

# Mikroplastika u morskim organizmima

---

**Vidas, Anamaria**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Pula / Sveučilište Jurja Dobrile u Puli**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:137:651018>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-23**



*Repository / Repozitorij:*

[Digital Repository Juraj Dobrila University of Pula](#)



Sveučilište Jurja Dobrile u Puli

Fakultet prirodnih znanosti

Sveučilišni prijediplomski studij Znanost o moru

**ANAMARIA VIDAS**

**MIKROPLASTIKA U MORSKIM ORGANIZMIMA**

Završni rad

0303068368, redoviti student

Studijski smjer: Znanost o moru

Predmet: Biološki učinci zagađivala

Znanstveno područje: Prirodne znanosti

Znanstveno polje: Interdisciplinarno

Znanstvena grana: Znanost o moru

Mentor: izv. prof. dr. sc. Ines Kovačić

Pula, 2024.



## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, dolje potpisana Anamaria Vidas, kandidat za prvostupnika Znanosti o moru ovime izjavljujem da je ovaj Završni rad rezultat isključivo mogega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na objavljene literature kao što to pokazuju korištene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da niti jedan dio Završnog rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz kojega necitiranog rada, te da ikoji dio rada krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za koji drugi rad pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili radnoj ustanovi.

Student:

---

U Puli, 2024. godine



## **IZJAVA**

### **o korištenju autorskog djela**

Ja, Anamaria Vidas, dajem odobrenje Sveučilištu Jurja Dobrile u Puli, kao nositelju prava iskorištavanja, da moj završni rad pod nazivom "Mikroplastika u morskim organizmima" koristi na način da gore navedeno autorsko djelo, kao cjeloviti tekst trajno objavi u javnoj internetskoj bazi Sveučilišne knjižnice Sveučilišta Jurja Dobrile u Puli te kopira u javnu internetsku bazu završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice (stavljanje na raspolaganje javnosti), sve u skladu sa Zakonom o autorskom pravu i drugim srodnim pravima i dobrom akademskom praksom, a radi promicanja otvorenoga, slobodnoga pristupa znanstvenim informacijama.

Za korištenje autorskog djela na gore navedeni način ne potražujem naknadu.

U Puli, 2024. godine

Potpis

---

## ZAHVALA

Zahvaljujem mentorici izv. prof. dr. sc. Ines Kovačić na pomoći i stručnim savjetima tijekom pisanja ovog završnog rada, a najviše na strpljenju i uloženom trudu i vremenu za ispravljanje ovog rada.

Zahvaljujem svim profesorima smjera Znanosti o moru na prenesenom znanju.

Zahvaljujem svojoj obitelji i prijateljima što su bili uz mene tijekom uspona i padova na mojem akademskom putu.

I na kraju, zahvaljujem sebi što nisam odustala.

## Sadržaj

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>1.1. Plastika</b> .....	1
<b>1.2. Mikroplastika</b> .....	5
<b>1.3. Mikroplastika i klimatske promjene</b> .....	8
<b>1.4. Unos i distribucija mikroplastike u morskom okolišu</b> .....	11
<b>1.4.1. Unos i distribucija mikroplastike u morskim algama i cvjetnicama</b> .....	12
<b>1.4.2. Unos i distribucija mikroplastike u morskim beskralježnjacima</b> .....	13
<b>1.4.3. Unos i distribucija mikroplastike u morskim kralježnjacima</b> .....	13
<b>2. CILJ</b> .....	15
<b>3. OBRADA PODATAKA</b> .....	16
<b>3.1. Mikroplastika u morskim algama i morskim cvjetnicama</b> .....	16
<b>3.2. Mikroplastika u morskim beskralježnjacima</b> .....	19
<b>3.3. Mikroplastika u morskim kralježnjacima</b> .....	27
<b>4. ZAKLJUČAK</b> .....	39
<b>5. LITERATURA</b> .....	40
<b>6. SAŽETAK</b> .....	49
<b>7. ABSTRACT</b> .....	50

## 1. UVOD

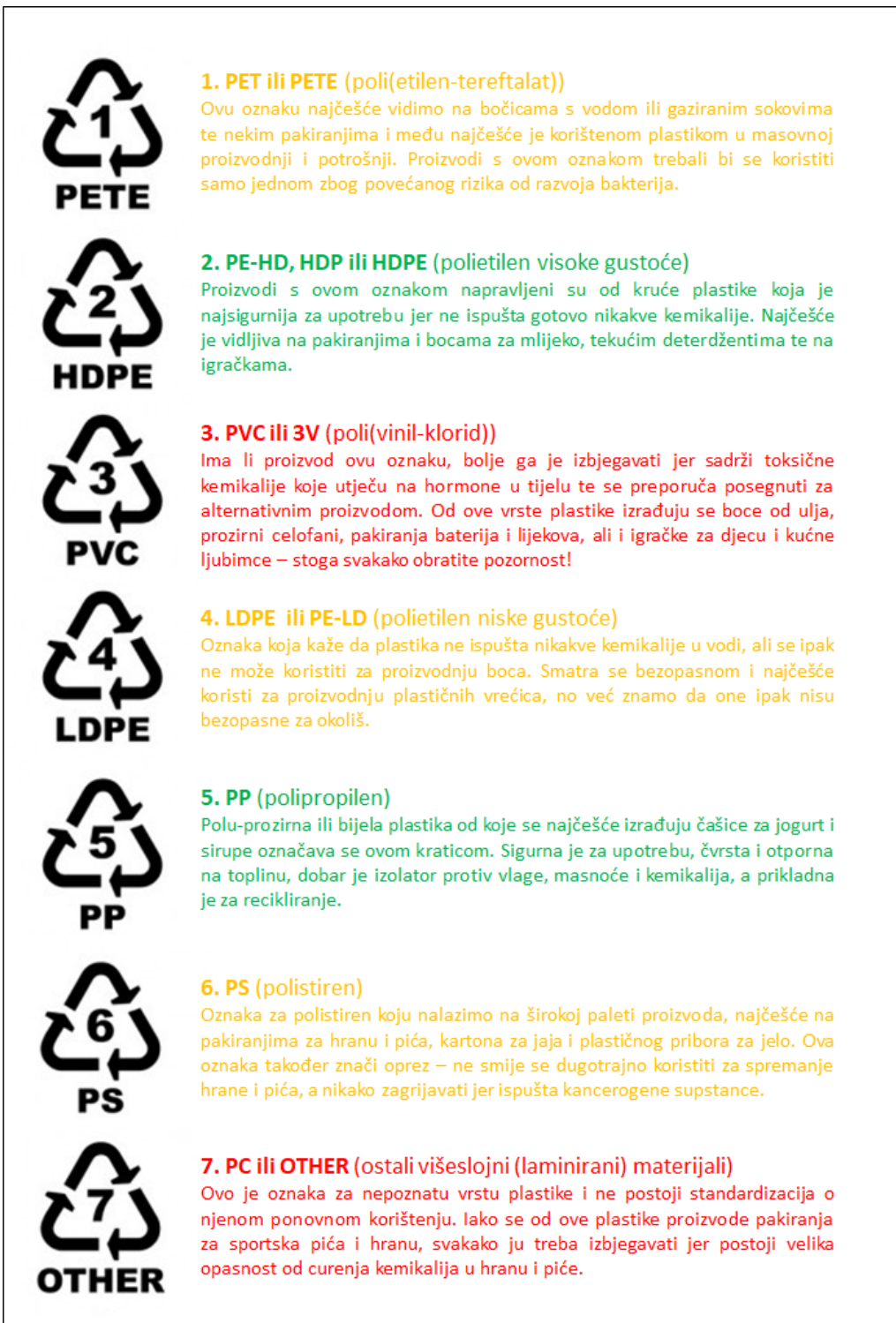
### 1.1. Plastika

U knjizi "*Plastic packaging materials for Food*" sav sintetski proizveden ili prerađeni ugljik koji sadrži tvari visoke molekularne težine uključen je pod izraz plastika. Materijalom velike molekularne težine smatra se materijal koji sadrži više od 1000 atoma (Piringer i Baner, 2008).

Izraz plastika odnosi se na skupinu materijala koja uključuje najlon, polietilen i teflon, baš kao što cink, aluminij i čelik spadaju u skupinu metala. Ovo je važna činjenica jer kao što je prihvaćeno da cink ima prilično različita svojstva od čelika, najlon ima prilično različita svojstva od teflona (Crawford i Martin, 2020).

Većina plastičnih dobara široke potrošnje označena je standardiziranim kodovima označenim unutar trokuta, koji označavaju kemijski sastav glavnog polimera koji se koristi za sortiranje i recikliranje kompatibilnih materijala. To uključuje polietilen tereftalat (PETE, #1), polietilen visoke gustoće (HDPE, #2), polivinil klorid (PVC, #3), polietilen niske gustoće (LDPE, #4, koji trenutno uključuje i linearni LDPE [LLDPE] ), polipropilen (PP, #5), polistiren (PS, #6) i druge polimere (#7), što je vidljivo na **slici 1**. (Jung i sur., 2018).

Dok se plastika reciklira od 1970-ih, količine koje se recikliraju razlikuju se geografski, ovisno o vrsti plastike i primjeni. Recikliranje materijala za pakiranje doživjelo je brzu ekspanziju tijekom posljednjih desetljeća u nizu zemalja. Napredak u tehnologiji i sustavima za prikupljanje, sortiranje i ponovnu preradu plastike koja se može reciklirati stvara nove prilike za recikliranje, a zajedničkim djelovanjem javnosti, industrije i vlade moglo bi biti moguće preusmjeriti većinu plastičnog otpada s odlagališta na recikliranje tijekom sljedećih desetljeća (Hopewell i sur., 2009).



Slika 1. Standardizirani kodovi plastike.



Velika većina monomera koji se koriste za izradu plastike, kao što su etilen i propilen, potječu od fosilnih ugljikovodika. Nijedna plastika koja se često koristi nije biorazgradiva. Zbog toga se nakupljaju, umjesto da se razgrađuju, na odlagalištima otpada ili u prirodnom okolišu (Geyer i sur., 2017).

Polimeri se dobivaju polimerizacijom monomera u makromolekulske lance. Osim monomera, za polimerizaciju su često potrebne i druge tvari, npr. inicijatori, katalizatori i, ovisno o procesu proizvodnje, također se mogu koristiti otapala. Izraz plastika koristi se za opisivanje plastičnih polimera kojima se dodaju aditivi kako bi se omogućila obrada i/ili dala svojstva koja su poželjna u određenoj primjeni (Lithner i sur., 2011).

Plastike su definirane kao polimeri (kruti materijali) koji zagrijavanjem postaju mobilni i mogu se lijevati u kalupe. To su nemetalni spojevi koji se mogu oblikovati, i izrađeni su od materijala kojim se može dobiti željeni oblik i veličina. Riječ plastika dolazi od grčke riječi "plastikos", što znači, "može se oblikovati u različite oblike". Plastika koju mi koristimo je proizvedena od anorganskih i organskih sirovina kao što su ugljik, silicij, itd. Osnovni materijal koji se koristi za izradu plastike su vađeni iz ugljena, nafte i prirodnog plina (Bhuvanewari i sur., 2016).

