

Mikroplastika u morskom okolišu

Antica, Robert Eric

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Split / Sveučilište u Splitu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:226:304134>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-06**



Repository / Repozitorij:

[Repository of University Department of Marine Studies](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



SVEUČILIŠTE U SPLITU
SVEUČILIŠNI ODJEL ZA STUDIJE MORA
PREDDIPLOMSKI STUDIJ MORSKO RIBARSTVO

Robert Eric Antica

MIKROPLASTIKA U MORU

Završni rad

Split, rujan 2019.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
SVEUČILIŠNI ODJEL ZA STUDIJE MORA
PREDDIPLOMSKI STUDIJ MORSKO RIBARSTVO

MIKROPLASTIKA U MORU

Završni rad

Predmet: Zagađenje mora

Mentor:

Doc. dr. sc. Maja Krželj

Student:

Robert Eric Antica

Split, rujan 2019.

MIKROPLASTIKA U MORSKOM OKOLIŠU

Robert Eric Antica

Sažetak

Održivo upravljanje morskim okolišem danas je jedan od globalnih problema. Naime, zagađenje morskog okoliša u posljednjih nekoliko desetljeća sve više ukazuje na potrebu za donošenjem zakonskih regulativa, uvođenjem kontrole te prevenciju jer se danas svijet suočava sa zagađenjem svjetskih mora i oceana, a potencijalno i s negativnim učincima takvog zagađenja za život u moru, pojedinih gospodarskih grana i zdravlja ljudi. Jedan od vodećih problema odnosi se na zagađenje mora i oceana plastikom. To se ne odnosi samo na krupnu plastiku, nego i na mikroplastiku koja je trenutno jedan od najznačajnijih problema zagađenja mora i oceana te može uzrokovati vrlo negativne i trajne posljedice na morski okoliš. Zbog toga je važno ovoj problematici na nacionalnoj i međunarodnoj razini pristupiti sustavno te na taj način smanjiti negativne učinke mikroplastike na morski okoliš.

(20 stranica, 6 slika, 2 tablice, 66 literaturna navoda, jezik izvornika: hrvatski)

Ključne riječi: mikroplastika, morski okoliš, zagađenje mora

Mentor: Doc. dr. sc. Maja Krželj

Ocjenjivači: 1. Doc. dr. sc. Marin Ordulj
2. Doc. dr. sc. Maja Krželj
3. Doc. dr. sc. Zvezdana Popović Perković

MICROPLASTICS IN MARINE ENVIRONMENT

Robert Eric Antica

Abstract

Presently, sustainable management of the marine environment is one of the global problems. Namely, the pollution of the marine environment in recent decades has been increasingly pointing to the need for legislation, the introduction of control and prevention because the world is facing pollution of the world's seas and oceans and potential negative effects of such pollution on marine life, particular industries and human health. One of the leading problems concerns the pollution of the sea and the ocean by plastic. This applies not only to large plastic, but also to the microplastics as an extremely abundant pollutant of marine and ocean environment with negative and lasting effects. Therefore, it is important to address these issues nationally and globally in a systematic manner, thus reducing the negative effects of microplastics on the marine environment, as well as affecting the sustainability of the sea and oceans.

(20 pages, 6 figures, 2 tables, 66 references, original in: Croatian)

Keywords: microplastics, marine environment, marine pollution

Supervisor: Maja Krželj, PhD / Assistant Professor

Reviewers:

1. Marin Ordulj, PhD / Assistant Professor
2. Maja Krželj, PhD / Assistant Professor
3. Zvezdana Popović Perković, PhD / Assistant Professor

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
1.1. Plastika.....	1
1.2. Upravljanje plastičnim otpadom	2
2. RAZRADA TEME.....	5
2.1. Mikroplastika u morima i oceanima.....	5
2.2. Utjecaj mikroplastike na morske organizme	7
2.3. Mikroplastika u oceanima	12
2.3.1. Mikroplastika u Tihom oceanu	12
2.3.2. Mikroplastika u Atlanskom oceanu	12
2.3.3. Mikroplastika u Indijskom oceanu.....	13
2.3.4. Mikroplastika u Sredozemnom moru	13
3. ZAKLJUČAK.....	14
LITERATURA.....	15

1. UVOD

1.1. Plastika

Molekulska osnova plastičnog polimera sastoji od ugljikovodika i drugih spojeva, a plastika je zajednički naziv za umjetne materijale koji se pripremaju polimerizacijom monomera iz nafte ili plina. Također, polimer se može proizvesti iz ugljena, prirodnih plinova, celuloze ili lateksa sa stabala, a dodaju mu se i druge kemikalije i aditivi da bi se osigurala poželjna svojstva. Proizvodnja plastike povećala se u posljednjih 60 godina i još uvijek raste te se može reći da je današnji svijet zapravo „plastični svijet“ (Nerland i sur., 2014).

