikvartilové rozpětí. Horní vous reprezentuje maximální hodnotu a dolní vous naopak minimální hodnotu. Otevřené kolečka u následujících grafů reprezentují vzdálené hodnoty.)



Graf 2: Porovnání zastoupení barvy částic z 1. oblasti



Graf 3: Porovnání zastoupení barvy částic z 2. oblasti



Graf 4: Porovnání délky nalezených mikročástic z obou oblastí

14. Diskuze

Celkem jsem našla 54 mikroplastických částic u 80 % ryb. Dominantní byla vlákna, těch jsem objevila 53, za to fragment jsem našla pouze jeden. Průměrně to byly částice o velikosti 282,9 μm a v nadpoloviční většině byly modré barvy.

Kapra, jako předmět výzkumu, jsem si vybrala hlavně kvůli jeho komerční hodnotě, kterou tato ryba má nejen v České republice, ale i na evropské a globální úrovni. Navzdory jeho popularitě, je ale z hlediska kontaminace mikroplasty stále velmi málo prozkoumán a z toho důvodu je i obtížné nalézt další studie, se kterými bych mohla mé výsledky porovnávat.

14.1. Množství a tvar nalezených částic

Ze všech vzorků jsem našla 54 částic (průměrně 2,7 částic na rybu) celkem u 80 % ryb. Počty částic se výrazně lišili napříč studiemi. Forgione et al. (2023) našli u ryb průměrně 4,33 a 4,00 a 2,26 a 6,25 a 3,00 částic na rybu. Naopak Savoca et al. (2021a) získali u kaprů pouze 0,25 částic na rybu. Ostatní studie přesný počet většinou nezmiňovali. Tyto významné rozdíly mohou být způsobené rozdílnými metodami pro izolaci mikroplastů, ale např. i tím, že Savoca et al. (2021a) používali kapry z umělých chovů. Parker et al. (2021) pozoroval procentuální zastoupení mikroplastů u různých druhů sladkovodních ryb z různých států po celém světě. Ve většině ryb se výskyt potvrdil, ale procentuální zastoupení se lišilo. Mikroplastické částice se našly ve 100 % vzorcích v Argentině, Jihoafrické republice, USA a Jižní Koreji. Celkově se ale částice našly v nadpoloviční většině v menším procentuálním zastoupení než jaké jsem našla já. Například v Polsku se mikroplasty našly u 54,5 % vzorků (průměrně 1,16 částice na rybu). Zastoupení je ovlivněno mnoha faktory, které rozdíly mohly způsobit.

Ze všech vzorků jsem našla pouze jeden fragment, zbytek byla vlákna, což se shoduje s prací Azizi et al. (2021), kteří u různých druhů sladkovodních ryb našli největší množství vláken. Jabeen et al. (2017), u kterých jsem se zaměřila jen na kapry, našli dokonce vlákna zastoupená ze 100 %. Mikroplastická vlákna jsou uvolňována především při praní a ČOV je nedokáže odstranit. Z tohoto důvodu se velké množství těchto vláken dostává do vod, kde jsou následně požitý rybami. Fragmenty vznikají rozpadem větších plastových výrobků, které se v našich řekách nevyskytují tak hojně. Naopak Savoca et al. (2021a) našli u kaprů z 55,5 % vlákna, a ze 44,4 % fragmenty. Již ve zmíněné studii od Azizi et al. (2021) byla sice nejvíce zastoupená vlákna (více než z 50 %), ale fragmentů našli daleko více než já. Důvodem rozdílu může být poměrně obtížná identifikace fragmentů, které se dají snadno zaměnit s menšími kamínky nebo dalšími podobnými předměty.

14.2. Barva a délka nalezených částic

Ve většině vzorků převažovaly modré částice, dále pak černé, červené a nejméně jsem našla zelených částic. To se shoduje s údaji, které uvádí Azizi et al. (2021), kde sice u většiny sladkovodních ryb převažovali částice černé barvy, ale jen velice málo nad částicemi modrými. Savoca et al. (2021a) dokonce u kaprů našel nejvíce částic modrých, následovány černými. Většina ostatních studií, ale barvu nebrala příliš v potaz. Ryby většinou požívají částice, které jsou barevně podobné jejich kořisti. Možným důvodem proč jsem tedy našla nejvíce částic modrých, je jejich podobnost s planktonem, kterým se kapr v mládí živí. Velikost nalezených částic se pohybovala od 59,6 μm do 670,6 μm , což se výrazně liší od již zmíněných prací Jabeen et al. (2017); Savoca et al. (2021a), kteří našli částice průměrně až 10 x větší. Důvodů rozdílu může být několik, např. biologické procesy jako je trávení, ale žádné se nedají potvrdit.