Prvu umjetnu plastiku stvorio je *Alexander Parkes* koji ju je javno demonstrirao na Velikoj međunarodnoj izložbi u Londonu 1862. godine, što je vidljivo na **slici 2**. Materijal nazvan *Parkesine* bio je organski materijal dobiven od celuloze koja se jednom zagrijana mogla oblikovati i zadržavala je svoj oblik kada se ohladi. *John Wesley Hyatt* izumio je celuloid kao zamjenu za slonovaču u biljarskim kuglama 1868. godine. Međutim, materijal nije bio dovoljno jak da se koristi za biljarske kugle, sve do dodatka kamfora, derivata lovorovog drveta. Novi celuloid mogao se oblikovati toplinom i pritiskom u trajan oblik, kasnije je celuloid postao poznat kao prvi savitljivi fotografski film koji se koristio za fotografije i filmove (Chahal i sur., 2013).

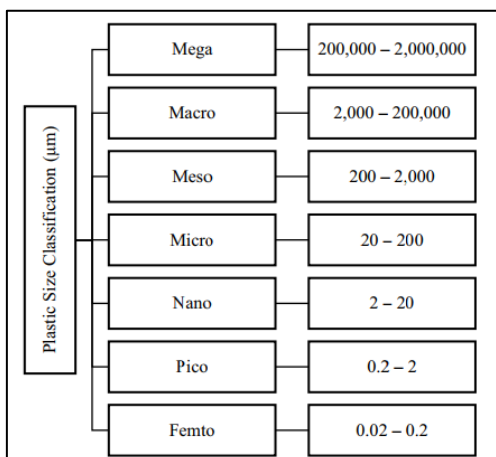


**Slika 2.** Velika međunarodna izložba u Londonu 1862. godine.

Plastika ima bogatu povijest koja seže do sredine 19. stoljeća kada su znanstvenici počeli eksperimentirati s raznim kemikalijama i prirodnim materijalima u nastojanju da se stvori zamjena za materijale kao što su slonovača i kornjačin oklop. Međutim, tek početkom 20. stoljeća plastika je postala široko korištena u industriji i potrošačkim proizvodima. Izum *bakelita*, prve sintetičke plastike, od strane belgijskog kemičara koji se zvao *Leo Baekeland* 1907., bio je značajan iskorak u razvoju plastike. Bakelit je termoreaktivna plastika koja se može oblikovati u bilo koji oblik i vrlo je izdržljiv, što ga je činilo idealnim za korištenje u elektrotehnici i automobilskoj industriji (Bersani, 2024)

Različite vrste informacija mogu se izvući iz analize plastičnog otpada, uključujući oblik, veličinu, boju, vrstu polimera, količinu, težinu i izvornu upotrebu. S obzirom na različite karakteristike velikih plastičnih ostataka, informacije zabilježene u postojećim studijama relativno su ograničene (Moon i sur., 2022).

Plastika se može klasificirati prema veličini kao što je prikazano na **Slici 3.**, međutim, u novije vrijeme sitni plastični fragmenti dimenzija manjih od 5 mm općenito se definiraju kao mikroplastika (Elnakar i sur., 2024).



**Slika 3.** Klasifikacija plastike prema veličini izražena u mikrometrima. (Elnakar i sur., 2024).

## 1.2. Mikroplastika

Mikroplastika je prvi put predstavljena 2004. godine (Zhang i sur., 2024). U tijeku je rasprava o odgovarajućoj definiciji mikroplastike. Do sada je najčešće korištena ona koja govori da su to čestice manje od 5 mm u njihovim najdužim dimenzijama (Lusher i sur., 2017). Mikroplastika koja se nalazi u okolišu, heterogena je skupina čestica koje se razlikuju po veličini, gustoći, obliku i kemijskom sastavu različitih izvora (Rodríguez-Seijo i Pereira, 2017). Mikroplastika se uglavnom klasificira prema morfološkim karakteristikama: veličini, obliku i boji (Lusher i sur., 2017).

Ovisno o izvorima, mogu se razlikovati dvije vrste mikroplastike koje se nazivaju "primarna mikroplastika" i "sekundarna mikroplastika" (Rodríguez-Seijo i Pereira, 2017). Primarna se proizvodi u mikroskopskim veličinama za kućanstvo ili industrijsku upotrebu i ulaze u okoliš u obliku malih čestica. Nasuprot tome, antropogene aktivnosti rezultiraju sekundarnom mikroplastikom koja potječe iz domova kao kućni otpad ili industrijski otpad i prolazi fragmentaciju zbog mehaničkih ili fotooksidativnih putova, a ilustrirani primjer se može vidjeti na **slici 4.** (Razaviarani i sur., 2024).



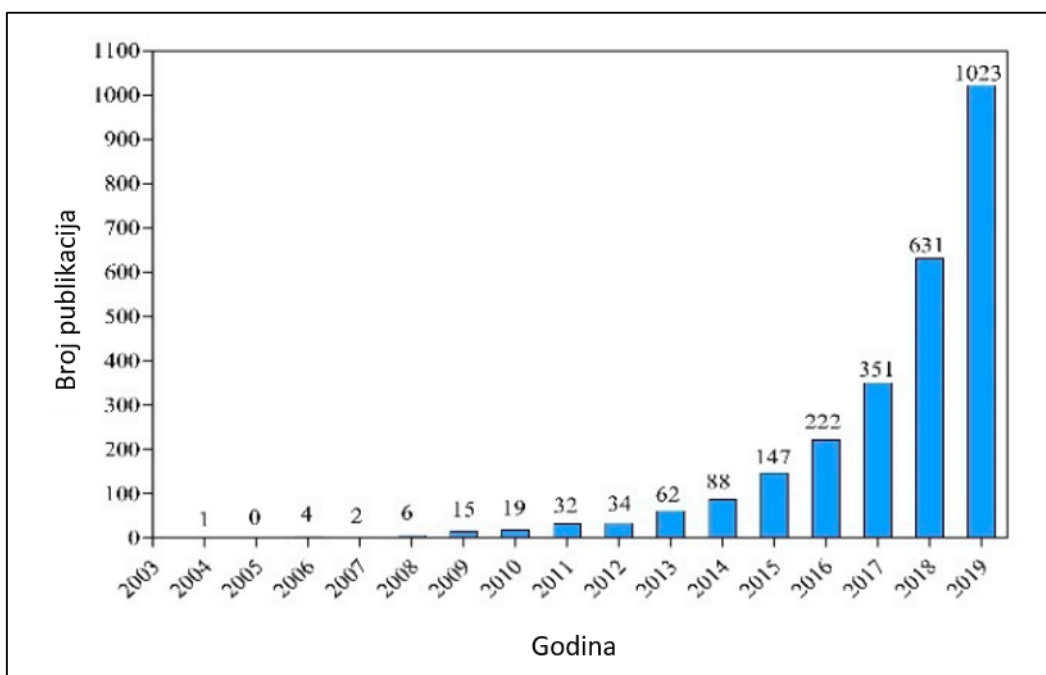
**Slika 4.** Podrijetlo mikroplastike u vodenom okolišu i kako ulazi u hranidbeni lanac.

Istraživanja koja ne koriste filtere i/ili sita često se oslanjaju na vještine uočavanja pojedinih uzoraka za vrijeme obrade uzoraka. Dakle, veličina prikupljenih čestica je subjektivna i ovisna o vještinama znanstvenika koji obrađuju uzorke (Jovanović, 2017). Teško je identificirati mikroplastiku različitih veličina, oblika i vrsta polimera, potpuno i pouzdano, od složenih okolišnih sredina, korištenjem jedne analitičke metode. Danas je kombinacija više od dvije analitičke tehnike široko korištena. Općenito, analiza mikroplastike sastoji se od dva koraka: fizičke karakterizacije potencijalne plastike (npr. mikroskopija) nakon čega slijedi kemijska karakterizacija (npr. spektroskopija) za potvrdu plastike. Svaka metoda i razne kombinacije imaju prednosti i ograničenja (Shim i sur., 2017).

Pokazano je da mikroplastika može biti uzrok patološkog stresa, smanjenja imunološke funkcije i karcinoma u morskoj bioti. Kada uzmemo u obzir da su mnogi morski organizmi relevantni za ribarsku industriju (npr. dagnje, kamenice i ribe) i da se njima može unositi mikroplastika, logično je pretpostaviti da postoje potencijalni rizici za ljudsko zdravlje (Guzzetti i sur., 2018). Jednom kad se progutane čestice pronađu u ljudskom probavnom traktu, crijeva ih mogu upiti. Translokacija, odnosno premještanje različitih vrsta mikroplastike u crijevima sisavaca je pojava pokazana u više studija koje uključuju glodavce (veličina čestica 0,03 - 40  $\mu\text{m}$ ), zečeve (veličina čestica 0,1 - 10  $\mu\text{m}$ ), pse (veličina čestica 3 - 100  $\mu\text{m}$ ) i ljude (veličina čestica 0,16 - 150  $\mu\text{m}$ ) (Hussain i sur., 2001).

Onečišćenje mikrovlaknima također je još jedna velika prijetnja bioraznolikosti iz sektora tekstila. Pranje odjeće godišnje ispusti 50 milijardi lb plastike u ocean ili oko 500.000 tona mikrovlakana. Zbog brze mode i porasta stanovništva porasla je proizvodnja tekstila i potrošnja jeftinih tkanina od sintetičkih vlakana. Procjenjuje se da do 35 % primarnog izvora mikroplastike u morskom okolišu dolazi od sintetičke odjeće. Prirodna vlakna također doprinose onečišćenju mikrovlaknima, ali ona su biorazgradiva i imaju minimalan utjecaj na okoliš. Međutim, tragovi kemikalija i bojila mogu biti prisutni u prirodnim i polusintetičkim mikrovlaknima koja su jednako problematični onečišćivači (Devi i Devi, 2024).

Godišnja raspodjela rezultata publikacija otkrila je napredak u istraživanju mikroplastike tijekom vremena što je vidljivo na dijagramu koji je prikazan na **slici 5** (Qin i sur., 2020).