Utvrđeno je da polimeri kao što su polivinil klorid, polistiren i polikarbonat otpuštaju otrovne monomere koji su povezani s karcinomom i reproduktivnim abnormalnostima kod ljudi, glodavaca i beskrležnjaka (Lithner i sur., 2011). Više od 300 kemijskih spojeva koriste se kao aditivi u proizvodnji plastike i čine nekoliko kategorija: plastifikatori ili omekšivači, pojačivači, punila, pigmenti, usporivači gorenja, modifikatori itd., a mnogi od njih su štetni za okoliš. PVC je izuzetno štetan oblik plastike za okoliš jer sadrži više od 90% svih aditiva. Upotreba nekih aditiva regulirana je zbog njihovog lakog oslobađanja iz plastike u okoliš i njihove mutagene, neurotoksične i reproduktivne toksičnosti.

Iako je većina plastičnih materijala postojana i ne razgrađuje se lako, pod utjecajem sunčevog UV zračenja, visokih temperatura, trenja u valovima i oksidacije na zraku, degradiraju i fragmentiraju u male čestice, tj. u mikroplastiku. Mikroplastika podrazumijeva zagađenje u obliku sitnih plastičnih čestica manjih od 0,5 cm (Arthur i sur., 2009) koje, kada se nađu u moru, predstavljaju gotovo nevidljiv, ali vrlo opasan oblik zagađenja. Mikroplastika može ući u okoliš izravno ili nakon razgradnje veće plastike. Najčešći oblici mikroplastike, koje se nazivaju mikro-kuglice, proizvode se u mikroskopskoj veličini za uporabu u kozmetici (Slika 1), tehnologiji pjeskarenja za čišćenje različitih površina i slično. Zbog masovne upotrebe plastike, mikroplastika je postala sveprisutna u morskom okolišu (Slika 2). Kada se veliki plastični predmeti počnu raspadati zbog UV zračenja, valova i drugih abiotičkih čimbenika, oni se polako razlažu na sve manje dijelove koji na kraju imaju promjer <5 mm. Različite toksične tvari se nakupljaju na površini mikroplastike pa je ribe mogu zamijeniti za hranu, te na taj način mikroplastika ulazi u prehrambeni lanac koji uključuje i ljude (Budimir, 2014). Znanstvena istraživanja sve više ukazuju na problem velikih količina mikroplastike te na posljedice koje

moгу prouzročiti u morskome okolišu, morskim organizmima, ljudskom zdravlju pa i gospodarskim djelatnostima (turizam, ribarstvo).



Slika 1. Primjeri mikroplastike iz proizvoda za osobnu higijenu (pasta za zube s lijeve strane) i od razgradnje većih plastičnih površina (s desne strane; izvor: Nerland i sur., 2014).



Slika 2. Mikroplastika iz mora (Izvor: Lavender Law, 2014).

1.2 Upravljanje plastičnim otpadom

Zadnjih nekoliko desetljeća, neprikladno gospodarenje otpadom te neodgovorno ponašanje ljudi vezano za odlaganje plastičnog otpada, rezultat su velike količine jednokratnog plastičnog otpada koji na kraju završi u prirodnom okolišu (Slika 4). Nepravilnim odlaganjem plastičnog otpada dolazi do štete u gospodarskim djelatnostima kao što su turizam, ribarstvo,

pomorski promet. Najviše nastradaju ljudi koji konzumiranjem morskih organizama unose u tijelo plastične čestice.

Sve većom upotrebom jednokratne plastične ambalaže dolazi do sve većeg nakupljanja plastičnog otpada. Jednokratna plastika se najčešće nalazi u morskom okolišu jer se teško reciklira. Jednokratnu plastiku koja čini 50% ukupnog morskog otpada se najčešće pronalazi na morskim plažama (Slika 3) (Komunikacija Komisije Europskom Parlamentu, Vijeću, Europskom Gospodarskom i Socijalnom Odboru i Odboru Regija, 2018). Usputno konzumiranje hrane i pića povećava sve veću količinu plastičnog otpada, što predstavlja još jedan sve ozbiljniji problem.



Slika 3. Klasifikacija otpada za jednokratnu uporabu pronađenog na plažama (Izvor: Komunikacija Komisije Europskom Parlamentu, Vijeću, Europskom Gospodarskom i Socijalnom Odboru i Odboru Regija, 2018).

