

Mikroplastika u slatkovodnim ekosustavima i utjecaj na živi svijet

Perović, Marija

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:157857>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-06-26**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO – MATEMATIČKI FAKULTET
BIOLOŠKI ODSJEK

**MIKROPLASTIKA U SLATKOVODNIM EKOSUSTAVIMA I
UTJECAJ NA ŽIVI SVIJET**

**MICROPLASTICS IN FRESHWATER ECOSYSTEMS AND
EFFECTS ON BIOTA**

SEMINARSKI RAD

Marija Perović
Preddiplomski studij biologije
(Undergraduate Study of Biology)
Mentor: doc. dr. sc. Marija Ivković

Zagreb, 2021.

SADRŽAJ

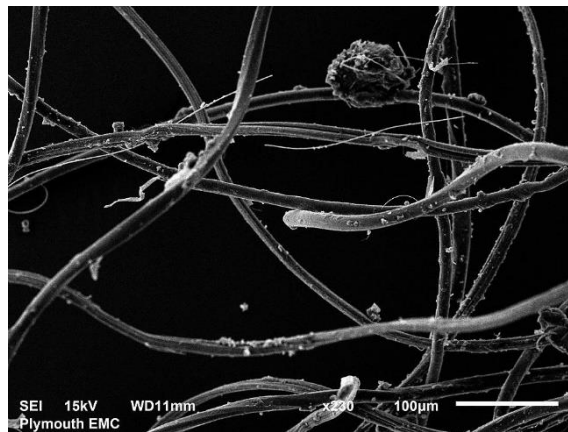
1. UVOD	1
2. MIKROPLASTIKA.....	2
3. UZORKOVANJE I IZOLACIJA MIKROPLASTIKE.....	3
3.1. Uzorkovanje i izolacija mikroplastike iz sedimenta	3
3.2. Uzorkovanje i izolacija mikroplastike iz stupca vode	4
3.3. Uzorkovanje i izolacija mikroplastike iz životinjskih tkiva	4
4. ANALIZA MIKROPLASTIKE	6
5. ZASTUPLJENOST MIKROPLASTIKE U SLATKOVODNIM EKOSUSTAVIMA	7
5.1. Zastupljenost mikroplastike u vodama	7
5.2. Zastupljenost mikroplastike u sedimentima.....	7
6. UNOS MIKROPLASTIKE U SLATKOVODNE ORGANIZME	8
7. UTJECAJ MIKROPLASTIKE NA ŽIVI SVIJET	9
7.1. Utjecaj na primarne proizvođače	9
7.2. Utjecaj na primarne potrošače	10
7.3. Utjecaj na sekundarne potrošače.....	10
8. ZAKLJUČAK	12
9. LITERATURA.....	13
10. SAŽETAK.....	15
11. SUMMARY	15

1. UVOD

Sintetski polimeri, poznati pod nazivom „plastika“, zbog svoje male mase, velike izdržljivosti te različite mogućnosti prerade i oblikovanja imaju široku primjenu u gospodarstvu, a visoka proizvodnja i niska stopa reciklaže dovode do nagomilavanja plastičnog otpada u prirodi (Dris i sur. 2015). Izloženost vanjskim utjecajima dovodi do usitnjavanja i degradacije većih komada plastike do fragmenata manjih od 5 mm u promjeru, tzv. mikroplastike (Wagner i sur. 2014). Velike količine mikroplastike zabilježene su u vodenim ekosustavima gdje dolaze u različite interakcije s organizmima (Erkes-Medrano i sur. 2015). Interes za istraživanja prisutnosti i utjecaja mikroplastike u slatkovodnim ekosustavima pojavio se relativno nedavno te je dostupnost podataka na ovu temu ograničena (Shazani i sur. 2021). Izazov u istraživanjima predstavlja i nedostatak standardiziranog uzorkovanja i metoda obrade podataka (Mendoza i Balcer 2019). Dosad je mikroplastika registrirana u sedimentima i vodama rijeka i jezera Azije, Europe, Afrike te Sjeverne i Južne Amerike (Shazani i sur. 2021). Prema dosadašnjim istraživanjima, mikroplastična vlakna predstavljaju najzastupljeniji oblik mikroplastike u vodama, a zbog slične morfologije s filamentima koje tvore slatkovodne alge predstavljaju opasnost od unosa u slatkovodne organizme i širenja kroz prehrambeni lanac (Ockenden i sur. 2021). Svi plastični materijali sadrže skup kemijskih dodataka koji im daju potrebna fizikalna i kemijska svojstva kao što su elastičnost i boja, a mogu imati negativne toksikološke učinke na živi svijet (Ockenden i sur. 2021). U slatkovodnih algi izloženost mikroplastici može imati negativan utjecaj na stopu fotosinteze i rast kolonija (Wang i sur. 2021). Čestice mikroplastike mogu na životinje koje ih unesu u organizam imati negativne učinke na hranjenje i rast jedinki, stopu preživljavanja te na razmnožavanje i rast populacije (O'Connor i sur. 2020).

