

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Biološki odsjek

Ivna Azinović

Utjecaj mikroplastike na makrozoobentos

Završni rad

Zagreb, 2024.

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Biology

Ivna Azinović

Impact of microplastics on macrozoobenthos

Bachelor thesis

Zagreb, 2024.

Ovaj završni rad je izrađen u sklopu studijskog programa Znanosti o okolišu na Zoologijskom zavodu biološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu, pod mentorstvom prof. dr. sc. Marka Miliše.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Biološki odsjek

Završni rad

Utjecaj mikroplastike na makrozoobentos

Ivna Azinović

Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

Zbog svoje ekonomske isplativosti i mnogostruke upotrebe, plastika je postala neizostavan dio ljudskog života. Po završetku njene upotrebe, nerijetko završava u okolišu gdje se zbog fizičkih i kemijskih procesa degradira u manje čestice. Mikroplastika danas predstavlja velik problem u svim ekosustavima jer uzrokuje negativne posljedice organizmima koji dolaze s njom u kontakt. Nakon unosa čestica mikroplastike zajedno s hranom i vodom kod organizama koji čine zajednice makrozoobentosa, ali i kod svih drugih živih bića, se nakon nekog vremena počinju javljati promjene. Zabilježene promjene su u obliku oštećenja probavnog trakta, smanjenog i usporenog rasta, morfoloških deformacija, odumiranja tkiva i povećane razine smrtnosti. Na to koliko će posljedice biti velike utječe veličina i vrsta čestice mikroplastike. Osim što negativno utječe na beskralješnjake koji žive u vodenim okolišima, procesom bioakumulacije, mikroplastika uzrokuje još veće probleme organizmima viših trofičkih razina, uključujući i ljude kod kojih uz mehanička oštećenja i bolesti, uzrokuje i tumore.

Ključne riječi: plastika, makroskopski beskralješnjaci, bioakumulacija
(24 stranice, 3 slike, 0 tablica, 33 literaturnih navoda, jezik izvornika: hrvatski)
Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici

Mentor: prof. dr. sc. Marko Miliša

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Biology

Bachelor thesis

Impact of microplastics on macrozoobenthos

Ivna Azinović

Rooseveltova trg 6, 10000 Zagreb, Croatia

Due to its economical profitability and wide range of use, plastic has become an indispensable part of our lives. Upon completion of its usage, it quite often ends up in the environment, where it degrades into smaller pieces caused by physical and chemical transformations.

Today, microplastics represent a major problem in all ecosystems because they cause negative consequences for organisms that encounter them. Changes begin to appear, after the consumption of microplastic particles together with food and water, in the macrozoobenthic communities, as well as in other living beings. The recorded changes are in the form of damage to the digestive tract, reduced and slowed growth, morphological deformations, tissue necrosis and increased mortality. The severity of consequences is influenced by the size and type of microplastic. In addition to negatively affecting invertebrates living in aquatic environments, through the process of bioaccumulation; microplastics cause even greater problems for organisms of higher trophic levels, including humans, where, in addition to mechanical damage and diseases, they also cause tumors.

Keywords: plastic, macroscopic invertebrates, bioaccumulation
(24 pages, 3 figures, 0 tables, 33 references, original in: Croatian)
Thesis is deposited in Central Biological Library.

Mentor: prof. dr. sc. Marko Miliša

Sadržaj

1. Uvod	1
2. Mikroplastika.....	2
2.1. Što je mikroplastika i koji su njeni izvori.....	2
2.2. Kako nastaje mikroplastika.....	2
2.2.1. Abiotička degradacija plastike.....	2
2.2.2. Biotička degradacija plastike.....	4
2.3. Porijeklo mikroplastike.....	5
2.3.1. Vizualna karakterizacija	5
2.3.2. Kemijska karakterizacija	6
2.4. Transport mikroplastike u okoliš	7
3. Utjecaj mikroplastike na makrozoobentos	9
3.1. Kako makrozoobentos dolazi u kontakt s mikroplastikom?.....	9
3.2. Sastav funkcionalnih hranidbenih skupina u odnosu na količine unesene mikroplastike.....	9
3.3. Utjecaj na život i životne funkcije	12
4. Utjecaj mikroplastike na druge organizme	15
4.1. Utjecaj na ribe i vodozemce	15
4.1.1. Utjecaj na ribe	15
4.1.2. Utjecaj na vodozemce	16
4.2. Utjecaj na čovjeka.....	17
5. Zaključak.....	19
6. Literatura	20
7. Životopis	24

1.Uvod

Naziv plastika se koristi za opisivanje svih sintetskih materijala sastavljenih od polimernih lanaca. Polimerni lanci koji se koriste za proizvodnju plastike nastaju polimerizacijom monomera nafte i zemnog plina. Takvi materijali imaju široku upotrebu zbog svojih pozitivnih karakteristika kao što su mala masa, fleksibilnost, otpornost na koroziju, izdržljivost, niska cijena proizvodnje. Najzastupljeniji oblici plastike koji se proizvode su polipropilen (PP), polietilen (PE-LD) te polivinilklorid (PVC) (PlasticsEurope 2023).

Sveobuhvatna upotreba plastike i njen utjecaj na Zemlju, tijekom zadnjih nekoliko desetljeća, razlog je zabrinutosti mnogih znanstvenika, ali i šire javnosti. Svake godine ljudi proizvode oko 400 milijuna tona plastike. Trenutnim tendencijama korištenja plastike, očekuje se da će ta brojka eksponencijalno rasti. Najznačajniji problem proizvodnje plastike je što je najveći dio za jednokratnu upotrebu (plastične vrećice, čaše, pribor za jelo, itd.) te na kraju zbog lošeg upravljanja i skladištenja otpadom, vrlo brzo nakon proizvodnje završava u okolišu. Plastika u okolišu predstavlja onečišćivača, a s vremenom je okolišni čimbenici usitnjavaju te je pretvaraju u makroplastiku, mikroplastiku i nanoplastiku koje se zbog spore biorazgradnje u okolišu mogu zadržati stoljećima.

Makrozoobentos su makroskopski vidljivi beskralješnjaci koje žive na dnima vodnih tijela bitni u hranidbenom lancu, prijenosu tvari i energije. Makrozoobentos je osjetljiv na bilo kakve promjene u okolišu, ne samo na promjene fizikalno-kemijskih parametara (temperatura, pH, količina otopljenog kisika, organsko opterećenje itd.), nego i na prisustvo onečišćivača i zagađivača (otpadne vode, plastika, mikroorganizmi, itd.) koje se očituju u sastavu i brojnosti jedinki te stoga služe i kao bioindikator². Praćenjem njihove brojnosti i sastava vrsta posljedično možemo pratiti stanje i kakvoću okoliša.

2. Mikroplastika

2.1. Što je mikroplastika i koji su njeni izvori

Sve čestice plastike čija je veličina između 1 µm i 5 mm nazivamo mikroplastikom (PlasticsEurope 2024.).

Izvori mikroplastike su nepravilno skladišten plastični otpad koji često završava u okolišu otpuhivanjem ili ispiranjem. Plastična pakiranja, ostaci strugotina automobilskih guma, sintetičke tkanine, poliuretanske pjene, najloni koji služe za prekrivanje usjeva, boje, kemikalije koje se koriste u raznim industrijama te higijenske potrepštine samo su neki od mogućih kopnenih izvora koji stvaraju između 75 % i 90 % mikroplastike. S druge strane, između 10 % i 25 % mikroplastike nastaje u morima i oceanima, a neki od najvećih izvora su: izgubljene ribarske mreže i druga sredstva korištena u akvakulturi, izgubljeni paketi u transportu, dijelovi brodova te ostaci vojnih aktivnosti (Duis i Coors 2016).