Smanjenje plastičnog otpada te suzbijanje onečišćenja postaje ozbiljan problem s obzirom na raširenu uporabu plastike. Trenutno nema rješenja za potrošače i proizvođače kako bi se proizvodilo manje plastičnog otpada. Europska unija ulaže sredstva kako bi se borila protiv plastičnog morskog otpada te djeluje na globalnoj, nacionalnoj i regionalnoj razini (Komunikacija Komisije Europskom Parlamentu, Vijeću, Europskom Gospodarskom i Socijalnom Odboru i Odboru Regija, 2018). Europska unija podupire recikliranje i prikupljanje otpada kao i pomoć u sprečavanju ispuštanja otpada u okoliš. Europska komisija će prijedlogom

„Direktive o vodi za piće“ promicati pristup vodi iz slavine kako bi se na taj način smanjila upotreba plastične ambalaže (Komunikacija Komisije Europskom Parlamentu, Vijeću, Europskom Gospodarskom i Socijalnom Odboru i Odboru, 2018). Europska unija je svakoj od država članica postavila zahtjeve da donesu mjere za smanjenje potrošnje plastičnih vrećica (Direktiva 2015/720/EU o izmjeni Direktive 94/62/EZ u pogledu smanjenja potrošnje laganih plastičnih vrećica za nošenje) te za smanjenje količine morskog otpada (Direktiva 2008/56/EZ o uspostavljanju okvira za djelovanje Zajednice u području politike morskog okoliša).

Europska komisija će zakonodavnim prijedlogom revizije Direktive o vodi za piće promicati pristup vodi iz slavine za građane Europske unije te će na taj način smanjiti potrebu za ambalažom za flaširanu vodu (Komunikacija Komisije Europskom Parlamentu, Vijeću, Europskom Gospodarskom i Socijalnom Odboru i Odboru, 2018). Kriterijima za znak za okoliš i za zelenu javnu nabavu, također se promiču predmeti i ambalaža za ponovnu upotrebu. Također, mogu se razvijati dodatne mjere na razini Europske unije i na nacionalnoj razini kako bi se smanjilo nepotrebno stvaranje plastičnog otpada, a to se posebno odnosi na otpad od predmeta za jednokratnu upotrebu ili prekomjerne ambalaže (Komunikacija Komisije Europskom Parlamentu, Vijeću, Europskom Gospodarskom i Socijalnom Odboru i Odboru Regija, 2018). Količina morskog otpada, proizvedena različitim ljudskim aktivnostima na moru je prilično velika. Ribolovni alat ostavljen u moru može imati posebno štetan utjecaj zbog zaplitanja morskih životinja (Komunikacija Komisije Europskom Parlamentu, Vijeću, Europskom Gospodarskom i Socijalnom Odboru i Odboru Regija, 2018). Kako bi se smanjilo ispuštanje otpada s brodova, Europska komisija daje zakonodavni prijedlog o lučkim uređajima za prihvata. To su mjere kojima se osigurava da se otpad koji nastaje na brodovima ili je prikupljen na moru isporučuje na kopno te se njime na odgovarajući način gospodari (Komunikacija Komisije Europskom Parlamentu, Vijeću, Europskom Gospodarskom i Socijalnom Odboru i Odboru Regija, 2018).

2. RAZRADA TEME

2.1. Mikroplastika u morima i oceanima

U zadnjih 20 godina neprestano raste broj spoznaja o onečišćenju mikroplastikom u morskom okolišu. Osim znanstvenog interesa, postoji sve veći interes javnosti i nevladinih organizacija za sprječavanje navedenog onečišćenja. Znanstvenici naglašavaju važnost daljnjih istraživanja za točniju procjenu količina mikroplastike u morskim staništima diljem svijeta, a posljednjih godina se radi na međunarodnim, nacionalnim i regionalnim smjernicama za kvantificiranje mikroplastike u moru. Okvirna direktiva o morskoj strategiji (MSFD 2008/56/EC) istaknula je zabrinutost zbog utjecaja morskog otpada na okoliš i jedan od ključnih prioriteta MSFD-a je utvrditi ekološku štetu uzrokovanu mikroplastikom i pripadajućim kemikalijama.



Slika 4. Plastika u moru (Screenshot/Twitter,

<https://www.dnevno.hr/vijesti/hrvatska/hrvatska-na-kraju-liste-dok-eu-zaostrava-pravila-plastike-u-moru-mi-se-ne-mijenjamo-1260146/>).

Unatoč navedenom, svaki dan između 4,80 i 12,70 milijuna tona plastike ulazi u oceane, a od toga je 93% potrošački otpad. Gotovo 269.000,00 tona plastičnog otpada pluta u oceanima i morima, a sastoji se od 5.000,00 milijardi čestica. Pod utjecajem sunca i valova nastaje mikroplastika koja se razgrađuje i po nekoliko stoljeća (Rak Šajn, 2017).