15. Závěr

Podařilo se mi potvrdit, že mikroplastické částice se nacházejí i v potravě českých sladkovodních ryb. Výsledky ukazují, že i v tak málo početném souboru vzorků je možné mikroplasty detekovat a následně určit dominanci vláken či částic modré barvy. Nález částic dokazuje, že použitá metoda na detekci mikroplastů byla správná. V podobných studiích, by se kromě tvaru, barvy a délky částic, dal dalším výzkumem určit také typ plastu. Díky neustále se zvyšující produkci plastů se předpokládá, že se mikroplastické částice budou nadále zvyšovat, jak ve vodních ekosystémech, tak následně v rybách celosvětově. Mikroplasty se dostávají do potravních řetězců a negativně tak mohou působit na širší spektrum organismů, včetně člověka. Proto je nezbytné omezit přísun plastů do (vodních) ekosystémů, buď primárně jejich nižší výrobou, nebo sekundárně odstraněním mikroplastů např. v ČOV. Celkově by bylo dobré neupřednostňovat výzkum mikroplastů v mořských ekosystémech a zaměřit se také více na sladkovodní druhy.

16. Citace

- Alimba, C. G., & Faggio, C. (2019). Microplastics in the marine environment: Current trends in environmental pollution and mechanisms of toxicological profile. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 68, 61–74. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2019.03.001>
- Alimi, O., Farner, J., Hernandez, L., & Tufenkji, N. (2017). Microplastics and Nanoplastics in Aquatic Environments: Aggregation, Deposition, and Enhanced Contaminant Transport. *Environmental Science & Technology*, 52. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b05559>
- Andrady, A. L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 62(8), 1596–1605. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>
- Athey, S. N., Albotra, S. D., Gordon, C., Monteleone, B., Seaton, P., Andrady, A., & Taylor, A. (2020). *Trophic transfer of microplastics in an estuarine food chain and the effects of a sorbed legacy pollutant—Athey—2020—Limnology and Oceanography Letters—Wiley Online Library*. <https://aslopubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/lol2.10130>
- Auta, H. S., Emenike, C. U., & Fauziah, S. H. (2017). *Distribution and importance of microplastics in the marine environment: A review of the sources, fate, effects, and potential solutions—ScienceDirect*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016041201631011X>
- Azizi, N., Khoshnamvand, N., & Nasser, S. (2021). The quantity and quality assessment of microplastics in the freshwater fishes: A systematic review and meta-analysis. *Regional Studies in Marine Science*, 47, 101955. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101955>
- Baker, I. (2018). *Fifty Materials That Make the World* | SpringerLink. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-78766-4>
- Banaee, M., Soltanian, S., Suredd, A., Gholamhosseini, A., Haghi, B. N., Akhlaghi, M., & Derikvandy, A. (2019). Evaluation of single and combined effects of cadmium and micro-plastic particles on biochemical and immunological parameters of common carp (*Cyprinus carpio*). *Chemosphere*, 236, 124335. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.07.066>
- Barnes, D., Galgani, F., Thompson, R., & Barlaz, M. (2009). *Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments* | Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences. <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstb.2008.0205>
- Batel, A., Borchert, F., Reinwald, H., & Braunbeck, T. (2018). Microplastic accumulation patterns and transfer of benzo[a]pyrene to adult zebrafish (*Danio rerio*) gills and zebrafish embryos. *Environmental Pollution*, 235. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.01.028>
- Bayo, J., Martínez, A., Guillén, M., Olmos, S., Roca, M. J., & Alcolea, A. (2017). Microbeads in Commercial Facial Cleansers: Threatening the Environment. *CLEAN - Soil, Air, Water*, 45. <https://doi.org/10.1002/clen.201600683>