2. MIKROPLASTIKA

Pojam mikroplastika prvi se puta spominje 2004. godine i označava čestice plastike manje od 5 mm (Shazani i sur. 2021). Dva su glavna načina nastanka mikroplastike te se po tome ona dijeli na primarnu i sekundarnu mikroplastiku (Erkes-Medrano i sur. 2015). Primarna mikroplastika proizvodi se kao sastavni dio sredstava za čišćenje, kozmetičkih proizvoda ili kao predproizvodni plastični peleti, dok je sekundarna mikroplastika produkt degradacije većih plastičnih masa pod utjecajem vanjskih ekoloških čimbenika kao što su UV zračenje i mehanička abrazija (Dris i sur. 2015). Do degradacije plastike može doći i prije no što ista dospije u okoliš, kao što je to slučaj s poliesterskim vlaknima prilikom pranja odjeće (Slika 1.) (Erkes-Medrano i sur. 2015).



Slika 1. Poliesterska vlakna oslobođena tijekom pranja odjeće (Erkes-Medrano i Thompson 2018)

Mikroplastika u vodene ekosustave dopijeva preko postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda i kanalizacije iz urbanih sredina, poljoprivrednih zemljišta, industrijskih postrojbi i ribarskih luka (Wagner i sur. 2014). Pretpostavlja se da na količinu mikroplastike u vodama utječe nekoliko faktora: gustoća ljudske populacije u blizini vodenih staništa, blizina urbanog središta, količina oborina, strujanja vode, vrijeme zadržavanja vode, veličina vodenog staništa, planovi gospodarenja otpadom i količina izljeva kanalizacije (Erkes-Medrano i Thompson 2018). U slatkovodnim ekosustavima mikroplastika je zastupljena u stupcu vode i u sedimentima (O'Connor i sur. 2020). Mendoza i Balcer (2019) navode kako distribucija mikroplastike unutar vodenog staništa ovisi o veličini, obliku i gustoći samih čestica te o gustoći i strujanju vode. Stvaranje biofilma oko čestica mikroplastike dodatan je kriterij koji određuje hoće li se mikroplastika naći plutajući u vodenom stupcu ili nataložena u sedimentu (O'Connor i sur. 2020).

3. UZORKOVANJE I IZOLACIJA MIKROPLASTIKE

Posljednjih desetak godina interes za istraživanje prisustva i raspodjele mikroplastike u slatkovodnim staništima raste, a glavni problem u uspoređivanju dobivenih podataka s postojećom literaturom predstavlja neusklađenost tehnika uzorkovanja, tehnika obrade uzoraka i analize rezultata u dosad objavljenim radovima te je potreba za standardizacijom metodologije velika (Ereks-Medrano i Thompson 2018).

3.1. Uzorkovanje i izolacija mikroplastike iz sedimenta

Strategija uzorkovanja sedimenta ovisi o tome prikupljaju li se uzorci s obale ili iz korita rijeke (Shazani i sur. 2021). Sedimenti s obale skupljaju se pomoću žlica ili lopata od nehrđajućeg čelika na dubini 2 do 5 cm od površine, a raspored uzorkovanja je mrežni (Shazani i sur. 2021). Za prikupljanje sedimenta iz korita rijeka koriste se instrumenti kao što je „Van Veen grab sampler„ (Slika 2) (Shazani i sur. 2021).