Mikroplastika je sveprisutna u svjetskim oceanima i morima, pronađena je u gotovo svakom staništu otvorenih oceana i zatvorenih mora, uključujući plaže, površinske vode, vodeni stupac i duboko morsko dno (Nerland i sur. 2014). Istraživanja pokazuju da postoji 200.000,00 mikroplastike po km² površine oceana (Ivar i Costa, 2014). Pronađena je u Atlantskom i Pacifičkom oceanu i u njima susjednim morima, te u obalnim područjima (Nerland i sur., 2014, Tablica 1). Sredozemno more klasificira se kao šesto najveće područje za akumulaciju plastičnog otpada na planetu (Universidad de Cádiz, 2015). Procjenjuje se da se u njemu nalazi 115.000,00 čestica mikroplastike po km² (Khopkar, 2011). Ovakve okolnosti iznimno su nepovoljne za morske organizme, ali i za čovjeka koji konzumira morsku hranu jer s njom konzumira i mikroplastiku.

Distribucija mikroplastike ovisi o uvjetima okoline, uključujući oceanske struje, horizontalno i vertikalno miješanje, miješanje vjetra i formiranje biofilma, kao i o svojstvu pojedinih plastičnih polimera (Lusher, 2015). Cózar i suradnici (2014) procjenjuju da je količina plastike na površinama otvorenih oceana između 7.000,00 i 35.000,00 tona raspoređenih na 88% prikupljenih uzoraka, dok su na preostalim 12% bile prisutne čestice manje od mjerljivih korištenim tehnikama. U istoj studiji navode da je više od milijun tona plutajuće plastike pušteno u otvoreni ocean od 1970-ih (Nerland i sur., 2014).

Tablica 1. Količine mikroplastike u svjetskim morima (Izvor: Nerland i sur., 2014).

LOKACIJA	PROSJEČNA KONCENTRACIJA	PROSJEČNA TEŽINA (mg m ⁻²)
Sjeverozapadni Atlantik (obalni)	3 čestice m ⁻³	
Sjeverozapadni Atlantik (u moru)	67 čestica m ⁻²	
Sjeveroistočni Atlantik (Keltsko more)	2.46 ± 2.43 čestica m ⁻³	
Sjeveroistočni Atlantik (portugalska obala)	0.002-0.036 čestica m ⁻³	
Zapadni Mediteran (Sardinija)	0.116 čestica m ⁻²	0.202
Zapadni Mediteran (Korzika)	0.062 čestica m ⁻²	
Zapadni Mediteran	130 čestica m ⁻²	58
Zapadni Mediteran (središnji)	0.15 čestica m ⁻³	
Sjeveroistočni Pacifik (Južna Kalifornija)	8 čestica m ⁻³	
Sjeverni Pacifik (središnji cio)	334.3 čestica m ⁻²	5114
Sjeveroistočni Pacifik	0.004-0.19 čestica m ⁻³	0.014-0.209
Sjeverni Pacifik suprotropski vrtlog	0.021-0.448 čestica m ⁻²	
Istočno kinesko more	0.167 ± 0.138 čestica m ⁻³	

Najčešći tipovi plastičnih polimera u moru su polietilen (oko 50%) i polipropilen (oko 40%) (Nerland i sur., 2014). Više od 300 kemijskih spojeva koji se koriste kao aditivi u proizvodnji plastike imaju sposobnost nakupljanja u sedimentu i tkivima organizama te imaju štetan učinak na fiziološke funkcije (Browne i sur., 2013). Osim toga, mikroplastika može poslužiti i kao supstrat za različite mikrobne zajednice ili kao vektor u prijenosu stranih (potencijalno patogenih) mikrobnih vrsta. Životinje koje žive u morskim sedimentima iznimno su ranjive i podložne štetnom utjecaju mikroplastike koja može akumulirati oko 100 puta veću koncentraciju toksičnih spojeva od sedimenta (Browne i sur., 2013). Vlaknasti i izduženi oblici mikroplastike su toksičniji od sfernih oblika i skloniji su nakupljanju u bentoskim organizmima, detritivorima i čistačima (Wright i sur., 2013).

Zagađenje mora i oceana unosom plastičnih čestica odvija se kroz sustave odvodnje, prelijevanjem kanalizacije tijekom velikih količina kiše, unosom otpadnih voda i drugim načinima. Polimeri se mogu razgraditi u mikroplastiku u morskoj vodi, ali se mogu stvarati i degradacijom ili fragmentacijom te unijeti u more. Budući da gustoća polimera utječe na distribuciju plastike u vodenom stupcu, važno je razumjeti kako se mikroplastika transportira na površini i na dubinama. Poznavanje onečišćenja iz točkastih izvora, uključujući riječni dotok i dotok otpadnih voda u morsko i priobalno okruženje, može biti korisno u razumijevanju stupnja do kojeg su određeni ekosustavi pogođeni. Nadalje, podaci o nakupljanju plastike na plažama koriste proučavanju mikroplastike. Primjerice, studija o plastičnom otpadu na plažama razvila je model praćenja čestica koji je pokazao da, ako će razine plastičnog otpada ostati nepromijenjene tijekom idućeg desetljeća, količina plastičnog otpada na plažama će se nastaviti povećavati, a u nekim slučajevima moglo bi doći i do 250-strukog povećanja plastike u moru (Lusher, 2015).