- Beer, S., Garm, A., Huwer, B., Dierking, J., & Nielsen, T. G. (2018). No increase in marine microplastic concentration over the last three decades – A case study from the Baltic Sea. *Science of The Total Environment*, 621, 1272–1279. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.101>
- Běhálek, L. (2022). *ETUL webová knihovna*. <https://etul.publi.cz/book/180-polymer>
- Bond, T., Ferrandiz-Mas, V., Felipe-Sotelo, M., & van Seville, E. (2018). The occurrence and degradation of aquatic plastic litter based on polymer physicochemical properties: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 48(7–9), 685–722. <https://doi.org/10.1080/10643389.2018.1483155>
- Bourguignon, D. (2017). *Plastics in a circular economy: Opportunities and challenges | Think Tank | European Parliament*. [https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_BRI\(2017\)603940](https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_BRI(2017)603940)
- Browne, M. (2021). *Accumulation of Microplastic on Shorelines Woldwide: Sources and Sinks | Request PDF*. https://www.researchgate.net/publication/51622374_Accumulation_of_Microplastic_on_Shorelines_Woldwide_Sources_and_Sinks
- Browne, M. A., Dissanayake, A., Galloway, T., Lowe, D., & Thompson, R. (2008). Ingested Microscopic Plastic Translocates to the Circulatory System of the Mussel, *Mytilus edulis* (L.). *Environmental science & technology*, 42, 5026–5031. <https://doi.org/10.1021/es800249a>
- Cole, M., Coppock, R., Lindeque, P. K., Altin, D., Reed, S., Pond, D. W., Sørensen, L., Galloway, T. S., & Booth, A. M. (2019). Effects of Nylon Microplastic on Feeding, Lipid Accumulation, and Moulting in a Coldwater Copepod. *Environmental Science & Technology*, 53(12), 7075–7082. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b01853>
- Cózar, A., Martí, E., Duarte, C., van Seville, E., Eguíluz, V., Ballatore, T., & Pedrotti, M. (2017). *The Arctic Ocean as a dead end for floating plastics in the North Atlantic branch of the Thermohaline Circulation | Science Advances*. <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.1600582>
- Crawford, C. B., & Quinn, B. (2016). *Microplastic Pollutants—1st Edition*. <https://www.elsevier.com/books/microplastic-pollutants/crawford/978-0-12-809406-8>
- Dehaut, A., Cassone, A.-L., Frère, L., Hermabessiere, L., Himber, C., Rinnert, E., Rivière, G., Lambert, C., Soudant, P., Huvet, A., Duflos, G., & Paul-Pont, I. (2016). Microplastics in seafood: Benchmark protocol for their extraction and characterization. *Environmental Pollution*, 215, 223–233. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.05.018>
- Erni-Cassola, G., Zadjelovic, V., Gibson, M. I., & Christie-Oleza, J. A. (2019). Distribution of plastic polymer types in the marine environment; A meta-analysis. *Journal of Hazardous Materials*, 369, 691–698. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.02.067>
- Forgione, G., Izzo, F., Mercurio, M., Cicchella, D., Dini, L., Giancane, G., & Paolucci, M. (2023). Microplastics pollution in freshwater fishes in the South of Italy:

- Characterization, distribution, and correlation with environmental pollutants. *Science of The Total Environment*, 864, 161032. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.161032>
- Frias, J. P. G. L., & Nash, R. (2019). Microplastics: Finding a consensus on the definition. *Marine Pollution Bulletin*, 138, 145–147. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.11.022>
- Frias, J., Pagter, E., Nash, R., O'Connor, I., Carretero, O., Filgueiras, A., Viñas, L., Gago, J., Antunes, J., Bessa, F., Sobral, P., Goruppi, A., Tirelli, V., Pedrotti, M. L., Suaria, G., Aliani, S., Lopes, C., Raimundo, J., Caetano, M., & Gerdt, G. (2018). *Standardised protocol for monitoring microplastics in sediments*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.36256.89601/1>
- Galloway, T., Cole, M., & Lewis, C. (2017). Interactions of microplastic debris throughout the marine ecosystem. *Nature Ecology & Evolution*, 1, 0116. <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0116>
- Ganguly, M., & Ariya, P. A. (2019). Ice Nucleation of Model Nanoplastics and Microplastics: A Novel Synthetic Protocol and the Influence of Particle Capping at Diverse Atmospheric Environments. *ACS Earth and Space Chemistry*, 3(9), 1729–1739. <https://doi.org/10.1021/acsearthspacechem.9b00132>
- Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). *Production, use, and fate of all plastics ever made* | *Science Advances*. <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.1700782>
- Gray, A. D., & Weinstein, J. E. (2017). Size- and shape-dependent effects of microplastic particles on adult daggerblade grass shrimp (*Palaemonetes pugio*). *Environmental Toxicology and Chemistry*, 36(11), 3074–3080. <https://doi.org/10.1002/etc.3881>
- Harper, P. C., & Fowler, J. A. (1987). Plastic pellets in New Zealand storm-killed prions (*Pachyptila* spp.) 1958-1977. *Birds New Zealand*. <https://www.birdsnz.org.nz/publications/plastic-pellets-in-new-zealand-storm-killed-prions-pachyptila-spp-1958-1977-2/>
- Hatami, M., Banaee, M., & Nematdoost Haghi, B. (2019). Sub-lethal toxicity of chlorpyrifos alone and in combination with polyethylene glycol to common carp (*Cyprinus carpio*). *Chemosphere*, 219, 981–988. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.12.077>
- Hu, K., Yang, Y., Zuo, J., & Tian, W. (2022). *Emerging microplastics in the environment: Properties, distributions, and impacts—ScienceDirect*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653522006117>
- Huang, D., Tao, J., Cheng, M., Deng, R., Chen, S., Yin, L., & Li, R. (2020). Microplastics and nanoplastics in the environment: Macroscopic transport and effects on creatures. *Journal of Hazardous Materials*, 407, 124399. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124399>
- Cheung, P. K., Hung, P., & Fok, L. (2018). River Microplastic Contamination and Dynamics upon a Rainfall Event in Hong Kong, China. *Environmental Processes*, 6. <https://doi.org/10.1007/s40710-018-0345-0>

- Jabeen, K., Li, B., Chen, Q., Su, L., Wu, C., Hollert, H., & Shi, H. (2018). Effects of virgin microplastics on goldfish (*Carassius auratus*). *Chemosphere*, 213, 323–332. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.09.031>
- Jabeen, K., Su, L., Li, J., Yang, D., Tong, C., Mu, J., & Shi, H. (2017). Microplastics and mesoplastics in fish from coastal and fresh waters of China. *Environmental Pollution*, 221, 141–149. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.11.055>
- Jâms, I., Windsor, F., Poudevigne-Durance, T., Ormerod, S., & Durance, I. (2020). *Estimating the size distribution of plastics ingested by animals* | *Nature Communications*. <https://www.nature.com/articles/s41467-020-15406-6>
- Kalčíková, G. (2020). Aquatic vascular plants—A forgotten piece of nature in microplastic research. *Environmental Pollution (Barking, Essex: 1987)*, 262, 114354. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114354>
- Li, C., Busquets, R., & Campos, L. C. (2020). Assessment of microplastics in freshwater systems: A review. *The Science of the Total Environment*, 707, 135578. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135578>
- Limonta, G., Mancina, A., Benkhalqui, A., Bertolucci, C., Abelli, L., Fossi, M. C., & Panti, C. (2019). Microplastics induce transcriptional changes, immune response and behavioral alterations in adult zebrafish. *Scientific Reports*, 9(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-52292-5>
- Lobelle, D., & Cunliffe, M. (2011). Early microbial biofilm formation on marine plastic debris. *Marine pollution bulletin*, 62, 197–200. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.10.013>
- Lu, Y., Zhang, Y., Deng, Y., Jiang, W., Zhao, Y., Geng, J., Ding, L., & Ren, H. (2016). Uptake and Accumulation of Polystyrene Microplastics in Zebrafish (*Danio rerio*) and Toxic Effects in Liver. *Environmental Science & Technology*, 50(7), 4054–4060. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b00183>
- Lusher, A. L., Welden, N. A., Sobral, P., & Cole, M. (2017). Sampling, isolating and identifying microplastics ingested by fish and invertebrates. *Analytical Methods*, 9(9), 1346–1360. <https://doi.org/10.1039/C6AY02415G>
- Lusher, A., O'Donnell, C., Officer, R., & O'Connor, I. (2016). *Microplastic interactions with North Atlantic mesopelagic fish* | *ICES Journal of Marine Science* | *Oxford Academic*. <https://academic.oup.com/icesjms/article/73/4/1214/2457960>
- Lysáček, F. (2014). *Zlín—Chlumské rybníky*. <https://www.turistika.cz/mista/zlin-chlumske-rybniky/detail>
- Ma, H., Pu, S., Liu, S., Bai, Y., Mandal, S., & Xing, B. (2020). Microplastics in aquatic environments: Toxicity to trigger ecological consequences. *Environmental Pollution*, 261, 114089. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114089>
- Marine Litter Solutions. (2011). What are Plastic Microbeads? *Marine Litter Solutions*. <https://www.marinelittersolutions.com/about-us/countries/united-states/what-are-plastic-microbeads/>
- Markic, A., Gaertner, J.-C., Gaertner-Mazouni, N., & Koelmans, A. A. (2020). Plastic ingestion by marine fish in the wild. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 50(7), 657–697. <https://doi.org/10.1080/10643389.2019.1631990>