2.2. Kako nastaje mikroplastika

Po završetku svoje svrhe (pakiranje, transport, materijal, itd.), plastika ili njeni ostaci se odlažu na za to predviđena mjesta kao što su odlagališta otpada ili centri za reciklažu. Unatoč svim naporima koji se ulažu da plastični otpad tamo ostane, velik dio na kraju ipak završi u okolišu, što na kopnu što u vodnim tijelima, gdje se abiotičkim i biotičkim putem makroplastika (čestice veće od 5 mm) degradiraju i formiraju mikroplastiku (slika 1) (Osman i sur. 2023).

Brzim razvitkom industrije pojavila se potreba za korištenjem plastike kao materijala za proizvodnju različitih proizvoda. Ta potreba pokrenula je novu industriju – industriju za proizvodnju mikroplastike. Takva mikroplastika, formirana s ciljem daljnje upotrebe u kozmetici, bojama ili lijekovima predstavlja primarni način proizvodnje mikroplastike.

2.2.1. Abiotička degradacija plastike

Abiotička degradacija plastike uključuje sve fizikalne i kemijske promijene na plastici uzrokovane abiotičkim čimbenicima kao što su temperatura, UV zrake, prisutnost kisika i

mehanička sila (Zhang i sur. 2021). Do kojeg procesa abiotičke degradacije će doći, određuje prisutnost i izražajnost okolišnih utjecaja.

Fotooksidativna degradacija smatra se najvažnijim procesom koji pokreće stvaranje mikroplastike u kojem UV zrake i vidljiva svjetlost iniciraju reakciju razgradnje. Ovakvom degradacijom, u kojoj iz polimera nastaju esteri, aldehidi i propilne grupe, smanjuju se mehanička svojstva plastike, ali i njena molekularna masa i životni vijek (Manzoor i sur. 2022). Do ove degradacije osim na kopnu, može doći i u vodene ekosustave, da svim dubinama na kojim su UV zrake prisutne. Otpornost plastike na fotooksidativnu degradaciju, ovisi o vrsti plastike, duljini polimernih lanaca te količini kromofora (Zhang i sur. 2021).

Termalna degradacija uzrokovana je degradacijom iniciranom toplinom. Vrlo je slična fotooksidativnoj degradaciji, ali se za razliku od fotooksidativne degradacije, čiji se početak mora razvijati na samoj površini plastike, do termalne degradacije može doći bilo gdje (Manzoor i sur. 2022). Apsorpcijom topline, polimerni lanci mijenjaju svoj oblik izgled te dolazi do pucanja.

Proces kemijske degradacije pokreću ozon i drugi prisuti zagađivači u atmosferi, kao što je sumporov dioksid, u trenutku kada su u direktnom kontaktu s plastikom čije su posljedice formacija različitih karbonilnih produkata, ali i starenje polimernih lanaca (Manzoor i sur. 2022). U ovakvim kemijskim reakcijama, UV zračenje i toplina djeluju kao katalizatori. U vodenim ekosustavima, do kemijske degradacije plastike najčešće dolazi zbog promjene pH vrijednosti, saliniteta ili temperature (Zhang i sur. 2021).

Mehaničku degradaciju plastike uzrokuju prisutnost i djelovanje vanjskih sila u okolišu. Krajnji rezultat mehaničke degradacije je promjena veličine (smanjenje) i plastične čestice. Najčešća vanjska, mehanička sila je trenje nastalo sudarom plastike s drugim predmetima u okolišu uzrokovano djelovanjem vjetra ili vodenih valova. Promjene nastale uzrokovana promjenom temperature (smanjenje temperature) ili tlaka (povećanje tlaka) također ubrajamo u mehaničku degradaciju plastike. Jedan od najčešćih oblika mikroplastike nastale ovim načinom su strugotine automobilskih guma i niti tkanine sintetičkih materijala nastale nošenjem i pranjem sintetičkih materijala (Zhang i sur. 2021).

Katalitička degradacija, najčešće se odvija na mjestima gdje se skladišti plastični otpad, materijali kao što su polistiren, polipropilen i polieten počinju formirati ugljikovodike. Ti

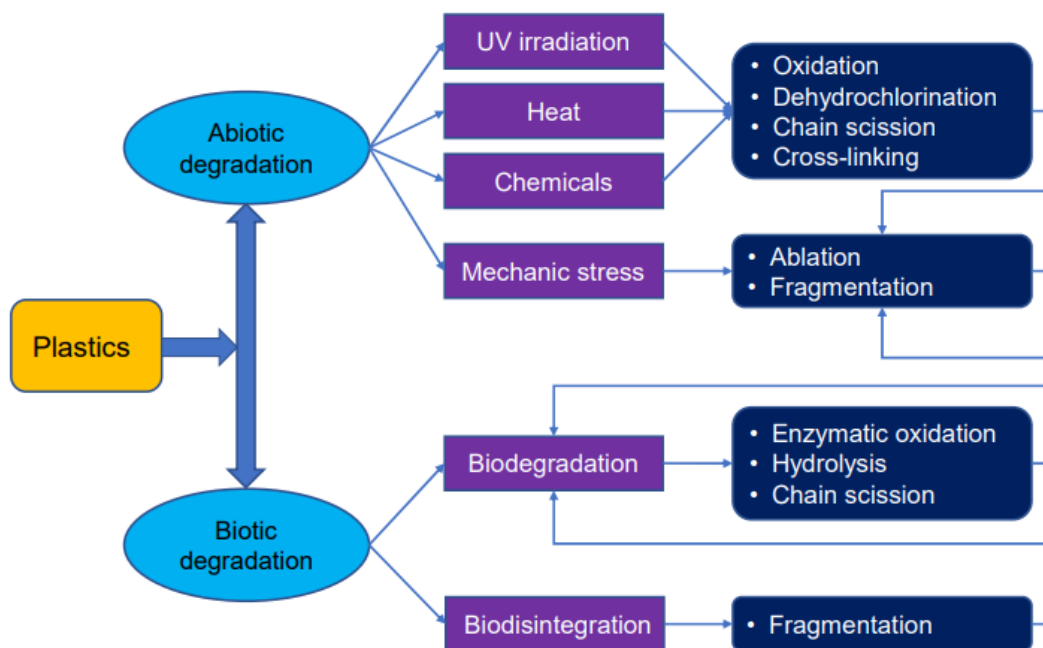
ugljikovodici se kasnije katalitički degradiraju u ulja i plinove koji se kasnije mogu koristiti kao izvori energije (Manzoor i sur. 2022).

2.2.2. Biotička degradacija plastike

Biotička degradacija plastike ili biodegradacija, je razgradnja plastike djelovanjem živih organizama. Tip biotičke degradacije ovisi o tome je li promjena uzrokovana mehaničkom ili kemijskom promjenom (Zhang i sur. 2021).

Biodezintegracija je promjena veličine i oblika plastike mehaničkim putem kao npr. žvakanje, trganje, usitnjavanje, gnječenje, itd. (Zhang i sur. 2021).

Biodegradacija može biti mehanička i kemijska. Mikroorganizmi kao što su bakterije, najčešće su odgovorni za ovakav tip degradacije. Na površini plastike bakterije stvaraju kolonije. Tijekom životnog ciklusa i procesa nužnih za preživljavanje stvaraju različite enzime koji kemijski degradiraju plastiku. Na taj način povećava se površina čestice te na njoj stvaraju nova mjesta za širenje kolonija. Biodegradacijom ne mijenja se samo oblik i veličina čestice, već i njena masa te gustoća (Manzoor i sur. 2022).