Još jedan važan rezultat istraživanja je da većina plastičnog otpada u morskom okolišu potječe od aktivnosti ribarstva (plastične mreže i druga oprema za ribolov) (Butterworth i Clegg, 2012). Također, turizam i veliki broj turističkih objekata u obalnim područjima proizvode značajan broj plastičnog otpada. Ovi plastični ostaci nakupljaju se na površini oceana, na morskom dnu i u priobalnim područjima (Valavanidis i Vlachogianni, 2014).

2.2. Utjecaj mikroplastike na morske organizme

Godine 1972. Carpentered i suradnici bili su prvi znanstvenici koji su istraživali polimerni morski otpad u obalnoj vodi te njegove posljedice na morske organizme. Oni su primijetili da

su polistirenske (PS) kuglice u prosjeku promjera 0,5 mm (raspon od 0,1 do 2 mm) bile vrlo zastupljene u obalnim vodama južne Nove Engleske. PS kuglice imaju bakterije na svojim površinama i sadrže PCB-e, očito apsorbirane iz okolne morske vode, u koncentraciji od 5 ppm. Također, sugerirali su da gutanje mikroplastičnih čestica može dovesti do zastoja crijeva kod manjih riba.

Budući da je oko 88% površine oceana kontaminirano mikroplastikom, veliki broj morskih vrsta dolazi s njom u kontakt. Unošenjem mikroplastike u morske organizme, laboratorijska istraživanja su pokazala kako ona utječe na organizme (Barboza i sur., 2018c). Učinci mikroplastike na pojedine morske organizme su smrtnost (Luis i sur., 2015; Gray i Weinstein 2017), smanjena stopa hranjenja, smanjena tjelesna masa i smanjena brzina metabolizma (Welden i Cowie, 2016), smanjena raspodjela energije za rast (Farrell i Nelson, 2013), promjene u ponašanju, smanjena mogućnost plivanja (Barboza i sur., 2018b), smanjena oplodnja (Martinez-Gomez i sur., 2017), neurotoksičnost uslijed inhibicije acetilkolinesteraze i oksidativnog stresa (Oliveira i sur., 2013; Avio i sur., 2015; Riberio i sur., 2017; Barboza i sur., 2018a), oštećenje crijeva (Pedà i sur., 2016), smanjenje reproduktivne kondicije (Gregory, 2009).

Mikroplastika može ući u morsku prehrambenu mrežu putem apsorpcije, što je opaženo kada su nabijene nano-polistirenske kuglice apsorbirane u celulozu morske alge *Scenedesmus* spp. kojoj je mikroplastika inhibirala fotosintezu i uzrokovala oksidativni stres (Bhattacharya i sur., 2010). Mikroplastika može utjecati na funkciju i zdravlje morskog zooplanktona kod kojeg je zabilježeno smanjeno hranjenje nakon gutanja zrnca polistirena (Cole, 2013). Nadalje, ličinke kopepoda i odrasle ženke preživjele su akutnu izloženost, ali su povećane stope smrtnosti zabilježene nakon testa kronične toksičnosti na dvije generacije ($12,5 \mu\text{g mL}^{-1}$) (Lee i sur., 2013).

Znanstvena istraživanja naglašavaju važnu ulogu mikroplastike u zagađenju mora jer se lako može progutati od strane morskih organizama. Gutanje mikroplastike *in situ* dokazano je za škampe (Murray i Covie, 2011). Zabilježeno je i da su želuci humboldtovih lignji sadržavali plastične pelete (Lusher, 2015). U laboratorijima je proučavan utjecaj izravne izloženosti beskralježnjaka mikroplastičnim česticama te su rezultati pokazali da vrsta mnogočetinaša pjeskulje *Arenicola marina*, amfipodni rak *Orchestia gammarellus* i plava dagnja *Mytilus edulis*, hraneći se izravno unose mikroplastiku u organizam (Thompson i sur., 2004; Wegner i sur., 2012), dok trpovi selektivno unose čestice mikroplastike (Graham i Thompson, 2009). S druge strane zabilježeno je da polihetni crvi, trpovi i morski ježinci mogu izlučiti neželjene materijale kroz svoj crijevni trakt bez poteškoća (Kaposi i sur., 2014). Neugodni učinci gutanja