**Slika 5.** Godišnji broj publikacija o istraživanju mikroplastike od 2004. do 2019. godine.

### 1.3. Mikroplastika i klimatske promjene

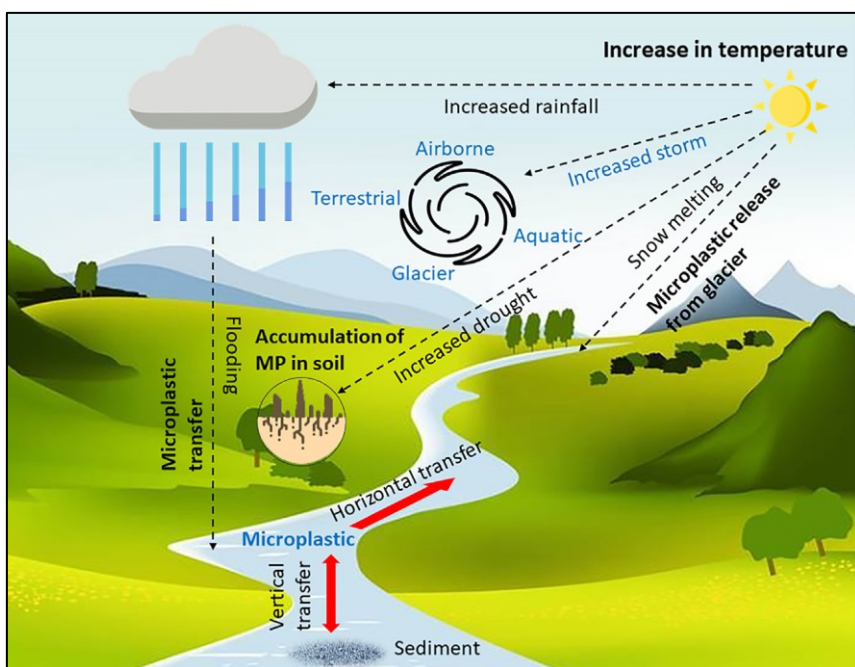
Ocean i njegovi ekosustavi i vrste u oceanu obično su u središtu pozornosti studija onečišćenja plastikom; međutim, većina tih studija ne uzima u obzir dodatni utjecaj klimatskih promjena. Plastika, njena upotreba i utjecaj kao zagađivač, često su u središtu rasprava u sferama istraživanja, medija i politike; no tome se uglavnom pristupa kao odvojenom pitanju od rastuće klimatske krize. Nedavno se želja javnosti da pomogne u rješavanju onečišćenja mora plastikom pojačala i izazvala kontroverze kao odvratanje pozornosti od većeg i gorućeg pitanja klimatskih promjena. Međutim, plastično onečišćenje jednako je globalno rasprostranjeno; nalazi se u svim regijama oceana, od plitkih obalnih područja do najdubljih regija dosad uzorkovanih te na najudaljenijim i najosjetljivijim lokacijama na Zemlji (Ford i sur., 2022).

Tijekom posljednja dva desetljeća, onečišćenje mora plastičnim otpadom je u porastu i značajno pridonosi globalnim klimatskim promjenama. Utjecaj klimatskih promjena već je prisutan u obliku porasta razine mora, zakiseljavanja oceana i ekstremnih vremenskih uvjeta, što dovodi do socioekonomske i ekološke štete (Sharma i sur., 2023).

Kako se koncentracije mikroplastike i nanoplastike povećavaju, vjerojatno će se njihovi negativni utjecaji značajno razvijati, utječući na cijele ekosustave i u konačnici smanjujući sposobnost oceana za poniranje ugljika, što je ključno za ublažavanje klimatskih promjena. U procjenama utjecaja na okoliš, u svim fazama ciklusa proizvodnje plastike otkrivena je zabrinutost u vezi s emisijama stakleničkih plinova, koje ubrzavaju učinke klimatskih promjena. Među različitim izvorima koji doprinose emisijama stakleničkih plinova, plastični otpad odgovoran je za približno 4 % globalnih emisija stakleničkih plinova, s tim da će se postotak emisija povećati za 15 % do 2050. godine, s obzirom na rastuću svjetsku proizvodnju (npr. 380 milijuna tona godišnje) plastike. Ove statistike postavljaju plastiku kao glavni uzrok klimatskih promjena (Joo, 2024).

Onečišćenje plastikom smatra se jednim od najopasnijih ekoloških problema 21. stoljeća. Mikroplastika i nanoplastika značajno su pridonijele emisiji stakleničkih plinova i stoga imaju utjecaj na klimatske promjene. Metan i etilen dva su glavna staklenička plina koji nastaju iz najčešće korištene plastike kada su izloženi sunčevom zračenju iz okoline. S jedne strane, onečišćenje uzrokovano mikroplastikom i nanoplastikom može utjecati na izmjenu plina i kruženje CO<sub>2</sub>, što rezultira većom emisijom stakleničkih plinova. S druge strane, klimatske promjene utječu na mikroplastiku i nanoplastiku. Na primjer, plastika s kopna, plastika nošena vjetrom, resuspenzija plastike iz sedimenta i postojanost plastike povećali su se zbog utjecaja klimatskih promjena. Interakcije između onečišćenja plastikom i klimatskih promjena tek treba u potpunosti razumjeti budući da je ova tema tek nedavno dobila pozornost (Kakar i sur., 2023).

Kao rezultat otapanja leda koje povećava brzinu oceanskih struja, olujne vjetrove i pojačane grmljavinske oluje, pod utjecajem porasta temperature, također će utjecati na sudbinu mikroplastike. Mikroplastika se ne prenosi samo iz rijeka u oceane već i iz vodenih regija na kopnene regije. Povećana globalna temperatura rezultira sušama koje mogu zarobiti mikroplastiku u tlu. Sudbina mikroplastike pod utjecajem parametara klimatskih promjena je prikazana shematski na **slici 6**. (Haque i Fan, 2023).



**Slika 6.** Shematski prikaz sudbine mikroplastike pod utjecajem parametara klimatskih promjena.



#### **1.4. Unos i distribucija mikroplastike u morskom okolišu**

Mikroplastika je dokumentirana u svim staništima otvorenog oceana i zatvorenim morima, uključujući plaže, površinske vode, vodeni stupac i duboko morsko dno. Mala veličina i mala gustoća mikroplastike u oceanima pridonosi njihovom transportu na velike udaljenosti oceanskim strujama. Na raspodjelu mikroplastike dodatno utječe vjetar koji može uzrokovati vertikalno kretanje čestica unutar vodenog stupca. Najveće koncentracije i mase javljaju se u Sredozemnom moru i sjevernom Tihom oceanu. Nedavna studija o Sredozemnom moru pruža daljnje dokaze da je brojnost mikroplastike relativno velika u usporedbi s drugim vodenim bazenima. Mikroplastika je bila prijavljena duž obale svih kontinenata, na udaljenim mjestima kao što je srednji Atlantik - otoci arhipelaga i Arktik i Antarktika. Općenito, mikroplastike ima više na plažama i infralitoralnim sedimentima i u blizini visoko naseljenih područja (Lusher i sur., 2017).

Mala veličina čestica čini ih visoko bioraspoloživim za konzumiranje od strane širokog spektra morskih biota iz zooplanktona, poput kopepoda, ostalih beskralježnjaka (uključujući školjke), juvenilnih i odraslih riba, morskih ptica i morske faune. Mikroplastika se može unositi izravnom konzumacijom, primjerice kao rezultat neselektivnih strategija hranjenja kao što je hranjenje filtriranjem ili neizravno kao rezultat trofičkog prijenosa, pri čemu grabežljivci konzumiraju predmete plijena kontaminirane mikroplastikom (Nelms i sur., 2019).

Većina plastike prisutne u oceanima može se vidjeti kako pluta na površini. Degradacija i fragmentacija plastike će u konačnici rezultirati potonućem u temeljna dubokomorska staništa, gdje mogućnosti za rasipanje postaju sve ograničenije. Morski plastični otpad je sada zapažen na brojnim mjestima u dubokom moru. Najdublji zabilježeni plastični predmet bila je plastična vrećica na 10 898 m u Marijanskoj brazdi dok su u jarku Ryukyu kod Japana na dubinama većim od 7000 m odbačeni predmeti pronađeni sve češće prema osovinama jaraka. Ovo odražava funkcija "depocentra" inače pozitivno povezana s opskrbom hranom s površine (Jamieson i sur., 2019).

#### 1.4.1. Unos i distribucija mikroplastike u morskim algama i cvjetnicama

Alge su podijeljene na nekoliko potpuno neovisnih evolucijskih putova: „crveni put” s crvenim algama (*Rhodophyta*), „smeđi put” sa smeđim algama (između ostalog, *Chromophyta*) i „zeleni put” koji uključuje zelene alge (*Chlorophyta*) (Romera i sur., 2007).

Postoje potencijalni mehanizmi koji mogu objasniti kako se plastika može naći u morskim cvjetnicama (Datu i sur., 2019). Prvo objašnjenje je da su čestice mikroplastike (koje su suspendirane u vodenom stupcu) zarobljene u epifitima i pronađene u lišću morskih cvjetnica. Drugo objašnjenje je da se čestice mikroplastike mogu zalijepiti na listove morskih cvjetnica putem ljepljivih biofilmova. Svaka vrsta morske cvjetnice ima drugačiji morfološki oblik, u rasponu od cilindričnih listova na *Syringodium* do vrpčastih lišća u *Enhalus*, *Cymodocea*, *Posidonia*, *Thalassia* i *Zostera* (Datu i sur., 2019).

Ovi razni morfološki oblici imaju različiti učinak na zajednicu epifita u livadama morskih cvjetnica. To je povezano s razlikom u površini koju pruža svaka morska cvjetnica za epifitsko vezivanje. Morska cvjetnica s većom površinom omogućuje lijepljenje više epifita, što zauzvrat omogućuje i više zarobljenih čestica mikroplastike. Usporedbom rezultata istraživanja iz prethodnih studija, vidi se da veće morske cvjetnice poput *Enhalus acoroides* i srednje velike *Thalassia hemprichii* imaju veću količinu čestica mikroplastike u odnosu na morske cvjetnice male veličine *Cymodocea rotundata* (Datu i sur., 2019).

Pojava mikroplastike u sedimentima i bentoskim životinjama može izmijeniti trofičke interakcije i cjelokupno zdravlje ekosustava (Tahir i sur., 2019). Čestice mikroplastike u morskim cvjetnicama mogu dospjeti do biljojeda, posebno onih koji jedu lišće morskih cvjetnica i organizme koji jedu epifite na površini lišća morskih cvjetnica (Datu i sur., 2019).

#### **1.4.2. Unos i distribucija mikroplastike u morskim beskralježnjacima**

Školjkaši su široko korišteni u biomonitoringu morskog okoliša zbog nekoliko prednosti poput zemljopisne rasprostranjenosti, lake pristupačnosti i visoke tolerancije na značajan raspon slanosti (Li, i sur. 2016). Mikroplastiku mogu progutati morski beskralješnjaci s različitim metodama hranjenja, budući da su čestice u rasponu veličina planktona: utvrđeno je da dagnje (filter hranilice), „lugworms“ (hranilice depozita) i morski krastavci (detritivori) unose mikroplastiku (Sfriso i sur., 2020).

#### **1.4.3. Unos i distribucija mikroplastike u morskim kralježnjacima**

Mala veličina čestica mikroplastike, njihove privlačne boje i uzgon omogućuju ribama lako gutanje. Ribe mogu mikroplastiku unositi zamjenjujući čestice za prirodni plijen (npr. plankton) ili slučajno, ako je mikroplastika već bila prisutna unutar plijena ili se pridržavala za plijen. Pelagične ribe unose više mikroplastike u odnosu na bentoske vrste, bez obzira na to jesu li grabežljive vrste ili ne (Jovanović, 2017).