Slika 2. „Van Veen grab sampler“ - preklopna kanta izrađena od nehrđajućeg čelika (web 1)

Mikroplastika se zatim iz uzoraka izdvaja pomoću nekoliko metoda, a među njima se ističe „Munich plastic sediment separator“, uređaj koji na temelju različite veličine i gustoće izdvaja fragmente plastike iz sedimenta i odvaja ih od anorganskih tvari i minerala prisutnih u sedimentu (Erkes-Medrano i sur. 2015).

3.2. Uzorkovanje i izolacija mikroplastike iz stupca vode

Odabir metode prikupljanja mikroplastike iz slatkovodnih sustava ovisi o ciljevima istraživanja (Mendoza i Balcer 2019). Za uzorkovanje površinskih voda rijeka i jezera najčešće se koriste „Manta“ mreža (Slika 3.) i planktonske mreže različitih veličina otvora (Dris i sur. 2015). Ovakav se tip uzorkovanja najčešće koristi za određivanje brojnosti i koncentracije mikroplastike u velikom volumenu površinske vode (Shazani i sur. 2021).



Slika 3. Manta mreža za površinsko uzorkovanje mikroplastike (web 2)

Prikupljanje uzoraka na različitim dubinama u svrhu određivanja ukupne brojnosti i vertikalne raspodjele mikroplastike u vodenom stupcu vrši se pomoću posebnog tipa sonde ili pumpe (Mendoza i Balcer, 2019). Uzorke je nakon ovakvog prikupljanja potrebno dodatno filtrirati kroz vrlo finu mrežicu s porama od 2,7 – 63 μm kako bi se za daljnju analizu zadržale samo čestice mikroplastike (Mendoza i Balcer 2019).

3.3. Uzorkovanje i izolacija mikroplastike iz životinjskih tkiva

Mikroplastika se može naći unutar tjelesnih šupljina i u tkivima prikupljenih jedinki ili zapletena i pričvršćena na površini životinje (O'Connor i sur. 2020). Ovisno o ciljevima istraživanja i vrsti organizama koji se proučavaju, za izolaciju mikroplastike iz prikupljenih uzoraka koristi se velik broj različitih protokola koji se temelje na seciranju, pročišćavanju, homogenizaciji i razgradnji tkiva (O'Connor i sur. 2020). Glavni korak u protokolima jest uklanjanje organske tvari (Shazani i sur. 2021). Za uklanjanje organske tvari iz uzoraka koriste se oksidacijska sredstva kao što je vodikov peroksid (H_2O_2), jake kiseline: dušična kiselina (HNO_3), klorovodična kiselina (HCl) ili smjesa sumporne kiseline (H_2SO_4) i vodikova

peroksida (Dris i sur. 2015). O'Connor i sur. (2020). navode kako je u nekoliko istraživanja zabilježeno da metode uklanjanja organske tvari koje koriste jake kiseline mogu oštetiti čestice plastike, pa se u većini novijih istraživanja kao pouzdanija i jeftinija metoda za uklanjanje organske tvari iz uzoraka koristi enzimatska razgradnja. Ističu kako se za izolaciju mikroplastike iz malih beskrležnjaka s mekim tkivima i probavnog trakta slatkovodnih riba često koristi alkalna hidroliza, dok se za izolaciju mikroplastike iz beskrležnjaka koji posjeduju egzoskelet koriste protokoli koji uključuju tretiranje uzoraka vodikovim peroksidom.

4. ANALIZA MIKROPLASTIKE

Analizom mikroplastike iz prikupljenih uzoraka identificira se vrsta prisutnih polimera, njihova veličina, boja i gustoća te zastupljenost u samom uzorku (Shazani i sur. 2021). Analitičke metode koje se koriste za identifikaciju polimera koji grade čestice mikroplastike uključuju promatranje uzoraka pod mikroskopom, kromatografske metode i spektroskopske metode (Shazani i sur. 2021). Vizualna identifikacija polariziranim mikroskopom koristi se za otkrivanje fizikalnih karakteristika mikroplastike, odnosno boje, oblika ili veličine, ali i za kvantifikaciju čestica prisutnih u uzorku (Miloloža i sur. 2021). Za određivanje veličine, oblika i za potvrdu stvaranja bakterijskog biofilma na površini čestica mikroplastike koristi se skenirajuća elektronska mikroskopija (Miloloža i sur. 2021). Kromatografske metode uključuju plinsku i tekućinsku kromatografiju, a praktične su jer ne zahtjevaju prethodnu obradu uzorka (Shazani i sur. 2021). Spektroskopske metode pružaju širok izbor tehnika za identifikaciju sintetičkih polimera koje se onda biraju ovisno o tipu uzorka koji se analizira (Mendoza i Balcer 2019). Boja, oblik i vrsta polimera koji grade čestice mikroplastike važni su kriteriji u istraživanjima budući da utječu na unos mikroplastike u slatkovodne organizme (O'Connor i sur. 2020).