mikroplastike zabilježeni su kod vrste mnogočetinaša pjeskulje *Arenicola marina* (Lusher, 2015). Učinci mikroplastike na morske organizme su subletalni, kao što je smanjeno hranjenje i povećani unos određenih zagađivala (npr. PCB-a) (Besseling i sur., 2013). Osim subletalnih učinaka, također se ističe da mikrovlakna mogu blokirati probavni trakt, a dokazano je i da čestice mikroplastike mogu izazvati hepatički stres kod riba (Nerland i sur., 2014). Toksični kemijski spojevi, ispušteni iz plastike imaju tendenciju bioakumulacije u organizmima koji ih apsorbiraju, a kemijske koncentracije često su veće na višim trofičkim razinama zbog biomagnifikacije duž hranidbene mreže (Koelmans i sur., 2014) što uzrokuje prijetnju i hrani koju čovjek konzumira, a može imati ozbiljne i dalekosežne učinke na sve vršne predatorske vrste kao što je polarni medvjed.

Neke od najranijih studija koje upućuju na mikroplastiku u ulovljenoj ribi uključuju obalne vrste iz SAD-a (Carpenter i sur., 1972) i Ujedinjenog Kraljevstva (Kartar i sur., 1973; Kartar i sur., 1976). Novije studije izvijestile su o mikroplastici (vlakna, fragmenti i filmovi) kod mezopelagičnih riba (Boerger i sur., 2010; Davison i Asch, 2011; Choy i Drazen, 2013). Slično tome, 13,4% ribe s dna iz tropskog estuarija u sjeveroistočnom Brazilu sadržavalo je mikroplastiku u želucima. Nadalje, Lusher i suradnici (2015) izvijestili su o mikroplastičnim polimerima u 10 vrsta riba iz engleskog kanala. Od 504 ispitane ribe, 37% je konzumiralo razne vrste mikroplastike, od kojih su najčešći bili poliamid i polusintetički materijali. Slično tome, Boerger i suradnici (2010) zabilježili su mikroplastiku u 35% proučavanih riba (od čega su 94% bili plastični fragmenti). Riba iz sjevernog dijela Sjevernog mora uzimale su mikroplastiku u znatno manjim količinama (1,2%) u usporedbi s onima iz južnog Sjevernog mora (5,4%) (Foekema i sur., 2013). Sve studije upućuju na izravno gutanje kao glavni put izloženosti, bilo ciljano kao hrana ili slučajno s plijenom. Daljnja istraživanja su potrebna kako bi se pratio put mikroplastike u ribama te kako bi se procijenilo je li progutana mikroplastika pronađena u fekalnim kuglicama kao što je to kod beskralježnjaka (Lusher, 2015).

Nakon istraživanja prisutnosti mikroplastike na području srednjeg Jadrana, ustanovilo se da na tom području prisutna mikroplastika koja može dospjeti u probavni trakt ribe (Tutman i sur., 2017). Istraživane su tri komercijalno važne vrste za to područje, sardela (*Sardina pilchardus*), arbun (*Pagellus erythrinus*) i trlje (*Mullus surmuletus*). U Tablici 2. vidljivo je koliko je čestica mikroplastike pronađeno u probavilima triju navedenih vrsta (Tutman i sur. 2017)

Tablica 2. Brojnost čestica mikroplastike pronađenih u probavilima triju vrsta riba (Izvor: Tutman i sur., 2017).

	Trlja (<i>Mullus surmuletus</i>)	Arbun (<i>Pagellus erythrinus</i>)	Sardela (<i>Sardina pilchardus</i>)
Broj ispitanih želudaca	30	30	30
Broj želudaca koji je sadržavao mikroplastiku	21	15	11
Broj čestica mikroplastike	59	34	28
Srednja vrijednost broja čestica mikroplastike po želucu jedinke	2.68 ± 1.8	1.88 ± 1.4	2.54 ± 1.1

Morski sisavci i ptice su organizmi koji su najviše pogođeni uplitanjem u plastični otpad ostatke i gutanjem plastike, a mogu se i ozlijediti plutajućim plastičnim krhotinama ili se otrovati plastičnim aditivima koji se ispiru u okoliš. Već nekoliko desetljeća je poznata činjenica da plastični otpad predstavlja opasnost za morske ptice, a prvi zapisi potječu iz šezdesetih i sedamdesetih godina prošlog stoljeća dok su standardizirani protokoli za uzorkovanje novijeg datuma (Provencher i sur. 2014; Van Franeker i sur., 2010). Gutanju mikroplastike su posebno izložene ptice koje se hrane na površini mora, kao što su sjeverni fulmar (*Pachyptila crassirostris*), albatros (*Diomedidae*) i druge vrste, ali su plastične tvari zabilježene i u pticama koje se hrane ronjenjem, kao što je pufin (*Fratercula*). U 1990-ima gotovo 30% plastike pronađene u morskim pticama bilo je od industrijskih peleta, dok je u novije vrijeme najviše zastupljena potrošačka plastika, što ukazuje ili na bolju prevenciju ulaska industrijskih peleta u okoliš ili na opće povećanje potrošačkog plastičnog otpada koji završava u moru (Nerland i sur., 2014).