Kako koncentracija mikroplastike raste svake godine u morskom okruženju, tako će se i učestalost gutanja mikroplastike od strane riba također povećati (Jovanović, 2017). Rezultati istraživanja provedeni u Crvenom moru pokazuju da se komercijalne i nekomercijalne ribe ne razlikuju po količini mikroplastike u tkivu (Baalkhuyur i sur., 2018). Gutanje antropogenog otpada kod morskih sisavaca je dokumentirano kod brojnih vrsta, no broj studija (koje koriste odgovarajuće metode ekstrakcije i kontrole onečišćenja) koje ispituju fizičke prisutnosti mikroplastike (< 5 mm veličine) u probavnom sustavu reda *Cetacean* (kitovi) vrlo je mala dok nema studija u kojima su ispitivani probavni traktovi divljih vrsta nadreda *Pinniped* (tuljani). Iako se malo zna o mjeri u kojoj se događa trofični prijenos u divljini, prisutnost mikroplastike u ostacima sivih tuljana (*Halichoerus grypus*) pripisuje se trofičnom

prijenosu iz divlje ulovljene skuše (*Scomber scombrus*) kojom su se hranili. Morski sisavci, poput kitova, dupina i tuljana, često se smatraju važnim pokazateljima zdravlja morskog ekosustava, posebno u vezi s onečišćenjem. Status visoke trofičke razine i dug životni vijek nekih vrsta čine ih osjetljivima na bioakumulaciju i biomagnifikaciju vodenih kemijskih onečišćenja, što se pokazalo da uzrokuje učinke na razini populacije (Nelms i sur., 2019).

Prilikom odabira ribe koja je prikladna kao pokazatelj onečišćenja mikroplastikom, važno je razmotriti nekoliko aspekata, uključujući pojavu ribe, slobodu kretanja, komercijalnu vrijednost, distribuciju i stanište (Zhang i sur., 2020).

Nadalje, njihova prisutnost u fekalnim tvarima i dalje je razlog za brigu za okoliš budući da defekacija otpušta čestice natrag u okoliš gdje su ponovno dostupne za unos od strane drugih organizama — ciklus koji se može nastaviti za vrlo duga razdoblja, potencijalno stotine godina (Desclos-Dukes i sur., 2022).

## **2. CILJ**

Cilj je ovog rada proučiti i sistematizirati podatke iz literature o broju i količini čestica mikroplastike u morskim organizmima prema skupinama algi, morskih cvjetnica, beskralježnjaka i kralježnjaka.

### 3. OBRADA PODATAKA

Analizirane su 43 publikacije (pronađene i preuzete s internet tražilice "Google Scholar") koje su objavljivane u rasponu od 2015. do 2024. godine. Podaci i skupine sistematizirani su prema veličini i obliku čestica mikroplastike na lišću kod morskih cvjetnica, odnosno unutar organizma kod morskih beskralježnjaka i kralježnjaka.

#### 3.1. Mikroplastika u morskim algama i morskim cvjetnicama

U **Tablici 1.** prikazane su morske alge i morske cvjetnice na kojima je pronađena mikroplastika veličina od 13,5  $\mu\text{m}$  do 5000  $\mu\text{m}$ , a najzastupljenija među njima su bila vlakna.

**Tablica 1.** Mikroplastika u morskim algama i morskim cvjetnicama.

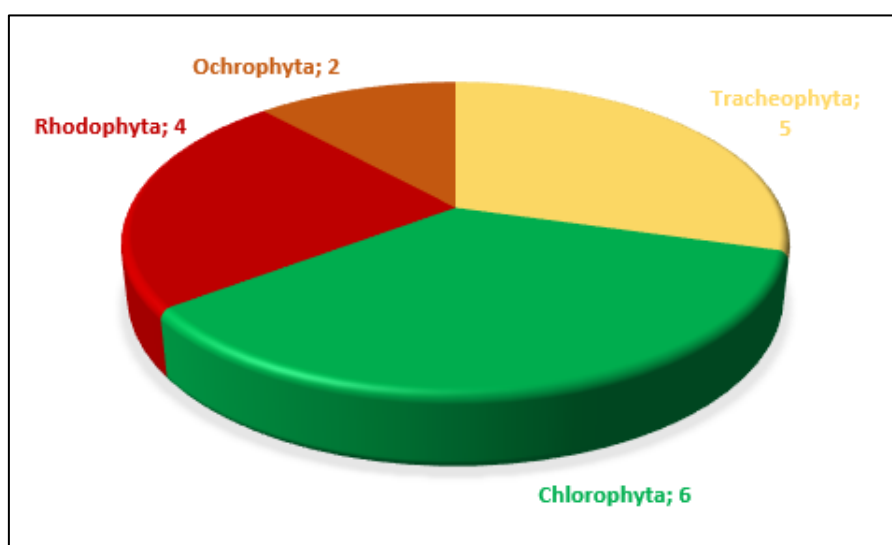
Koljeno	Vrsta	Područje uzorkovanja	Veličina i oblik čestica	Autor
Tracheophyta	<i>Zostera marina</i>	Ria Formosa, Portugal	162 - 3396 $\mu\text{m}$ Vlakna	Cozzolino i sur., 2020
Tracheophyta	<i>Cymodocea nodosa</i>			
Chlorophyta	<i>Caulerpa prolifera</i>			
Tracheophyta	<i>Zostera noltei</i> *			
Tracheophyta	<i>Cymodocea rotundata</i>	Barrang Caddi, Indonezija	1053 - 4081 $\mu\text{m}$ Vlakna i fragmenti	Datu i sur., 2019

Rhodophyta	<i>Furcellaria lumbricalis</i>	Baltičko more	Fragmenti, film, vlakna	Esiukova i sur., 2021
Rhodophyta	<i>Coccotylus truncatus</i>			
Rhodophyta	<i>Polysiphonia fucoides*</i>			
Rhodophyta	<i>Ceramium tenuicorne</i>			
Ochrophyta	<i>Battersia arctica</i>			
Ochrophyta	<i>Ectocarpus siliculosus</i>			
Chlorophyta	<i>Cladophora glomerata</i>			
Chlorophyta	<i>Cladophora rupestris</i>			
Chlorophyta	<i>Ulva intestinalis</i>			
Chlorophyta	<i>Ulva prolifera</i>	Yancheng, Lianyungan g, Rizhao i Qingdao, Kina	13,5 – 4991,1 μm Kuglice, film, fragmenti i vlakna	Feng i sur., 2020
Tracheophyta	<i>Thalassia testudinum</i>	Calabash Patch Reef, SAD	Kuglice, vlakna, "chips"	Goss i sur., 2018
Chlorophyta	<i>Caulerpa racemosa</i>	Otok Semak Daun, Jakarta, Indonezija	Vlakna, fragmenti, film i pjena	Patria i sur., 2023

**Tablica 2.** Ispravak naziva vrsta, prema "World Register of Marine Species", odnosno prema svjetskom registru morskih vrsta.

<i>Zostera noltei</i>	<i>Nanozostera noltei</i>
<i>Polysiphonia fucoides</i>	<i>Vertebrata fucoides</i>

Nakon analize 6 radova vezanih za mikroplastiku koja je pronađena na morskim algama i morskim cvjetnicama, može se vidjeti da se veličina pronađene mikroplastike kreće u rasponu od 13,5 µm do 5000 µm, te da su vlakna prevladavala u odnosu na ostale tipove mikroplastike (**Tablica 1**); također se može vidjeti da je u tim istraživanjima bilo dominantno koljeno *Chlorophyta* odnosno zelene alge (**Slika 7**).



**Slika 7.** Dijagramski prikaz analiziranih vrsta algi i morskih cvjetnica.



### 3.2. Mikroplastika u morskim beskralježnjacima

U **Tablici 4.** prikazani su morski beskralježnjaci u kojima je pronađena mikroplastika veličina od 3  $\mu\text{m}$  do 5000  $\mu\text{m}$ , a najzastupljenija među njima su bila vlakna.

**Tablica 3.** Legenda koljena vrsta navedenih u **Tablici 4.**

Mollusca	Mekušci
Echinodermata	Bodljikaši
Annelida	Kolutićavci
Arthropoda	Člankonošci
Porifera	Spužve
Chordata	Svitkovci
Cnidaria	Žarnjaci

**Tablica 4.** Mikroplastika u morskim beskralježnjacima.

Koljeno	Vrsta beskralježnjaka	Područje uzorkovanja	Veličina i oblik čestica	Autor
Mollusca	<i>Ennucula tenuis</i>	Jeløya, Norveška	100-1000 $\mu\text{m}$	Bour i sur., 2018
Echinodermata	<i>Ophiura albida</i>		Fragmenti, peleti i pahuljice	
Echinodermata	<i>Brissopsis lyrifera</i>			

Annelida	<i>Hediste diversicolor</i>	Oslofjord, Norveška		
Echinodermata	<i>Amphiura filiformis</i>			
Annelida	<i>Sabella pavonina</i>			
Arthropoda	<i>Crangon allmanni</i>			
Arthropoda	<i>Crangon crangon</i>	Belgija, Nizozemska, Ujedinjeno Kraljevstvo i Francuska	Vlakna: 200 - 1000 $\mu\text{m}$  Film: 20 – 100 $\mu\text{m}$	Devriese i sur., 2015
Porifera	<i>Aplysina cauliformis</i>	Zaljev Saigon, Panamá, USA	Vlakna: 3001 – > 5000 $\mu\text{m}$  Ostale čestice: 51 – 1000 $\mu\text{m}$	Fallon i sur., 2021
Porifera	<i>Amphimedon compressa</i>			
Porifera	<i>Callyspongia vaginalis*</i>			
Porifera	<i>Ircinia campana</i>			
Porifera	<i>Mycale laevis</i>			
Porifera	<i>Niphates erecta</i>			
Echinodermata	<i>Asterias rubens</i>	Beringovo i Čukotsko more	170 – 9730 $\mu\text{m}$  Vlakna i film	Fang i sur., 2018
Echinodermata	<i>Ctenodiscus crispatus</i>			

Echinodermata	<i>Leptasterias polaris</i>			
Arthropoda	<i>Pandalus borealis</i>			
Arthropoda	<i>Chionoectes opilio</i>			
Echinodermata	<i>Ophiura sarsii</i>			
Mollusca	<i>Retifusus dapnelloides</i>			
Mollusca	<i>Latisiopho hypolispus</i>			
Mollusca	<i>Euspira nana*</i>			
Mollusca	<i>Astarte crenata</i>			
Mollusca	<i>Macoma tokyoensis</i>			
Echinodermata	<i>Ctenodiscus crispatus</i>	Čukotsko more	100 – 5000 µm Vlakna i fragmenti	Fang i sur., 2021
Arthropoda	<i>Chionoecetes opilio</i>			
Mollusca	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	Simon's Town, JAR	100 – 5000 µm Filamenti, fragmenti, sfere, filmovi	Ferguson i sur., 2024
Chordata	<i>Pyura stolonifera</i>			
Echinodermata	<i>Parvulastra exigua</i>			