- Mitáček, B. (2022). *Vodní díla a rybníky v Hluku a jeho okolí*. <http://www.kronikahluk.cz/index.php?id=vodni-dila-a-rybniky-v-hluku-a-jeho-okoli>
- National Geographic Society. (2022). *Microplastics* | National Geographic Society. <https://education.nationalgeographic.org/resource/microplastics>
- Ory, N. C., Gallardo, C., Lenz, M., & Thiel, M. (2018). Capture, swallowing, and egestion of microplastics by a planktivorous juvenile fish. *Environmental Pollution*, 240, 566–573. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.04.093>
- Pannetier, P., Morin, B., Le Bihanic, F., Dubreil, L., Clérandeau, C., Chouvellon, F., van Arkel, K., Danion, M., & Cachot, J. (2019). Environmental samples of microplastics induce significant toxic effects in fish larvae. *Environment international*, 134, 105047. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105047>
- Parker, B., Andreou, D., Green, I. D., & Britton, J. R. (2021). Microplastics in freshwater fishes: Occurrence, impacts and future perspectives. *Fish and Fisheries*, 22(3), 467–488. <https://doi.org/10.1111/faf.12528>
- Pauly, D. V., Christensen, V., Dalsgaard, J., Froese, R. M., & Torres, F. C. (1998). Fishing Down Marine Food Webs. *Science (New York, N.Y.)*, 279, 860–863. <https://doi.org/10.1126/science.279.5352.860>
- PlasticEurope. (2022). *Plastics—The Facts 2022 • Plastics Europe. Plastics Europe*. <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2022/>
- Podlesná, V. (2021). *Při jednom praní se uvolní až 700 tisíc mikrovláken, na vině je syntetické oblečení*. Ekonews. <https://www.ekonews.cz/pri-jednom-prani-se-uvolni-az-700-tisic-mikrovlak-ten-na-vine-je-synteticke-obleceni/>
- Prata, J. C., da Costa, J. P., Lopes, I., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T. (2020). Environmental exposure to microplastics: An overview on possible human health effects. *The Science of the Total Environment*, 702, 134455. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134455>
- Rodriguez, F. (2022). *Plastic | Composition, History, Uses, Types, & Facts* | Britannica. <https://www.britannica.com/science/plastic>
- Savoca, Matanović, K., D'Angelo, G., Vetri, V., Anselmo, S., Bottari, T., Mancuso, M., Kužir, S., Spanò, N., Capillo, G., Di Paola, D., Valić, D., & Gjurčević, E. (2021). Ingestion of plastic and non-plastic microfibers by farmed gilthead sea bream (*Sparus aurata*) and common carp (*Cyprinus carpio*) at different life stages. *Science of The Total Environment*, 782, 146851. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146851>
- Savoca, McInturf, A. G., & Hazen, E. (2021). *Plastic ingestion by marine fish is widespread and increasing—Savoca—2021—Global Change Biology—Wiley Online Library*. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/gcb.15533>
- Shaw, D. G., & Day, R. H. (1994). Colour- and form-dependent loss of plastic micro-debris from the North Pacific Ocean. *Marine Pollution Bulletin*, 28(1), 39–43. [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(94\)90184-8](https://doi.org/10.1016/0025-326X(94)90184-8)
- Song, J., Hou, C., Zhou, Y., Liu, Q., Wu, X., Wang, Y., & Yi, Y.-J. (2020). The flowing of microplastics was accelerated under the influence of artificial flood generated