Bravo Rebolledo i suradnici (2013) zabilježili su mikroplastiku u želucima (11%, n = 100) i crijevima (1%, n = 107) tuljana *Phoca vitulina*, a veće količine plastike identificirane su u želucima brojnih kitova (46% svih vrsta). Način hranjenja čini kitove osjetljivijima na unos mikroplastike direktnim gutanjem, ali i putem trofičkog prijenosa iz plijena. Mikroplastika je zabilježena i u dubokomorskim organizmima (Bendik, 2018).

Budući da je plastika uobičajena u morskoj vodi, konzumiraju je ribe i drugi morski organizmi, tako da je najčešće prisutna u morskoj hrani (Slika 5). Dosadašnja istraživanja ukazuju na to da mikroplastika može štetno djelovati na čovjekovo zdravlje. Iako brojne studije ukazuju na prisutnost čestica mikroplastike u hrani, još uvijek je nedovoljno istražen njihov

utjecaj na ljudsko zdravlje i nastanak bolesti (Bendik, 2018) Ftalati, vrsta kemikalija koja se koristi da bi učinila plastiku savitljivom, pojačavaju rast kancerogenih stanica karcinoma dojke (Anonimus, 2019). Nadalje, laboratorijska istraživanja su dokazala učinak mikroplastike na laboratorijske miševе te su rezultati pokazali da se mikroplastika nataložila u njihovoj jetri, bubrezima i tankome crijevu te je povećala razinu oksidacijskog stresa molekula jetre, dok iz tankog crijeva čestice mogu dospjeti u krvotok i potencijalno u druge organe (Bendik, 2018).



Slika 5. Mikroplastika koja se nalazila u ribi (Izvor: Udruga Biom, <https://www.biom.hr/vijesti/mikroplastika-u-morima/>)

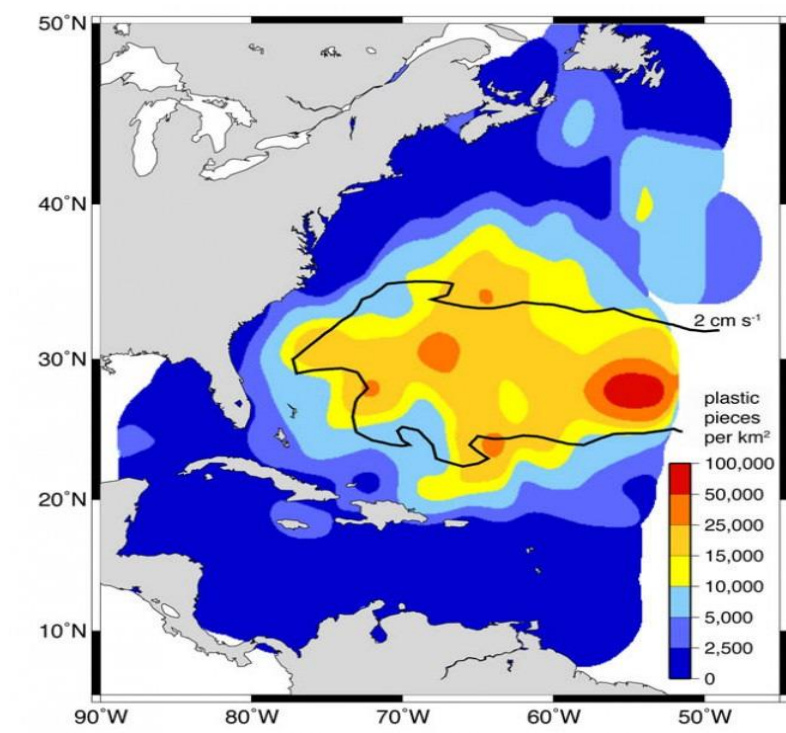
Provedena istraživanja su zabilježila 600 plastičnih čestica u jednom kilogramu morske soli (Bendik, 2018). Studije su pokazale da neke vrste riba zamjenjuju plastiku hranom pa se toksične kemikalije akumuliraju unutar jetre ribe (Bendik, 2018). Školjkaši su u puno većem riziku kontaminacije, nego drugi morski organizmi. Nadalje, školjkaši uzgajani za ljudsku prehranu imaju 0,36 do 0,47 čestica mikroplastike po gramu što ukazuje na činjenicu da konzumenti te hrane mogu pojesti i oko 11.000,00 čestica mikroplastike godišnje (Van Cauwenberghe i Janssen, 2014).