Mollusca	<i>Scutellastra longicosta</i>			
Mollusca	<i>Oxysteles tigrana</i>			
Echinodermata	<i>Marthasterias glacialis</i>			
Mollusca	<i>Burnupena lagenaria</i>			
Arthropoda	<i>Palaemonetes pugio</i> *	Otok Wadmala w, južna Karolina, Sjeverna Amerika	30-165 µm Kuglice, fragmenti vlakna	Gray i Weinstein, 2017
Arthropoda	<i>Gammarus setosus</i>	Kongsfjorden, Svalbardski arhipelag, Arktički ocean	3-370 µm Fragmenti vlakna	Iannilli i sur., 2019
Arthropoda	<i>Hirondellea sp.</i>	6 jaraka/brazda (Japanska, Izu-	Vlakna fragmenti	Jamieson i sur., 2019
Arthropoda	<i>Eurythenes gryllus</i>	Bonin, Marijanska, New		

		Hebrides, Kermadec i Peru- Chile)		
Mollusca	<i>Gibbula cineraria*</i>	Zaljev Deer Sound, UK	40-3950 $\mu\text{m}$ Vlakna, listići i fragmenti	Jones i sur., 2020
Mollusca	<i>Bittium reticulatum</i>			
Arthropoda	<i>Gammarus sp.</i>			
Mollusca	<i>Rissostomia membranacea*</i>			
Annelida	<i>Nephtys sp.</i>			
Arthropoda	<i>Chaetogammarus sp.</i>			
Arthropoda	<i>Lysianassa sp.</i>			
Annelida	<i>Eulalia viridis</i>			
Mollusca	<i>Crassostrea virginica</i>	Estuarij svete Katarine, Georgia, USA	Vlakna (<3880 $\mu\text{m}$ ), zrnca i fragmenti (<1170 $\mu\text{m}$ )	Keisling i sur., 2020
Mollusca	<i>Mytilus edulis</i>	Obala Kine	5-5000 $\mu\text{m}$ Vlakna, fragmenti, kuglice i filmovi	Li i sur., 2016

Mollusca	<i>Saccostrea cucullata*</i>	Estuarij rijeke Pearl, Kina	20 – 5000 µm  Vlakna, fragменти, peleti i filmovi	Li i sur., 2018
Mollusca	<i>Cerithidea cingulata*</i>	Perzijski zaljev	10-5000 µm  Vlakna, film, fragменти i peleti	Naji i sur., 2018
Mollusca	<i>Thais mutabilis*</i>			
Mollusca	<i>Amiantis umbonella*</i>			
Mollusca	<i>Amiantis purpuratus*</i>			
Mollusca	<i>Pinctada radiata</i>			
Mollusca	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	Jadransko more	Fragmenti, peleti, vlakna, film, pjena, granule i nekategoriziran e čestice plastike	Pizzurro i sur., 2022
Cnidaria	<i>Edwardsia meridionalis</i>	Crveno more, Antarktika	33-1000 µm	Sfriso i sur., 2020
Mollusca	<i>Cyamiocardium denticulatum</i>			
Mollusca	<i>Yoldiella antarctica</i>			

Mollusca	<i>Aequiyoldia eightsii</i>			
Mollusca	<i>Thyasira debilis</i>			
Arthropoda	<i>Harpiniopsis similis</i>			
Arthropoda	<i>Orchomenella franklini</i>			
Mollusca	<i>Eatoniella sp.</i>			
Annelida	<i>Oweniidae sp</i>			
Annelida	<i>Aglaophamus macroura</i>			
Annelida	<i>Leitoscoloplos mawsoni</i>			
Annelida	<i>Perkinsiana milae</i>			

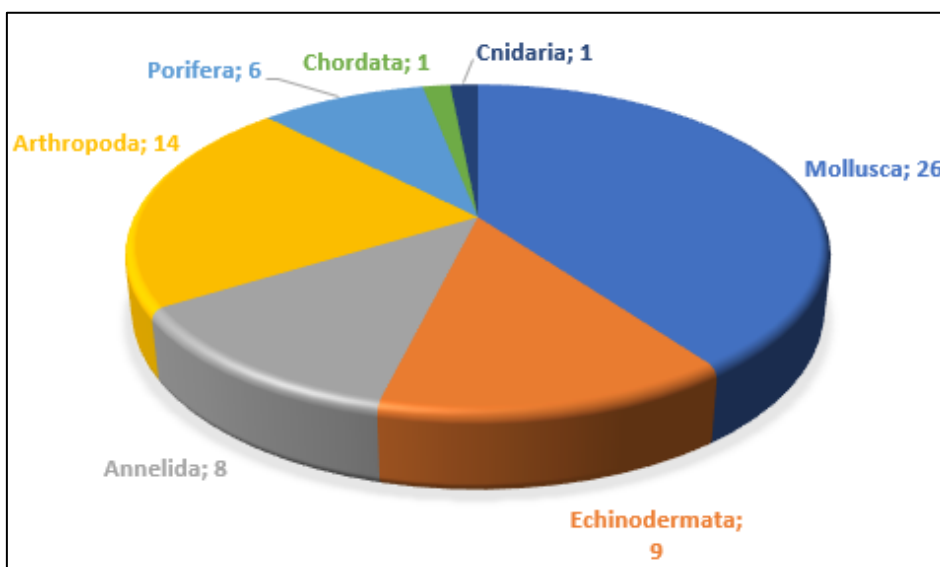
**Tablica 5.** Ispravak naziva vrsta, prema "World Register of Marine Species", odnosno prema svjetskom registru morskih vrsta.

<i>Callyspongia vaginalis</i>	<i>Callyspongia (Cladochalina) aculeata</i>
<i>Euspira nana</i>	<i>Pseudopolinices nanu</i>
<i>Palaemonetes pugio</i>	<i>Palaemon pugio</i>

<i>Gibbula cineraria</i>	<i>Steromphala cineraria</i>
<i>Rissostomia membranacea</i>	<i>Rissoa membranacea</i>
<i>Saccostrea cucullata</i>	<i>Saccostrea cucullata</i>
<i>Cerithidea cingulata</i>	<i>Pirenella cingulata</i>
<i>Thais mutabilis</i>	<i>Indothais lacera</i>
<i>Amiantis umbonella</i>	<i>Callista umbonella</i>
<i>Amiantis purpuratus/ Amiantis purpurata</i>	<i>Eucallista purpurata</i>

Nakon analize 16 radova vezanih za mikroplastiku koja je pronađena u morskim beskralježnjacima, može se vidjeti da se veličina pronađene mikroplastike kreće u rasponu od 3 µm do 5000 µm, te da su vlakna prevladavala u odnosu na ostale tipove mikroplastike (**Tablica 4.**); također se može vidjeti da je u tim istraživanjima bilo dominantno koljeno *Mollusca* odnosno mekušci (**Slika 8.**)





**Slika 8.** Dijagramski prikaz analiziranih vrsta morskih beskralježnjaka

### 3.3. Mikroplastika u morskim kralježnjacima

U **Tablici 6.** prikazane su morski kralježnjaci u kojima je pronađena mikroplastika veličina od 1  $\mu\text{m}$  do 5000  $\mu\text{m}$ , te je vidljivo da su najzastupljeniji bili fragmenti i vlakna.

**Tablica 6.** Mikroplastika u morskim kralježnjacima

Koljeno	Vrsta kralježnjaka	Područje uzorkovanja	Veličina i oblik čestica	Autor
Chordata	<i>Mugil cephalus</i>	Jadransko more	100 – 5000 $\mu\text{m}$	Avio i sur., 2015

			Fragmenti, niti, filmovi i peleti	
Chordata	<i>Megaptera novaeangliae</i>	Nizozemska	1000 – 5000 $\mu\text{m}$ Listići, fragmenti i niti	Besseling i sur., 2015
Chordata	<i>Acanthurus gahhm</i>	Obala Crvenog mora, Saudijska Arabija	1000– 3000 $\mu\text{m}$ Vlakna/niti, filmovi	Baalkhuyur i sur., 2018
Chordata	<i>Pristipomoides typus</i>			
Chordata	<i>Epinephelus areolatus</i>			
Chordata	<i>Pristipomoides multidens</i>			
Chordata	<i>Lutjanus kasmira</i>			
Chordata	<i>Lethrinus microdon</i>			
Chordata	<i>Gymnocranius grandoculis</i>			
Chordata	<i>Epinephelus chlorostigma</i>			
Chordata	<i>Parascolopsis eriomma</i>			
Chordata	<i>Sargocentron spiniferum</i>			
Chordata	<i>Epinephelus radiatus</i>			

Chordata	<i>Lipocheilus carnolabrum</i>			
Chordata	<i>Plectorhinchus gaterinus</i>			
Chordata	<i>Epinephelus epistictus</i>			
Chordata	<i>Pygoplites diacanthus</i>			
Chordata	<i>Cephalopholis argus</i>			
Chordata	<i>Abudefduf sexfasciatus</i>			
Chordata	<i>Acanthurus sohal</i>			
Chordata	<i>Dascyllus trimaculatus</i>			
Chordata	<i>Chaetodon austriacus</i>			
Chordata	<i>Neoniphon sammara</i>			
Chordata	<i>Naso unicornis</i>			
Chordata	<i>Thalassoma rueppellii</i>			
Chordata	<i>Benthoosema pterotum</i>			
Chordata	<i>Maurolicus mucronatus</i>			
Chordata	<i>Vinciguerria mabahiss</i>			
Chordata	<i>Tursiops truncatus</i>	Sjeverna Amerika	125 – 5000 µm	Battaglia i sur., 2020

			Vlakna, fragmenti, film i pjena	
Chordata	<i>Symbolophorus californiensis</i>			
Chordata	<i>Myctophum auro lanternatum</i>		1000 – 2790 µm	
Chordata	<i>Loweina interrupta</i>	Sjeverni Pacifik	Fragmenti, film initi	Boerger i sur., 2010
Chordata	<i>Hygophum reinhardtii</i>			
Chordata	<i>Astronesthes indopacifica*</i>			
Chordata	<i>Cololabis saira</i>			
Chordata	<i>Hippoglossoides platessoides</i>	Jeløya, Norveška	100-1000 µm	
Chordata	<i>Enchelyopus cimbrius</i>	Oslofjord, Norveška	Fragmenti, peleti i pahuljice	Bour i sur., 2018
Chordata	<i>Trisopterus esmarki</i>			
Chordata	<i>Halichoerus grypus</i>	Donna Nook, Engleska	Fragmenti: 30- 1400 µm Vlakna: 100- 3400 µm	Desclos- Dukes i sur., 2022
Chordata	<i>Chelonia mydas</i>	Sjeverni		
Chordata	<i>Caretta caretta</i>	Cipar, Sjeverna	<1000 – 5000 µm	Duncan i sur., 2019
Chordata	<i>Lepidochelys kempii</i>			