Slika 1. Prikaz mogućih puteva degradacije plastike (preuzeto iz Zhang i sur. 2021)

2.3. Porijeklo mikroplastike

Primarna mikroplastika se proizvodi u specijaliziranim industrijama te se kasnije ona najčešće koristi u obliku kuglica u kozmetičkim proizvodima kao abrazivno sredstvo (pilinzi). Mikrokuglice ili mikroperlice se također nalaze i u sredstvima za čišćenje te raznim lakovima i bojama (Rochman i sur. 2015).

Nadalje, jedan od zastupljenijih oblika primarne mikroplastike su šljokice koje se koriste u dekorativnoj kozmetici, tekstilima i priboru za različite hobije. Šljokice mogu biti različitih oblika, boja i veličina. Njihov izgled je jako efektan, ali one nerijetko završavaju na koži, tkanini i podu te posljedično u okolišu i vodi. Osim standardnih šljokica danas se proizvode i biorazgradive te jestive šljokice (Yurtsever 2019). Zbog svoje kratkoročne upotrebe, ali dugog životnog vijeka u okolišu, Europska komisija je u listopadu 2023. godine zabranila proizvodnju svih šljokica koje nisu biorazgradive (Europska komisija 2023).

Sekundarna mikroplastika, nastala degradacijom plastike, predstavlja puno veće probleme u okolišu od primarne mikroplastike, primarno zbog toga što je količinski puno zastupljenija. Većina plastičnog otpada, što vjetrom, što vodom, nakon nekog vremena završava u okolišu. Nadalje, zbog potrebe modernog društva za stalnim jeftinim novitetima u modnoj industriji („Fast Fashion“), proizvodnja sintetičkih materijala neprestano raste. Takvi materijali proizvode se od različitih plastičnih vlakna, od kojih je najčešće zastupljen poliester. Zbog pokušaja smanjenja otpada, danas se nove tkanine proizvode iz starih recikliranih materijala s dodatkom plastike. Nošenjem, pranjem i sušenjem odjeće koja je napravljena od sintetičkih vlakana, odlamaju se sitni komadi koji završavaju u okolišu. Također, većina oblika transporta koriste gume. Kočenjem se gume troše, a na cesti ostaju strugotine istih. U svrhu zaštite proizvoda za vrijeme transporta, često se koriste plastične folije, vrećice ili plastificirane kutije. Upotreba plastičnih proizvoda je beskrajno široka, ali nakon što ljudi završe s korištenjem istih, oni vrlo brzo završavaju u okolišu gdje nekim oblikom degradacije postaju mikroplastika (Duis i Coors 2016).

2.3.1. Vizualna karakterizacija

Vizualna karakterizacija mikroplastike, iako nije najpreciznija metoda, veoma je važna u istraživanjima jer je brza, jeftina i ne zahtijeva dodatno osoblje. Kako bi neka čestica mogla biti

opisana vizualno, promatraju se njena morfologija, optička svojstva te ponašanje (Lusher i sur. 2017).

Morfologija čestica podrazumijeva veličinu, oblik i teksturu površine. Čestica se uglavnom svrstava u određenu morfološku kategoriju s obzirom na njen oblik, pa u većini ključeva za vizualnu klasifikaciju možemo pronaći kategorije sfera (mala, čvrsta, sferična čestica), pelet (polusferična čestica, izdužena, oblik leće), fragment (nastali rezultatom degradacije većih komada plastike, vidljiva degradacija, nepravilan, izlomljen rub), niti (izduženost u jednoj dimenziji, duge, ali tanke čestice), film (tanke čestice koje podsjećaju na sloj tkanine ili papira, jako fleksibilne), itd... (Markley i sur. 2024). Iako ova metoda nije pouzdana, svejedno se prilikom identifikacije preporuča zabilježiti o koje bje su bile prisutne jer se takve informacije kasnije mogu koristiti za istraživanja u kojima se prati preferiraju li određeni organizmi određene boje čestica više od drugih (Lusher i sur. 2020).

U optička svojstva čestice ubrajamo njenu boju i sposobnost reflektiranja svjetla. Boja nije najpouzdanije svojstvo za opisivanje mikroplastike jer se ona tijekom vremena, zbog okolišnih uvjeta može promijeniti.. Kod reflektivnih svojstva gledamo propušta li čestica zrake svjetlosti kroz sebe ili ne. Struktura unutarnje građe (kristalna ili amorfna) utječe na propusnost svjetla, tako će čestice kristalne strukture buno bolje propuštati svjetlost od onih amorfne građe. Također, promatra se odbija li čestica svjetlost pod nekim kutom, je li njena površina sjajna ili ne te mijenjaju li se navedena svojstva ako je zraka svjetlosti polarizirana ili je čestica drugačije pozicionirana (Lusher i sur. 2020).

Informacija o ponašanju čestica u određenim uvjetima, pomaže nam razumjeti njena fizikalna svojstva. Čestice koje ne pucaju kad su rastegnute ili kad ne na njih stavlja određeni fizički pritisak u sebi imaju spojeve elastomere. S druge strane, čestice koje lako pucaju, najčešće imaju veliku gustoći i napravljene su od organskih materijala. Nadalje, postoje i čestice koje se prilikom rukovanja deformiraju, ali po završetku, njihov oblik se vraća u početni (Lusher i sur. 2020).

2.3.2. Kemijska karakterizacija

Nakon što se vizualnom karakterizacijom utvrdi da je u uzorku prisutna mikroplastika, čestice iste se šalju na detaljnije analize kako bi se ustanovilo o kojoj vrsti mikroplastike je točno

riječ. Kemijska karakterizacija nam govori o kojem je točno polimernom lancu riječ te koji je sastav neke čestice. Najčešći spojevi koji čine čestice mikroplastike su polipropilen (PP), polietilen (PE) i polivinilklorid (PVC), ali znanstvenici se često susreću i s polistirenom (PS), poliamidom (PA), polietilen tereftalatom (PET) te mnogim drugima. Nakon optičke mikroskopije, najčešći način kemijske karakterizacije su različite spektroskopske metode (Fourier Transform infracrvena (FTIR) i Ramanova spektroskopija). Nakon analize dobivenih spektara, stručnjaci sa sigurnošću mogu reći o kojem se materijalu radi (Sarkar i sur. 2023).

2.4. Transport mikroplastike u okoliš

Formacija novih čestica mikroplastike je neprekidan proces. Neovisno o izvoru i mjestu nastanka čestica, one će u jednom trenutku biti transportirane u okoliš.

Prijenos čestica s kopna u vodu i obrnuto čest je oblik transporta. Površinskim otjecanjem, čestice mikroplastike su pokupljene s tla te ih tok vode prenosi do većih vodnih tijela. Netretirane otpadne vode i kanalizacija prenose čestice iz npr. kućanstava, industrije ili poljoprivrednih zemljišta do zemlje ili vodnih tijela. S druge strane, morske struje i rijeke, mogu izbaciti mikroplastiku nazad na kopno. Zone plime i oseke dobar su primjer gdje je prijenos s kopna u vodu i obrnuto stalno prisutan.

Erozija tla (vjetrom, vodom ili temperaturom) i transport sedimenta isto su način prijenosa mikroplastike u okoliš. Erozijom se fiksirana mikroplastika oslobađa te ponovno postaje mobilna. Struje i snaga toka vode uzrokuju transport sedimenta s jednog dijela vodenog toka na drugi te se u tom transporu, osim samog sedimenta koji je tamo prirodnim putem, prenosi i sve ostalo što je pomiješano s česticama sedimenta.