- by hydropower station. *Journal of Cleaner Production*, 255, 120174. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120174>
- Song, Y. K., Hong, S. H., Jang, M., Kang, J.-H., Kwon, O. Y., Han, G. M., & Shim, W. J. (2014). Large accumulation of micro-sized synthetic polymer particles in the sea surface microlayer. *Environmental Science & Technology*, 48(16), 9014–9021. <https://doi.org/10.1021/es501757s>
- Talvitie, J., Mikola, A., Koistinen, A., & Setälä, O. (2017). Solutions to microplastic pollution—Removal of microplastics from wastewater effluent with advanced wastewater treatment technologies. *Water Research*, 123, 401–407. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.07.005>
- Taniguchi, I., Yoshida, S., Hiraga, K., Miyamoto, K., Kimura, Y., & Oda, K. (2019). Biodegradation of PET: Current Status and Application Aspects. *ACS Catalysis*, 9, 4089–4105. <https://doi.org/10.1021/acscatal.8b05171>
- Teuten, E., Saquing, J., Knappe, D., & Barlaz, M. (2009). (PDF) *Transport and release of chemicals from plastic to the environment and to wildlife*. https://www.researchgate.net/publication/26293579_Transport_and_release_of_chemicals_from_plastic_to_the_environment_and_to_wildlife
- Thompson, R. C., Olsen, Y., Mitchell, R., Davis, A., Rowland, S., John, A., McGonigle, D., & Russell, A. (2004). *Lost at Sea: Where Is All the Plastic?* | *Science*. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1094559>
- Thompson, R. C., Swan, S. H., Moore, C. J., & vom Saal, F. S. (2009). Our plastic age. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 1973–1976. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0054>
- Tománek, M. (2019). Mikroplasty v životním prostředí a zdraví. *Vodní hospodářství*. <https://vodnihospodarstvi.cz/mikroplasty-v-zivotnim-prostredi-a-e2%80%afzdravi/>
- USEPA. (2019). *U.S. Environmental Protection Agency | US EPA*. <https://www.epa.gov/>
- Van Cauwenberghe, L., Devriese, L., Galgani, F., Robbins, J., & Janssen, C. (2015). *Microplastics in sediments: A review of techniques, occurrence and effects* | *Elsevier Enhanced Reader*. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2015.06.007>
- Verschoor, A. J. (2015). *Towards a definition of microplastics*. 42.
- Wang, J., Tan, Z., Peng, J., Qiu, Q., & Li, M. (2016). The behaviors of microplastics in the marine environment. *Marine Environmental Research*, 113, 7–17. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2015.10.014>
- Watson, R., Revenga, C., & Kura, Y. (2006). Fishing gear associated with global marine catches: I. Database development. *Fisheries Research*, 79, 97–102. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2006.01.010>
- Wen, B., Jin, S.-R., Chen, Z.-Z., Gao, J.-Z., Liu, Y.-N., Liu, J.-H., & Feng, X.-S. (2018). Single and combined effects of microplastics and cadmium on the cadmium accumulation, antioxidant defence and innate immunity of the discus fish (*Symphysodon aequifasciatus*). *Environmental Pollution (Barking, Essex: 1987)*, 243(Pt A), 462–471. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.09.029>