5. ZASTUPLJENOST MIKROPLASTIKE U SLATKOVODNIM EKOSUSTAVIMA

Shazani i sur. (2021). u svojem su radu objedinili podatke dosadašnjih istraživanja o količini i distribuciji mikroplastike u slatkim vodama i sedimentima na gotovo svim kontinentima.

5.1. Zastupljenost mikroplastike u vodama

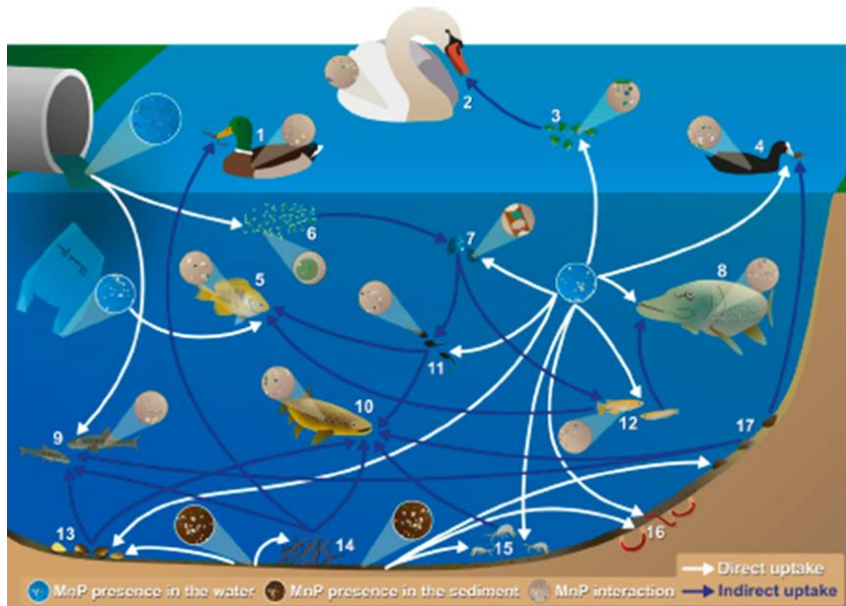
Prema dosadašnjim istraživanjima, zagađenje mikroplastikom zabilježeno je u rijekama, jezerima i potocima diljem Azije, Europe te Sjeverne i Južne Amerike. Količina mikroplastike obično se izražava kao broj čestica po površini ili broj čestica po volumenu uzorka vode. U vodama Sjeverne i Južne Amerike količina mikroplastike se kreće između 0,16 i 3 437,94 čestica m⁻³ ili 52 508 i 748 027 čestica km⁻². U Europskim rijekama zabilježene su količine od 55,1 ± 75,4 do 892 777 čestica km⁻¹ i 0,28 ± 0,18 do 1 265 čestica m⁻³. Količina mikroplastike u vodama Azije varira između 0,14 ± 0,01 i 49 ± 3 čestica L⁻¹, odnosno 293 ± 83 i 19 860 čestica m⁻³.

5.2. Zastupljenost mikroplastike u sedimentima

U Europi, Africi i Sjevernoj Americi postoji relativno mali broj radova koji iznose podatke o prisutnosti mikroplastike u sedimentima rijeka i jezera te je većina istraživanja na ovu temu provedena u Aziji. Količina mikroplastike u sedimentima najčešće se izražava kao broj čestica mikroplastike po kilogramu uzorka. Najviša zabilježena koncentracija mikroplastike u Aziji iznosi 9 597 čestica kg⁻¹. Na sjeveru Afrike količina mikroplastike varira između 2 340 ± 227,15 i 6 920 ± 395,98 čestica kg⁻¹, a u Sjevernoj Americi između 833,33 ± 80,79 i 1 633,34 ± 202,56 čestica kg⁻¹. Najviša zabilježena koncentracija mikroplastike u Europi iznosi 4 000 čestica kg⁻¹, a najniža 25 do 30 čestica na 100 grama uzorka.