Stanje atmosfere također utječe na prijenos čestica u okoliš. Pelud i čestice prašine zbog vlage u zraku na sebe mogu vezati mikroplastiku koja će se kasnije uz pomoć padalina ispirati iz atmosfere i završit će u vodi ili na tlu. Također, vjetar otpuhuje površinski sloj tla te se čestice tog sloja (u kojem je često nalazimo i mikroplastiku) transportiraju na druga mjesta.

Živi organizmi također prenose mikroplastiku u i kroz okoliš. Mali organizmi, prehranom u sebe unose čestice mikroplastike, te male organizme će kasnije pojesti viši članovi hranidbenog lanca, a mikroplastika će se bioakumulirati i prenosit će se dalje. Osim prehranom, organizmi

mikroplastiku mogu prenositi dlakom, perjem ili nekim drugim dijelom tijela. Osim životinja, ljudi također prenose mikroplastiku u okoliš. Uz samu proizvodnju plastike (koja nakon upotrebe nije dobro zbrinuta) ljudi mikroplastiku prenose u okoliš drugim načinima. Korištenjem proizvoda za osobnu higijenu koji sadrže mikroplastiku (kreme i pilinzi za tijelo), istu direktno otpuštamo u vodu. Osim higijenskih proizvoda, mucice nastale na sintetičkim materijalima neprekidno se odvajaju od tkanine i završavaju u okolišu (Zhang i sur. 2021).

3. Utjecaj mikroplastike na makrozoobentos

3.1. Kako makrozoobentos dolazi u kontakt s mikroplastikom?

Makrozoobentos su beskralješnjaci, vidljivi golim okom, koji žive na ili blizu dna te u sedimentu na dnu vodnih tijela. Dolaskom kontakt s vodom, mikroplastika može plutati na površini, lebdjeti u vodenom stupcu ili potonuti na dno gdje će nakon nekog vremena biti promiješana sa sedimentom. Organizmi koji žive na dnu ili u vodenom stupcu u izravnom su kontaktu s mikroplastikom te ju nakon nekog vremena, svojevolumno ili slučajno mogu unijeti u sebe aktivno (prehrana) ili pasivno (unos kroz škrge).

Istraživanja u Francuskoj su pokazala da je količina mikroplastike u tekućicama koje su pod antropogenim utjecajem ili se nalaze u urbanom području značajno je veća od one u tekućicama koje su u izvornom stanju. Shodno tome, u organizmima koji žive na takvim područjima možemo pronaći 20-30 % više čestica mikroplastike (Duis i Coors 2016).

3.2. Sastav funkcionalnih hranidbenih skupina u odnosu na količine unesene mikroplastike

Način uzimanja ili sakupljanja hrane jako utječe na količinu čestica mikroplastike koju će organizmi makrozoobentosa unijeti. Pojam functional feeding group koristimo za kategorizaciju organizama koja je, umjesto na taksonomiji, temeljena na njihovih morfološko-bihevioralnim karakteristikama prikupljanja hrane. Kod organizama koji čine makrozoobentos najčešće skupine su strugači, usitnjivači, detritivori, procjeđivači, grabežljivci (Moog 2002).

Strugači se hrane algama i biofilmom (bakterija, gljive, alge i njihov polisaharidni matriks) koji sastružu s kamenja, dna ili biljaka. Ovakvim načinom hrane se organizmi razreda Gastropoda (puževi). Stružući alge ili biofilm, mogu konzumirati i čestice mikroplastike, ali samo one čestice koje su se uspjele zalijepiti na njihov obrok. U svojem istraživanju na rijeci Vipacco, Bertoli i sur. (2022) su zaključili da je akumulacija i unos čestica mikroplastike kod ovih organizama najmanje zastupljena.

Organizmi iz rodova *Leuctra* (Plecoptera), *Lepidostoma* (Trichoptera), ali i široko rasprostranjene vrste *Gammarus pulex* te *Gammarus fossarum* pripadaju usitnjivačima koji se

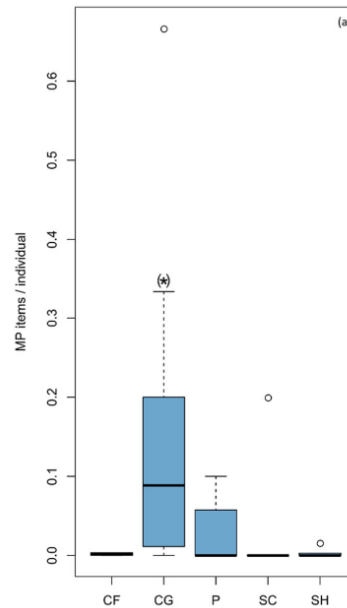
hrane lišćem i komadima drveta koje su prvotno usitnili ili česticama usitnjene organske tvari većim od 1 mm. Kako bi ovi organizmi konzumirali mikroplastiku, ona se na neki način treba „zalijepiti“ za lišće ili komade drva, pa kao i scraperi, shreddersi ne unose velike količine mikroplastike (Silva i sur. 2022).

Detritivori sakupljaju čestice usitnjene organske tvari veličine od 50 μm do 1 mm koje pronalaze na dnu tekućice ili u sedimentu. Ovako se hrane životinje podrazreda Oligocheta, porodice Elmidae (red Coleoptera), reda Ephemeroptera te organizmi reda Diptera među kojima su najviše proučavane jedinke porodice Chironomidae. Mikroplastika se nakon nekog vremena istaloži iz stupca vode na dno rijeke te se zbog turbulencije pomiješa sa sedimentom. Hraneći se česticama organske tvari iz sedimenti, ovi organizmi nenamjerno unose čestice mikroplastike koje su umiješane u sediment. Istraživanje koje su provodili Bertoli i sur (2022), ali i u drugim istraživanjima, dokazano je da među svim hranidbenim skupinama, procjeđivači u sebe unose najviše čestica mikroplastike (slika 2) te na njih ona ima najveće posljedice. Budući da Chironomidae unose plastiku neselektivno, učestalo se koriste kao indikatori za onečišćenje mikroplastikom (Silva i sur. 2022).

U skupinu procjeđivača pripadaju životinje koje se hrane na način da, procjeđuju vodu te konzumiraju organske čestice koje su se zadržale na „filterima“. Aktivni procjeđivači sami aktivno stvaraju struju vode kojom dovode čestice organske tvari do svojih filtera, a pasivni procjeđivači se hrane samo česticama organske tvari koje do njihovih filtera donosi struja vode iz okoliša, odnosno oni ne mogu sami stvarati struju vode. Najpoznatiji procjeđivači su vrste rodova *Simulidae* (Diptera) i *Hydropsyche* (Trichoptera) (Bertoli i sur. 2022). Uz ove predstavnike makrozoobentosa, u mnogim istraživanjima se proučavaju i zooplanktonske vrste od kojih najčešće one iz roda *Daphnia*. Iako su procjeđivači također sakupljači, oni ne konzumiraju mnogo manje mikroplastike od detritivora jer oni s „filtera“, prije ingestije, odabiru čestice s obzirom na veličinu i oblik.

Posljednja „velika“ hranidbena skupina su grabežljivci. Oni se hrane manjim živim organizmima. Najčešći predstavnici su ličinki stadiji porodica Dytiscidae (Ephemeroptera), rod *Hemiclepsis* (Hirudinea), porodica Limonidae (Diptera), porodica Gomphidae (Odonata), redovi *Calopteryx* i *Coenagrionidae* (Odonata), red *Rhyacophila* (Trichoptera), odrasli stadij roda

Aphelocheirus (Heteroptera) te mnogi drugi. Za razliku od drugih hranidbenih skupina, grabežljivci nikad neće namjerno unijeti česticu mikroplastike, ali one se u njima mogu akumulirati ako pojedu organizam koji je prethodno unio mikroplastiku u sebe (Bertoli i sur. 2022).