- Wicaksono, L. L. (2023, únor 17). *Which Countries Pollute the Most Ocean Plastic Waste?* Visual Capitalist. <https://www.visualcapitalist.com/cp/visualized-ocean-plastic-waste-pollution-by-country/>
- Wright, S. L., Thompson, R. C., & Galloway, T. S. (2013). The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review. *Environmental Pollution*, 178, 483–492. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.02.031>
- Wurl, & Obbard. (2004). *Doi:10.1016/j.marpolbul.2004.03.016 | Elsevier Enhanced Reader*. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2004.03.016>
- Xia, X., Sun, M., Zhou, M., Chang, Z., & Li, L. (2020). Polyvinyl chloride microplastics induce growth inhibition and oxidative stress in *Cyprinus carpio* var. Larvae. *The Science of the Total Environment*, 716, 136479. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136479>
- Yousif, E., & Haddad, R. (2013). Photodegradation and photostabilization of polymers, especially polystyrene: Review. *SpringerPlus*, 2. <https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-398>
- Zarfl, C., & Matthies, M. (2010). Are marine plastic particles transport vectors for organic pollutants to the Arctic? *Marine pollution bulletin*, 60, 1810–1814. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.05.026>
- Zhang, H. (2017). Transport of microplastics in coastal seas. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 199, 74–86. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2017.09.032>
- Zhang, Y., Kang, S., Allen, S., Allen, D., Gao, T., & Sillanpää, M. (2020). Atmospheric microplastics: A review on current status and perspectives. *Earth-Science Reviews*, 203, 103118. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103118>

Přílohy

Číslo vzorku	Počet částic	Vlákna	Fragmenty
1.	0	0	0
2.	1	1	0
3.	3	3	0
4.	4	4	0
5.	2	2	0
6.	4	4	0
7.	3	3	0
8.	1	1	0
9.	8	8	0
10.	3	3	0

Příloha 1: Počet a tvar nalezených částic z kaprů chycených v 1. oblasti

Číslo vzorku	Počet částic	Vlákna	Fragmenty
1.	0	0	0
2.	0	0	0
3.	3	3	0
4.	2	2	0
5.	0	0	0
6.	1	1	0
7.	8	8	0
8.	4	4	0
9.	3	2	1
10.	4	4	0

Příloha 2: Počet a tvar nalezených částic z kaprů chycených v 2. oblasti

Číslo vzorku	Počet částic	Barva			
		Černá	Modrá	Červená	Zelená
1.	0	0	0	0	0
2.	1	1	0	0	0
3.	3	1	1	1	0
4.	4	3	1	0	0
5.	2	2	0	0	0
6.	4	3	1	0	0
7.	3	1	1	0	1
8.	1	1	0	0	0
9.	8	0	7	1	0
10.	3	0	2	1	0

Příloha 3: Barva nalezených částic z kaprů chycených v 1. oblasti

Číslo vzorku	Počet částic	Barva		
		Černá	Modrá	Červená
1.	0	0	0	0
2.	0	0	0	0
3.	3	0	3	0
4.	2	0	1	1
5.	0	0	0	0
6.	1	1	0	0
7.	8	2	2	4
8.	4	0	4	0
9.	3	1	1	1
10.	4	0	4	0

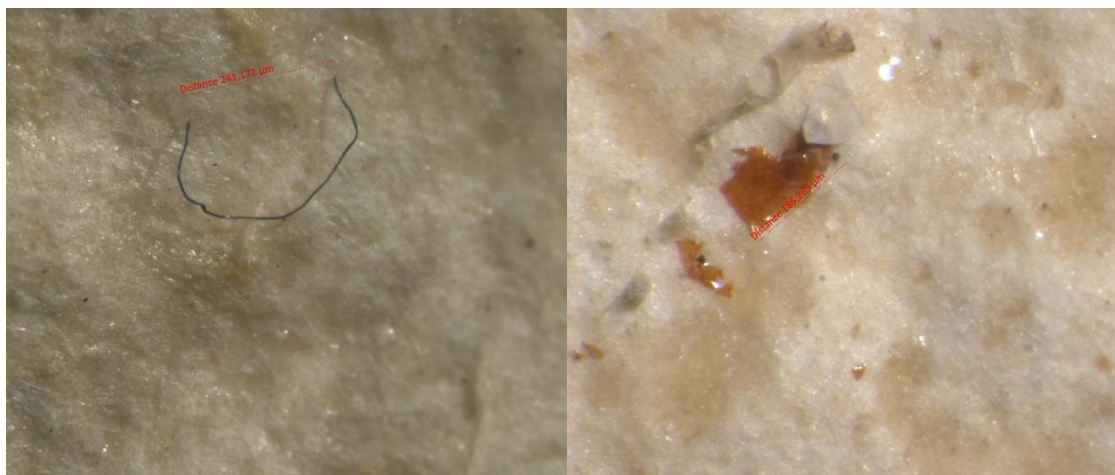
Příloha 4: Barva nalezených částic z kaprů chycených v 2. oblasti