6. UNOS MIKROPLASTIKE U SLATKOVODNE ORGANIZME

Zastupljenost, distribucija i karakteristike čestica mikroplastike prisutne u okolišu određuju vjerojatnost unosa mikroplastike u slatkovodne organizme (Windsor i sur. 2019). Životinje mikroplastiku unose u organizam izravno, zamjenjujući istu za čestice hrane, ili indirektno, konzumacijom organizama koji su prethodno u sebe unijeli plastične fragmente (O'Connor i sur. 2020). Slika 4. prikazuje dosad zabilježene puteve prijenosa mikroplastike među slatkovodnim organizmima (Kukkola i sur. 2021).



Slika 4. Model prijenosa fragmenata mikroplastike kroz hranidbeni lanac. (Kukkola i sur. 2021)

Neke vrste vrše selekciju čestica mikroplastike koje onda aktivno unose u organizam, dok druge vrste mikroplastiku unose slučajno prilikom hranjenja (Windsor i sur. 2019). Na unos mikroplastike u organizme utječu koncentracija, gustoća, veličina i vrsta čestica prisutnih u staništu (Scherer i sur. 2017). Veličina čestice koju jedinka unosi u organizam obično je povezana s veličinom tijela, veći organizmi unose veće čestice/plijen (Ockeden i sur. 2021). Oblik i boja čestica važne su karakteristike koje fragmente mikroplastike čine vizualno sličnima određenom tipu hrane, zbog čega ih jedinke mogu potencijalno unijeti u organizam (Shazani i sur. 2021). Nakon unosa mikroplastika može utjecati na vodene organizme na različite načine (Windsor i sur. 2019).

7. UTJECAJ MIKROPLASTIKE NA ŽIVI SVIJET

Interes za ovu temu pojavio se relativno nedavno te je dostupnost informacija ograničena, a problem u donošenju primjenjivih zaključaka predstavlja neusklađenost podataka dobivenih u laboratorijskim i terenskim istraživanjima (O'Connor i sur. 2020). U laboratorijskim istraživanjima najčešće korišteni oblici mikroplastike jesu sferični fragmenti, dok se u terenskim istraživanjima pokazalo kako su u slatkovodnim staništima najzastupljenija mikroplastična vlakna (Ockenden i sur. 2021). U dosad objavljenim radovima, interakcija i utjecaj mikroplastike na slatkovodne organizme proučavani su na različitim skupinama: algama, vaskularnim biljkama, rakovima, puževima, dvokrilcima, školjkašima, kolutičavcima, vodozemcima, ribama i pticama (Kukkola i sur. 2021). Istraživanja mikroplastike pokazala su negativne učinke na pojedine organizme, ali utjecaj mikroplastike na cjelokupni slatkovodni ekosustav ostaje nepoznat (Eriksen i sur. 2018).

7.1. Utjecaj na primarne proizvođače

Parametri koji se određuju prilikom istraživanja utjecaja mikroplastike na primarne proizvođače jesu fotosintetska aktivnost i rast tkiva ili samih jedinki (Kukkola i sur. 2021). Fotosintetska aktivnost mjeri se metodama za fluorimetrijsko određivanje koncentracije klorofila a (Kukkola i sur. 2021). Čestice mikroplastike nalaze se adsorbirane na površini slatkovodnih cijanobakterija te mogu inhibirati njihov rast, smanjiti koncentraciju klorofila i stopu fotosinteze (Wang i sur. 2021). Međutim, fragmenti mikroplastike u kombinaciji s anorganskim tvarima, na primjer ionima olova (Pb^{2+}) mogu potaknuti cvjetanje algi (Wang i sur. 2021). Odgovori biljaka i makroalgi na izloženost česticama mikroplastike međusobno se razlikuju (Mateos-Cárdenas i sur. 2021). Prema dosadašnjim istraživanjima prisutnost mikroplastike u vaskularnih biljaka nije imala nikakve učinke na fotosintezu, a inhibicija rasta korijena zabilježena je u samo dva istraživanja (Kukkola i sur. 2021). S druge strane, izloženost mikroplastici uzrokovala je smanjenu stopu fotosinteze i inhibiciju rasta u većine ispitivanih makroalgi (Kukkola i sur. 2021).