Slika 2. Količine unesene mikroplastike u odnosu na funkcionalnu hranidbenu skupinu, (legenda: P = grabežljivci; CG = detritivori, CF = procjeđivači; SH = usitinjivači; SC = strugači)(preuzeto iz . Bertoli i sur. 2022)

Hranidbena skupina ne utječe samo na to koliko će mikroplastike neka životinja unijeti, nego i na to koji oblik, veličinu i boju čestice će unijeti. Te je li ta „odluka“ donesena namjerno ili je to slučajan spontani događaj. Tako će npr. vrste porodice Lumbricidae, koje ubrajamo u detritivore, tijekom prehrane česticama organske tvari koje se nalaze u sedimenti, nenamjerno pojesti i razne čestice mikroplastike. S druge strane će procjeđivači, kao vrste roda *Hydropsyche*, pojesti samo neke čestice mikroplastike, s obzirom na to koje je boje, dimenzije i oblika ta čestica (Windsor i sur. 2019).

3.3. Utjecaj na život i životne funkcije

Opće je poznato da svi organizmi, uključujući i one koji čine makrozoobentos, u sebe unesu mikroplastiku, ali što se s njom kasnije događa te kako ona utječe na organizme. Ovakva istraživanja su sve popularnija i njihov zaključak je uglavnom sličan, izlaganje organizama koji čine makrozoobentos mikroplastici, drastično negativno utječe funkcioniranje cijelog organizma, od procesa prehrane i probave, do povišene smrtnosti, tjelesnih deformacija i promjene u rastu životinje.

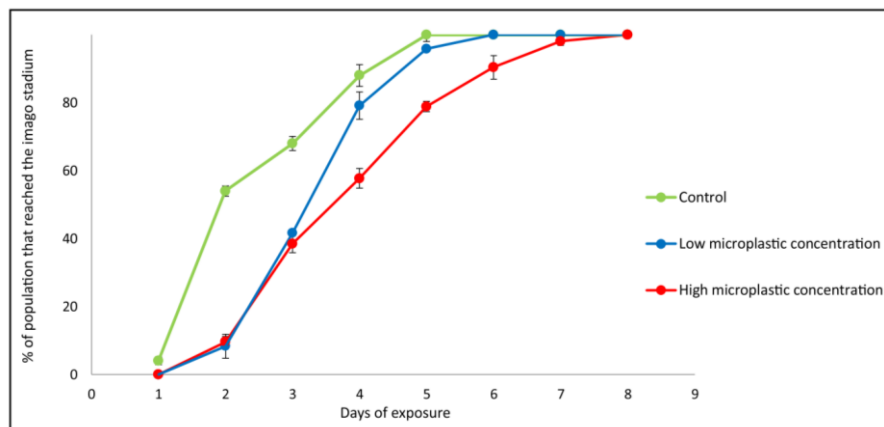
Unesene čestice mikroplastike zajedno s hranom putuju u crijevo organizma. Budući da je probavni sustav svih živih bića navikao razgrađivati samo organske, prirodne spojeve i tvari, mikroplastika ne može biti razgrađena. Zbog nemogućnosti razgradnje, sporije putuje kroz crijeva, ali uzrokuje i djelomičnu blokadu crijeva. Čestice mikroplastike koje se u crijevima zadržavaju duže nego što bi tamo trebale, zauzimaju mjesto za čestice hrane koje organizam treba, a to u organizmu uzrokuje kalorijski deficit. Za vrijeme rasta i razvoja bilo kojeg živog bića, kalorijski unos veoma je važan, stoga se organizmi koji ne unose dovoljno kalorija ne mogu u potpunosti dobro razviti. Foley i sur. (2018) su u svojem istraživanju dokazali, da osim količine mikroplastike u okolišu u kojem žive vrste makrozoobentosa, važno je i koliko dugo su životinje izložene česticama. Na kraju istraživanja, zaključili su da što su organizmi duže izloženi mikroplastici to ona negativnije utječe na životne funkcije, ali najnegativniji utjecaj imala je na pravilan rast organizma. Visoke koncentracije mikroplastike smanjuju stopu rasta (mjeri se u milimetrima) kod beskralješnjaka, drastično smanjenje rasta kod vrste *G. pulex* primijećeno je istraživanju gdje je koncentracija čestica mikroplastike u sedimentu bila visoka (10-40 %) (Redondo-Hasselerharm i sur. 2018).

Osim što će mikroplastika utjecati na sposobnost efikasne prehrane i probave, ona može stvoriti i ozlijede u tkivu. Čestice u organizam, osim kroz usta, mogu ući i kroz škrge. Kretanjem kroz bilo koju vrstu tkiva ili epitela, postoji velika šansa da će doći do mehaničkog oštećenja. Nakon oštećenja, čestice se mogu pasivno translocirati u druga tkiva (endocitoza, difuzija), što produžuje vrijeme zadržavanja u organizmu. Kako bi organizmi spriječili prodor stranih čestica kroz tkiva, razvili su svoje mehanizme zaštite, tako je kod mnogih beskralješnjaka prisutna peritrofička membrana (Triebkorn i sur. 2019). U laboratorijskim eksperimentima, nakon unosa čestica mikroplastike (s hranom), organizmima uglavnom treba između nekoliko sati i nekoliko

dana kako bi ih u potpunosti izbacili. U slučajevima gdje se mikroplastika translocirala po drugim tkivima i po optjecajnom sustavu, potpuna ekskrecija je trajala mnogo duže. Kod školjkaša *M. edulis*, 48 dana nakon izlaganja probavni sustav bio je u potpunosti očišćen od mikroplastike, ali su fluorescentne sfere još uvijek bile prisutne u hemolimfi (Duis i Coors 2016).

Nedovoljna konzumacija hrane, onemogućuje rast i razvoj organizama, a s time se smanjuje i njihova vjerojatnost preživljavanja. Zadržavanje bilo kojih stranih tijela, pa tako i mikroplastike, u tkivima ima negativne posljedice. Ove čestice će nakon nekog vremena u tkivima pokrenuti upalne procese, a u ozbiljnijim slučajevima doći će i do nekroze tkiva. Ukoliko organizam nije dovoljno razvijen ili je u ranom razvojnem stadiju, upalni procesi i nekroza tkiva, skraćuju životni vijek te povećavaju stopu smrtnosti organizama. Nadalje, u raznim istraživanjima koja su rađena na morskim zajednicama makrozoobentosa, proučavano je kako mikroplastika djeluje kao vektor za toksične spojeve. Zaključeno je za se čestice, ovisno o sastavu i obliku mogu vezati različiti kemijski spojevi od kojih mnogi imaju toksična svojstva. Ingestijom čestica mikroplastike, organizam ne unosi samo mikroplastiku, nego i različite toksine koji negativno utječu na cijeli organizam (Triebkorn i sur. 2019). Vrsta i oblik mikroplastike također utječu na stopu smrtnosti, sva mikroplastika negativno utječe na organizme, ali je u eksperimentu primijećeno da ona sfernog oblika ima najozbiljnije posljedice za organizam (Doyle i sur. 2022).