Chordata	<i>Dermochelys coriacea</i>	Karolina i Queensland	Vlakna, fragmenti i kuglice	
Chordata	<i>Natator depressus</i>			
Chordata	<i>Eretmochelys imbricata</i>			
Chordata	<i>Lepidochelys olivacea</i>			
Chordata	<i>Siganus</i> spp.	Otok Moorea, Francuska Polinezija	31 – 2440 $\mu$ m  Vlakna, fragmenti, kuglice i film	Garnier i sur., 2019
Chordata	<i>Epinephelus merra</i>			
Chordata	<i>Myripristis</i> spp.			
Chordata	<i>Cheilopogon simus</i>			
Chordata	<i>Priacanthus hamrur</i>			
Chordata	<i>Setipinna tenuifilis</i>			
Chordata	<i>Sciades sona</i>			
Chordata	<i>Carangoides chrysophrys</i>		1-5000 $\mu$ m	
Chordata	<i>Sardinella brachysoma</i>	Bengalski zaljev	Fragmenti, film, vlakna, pjena i peleti	Ghosh i sur., 2021
Chordata	<i>Harpadon nehereus</i>			
Chordata	<i>Otolithoides pama</i>			
Chordata	<i>Coilia neglecta</i>			
Chordata	<i>Anodontostoma chacunda</i>			

Chordata	<i>Megalaspis cordyla</i>			
Chordata	<i>Argyrosomus regius</i>	Turska obala Mediterana	100 – 2500 µm  Vlakna, tvrda plastika, najlon, guma i raznovrsna plastika	Guven i sur., 2017
Chordata	<i>Caranx crysos</i>			
Chordata	<i>Dentex dentex</i>			
Chordata	<i>Dentex gibbosus</i>			
Chordata	<i>Diplodus annularis</i>			
Chordata	<i>Lagocephalus spadiceus</i>			
Chordata	<i>Lithognathus mormyrus</i>			
Chordata	<i>Liza aurata</i>			
Chordata	<i>Mullus barbatus</i>			
Chordata	<i>Mullus surmuletus</i>			
Chordata	<i>Nemipterus randalli</i>			
Chordata	<i>Pagellus acarne</i>			
Chordata	<i>Pagellus erythrinus</i>			
Chordata	<i>Pagrus pagrus</i>			
Chordata	<i>Pelates quadrilineatus</i>			
Chordata	<i>Pomadasys incisus</i>			
Chordata	<i>Sardina pilchardus</i>			
Chordata	<i>Saurida undosquamis</i>			

Chordata	<i>Sciaena umbra</i>			
Chordata	<i>Scomber japonicus</i>			
Chordata	<i>Serranus cabrilla</i>			
Chordata	<i>Siganus luridus</i>			
Chordata	<i>Sparus aurata</i>			
Chordata	<i>Trachurus mediterraneus</i>			
Chordata	<i>Trigla lucerna*</i>			
Chordata	<i>Umbrina cirrosa</i>			
Chordata	<i>Upeneus moluccensis</i>			
Chordata	<i>Upeneus pori</i>			
Chordata	<i>Delphinus delphis</i>	Galicijaska obala, sjeverozapad Španjolske	Vlakna: 290 – 4920 µm Fragmenti: 490 – 4070 µm Kuglica: promjer 950 µm	Hernandez-Gonzales i sur., 2018
Chordata	<i>Mesoplodon mirus</i>	Irska	118 – 1000 µm Film, fragment i vlakna	Lusher i sur., 2015
Chordata	<i>Lagenorhynchus acutus</i>	Velika Britanija		Nelms i sur., 2019

Chordata	<i>Tursiops truncatus</i>			
Chordata	<i>Delphinus delphis</i>			
Chordata	<i>Halichoerus grypus</i>			
Chordata	<i>Phocoena phocoena</i>			
Chordata	<i>Phoca vitulina</i>		1-5000 $\mu\text{m}$	
Chordata	<i>Kogia breviceps</i>		većinom vlakna	
Chordata	<i>Grampus griseus</i>			
Chordata	<i>Stenella coeruleoalba</i>			
Chordata	<i>Lagenorhynchus albirostris</i>			
Chordata	<i>Alosa fallax</i>			
Chordata	<i>Argyrosomus regius</i>			
Chordata	<i>Boops boops</i>			
Chordata	<i>Brama brama</i>			
Chordata	<i>Dentex macrophthalmus</i>	Portugal	217 – 4810 $\mu\text{m}$	Neves i sur., 2015
Chordata	<i>Helicolenus dactylopterus</i>		Vlakna i fragmenti	
Chordata	<i>Lepidorhombus boscii</i>			
Chordata	<i>Lepidorhombus whiffiagonis</i>			
Chordata	<i>Lophius piscatorius</i>			
Chordata				



Chordata	<i>Merluccius merluccius</i>			
Chordata	<i>Mullus surmuletus</i>			
Chordata	<i>Pagellus acarne</i>			
Chordata	<i>Polyprion americanus</i>			
Chordata	<i>Raja asterias</i>			
Chordata	<i>Sardina pilchardus</i>			
Chordata	<i>Scomber japonicus</i>			
Chordata	<i>Scomber scombrus</i>			
Chordata	<i>Scyliorhinus canicula</i>			
Chordata	<i>Solea solea</i>			
Chordata	<i>Torpedo torpedo</i>			
Chordata	<i>Trachurus picturatus</i>			
Chordata	<i>Trachurus trachurus</i>			
Chordata	<i>Trichiurus lepturus</i>			
Chordata	<i>Trigla lyra</i>			
Chordata	<i>Trisopterus luscus</i>			
Chordata	<i>Zeus faber</i>			
Chordata	<i>Stolephorus spp.</i>	Luke Indonezije	20 – 50 $\mu\text{m}$ vlakna	Ningrum i Patria, 2022
Chordata	<i>Stenella coeruleoalba</i>	Valencija, Španjolska	< 5000 $\mu\text{m}$	Novillo i sur., 2020

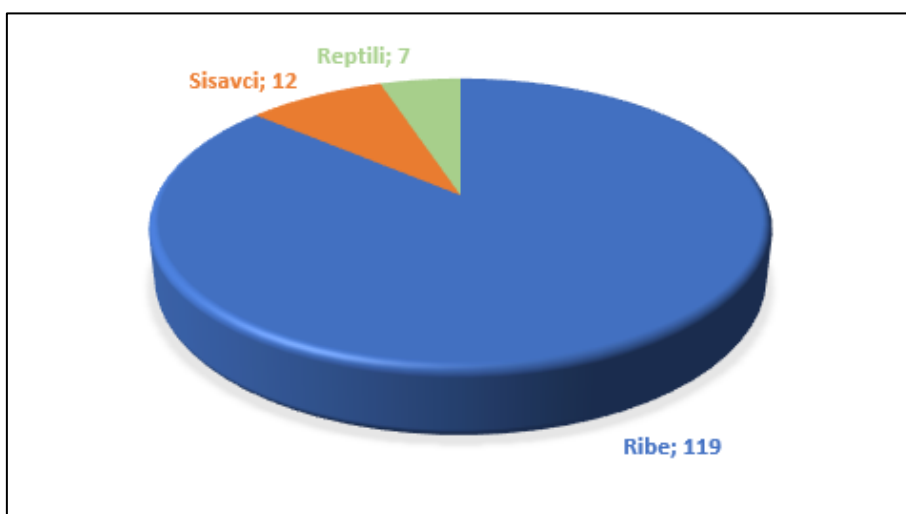
			Vlakna, fragmenti i peleti.	
Chordata	<i>Solea solea</i>	Jadransko more	100 – 500 µm Fragmenti i vlakna	Pellini i sur., 2018
Chordata	<i>Menticirrhus americanus</i>	Obala Teksaškog zaljeva	< 5000 µm Vlakna, kuglice i fragmenti	Peters i sur., 2017
Chordata	<i>Micropogonias undulates*</i>			
Chordata	<i>Chaetodipterus faber</i>			
Chordata	<i>Cynoscion arenarius</i>			
Chordata	<i>Lagodon rhomboids*</i>			
Chordata	<i>Orthopristis chrysoptera</i>			
Chordata	<i>Harpodon nehereus*</i>	Tuticorin, Indija	< 5000 µm Vlakna, fragmenti, film i pjena	Sathish i sur., 2020
Chordata	<i>Chirocentrus dorab</i>			
Chordata	<i>Sardinella albella</i>			
Chordata	<i>Rastrelliger kanagurta</i>			
Chordata	<i>Katsuwonus pelamis</i>			
Chordata	<i>Istiophorus platypterus</i>			

Chordata	<i>Chelon aurata*</i>	Kaspijsko more	0 – 4750 µm	Zakeri i sur., 2020
Chordata	<i>Rutilus kutum</i>		Vlakna, fragmenti, film i kuglice	
Chordata	<i>Siganus fuscescens</i>	Guangdong, južna Kina	50 – 4000 µm	Zhang i sur., 2020
Chordata	<i>Alepes djedaba</i>			
Chordata	<i>Leiognathus brevirostris</i>			
Chordata	<i>Mugil cephalus</i>			
Chordata	<i>Sillago japonica</i>			
Chordata	<i>Konosirus punctatus</i>			
			Vlakna, fragmenti, film, sfere	

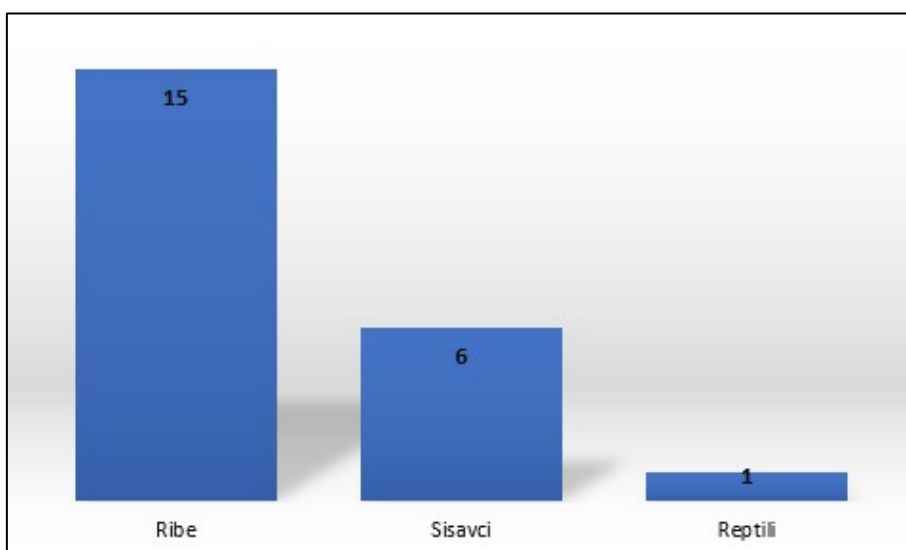
**Tablica 7.** Ispravak naziva vrsta, prema "*World Register of Marine Species*", odnosno prema svjetskom registru morskih vrsta.