7.2. Utjecaj na primarne potrošače

Trofički prijenos mikroplastike s biljaka i makroalgi na primarne potrošače zabilježen je u nekoliko istraživanja (Mateos-Cárdenas i sur. 2021). Parametri koji se određuju prilikom istraživanja utjecaja mikroplastike na primarne potrošače jesu smrtnost, rast tkiva ili samih jedinki i razmnožavanje (Kukkola i sur. 2021). U većini dosadašnjih istraživanja veće koncentracije mikroplastike uzrokovale su i veću smrtnost jedinki unutar izložene populacije (Kukkola i sur.). Izloženost velikim koncentracijama mikroplastike tako može uzrokovati smanjenje brojnosti pojedinih vrsta na određenom staništu te potencijalno poremetiti strukturu zajednice i ostaviti negativne ekološke posljedice (Ockenden i sur. 2021). Negativan utjecaj na rast jedinki koje su unijele mikroplastiku u organizam zabilježen je u rakova vrste *Gammarus pulex* (Kukkola i sur. 2021). U ličinki vodenih dvokrilaca vrste *Chironomus tepperi* izloženost sedimentima zagađenih česticama mikroplastike uzrokovala je smanjenu stopu emergencije i veću smrtnost jedinki, kao i smanjenu veličina tijela (Ziajahromi i sur. 2018). Windsor i sur. (2019) istraživali su učinke mikroplastike na dva reda kukaca: Ephemeroptera i Trichoptera te navode kako prisutnost mikroplastike u probavnom traktu može inhibirati apsorpciju hranjivih tvari i tako smanjiti rast, reprodukcija i preživljavanje jedinki. Utjecaj mikroplastike na razmnožavanje ispitivan je u trima istraživanjima na jedinkama roda *Daphnia* te su u sva tri istraživanja zabilježeni negativni učinci na rast populacija (Kukkola i sur. 2021).

7.3. Utjecaj na sekundarne potrošače

Parametri koji se određuju prilikom istraživanja utjecaja mikroplastike na primarne potrošače primjenjuju se i u istraživanjima utjecaja mikroplastike na sekundarne potrošače (Kukkola i sur. 2021). Učinci koji se proučavaju kod sekundarnih potrošača još uključuju i promjene u histopatologiji, ekspresiji gena i ponašanju životinja (Kukkola i sur. 2021). Smatra se da je povećana smrtnost jedinki izloženih česticama mikroplastike rjeđa pojava u sekundarnih potrošača te je dosad zabilježena u samo jednom istraživanju u vrste ribe *Danio rerio* (Kukkola i sur. 2021). Na vrsti *D. rerio* zabilježeni su i različiti toksikološki učinci mikroplastike za koje se pretpostavlja da ovise o veličini, obliku i vrsti čestica, a kao odgovor u životinji izazivaju oksidativni stres, nakupljanje lipida u jetri i upalu zahvaćenog tkiva (Shazani i sur. 2021). Oksidativni stres uzrokovan određenom koncentracijom mikroplastike može poremetiti

stanične procese i dovesti do oštećenja tkiva (Kukkola i sur. 2021). U ostalih istraživanih vrsta slatkovodnih riba, izloženost mikroplastici za posljedicu je imala smanjeni unos hrane, a time i smanjenu stopu rasta jedinki (Shazani i sur. 2021). Unatoč tome što su informacije o štetnim učincima nekih kemijskih dodataka prisutnih u česticama mikroplastike široko dostupne, nedostaju podatci o oslobađanju istih iz plastičnih materijala, pa detalji njihovih ekotoksikoloških učinaka na živi svijet ostaju nepoznati (Ockenden i sur. 2021).