Číslo vzorku	Počet vláken	Délka jednotlivých vláken (μm)							
1.	0								
2.	1	482,4							
3.	3	243,9	359,5	457,6					
4.	4	65,2	59,6	241,2	190,1				
5.	2	88,1	77,1	78,4					
6.	4	87	188,4	137,6	307				
7.	3	543,3	495,1	154,6					
8.	1	585,1							
9.	8	503,3	477,7	357,2	227,4	138,6	274,7	546,5	546,9
10.	3	100,1	191,9	276,6					

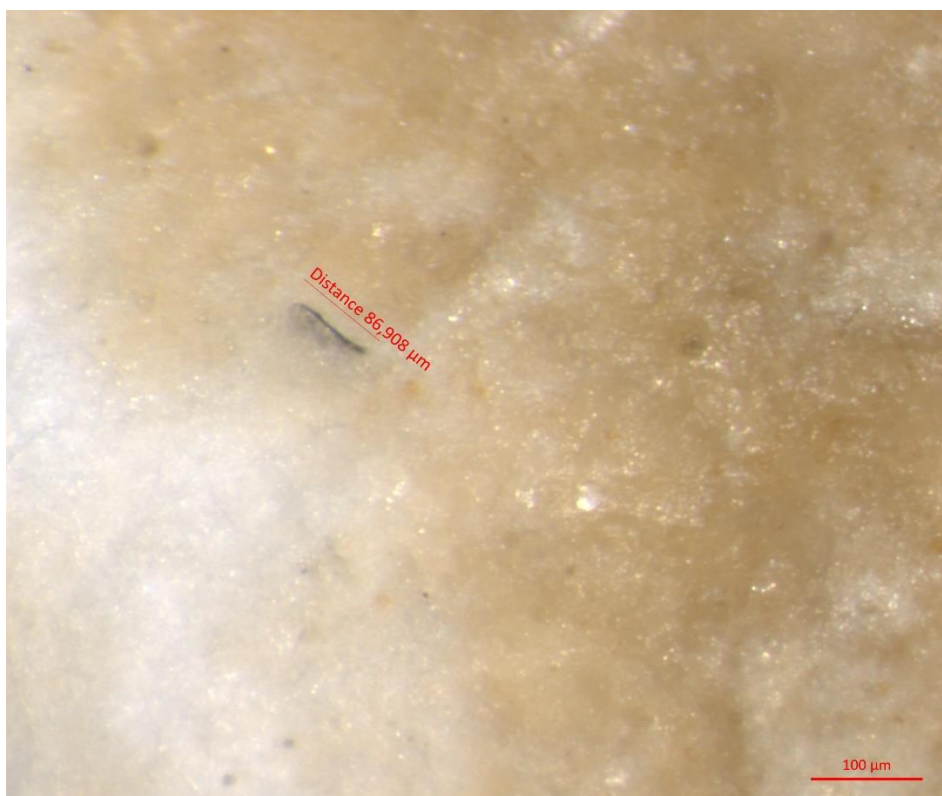
Příloha 5: Délka nalezených vláken z kaprů chycených v 1. oblasti

Číslo vzorku	Počet vláken	Délka jednotlivých vláken (μm)							
1.	0								
2.	0								
3.	3	317,5	728,6	359,4					
4.	2	670,6	337,5						
5.	0								
6.	1	187,3							
7.	8	165,7	232,6	454,5	348,5	289,8	269,6	385,7	195,7
8.	4	120,7	179,2	196,9	206,3				
9.	3	238,7	186,3	135,2					
10.	4	129,6	212,9	440,9	86,9				

Příloha 6: Délka nalezených vláken z kaprů chycených v 2. oblasti



Příloha 7: Tvar částic - vlákno (vlevo), fragment (vpravo)



Příloha 8: Velikost částic