Stanković i sur. (2020) su u svojim eksperimentima proučavali potiče li prisutnost mikroplastike stvaranje deformacija kod vrste *Chironomus riparius*. Napravljena su 3 sustava, prvi je služio kao kontrola, drugi je bio s visokom koncentracijom mikroplastike, a treći je imao nisku koncentraciju mikroplastike. U svaki sustav stavili su 25 jedinki prvog ličinačkog stadija te su proučavali što će se s njima događati. Primijetili su da se organizmima koji su se nalazili u sustavu s niskom koncentracijom mikroplastike povećala tjelesna masa i dužina tijela, a kod onih koji su se nalazili u sustavu s visokom koncentracijom mikroplastike se povećala samo dužina tijela. Također, primijetili su da se vrijeme potrebno za potpuni razvitak jedinke od ličinačkog stadija do odrasle jedinke mijenjao s obzirom na koncentraciju mikroplastike u sustavu (slika 3), što je koncentracija bila viša to je jedinkama trebalo više vremena da se u potpunosti razviju.



Slika 3. grafički prikaz vremena potrebnog za razvitak jedinkama *C. riparius* od ličinačkog do odraslog stadija izloženih mikroplastici (legenda: x-os = dani izloženosti, y-os = postotak populacije koji je dostigao odrasli stadij, zelena linija = kontrolni sustav, plava linija = sustav s niskom koncentracijom mikroplastike, crvena linija= sustav s visokom koncentracijom mikroplastike) (preuzeto iz Stanković i sur. 2020).

Geometrijsko-morfometrijske analize pokazale su da su desna krila muških jedinki ostala nepromijenjena, za razliku od desnih krila ženskih jedinki koja su dosta varirala s obzirom na to u kojem sustavu su jedinke bile. U sustavima s mikroplastikom, desna krila ženskih jedinki su se proširila. Nadalje, kod 4. ličinačkog stadija, primijećena je velika deformacija u čeljustima životinja prisutnih i kod mandibula i kod mentuma. Deformacija čeljusti zbog prisutnosti mikroplastike se ne može pripisati tvrdoći čestica jer su čestice mikroplastike bile mekše od sedimenta stavljenog u sustave. U česticama mikroplastike se nalazi spoj bisfenol A (BPA) za koji se zna da kod beskralješnjaka djeluje kao endokrini disruptor koji negativno utječe na rast i razvoj životinje. Također, u PVC česticama prisutni su i falati koji također djeluju kao endokrini ometači (disruptor) te uzrokuju deformaciju čeljusti i krila.

4. Utjecaj mikroplastike na druge organizme

4.1. Utjecaj na ribe i vodozemce

4.1.1. Utjecaj na ribe

Ribe su slobodno živeći organizmi koji nastanjuju sve vrste vodenih okoliša (morski i slatkovodni okoliši). Važne su u ekosustavima jer imaju ulogu i predatora i plijena.. U istraživanjima utjecaja mikroplastike na ribe, najčešće se za testne organizme koristi mlada riba, ali se ponekad pregledava i ikra. Unesena mikroplastika kod mladih riba negativno utječe na prehranu i na količinu pojedene hrane jer čestice blokiraju probavni trakt te se organizam osjeća sitim. Loša prehrana i nedovoljan unos kalorija direktno utječe i na rast, razvoj i preživljavanje same jedinke (Foley i sur. 2018).

Vrsta zebrića (*Danio Rerio*) često se koristi kao testni organizam u istraživanjima translokacije čestica mikro- i nanoplastike u tkivima (Triebkorn i sur. 2019). Različita istraživanja dovela su do različitih rezultata pa su tako rezultati nekih istraživanja pokazali da čestice veličine 25 nm uzrokuju upalne procese u tijelu ribe, ali se ne translociraju po tkivima (u probavnom traktu i škragama najčešće dolazi do histoloških promjena, a u jetri dolazi do upalnih procesa), a druga istraživanja su pokazala da ista takva čestica (i veličina i materijal) može translocirati čak i do očnog tkiva. Nadalje, ako se čestice mikroplastike pomiješaju s teškim metalima, akumulacijom plastičnih čestica, u organizmu će se akumulirati i teški metali, a zbog njihove količine doći će i do povećane toksičnosti (Lu i sur. 2018). Ali osim što ribe ovim načinom unose teške metale, mogu unijeti i farmaceutske proizvode. Takav način unosa štetnih tvari nije problematičan samo za organizam kao takav, nego i za druge veće organizme, koji će predacijom unijeti više manjih životinja te će na taj način u sebi akumulirati velike količine štetnih tvari (problem bioakumulacije)

La Pietra i sur. (2024) su također svoje istraživanje radili na vrsti zebrića (*Danio Rerio*). Osim što mikroplastika negativno utječe na rast ovih organizama, oni su pokazali da plastične čestice mogu promijeniti fenotip mladih riba, ubrzati rad njihovog srca te poremetiti homeostazu.

4.1.2. Utjecaj na vodozemce

Vodozemci su prva skupina kralješnjaka koja je nastanila kopno, ali je njihov život ili dio života svejedno vezan za vodu. Karakterizira ih vlažna sluzava koža koja odraslim jedinkama služi kao organ za disanje, a ličinke dišu škrgama. Vodozemci se dijele na redove Apoda (beznošci), Anura (bezrepci) i Caudata (repaši) (Pough i sur. 2013). U istraživanjima se kao testni organizmi najčešće koriste žabe jer se u kratko vrijeme može dobiti puno jedinki.

Istraživanja se najčešće bave pitanjima kao što su „Utječe li mikroplastika na brojnost vodozemaca?“, „Kako mikroplastika koju unesu punoglavci utječe na kruženje tvari u prirodi, budući da punoglavci pripadaju prvom redu potrošača?“, „Utječe li akumulacija plastičnih čestica u tkivu vodozemca na prijenos polutanata u više redove potrošača ekosustava?“, itd. Također, glavni fokus istraživanja je na bisfenolu A, toksičnom efektu same mikroplastike i načinima detekcije mikroplastikeu prirodnim staništima vodozemaca (Hou i Rao 2022).

Boyero i sur. (2020) su proveli istraživanje utjecaja mikroplastike na punoglavce vrste *A. obstetricans*. U početku su punoglavci stavljeni u 4 sustava (kontrola, 18 čestica/mL, 180 čestica/mL, 1800 čestica/mL). Nakon 14 dana eksperiment je završio, a znanstvenici su donijeli slijedeće zaključke. Što je koncentracija čestica mikroplastike u sustavu bila veća, to je efekt na punoglavce bio negativniji. U sustavu s 1800 čestica/mL od 8 jedinki, na kraju eksperimenta ostala je samo jedna živa, dok u drugim sustavima utjecaj mikroplastike na direktnu smrtnost nije zabilježen. Osim toga, ovakav slučaj gdje sustav s najvišom koncentracijom mikroplastike ima značajnije promjene, primijetili su kod prehrane punoglavaca. U sustavu s 1800 čestica/mL punoglavci su konzumirali značajno manje hrane od onih u svim ostalim sustavima. Stopa smanjenja rasta jedinki bila je povezana koncentracijom čestica u sustavu, odnosno što je više čestica, stopa smanjenosti rasta je veća. Iako se ne može sa sigurnošću reći zašto je velika koncentracija mikroplastike uzrokovala smrtnost punoglavaca, smatra se da razlog leži u toksičnosti samih čestica ili fizičkom oštećenju koje one mogu prouzročiti u životinji. Nadalje, smatra se da je smanjen rast jedinke direktno povezan s unosom mikroplastike što zbog činjenice da čestice blokiraju probavni trakt punoglavca pa on prestaje jesti, a što zbog činjenice da organizam iz mikroplastike ne može dobiti potrebne nutrijente i kalorije.