<i>Astronesthes indopacifica</i>	<i>Astronesthes indopacificus</i>
<i>Trigla lucerna</i>	<i>Chelidonichthys lucerna</i>
<i>Micropogonias undulates</i>	<i>Micropogonias undulatus</i>
<i>Lagodon rhomboids</i>	<i>Lagodon rhomboides</i>
<i>Harpodon nehereus</i>	<i>Harpadon nehereus</i>
<i>Chelon aurata</i>	<i>Chelon auratus</i>

Nakon analize 22 rada vezanih za mikroplastiku koja je pronađena u morskim kralježnjacima, može se vidjeti da se veličina pronađene mikroplastike kreće u rasponu od 1  $\mu\text{m}$  do 5000  $\mu\text{m}$ , te da su fragmenti i vlakna prevladavali u odnosu na ostale tipove mikroplastike (**Tablica 6.**); također se može vidjeti da su u tim istraživanjima prevladavale ribe u odnosu na sisavce i reptile (**Slika 8.**).



**Slika 8.** Dijagramski prikaz analiziranih vrsta morskih kralježnjaka.



**Slika 9.** Analizirane publikacije morskih kralježnjaka.

#### 4. ZAKLJUČAK

- 1.) Zbog (ne)praktičnosti i (ne)preciznosti kod sakupljanja uzoraka, manje su dostupni podaci vezani za mikroplastiku na algama i morskim cvjetnicama u odnosu na mikroplastiku u morskim beskralježnjacima i kralježnjacima. Kao što je vidljivo u **Tablici 1.**, iako se kod algi i morskih cvjetnica mogu pronaći razne vrste mikroplastike (koje variraju od 13,5  $\mu\text{m}$  do 5000  $\mu\text{m}$ ), ipak se na njima najčešće pronalaze vlakna.
- 2.) Od 16 analiziranih radova vezanih za mikroplastiku u morskim beskralježnjacima, vidljivo je da su po obliku čestica vlakna najzastupljeniji oblici mikroplastike, a pronađeni su u raznim veličanama koje variraju od 3  $\mu\text{m}$  do 5000  $\mu\text{m}$ .
- 3.) Od 22 analizirana rada vezana za mikroplastiku u morskim kralježnjacima, 6 radova je bilo fokusirano na morske sisavce (Besseling i sur., 2015; Battaglia i sur., 2020; Desclos-Dukes i sur. 2022; Hernandez-Gonzales i sur., 2018 i Nelms i sur., 2019.), 1 rad je bio fokusiran na morske reptile (odnosno morske kornjače) (Duncan i sur., 2019), dok se ostalih 15 radova odnosi na mikroplastiku u ribama. U **Tablici 6.** navedene su vrste morskih kralježnjaka u kojima je pronađena mikroplastika i iz tablice je vidljivo da su najzastupljeniji oblici mikroplastike u morskim kralježnjacima bili fragmenti i vlakna, a veličina tih čestica je varirala od 1  $\mu\text{m}$  do 5000  $\mu\text{m}$ .

## 5. LITERATURA

Avio, C. G., Gorbi, S., Regoli, F. (2015). Experimental development of a new protocol for extraction and characterization of microplastics in fish tissues: first observations in commercial species from Adriatic Sea. *Marine environmental research*.

Baalkhuyur, F. M., Dohaish, E. J. A. B., Elhalwagy, M. E., Alikunhi, N. M., AlSuwailam, A. M., Røstad, A., Duarte, C. M. (2018). Microplastic in the gastrointestinal tract of fishes along the Saudi Arabian Red Seacoast. *Marine pollution bulletin*.

Battaglia, F. M., Beckingham, B. A., McFee, W. E. (2020). First report from North America of microplastics in the gastrointestinal tract of stranded bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). *Marine Pollution Bulletin*.

Bersani, M. (2024). Past, current and future of biodegradable plastics: innovative applications. *Biodegradable plastics for a green future*.

Besseling, E., Foekema, E. M., Van Franeker, J. A., Leopold, M. F., Kühn, S., Rebolledo, E. B., Koelmans, A. A. (2015). Microplastic in a macro filter feeder: humpback whale *Megaptera novaeangliae*. *Marine pollution bulletin*.

Bhuvaneshwari, S., Subashini, G., Sarojini, R. (2016). Comparative Study of Plastic and Polymer Degrading *Bacillus megaterium* and *Aspergillus niger* Isolated from Dumped Plastic Waste. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*.

Boerger, C. M., Lattin, G. L., Moore, S. L., Moore, C. J. (2010). Plastic ingestion by planktivorous fishes in the North Pacific Central Gyre. *Marine pollution bulletin*.

Bour, A., Avio, C. G., Gorbi, S., Regoli, F., Hylland, K. (2018). Presence of microplastics in benthic and epibenthic organisms: Influence of habitat, feeding mode and trophic level. *Environmental Pollution*.

Chahal, K. K., Kaur, R., Kaushal, S. (2013). Plastics and their role in economic development of India. *Indian Journal of Economics and Development*.

Cozzolino, L., Nicastro, K. R., Zardi, G. I., Carmen, B. (2020). Species-specific plastic accumulation in the sediment and canopy of coastal vegetated habitats. *Science of The Total Environment*.

Crawford, R. J., Martin, P. J. (2020). *Plastics engineering*. Butterworth-Heinemann.

Datu, S. S., Supriadi, S., Tahir, A. (2019). Microplastic in *Cymodocea rotundata* seagrass blades. *International Journal of Agriculture Environment and Biotechnology*.

Desclos-Dukes, L., Butterworth, A., Cogan, T. (2022). Using a non-invasive technique to identify suspected microplastics in grey seals (*Halichoerus grypus*) living in the western North Sea. *Veterinary Record*.

Devi, O. R., Devi, L. J. (2024). Water Consumption and Microfibers: The Biggest Threat. In *Climate Action Through Eco-Friendly Textiles* (pp. 73-90). Singapore: Springer Nature Singapore.

Devriese, L. I., Van derMeulen, M. D., Maes, T., Bekaert, K., Paul-Pont, I., Frère, L., Vethaak, A. D. (2015). Microplastic contamination in brown shrimp (*Crangoncrangon*, Linnaeus 1758) from coastal waters of the Southern North Sea and Channel area. *Marine pollution bulletin*.

Duncan, E. M., Broderick, A. C., Fuller, W. J., Galloway, T. S., Godfrey, M. H., Hamann, M., Godley, B. J. (2019). Microplastic ingestion ubiquitous in marine turtles. *Global change biology*.

Elnakar, H., Ismail, U. M., Khan, M. F., Alnaimat, S. (2024). Tackling the dust-microplastic nexus: A review of sources, fate, and detection. *Journal of Hazardous Materials Advances*.

Esiukova, E. E., Lobchuk, O. I., Volodina, A. A., Chubarenko, I. P. (2021). Marine macrophytes retain microplastics. *Marine Pollution Bulletin*.

Fallon, B. R., Freeman, C. J. (2021). Plastics in Porifera: The occurrence of potential microplastics in marine sponges and sea water from Bocas del Toro, Panamá. *PeerJ*.

Fang, C., Zheng, R., Hong, F., Jiang, Y., Chen, J., Lin, H., Bo, J. (2021). Microplastics in three typical benthic species from the Arctic: Occurrence, characteristics, sources, and environmental implications. *Environmental Research*.

Fang, C., Zheng, R., Zhang, Y., Hong, F., Mu, J., Chen, M., Bo, J. (2018). Microplastic contamination in benthic organisms from the Arctic and sub-Arctic regions. *Chemosphere*.

Feng, Z., Zhang, T., Shi, H., Gao, K., Huang, W., Xu, J., Gao, G. (2020). Microplastics in bloom-forming macroalgae: Distribution, characteristics and impacts. *Journal of hazardous materials*.

Ferguson, L., Awe, A., & Sparks, C. (2024). Microplastic concentrations and risk assessment in water, sediment and invertebrates from Simon's Town, South Africa. *Heliyon*.

Ford, H. V., Jones, N. H., Davies, A. J., Godley, B. J., Jambeck, J. R., Napper, I. E., Koldewey, H. J. (2022). The fundamental links between climate change and marine plastic pollution. *Science of the Total Environment*.

Garnier, Y., Jacob, H., Guerra, A. S., Bertucci, F., & Lecchini, D. (2019). Evaluation of microplastic ingestion by tropical fish from Moorea Island, French Polynesia. *Marine Pollution Bulletin*.

Geyer, R., Jambeck, J. R., Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science advances*.

Ghosh, G. C., Akter, S. M., Islam, R. M., Habib, A., Chakraborty, T. K., Zaman, S., Wahid, M. A. (2021). Microplastics contamination in commercial marine fish from the Bay of Bengal. *Regional Studies in Marine Science*.



Goss, H., Jaskiel, J., Rotjan, R. (2018). *Thalassia testudinum* as a potential vector for incorporating microplastics into benthic marine food webs. *Marine pollution bulletin*.

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*.

Güven, O., Gökdağ, K., Jovanović, B., Kıdeyş, A. E. (2017). Microplastic litter composition of the Turkish territorial waters of the Mediterranean Sea, and its occurrence in the gastrointestinal tract of fish. *Environmental pollution*.

Guzzetti, E., Sureda, A., Tejada, S., Faggio, C. (2018). Microplasticin marine organism: Environmental and toxicological effects. *Environmental toxicology and pharmacology*.

Haque, F., Fan, C. (2023). Fate of microplastics under the influence of climate change. *Iscience*.

Hernandez-Gonzalez, A., Saavedra, C., Gago, J., Covelo, P., Santos, M. B., & Pierce, G. J. (2018). Microplastics in the stomach contents of common dolphin (*Delphinus delphis*) stranded on the Galician coasts (NW Spain, 2005–2010). *Marine pollution bulletin*.

Hopewell, J., Dvorak, R., & Kosior, E. (2009). Plastics recycling: challenges and opportunities. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*.

Hussain, N., Jaitley, V., Florence, A. T. (2001). Recent advances in the understanding of uptake of microparticulates across the gastrointestinal lymphatics. *Advanced drug delivery reviews*.

Iannilli, V., Pasquali, V., Setini, A., & Corami, F. (2019). First evidence of microplastics ingestion in benthic amphipods from Svalbard. *Environmental research*.

Jamieson, A. J., Brooks, L. S. R., Reid, W. D., Piertney, S. B., Narayanaswamy, B. E., & Linley, T. D. (2019). Microplastics and synthetic particles ingested by deep-sea amphipods in six of the deepest marine ecosystems on Earth. *Royal Society open science*.

Jones, K. L., Hartl, M. G., Bell, M. C., & Capper, A. (2020). Microplastic accumulation in a *Zostera marina* L. bed at Deerness Sound, Orkney, Scotland. *Marine pollution bulletin*.

Joo, S. H. (2024). Addressing climate change mitigation: Implications for the sustainable alternatives to plastics. *Cambridge Prisms: Plastics*.

Jovanović, B. (2017). Ingestion of microplastics by fish and its potential consequences from a physical perspective. *Integrated environmental assessment and management*.

Jung, M. R., Horgen, F. D., Orski, S. V., Rodriguez, V., Beers, K. L., Balazs, G. H., Lynch, J. M. (2018). Validation of ATR FT-IR to identify polymers of plastic marine debris, including those ingested by marine organisms. *Marine pollution bulletin*.