8. ZAKLJUČAK

Iako se plastika u okoliš ispušta već dugi niz godina, distribucija mikroplastike u slatkovodnim ekosustavima relativno je novi predmet istraživanja zbog čega njen utjecaj na okoliš nije u potpunosti razjašnjen (Scherer i sur. 2018). Metode uzorkovanja, izolacije i identifikacije mikroplastike opisane u postojećoj literaturi vrlo su raznolike te je za uspoređivanje dosad prikupljenih podataka i donošenje primjenjivih zaključaka nužna standardizacija metodologije (Dris i sur. 2015). Različite koncentracije mikroplastike zabilježene su u sedimentima i vodama na gotovo svim kontinentima (Erkes-Medrano i sur. 2015). Zbog svoje male veličine, mikroplastika je široko dostupna za velikom broju slatkovodnih vrsta (Scherer i sur. 2017). Velik broj istraživanja pokazao je kako su slatkovodni beskralježnjaci i ribe skloni unijeti čestice mikroplastike u organizam zamjenjujući ih za čestice hrane (Erkes-Medrano i sur. 2015). Mikroplastika u životinja može utjecati na hranjenje, rast i reprodukciju, a u pojedinih skupina u većim koncentracijama može izazvati i veliku stopu smrtnosti (Kukkola i sur. 2021). Mikroplastika se može naći i na površini slatkovodnih algi i biljaka u kojih može ometati rast i diobu stanica te uzrokovati smanjenje koncentracije klorofila koja za posljedicu ima smanjenje stope fotosinteze (Mateos-Cárdenas i sur. 2021). Utjecaj mikroplastike na slatkovodne organizme nedovoljno je istražen, a laboratorijska i terenska istraživanja u velikoj su mjeri neusklađena što otežava donošenje validnih zaključaka na ovu temu (Kukkola i sur. 2021). Za detaljnu analizu i bolje razumijevanje utjecaja mikroplastike u slatkovodnim ekosustavima potrebno je više istraživanja koja uključuju: standardizaciju metodologije, univerzalno određivanje koncentracije mikroplastike u određenom staništu, određivanje detaljnih faktora koji utječu na unos mikroplastike u organizme i ispitivanje toksičnosti mikroplastike (Shazani i sur. 2021).

9. LITERATURA

1. Dris R., Imhof H., Sanchez W., Gasperi J., Galgani F., Tassin B., Laforsch C. (2015): Beyond the ocean: contamination of freshwater ecosystems with (micro-)plastic particles. *Environmental Chemistry* 12, 539-550
2. Eerkes-Medrano D., Thompson R. (2018): Chapter 4 - Occurrence, Fate, and Effect of Microplastics in Freshwater Systems. U: Zeng E.Y. (ur.) *Microplastic Contamination in Aquatic Environments*. Elsevier, str. 95-132
3. Eerkes-Medrano D., Thompson R.C., Aldridge D. C. (2015): Microplastics in freshwater systems: A review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs. *Water Research* 75, 63-82
4. Eriksen M., Thiel M., Prindiville M., Kiessling T. (2018): *Microplastic: What Are the Solutions?* U: Wagner M., Lambert S. (ur.) *Freshwater Microplastics*, Springer International Publishing, str. 273-298
5. Fredric M. Windsor, Rosie M. Tilley, Charles R. Tyler, Steve J. Ormerod (2019): Microplastic ingestion by riverine macroinvertebrates. *Science of The Total Environment* 646, 68-74
6. Kukkola A., Krause S., Lynch I., Smith G.H.S., Nel H. (2021): Nano and microplastic interactions with freshwater biota – Current knowledge, challenges and future solutions, *Environment International* 152, 106504
7. Mateos-Cárdenas A., Jansen A.R.J., O'Halloran J., van Pelt F.N.A.M., Jansen M.A.K. (2021): Impacts of Microplastics in the Irish Freshwater Environment. An Ghníomhaireacht um Chaomhnú Comhshaoil PO Box 3000, Johnstown Castle, Co. Wexford, Ireland?
8. Mendoza L.M.R., Balcer M. (2019): Microplastics in freshwater environments: A review of quantification assessment. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* 113, 402-408
9. Miloloža M., Kučić Grgić D., Bolanča T., Ukić Š., Cvetnić M., Ocelić Bulatović V., Dionysiou D.D., Kušić H. (2021): Ecotoxicological Assessment of Microplastics in Freshwater Sources – A Review. *Water* 13, 56
10. Ockenden A., Tremblay L.A., Dikareva N., Simon K.S. (2021): Towards more ecologically relevant investigations of the impacts of microplastic pollution in freshwater ecosystems. *Science of The Total Environment* 792, 148507