4.2. Utjecaj na čovjeka

Kao i svi drugi živi organizmi na Zemlji, ljudi su također stalno izloženi plastici i mikroplastici. Dapače, zbog svakodnevnog korištenja proizvoda napravljenih od plastike ili onih koji sadržavaju plastiku (daske za rezanje, jednokratne čaše, odjeće, kozmetički proizvodi, itd.) izloženost plastici je još i veća od one kod drugih organizama. Osim što ljudi unose čestice prehranom, kao i životinje koje čine zajednice makrozoobentosa, oni ih unose i pićem, ali i disanjem.

Ljudi su u hranidbenom lancu pozicionirani kao grabežljivci najvišeg reda. Zbog procesa bioakumulacije, tijekom procesa prehrane u sebe unose jako velike količine mikroplastike. Nadalje, mikroplastiku ljudi unose i s voćem i povrćem. Tijekom uzgoja voća i povrća, čestice mikroplastike mogu doletjeti zrakom ili se mogu nalaziti u vodi kojom se usjev zaljeva. Većina plastike koja dođe u kontakt s voćem i povrćem će na njemu ostati „zalijepljena“, a naknadno će ju pojesti biljojed ili čovjek. Također, plastične čestice možemo pronaći i u pitkoj vodi.

Osim unosom čestica hranom i vodom, ljudi čestice unose i ako prilikom pripreme hrane koriste plastične daske za rezanje. Tijekom rezanja namirnica, površina plastične daske je isto tako izložena mehaničkom procesu usitnjavanja, na taj način nastaju čestice mikroplastike koje će čovjek pojesti zajedno sa svojim obrokom. Čestice mikroplastike se zadržavaju u probavnom traktu, oštećuju ga, ali i otpuštaju opasne kemijske spojeve. Yan i sur. (2022) su pokazali da postoji povezanost između pronađene količine čestica mikroplastike u probavnom sustavu, naročito crijevima, te upalne bolesti crijeva (Inflammatory bowel disease). Kod zdravih pojedinaca u stolici se može pronaći 20-30 čestica/g, a kod oboljelih čudi čak 42 čestice/g. Također je primijećeno da se i u samim crijevima nalazi više čestica jer se one zadržavaju u ulceracijama crijeva. Zbog svojeg kancerogenog karaktera, mikroplastika povećava vjerojatnost nastanka raka debelog crijeva, ali po nekim istraživanjima i raka gušterače (Winiarska i sur. 2024). Mnoga istraživanja se zbog praktičnosti vrše na miševima. Dokazano je da se kod odraslih jedinki miševa izloženih PVC-u javljaju upalni procesi, problemi u radu endokrinih žlijezdi, ali i poremećaj u metabolizmu lipida i masnih kiselina. Nadalje, neka istraživanja pokazala su da izloženost probavnog sustava mikroplastici povećava osjetljivost organizma te uzrokuje alergije na hranu (Molina i Bened´e 2022).

Disanjem ljudi unose čestice mikro- i nanoplastike u svoj respiratorni sustav, ali prvenstveno u pluća. Osim mehaničkih oštećenja tkiva, može doći do razvitka mnogih bolesti. Osim upalnih procesa do kojih uvijek dolazi kad je u tkivu prisutno strano tijelo, čestice potiču razvitak razvitka

astme, bronhitisa i alergija (Osman i sur. 2023). Kod radnika koji su tijekom godina bili stalno izloženi mikroplastici, bez adekvatne zaštite, zabilježena je viša stopa razvitka raka dušnika, pluća i bronhiola (Ruder i Bertke 2017).

Translokacijom čestice mikro- i nanoplastike iz probavnog sustava odlaze u optjecajni i limfni sustav. Ovisno o veličini i obliku čestice, kemijskom sastavu, ali i kemijskih tvari vezanih na samu česticu, može doći do razvitka različitih problema. Mikroplastika u organima optjecajnog sustava uzrokuje oksidativni stres koji može uzrokovati apoptozu stanica srčanog mišića. Čestice se također lijepe za stijenke krvnih žila te potpomažu procesu stvaranja krvnih ugrušaka. Upalni proces i apoptoza stanica krvnih žila, smanjuje njihovu elastičnost. Osim problema nastalih zbog fizičke prisutnosti čestica, spojevi kao što su bisfenol A mogu uzrokovati pojavu visokog tlaka, oštećenje srčanog mišića te na kraju omesti rad samog srca (Osman i sur. 2023). Kancerogenost i toksičnost spojeva prisutnih u česticama mikroplastike također dovodi do bolesti limfnog sustava i samih krvnih stanica, s obzirom na vrstu spoja prisutnu u organizmu osoba može razviti mijeloičnu leukemiju, T-limfom i Hodgkinov limfom (Christensen i sur. 2018).

Kemijski spojevi iz ili sa čestica mikroplastike mogu uzrokovati i neurološke smetnje, koje rezultiraju pojavom mučnina, zamućenja vida i vrtoglavica. Kod radnika stalno izloženim mikroplastici, ovi simptomi su često primjećivani, ali osim toga zabilježena je i ranija pojava demencije. Smatra se da uz demenciju, mikroplastika još može uzrokovati i encefalopatiju, ali i degenerativne bolesti kao što su multipla skleroza i Parkinsonova bolest (Kolstad i sur. 1995).

Proces translokacije predstavlja velik problem jer se za vrijeme trudnoće, čestice mogu translocirati u plodnu vodu ili ženinu posteljicu. Kod žena kod kojih su plastične čestice pronađene u krvi, plućima i probavnom traktu, pronađene su i u posteljici, s time da je 60 % čestica pronađeno s fetale strane posteljice, ali u membrani pupčane vrpce. (Ragusa i sur. 2021). Iako još to nisu dokazali, znanstvenici smatraju da, ako se čestice iz mikroplastike mogu translocirati iz majke u plodnu vodu ili stance posteljice da se mogu translocirati i u samo dijete, ali i da kemijski spojevi iz samih čestica prilikom oplodnje mogu utjecati i na spol djeteta (Winiarska i sur. 2024).

5. Zaključak

Plastika u svim veličinama i oblicima prisutna je svugdje u okolišu i nemoguće ju je u potpunosti ukloniti. Njena sveprisutnost razlog je sve češćih i intenzivnijih istraživanja utjecaja na sve vrste živih organizama. Dok kod biljaka začepljuje pore na lišću, kod životinja i ljudi stvara mnoge probleme u svim organskim sustavima. Iako plastiku ne možemo u potpunosti prestati koristiti, trebamo nastojati pravilno ju zbrinjavati te smanjiti jednokratnu upotrebu. Premda je već provedeno mnogo istraživanja i napisano mnogo znanstvenih radova, nužno je nastaviti s istraživanjima kako bi se došlo do novih otkrića i kako bi se popunile rupe u dosadašnjim saznanjima.