Kakar, F. L., Okoye, F., Onyedibe, V., Hamza, R., Dhar, B. R., Elbeshbishy, E. (2023). Climate change interaction with microplastics and nanoplastics pollution. In *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering*.

Keisling, C., Harris, R. D., Blaze, J., Coffin, J., Byers, J. E. (2020). Low concentrations and low spatial variability of marine microplastics in oysters (*Crassostrea virginica*) in a rural Georgia estuary. *Marine pollution bulletin*.

Li, H. X., Ma, L. S., Lin, L., Ni, Z. X., Xu, X. R., Shi, H. H., Rittschof, D. (2018). Microplastics in oysters *Saccostrea cucullata* along the Pearl River estuary, China. *Environmental Pollution*.

Li, J., Qu, X., Su, L., Zhang, W., Yang, D., Kolandhasamy, P., Shi, H. (2016). Microplastics in mussels along the coastal waters of China. *Environmental pollution*.

Lithner, D., Larsson, Å., Dave, G. (2011). Environmental and health hazard ranking and assessment of plastic polymers based on chemical composition. *Science of the total environment*.

Lusher, A. L., Hernandez-Milian, G., O'Brien, J., Berrow, S., O'Connor, I., Officer, R. (2015). Microplastic and macroplastic ingestion by a deep diving, oceanic cetacean: the True's beaked whale *Mesoplodon mirus*. *Environmental Pollution*.

Lusher, A., Hollman, P., & Mendoza-Hill, J. (2017). Microplastics in fisheries and aquaculture: status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*.

Moon, Y., Shim, W. J., Han, G. M., Jeong, J., Cho, Y., Kim, I. H., Hong, S. H. (2022). What type of plastic do sea turtles in Korean waters mainly ingest? Quantity, shape, color, size, polymer composition, and original usage. *Environmental Pollution*.

Naji, A., Nuri, M., & Vethaak, A. D. (2018). Microplastics contamination in molluscs from the northern part of the Persian Gulf. *Environmental pollution*.

Nelms, S. E., Barnett, J., Brownlow, A., Davison, N. J., Deaville, R., Galloway, T. S., Godley, B. J. (2019). Microplastics in marine mammals stranded around the British coast: ubiquitous but transitory? *Scientific Reports*.

Neves, D., Sobral, P., Ferreira, J. L., Pereira, T. (2015). Ingestion of microplastics by commercial fish off the Portuguese coast. *Marine pollution bulletin*.

Ningrum, E. W. N., Patria, M. P. (2022). Microplastic contamination in Indonesian anchovies from fourteen locations. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*.

Novillo, O., Raga, J. A., & Tomás, J. (2020). Evaluating the presence of microplastics in striped dolphins (*Stenella coeruleoalba*) stranded in the Western Mediterranean Sea. *Marine pollution bulletin*.

- Patria, M. P., Kholis, N., Anggreini, D., & Buyong, F. (2023). Abundance and distribution of microplastics in seawater, sediment, and macroalgae sea grapes *Caulerpa racemosa* from Semak Daun Island, Jakarta Bay, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*.
- Pellini, G., Gomiero, A., Fortibuoni, T., Ferrà, C., Grati, F., Tasseti, A. N., Scarcella, G. (2018). Characterization of microplastic litter in the gastrointestinal tract of *Solea solea* from the Adriatic Sea. *Environmental pollution*.
- Peters, C. A., Thomas, P. A., Rieper, K. B., Bratton, S. P. (2017). Foraging preferences influence microplastic ingestion by six marine fish species from the Texas Gulf Coast. *Marine pollution bulletin*.
- Piringer, O. G., & Baner, A. L. (2008). *Plastic packaging materials for food: barrier function, mass transport, quality assurance, and legislation*.
- (Pizzurro, F., Recchi, S., Nerone, E., Salini, R., & Barile, N. B. (2022). Accumulation evaluation of potential microplastic particles in *Mytilus galloprovincialis* from the Goro Sacca (Adriatic sea, Italy). *Microplastics*.
- Qin, F., Du, J., Gao, J., Liu, G., Song, Y., Yang, A., Wang, Q. (2020). Bibliometric profile of global microplastics research from 2004 to 2019. *International Journal of Environmental Research and Public Health*.
- Razaviarani, V., Saudagar, A., Gallage, S., Shrinath, S., & Arab, G. (2024). Comprehensive investigation on microplastics from source to sink. *Clean Technologies and Environmental Policy*.
- Rodríguez-Seijo, A., & Pereira, R. (2017). Morphological and physical characterization of microplastics. *Comprehensive analytical chemistry*.
- Romera, E., González, F., Ballester, A., Blázquez, M. L., & Muñoz, J. A. (2007). Comparative study of biosorption of heavy metals using different types of algae. *Bioresource technology*.
- Sathish, M. N., Jeyasanta, I., & Patterson, J. (2020). Occurrence of microplastics in epipelagic and mesopelagic fishes from Tuticorin, Southeast coast of India. *Science of the Total Environment*.

Sfriso, A. A., Tomio, Y., Rosso, B., Gambaro, A., Sfriso, A., Corami, F., Munari, C. (2020). Microplastic accumulation in benthic invertebrates in Terra Nova Bay (Ross Sea, Antarctica). *Environment International*.

(Sharma, B. R., Kuttippurath, J., Patel, V. K. (2023). A gradual increase of aerosol pollution in the Third Pole during the past four decades: Implication for regional climate change. *Environmental Research*.

Shim, W. J., Hong, S. H., Eo, S. E. (2017). Identification methods in microplastic analysis: a review. *Analytical methods*.

Zakeri, M., Naji, A., Akbarzadeh, A., & Uddin, S. (2020). Microplastic ingestion in important commercial fish in the southern Caspian Sea. *Marine Pollution Bulletin*.

Zhang, C., Wang, S., Pan, Z., Sun, D., Xie, S., Zhou, A., Zou, J. (2020). Occurrence and distribution of microplastics in commercial fishes from estuarine areas of Guangdong, South China. *Chemosphere*.

Zhang, H., Huang, Y., An, S., Wang, P., Xie, C., Jia, P., Wang, B. (2024). Mulch-derived microplastic aging promotes phthalate esters and alters organic carbon fraction content in grassland and farmland soils. *Journal of Hazardous Materials*.

## **SLIKE:**

**Slika 1.** Standardizirani kodovi plastike.

(Izvor: <https://rcco.hr/sto-znace-oznake-na-plasticnoj-ambalazi-i-kako-ju-pravilno-odvojiti/>, 04.05.2024.)

**Slika 2.** Velika međunarodna izložba u Londonu 1862. godine.

(Izvor: <https://www.antiquebox.org/the-international-exhibition-of-1862/>, 29.04.2024.)

**Slika 3.** Klasifikacija plastike prema veličini izražena u mikrometrima. (Elnakar i sur., 2024).

**Slika 4.** Podrijetlo mikroplastike u vodenom okolišu i kako ulazi u hranidbeni lanac. (Razaviarani, 2024).

**Slika 5.** Godišnji broj publikacija o istraživanju mikroplastike od 2004. do 2019. godine. (Qin, 2020).

**Slika 6.** Shematski prikaz sudbine mikroplastike pod utjecajem parametara klimatskih promjena. (Haque, 2023).

## 6. SAŽETAK

### Mikroplastika u morskim organizmima

S obzirom da se onečišćenje plastikom smatra jednim od najopasnijih ekoloških problema 21. stoljeća, očito je i mikroplastika veliki ekološki problem s obzirom da nastaje fragmentacijom plastike. Morski organizmi, kao npr. ribe, mogu unijeti mikroplastiku u svoj organizam što je problem s obzirom da je čovjek na kraju hranidbenog lanca. Zbog problematike mikroplastike, cilj ovog rada je bio proučiti i sistematizirati podatke iz literature o broju i količini čestica mikroplastike u morskim organizmima prema skupinama algi, morskih cvjetnica, beskralježnjaka i kralježnjaka. Zbog (ne)praktičnosti i (ne)preciznosti kod sakupljanja uzoraka, manje su dostupni podaci vezani za mikroplastiku na algama i morskim cvjetnicama u odnosu na mikroplastiku u morskim beskralježnjacima i kralježnjacima. Iako se kod algi i morskih cvjetnica mogu pronaći razne vrste mikroplastike (koje variraju od 13,5  $\mu\text{m}$  do 5000  $\mu\text{m}$ ), ipak se na njima najčešće pronalaze vlakna. Od 16 analiziranih radova vezanih za mikroplastiku u morskim beskralježnjacima, bilo je vidljivo da su po obliku čestica vlakna najzastupljeniji oblici mikroplastike, a pronađeni su u raznim veličinama koje variraju od 3  $\mu\text{m}$  do 5000  $\mu\text{m}$ . Od 22 analizirana rada vezana za mikroplastiku u morskim kralježnjacima, 6 radova je bilo fokusirano na morske sisavce, 1 rad je bio fokusiran na morske reptile (odnosno morske kornjače), dok se ostalih 15 radova odnosilo na mikroplastiku u ribama. Vidljivo je bilo da su najzastupljeniji oblici mikroplastike u morskim kralježnjacima bili fragmenti i vlakna, a veličina tih čestica je varirala od 1  $\mu\text{m}$  do 5000  $\mu\text{m}$ .

Ključne riječi: onečišćenje plastikom, plastika, mikroplastika, mikroplastika u morskim organizmima

## 7. ABSTRACT

### Microplastics in marine organisms

Given that plastic pollution is considered one of the most dangerous environmental problems of the 21st century, microplastics are obviously a major environmental problem, as they are formed by the fragmentation of plastic. Marine organisms, such as fish, can ingest microplastics, which is a problem since humans are at the end of the food chain. Due to the issue of microplastics, the aim of this paper was to study and systematize data from the literature on the number and quantity of microplastic particles in marine organisms according to the groups of algae, seagrasses, invertebrates and vertebrates. Due to the (im)practical and (im)precise nature of sample collection, less data is available on microplastics in algae and seagrasses than on microplastics in marine invertebrates and vertebrates. Although various types of microplastics can be found in algae and seagrasses (varying from 13.5  $\mu\text{m}$  to 5000  $\mu\text{m}$ ), fibers are still most often found on them. From the 16 analyzed papers related to microplastics in marine invertebrates, it was evident that fibers are the most common forms of microplastics by particle shape, and they were found in various sizes varying from 3  $\mu\text{m}$  to 5000  $\mu\text{m}$ . Of the 22 analyzed papers related to microplastics in marine vertebrates, 6 papers were focused on marine mammals, 1 paper was focused on marine reptiles (ie sea turtles), while the other 15 papers were related to microplastics in fish. It was evident that the most abundant forms of microplastics in marine vertebrates were fragments and fibers, and the size of these particles varied from 1  $\mu\text{m}$  to 5000  $\mu\text{m}$ .

Key words: plastic pollution, plastic, microplastics, microplastics in marine organisms