11. O'Connor J. D., Mahon, A. M., Ramsperger, A. F. R. M., Trotter, B., Redondo-Hasselerharm, P. E., Koelmans, A. A., Lally, H. T., Murphy, S. (2020): Microplastics in Freshwater Biota: A Critical Review of Isolation, Characterization, and Assessment Methods. *Global Challenges* 4, 1800118
12. Sarijan, S., Azman, S., Said, M.I.M., Jamal M.H. (2021): Microplastics in freshwater ecosystems: a recent review of occurrence, analysis, potential impacts, and research needs. *Environmental Science and Pollution Research* 28, 1341-1356
13. Scherer C., Weber A., Lambert S., Wagner M. (2018): Interactions of Microplastics with Freshwater Biota. U: Wagner M., Lambert S. (ur.) *Freshwater Microplastics*. Springer International Publishing, str. 153-180
14. Scherer, C., Brennholt, N., Reifferscheid, G., Wagner M. (2017): Feeding type and development drive the ingestion of microplastics by freshwater invertebrates. *Scientific Reports - Nature* 7, 17006
15. Wagner M., Scherer C., Alvarez-Muñoz D., Brennholt N., Bourrain X., Buchinger S., Fries E., Grosbois C., Klasmeier J., Marti T., Rodriguez-Mozaz S., Urbatzka R., Vethaak A. D., Winther-Nielsen M., Reifferscheid G. (2014): Microplastics in freshwater ecosystems: what we know and what we need to know. *Environmental Sciences Europe* 26, 12
16. Wang S., Li Q., Huang S., Zhao W., Zheng Z. (2021): Single and combined effects of microplastics and lead on the freshwater algae *Microcystis aeruginosa*, *Ecotoxicology and Environmental Safety* 208, 111664
17. Windsor F.M., Tilley R.M., Tyler C.R., Ormerod S.J. (2019): Microplastic ingestion by riverine macroinvertebrates. *Science of The Total Environment* 646, 68-74
18. Ziajahromi S., Kumar A., Neale P. A., Leusch F. D. L. (2018): Environmentally relevant concentrations of polyethylene microplastics negatively impact the survival, growth and emergence of sediment-dwelling invertebrates. *Environmental Pollution* 236, 425-431
19. Web 1: <https://www.indiamart.com/proddetail/van-veen-grab-samplers-20572517688.html> (pristupljeno 22.8.2021.)
20. Web 2: <https://www.nhbs.com/manta-trawl-net> (pristupljeno 22.8.2021.)

10. SAŽETAK

Proizvodnja plastike globalni je uspjeh, ali je postala prijetnja okolišu jer stvara čestice mikroplastike (veličine < 5 mm). Mikroplastika u slatkovodne sustave dopijeva na različite načine, a zabilježena je u vodama i sedimentima diljem svijeta. U ovom radu iznesena su dosadašnja saznanja o zastupljenosti i distribuciji mikroplastike u slatkovodnim ekosustavima. Navedene su i najčešće korištene metode uzorkovanja i analize mikroplastike te su iznesene informacije o dosad poznatim utjecajima mikroplastike na slatkovodne organizme.

KLJUČNE RIJEČI: mikroplastika, slatkovodni ekosustav, zastupljenost, utjecaj

11. SUMMARY

The production of plastics is a global success but has now become a threat to the environment as it generates microplastic particles (< 5 mm in size). Microplastics can enter freshwater systems via various pathways and has been detected in waters and sediments all around the world. In this paper, the current knowledge on the presence and distribution of microplastics in freshwater ecosystems is presented. The most frequently used methods of sampling and analysis of microplastics are listed and information on the currently known effects of microplastics on freshwater biota is presented.

KEYWORDS: microplastics, freshwater ecosystem, presence, effects