6. Literatura

- Bertoli, M., Pastorino, P., Lesa, D., Renzi, M., Anselmi, S., Prearo, M., Pizzul, E. (2022): Microplastics accumulation in functional feeding guilds and functional habit groups of freshwater macrobenthic invertebrates: novel insights in a riverine ecosystem. *Sci. Total Environ.* 804, 150207.
- Boyero, L., L'opez-Rojo, N., Bosch, J., Alonso, A., Correa-Araneda, F., P'erez, J. (2020): Microplastics impair amphibian survival, body condition and function. *Chemosphere* 244, 125500.
- Christensen, M.S., Vestergaard, J.M., d'Amore, F., Gørlov, J.S., Toft, G., Ramlau- Hansen, C.H., Stokholm, Z.A., Iversen, I.B., Nissen, M.S., Kolstad, H.A., (2018): Styrene exposure and risk of lymphohematopoietic malignancies in 73,036 reinforced plastics workers. *Epidemiology* 29 (3), 342–351
- Commission Regulation (EU) 2023/2055 (2023): Ograničenje namjernog dodavanja mikroplastike u proizvode
- Doyle, D., Sundh, H., Almroth, B.C. (2022): Microplastic exposure in aquatic invertebrates can cause significant negative effects compared to natural particles- a meta-analysis. *Environ. Pollut.* 315, 120434.
- Duis K., Coors A. (2016): Microplastics in the Aquatic and Terrestrial Environment: Sources (with a Specific Focus on Personal Care Products), Fate and Effects. *Environ. Sci. Eur.*; 28:2
- Foley, C.J., Feiner, Z.S., Malinich, T.D., H'ook, T.O. (2018): A meta-analysis of the effects of exposure to microplastics on fish and aquatic invertebrates. *Sci. Total Environ.* 631, 550–559.
- Hou, D.M., Rao, D.Q. (2022): Microplastics: Their Effects on Amphibians and Reptiles-A Review. *Pakistan J. Zool.*, 54: 2931-2951.
- Kolstad, H.A., Juel, K., Olsen, J., Lynge, E. (1995): Exposure to styrene and chronic health effects: mortality and incidence of solid cancers in the Danish reinforced plastics industry, 5 *Occup. Environ. Med.* 52, 320–327.
- Lu, K., Qiao, R., An, H., Zhang, Y. (2018): Influence of microplastics on the accumulation and chronic toxic effects of cadmium in zebrafish (*Danio rerio*), *Chemosphere* 202 514e520.
- Lusher, A.L., Welden, N.A., Sobral, P., Cole, M. (2017): Sampling, isolating and identifying microplastics ingested by fish and invertebrates. *Anal. Methods* 9(9), str. 1346–1360.

Lusher, A. L., Bråte, I. L. N., Munno, K., Hurley, R. R. and Welden, N. A. (2020): Is it or isn't it: the importance of visual classification in microplastic characterization. *App. Spectroscopy*, 74(9), str. 1139-1153.

Manzoor, S., Naqash, N., Rashid, G., Singh, R. (2022): Plastic material degradation and formation of microplastic in the environment: a review. *Mater Today Proc* 56, str. 3254–3260.

Markley, L. A. T., Driscoll, C. T., Hartnett, B., Mark, N., Mateos Cárdenas, A., and Hapich, H. (2024): *Guide for the Visual Identification & Classification of Plastic Particles*.

Molina, E., Bened´ e, S. (2022): Is there evidence of health risks from exposure to micro- and nanoplastics in foods?, 910094 *Front. Nutr.* 9.

Moog, O. (2002): *Fauna Aquatica Austriaca - Catalogue for autecological classification of Austrian aquatic organisms*, Austrian Federal Ministry of Agriculture Forestry Environment and Water Management, *Wasserwirtschaftskataster*, 3-85, 174-0440-0.

Osman, A. I., Hosny, M., Eltaweil, A. S., Omar, S., Elgarahy, A. M., Farghali, M., Yap, P.S., Wu, Y.S., Nagandran, S., Batumalaie, K., Gopinath, S.C.B., John, O.D., Sekar, M., Saikia, T., Karunanithi, P., Hatta, M.H.M., Akinyede, K.A. (2023): Micro-plastics sources, formation, toxicity and remediation: A review. *Environ. Chem. Lett.*, 21(4), 2129–2169.

Pietra, A.L., Fasciolo, G., Lucariello, D., Motta, C.M., Venditti, P., Ferrandino, I. (2024): Polystyrene microplastics effects on zebrafish embryological development: comparison of two different sizes. *Environ. Toxicol. Pharmacol.* 106, 104371.

Plastics Europe (2024) <https://plasticseurope.org/> (pristupljeno 12.8.2024.)

Pough, F.H., Janis, C.M, Heiser, J.B. (2013): *Vertebrate Life*. Pearson Education, London.

Ragusa, A., Svelato, A., Santacroce, C., Catalano, P., Notarstefano, V., Carnevali, O., Papa, F., Rongioletti, M.C.A., Baiocco, F., Draghi, S., D'Amore, E., Rinaldo, D., Matta, M., Giorgini, E. (2021): Plasticenta: first evidence of microplastics in human placenta. *Environ. Int.* 146, 106274.

Redondo-Hasselerharm, P.E., Falahudin, D., Peeters, E.T.H.M., Koelmans, A.A. (2018): Microplastic Effect Thresholds for Freshwater Benthic Macroinvertebrates. *Environ. Sci. Technol.* 20;52(4):2278-2286.

Rochman, C.M, Kross, S.M., Armstrong, J.B., Bogan, M.T., Darling, E.S., Green, S.J., Smyth, A.R., Veríssimo, D. (2015): Scientific Evidence Supports a Ban on Microbeads, *Environ. Sci. Technol.* 49 (18), 10759-10761.

Ruder, A.M., Bertke, S.J. (2017): Cancer incidence among boat-building workers exposed to styrene. *Am. J. Ind. Med.* 60 (7), 651–657.

Sarkar, S., Diab, H., Thompson, J. (2023) Microplastic Pollution: Chemical Characterization and Impact on Wildlife. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 20, 1745.

Silva, C.J.M., Machado, A.L., Campos, D., Rodrigues, A.C.M., Patrício Silva, A.L., Soares, A.M.V.M., Pestana, J.L.T. (2022): Microplastics in freshwater sediments: effects on benthic invertebrate communities and ecosystem functioning assessed in artificial streams. *Sci. Total Environ.* 804, 150118.

Stanković, J., Milošević, D., Savić-Zdraković, D., Yalçın, G., Yildiz, D., Beklioğlu, M., Jovanović, B. (2020): Exposure to a microplastic mixture is altering the life traits and is causing deformities in the non-biting midge *Chironomus riparius* Meigen (1804). *Environ. Pollut.* 262, 114248.

Triebkorn, R., Braunbeck, T., Grummt, T., Hanslik, L., Huppertsberg, S., Jekel, M., et al., 2019. Relevance of nano- and microplastics for freshwater ecosystems: a critical review. *TrAC Trends Anal. Chem.* 110, 375–392.

Windsor, F.M., Tilley, R.M., Tyler, C.R., Ormerod, S.J., 2019. Microplastic ingestion by riverine macroinvertebrates. *Sci. Total Environ.* 646, 68–74.

Winiarska, E., Jutel, M., Zemelka-Wiacek, M. (2024): The potential impact of nano-and microplastics on human health: Understanding human health risks, *Environm. Research*, 118535.

Yan, Z., Liu, Y., Zhang, T., Zhang, F., Ren, H., Zhang, Y. (2022): Analysis of microplastics in human feces reveals a correlation between fecal microplastics and inflammatory bowel disease status. *Environ. Sci. Technol.* 56 (1), 414–421.

Yurtsever, M. (2019): Glitters as a Source of Primary Microplastics: An Approach to Environmental Responsibility and Ethics. *J Agric Environ Ethics* 32, 459–478.

Zhang, K., Hamidian, K., Tubić, A.H., Zhang, A., Fang, Y., Wu, J.K.H., Lam, C., (2021): Understanding plastic degradation and microplastic formation in the environment: a review, *Environ. Pollut.* 274, 116554.

7. Životopis

Rođena sam 18.11.2001. godine u Zagrebu. Nakon završene Osnovne škole Vladimira Nazora u Zagrebu, 2016. godine upisujem VII. Gimnaziju u Zagrebu koju završavam 2020. godine. Po završetku srednjoškolskog obrazovanja, upisujem prijediplomski studij Znanosti o okolišu na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu u Zagrebu, koji završavam 2024. godine sa završnim radom „Utjecaj mikroplastike na markrozoobenoš“ pod mentorstvom prof. dr. sc. Marka Miliše.