Čovjek je izložen mikroplastici iz mora te je važno osvijestiti suvremenog čovjeka o pravilnom postupanju s otpadom te o tome da promišlja o njegovom smanjenju. Na taj se način može utjecati i na smanjenje unošenja mikroplastike u čovjekov organizam, ali i na održivost okoliša.

2.3. Mikroplastika u oceanima

2.3.1. Mikroplastika u Tihom oceanu

Tihi ocean je najveći ocean i brojna istraživanja o mikroplastici su provedena. Područje koje je dobilo najveću pozornost je Sjeverno-pacifički središnji vrtlog. Ovo područje sadrži veliku hrpu plastičnog otpada, koje je poznato kao „velika pacifička hrpa smeća“ (Kaiser, 2010). U posljednja četiri desetljeća u ovom području količina mikroplastike se povećala za dva puta (Goldstein i sur., 2012). U subtropskom vrtlogu sjevernog Tihog oceana, količina plastike su dva puta manje nego u sjeverno-pacifičko centralnom vrtlogu (Goldstein i sur., 2013). Na južnom Tihom oceanu, uočen je rast mikroplastike kako ide prema središtu vrtloga ($5,38 \text{ čestica m}^{-3}$) (Eriksen i sur., 2013).



Slika 6. Sjeverno-atlantski vrtlog plastike (Izvor: Rolling harbour abaco, <https://rollingharbour.com/tag/sargasso-sea-facts/>).

2.3.2. Mikroplastika u Atlanskom oceanu

Na sjevernom Atlantiku i Karipskom moru pronađena je mikroplastika u 62% vučenih koća s gustoćom koja dostiže 580.000,00 čestica na km² (Law i sur., 2010). Različitih uzoraka

je najviše bilo u suptropskim geografskim širinama, između 22° i 38° sjevernog Atlantika (Law i sur., 2010). Pretpostavlja se da površinske struje i vjetrovi pokreću ovaj vrtlog (Thompson i sur., 2004). Prema istraživanju FiveGyres instituta (Eriksen i sur., 2013), u sjevernom Atlantiku pluta oko 56.470,00 tona plastike. Koncentracija plastike je ista kao i kod južnog Tihog oceana. U središtu vrtloga je najgušća raspršenost plastike, dok je na rubovima sve manja gustoća. Na južnom Atlantiku institut FiveGyres je napravio istraživanje i otprilike 12.780,00 tona plastike pluta. U središtu vrtloga je najgušća koncentracija plastike dok se prema rubovima smanjuje.

2.3.3. Mikroplastika u Indijskom oceanu

O indijskom vrtlogu danas je malo velikih izvještaja. Godine 2010. Marcus Eriksen je otkrio ovaj vrtlog dok je išao snimiti masu koja pluta oceanom. Mikroplastika koja je pronađena na plažama u Mumbaiju činila je 20% od ukupne plastike (Jayasiri i sur., 2013). Na Malezijskim plažama pronađeni su i peleti (Ismail i sur., 2009). Prema istraživanju instituta FiveGyres pretpostavlja se da u indijskom oceanu kruži oko 60.000,00 tona plastike. Ovo područje zahtjeva još istraživanja kako vi se detaljnije utvrdili podatci o plastici u Indijskom oceanu.

2.3.4. Mikroplastika u Sredozemnom moru

Sredozemno more je more koje je poluzatvoreno more okruženo sa tri kontinenta. Pretpostavlja se da godišnje u Sredozemno more uđe oko 150-500 tisuća tona plastike, i 70-130 tisuća tona mikroplastike (Komunikacija Komisije Europskom Parlamentu, Vijeću, Europskom Gospodarskom i Socijalnom Odboru i Odboru Regija, 2018). Plastika koja se nalazi u Sredozemnom moru ima utjecaj na najvažnije gospodarske djelatnosti, na turizam i ribarstvo. Europska ribarska flota godišnje na morski otpad potroši otprilike 61,7 milijun eura, zbog smanjenja ulova morskih organizama, oštećenja plovila i ribolovnih alata, smanjenja potražnje morskih organizama radi kontaminacije mikroplastikom. Zbog onečišćenja plaža mikroplastikom i plastikom, dolazi do smanjenja broja posjetioca što dovodi i do smanjenja broja radnih mjesta i prihoda te povećanje troškova za čišćenje i održavanje plaža (Ten Brink i sur., 2016).

3. ZAKLJUČAK

U suvremenom svijetu sve više se stavlja naglasak na zaštitu okoliša. Navedeni pristup okolišu posljedica je sve većeg zagađenja okoliša te velikih količina otpada koje u njemu završavaju nekontrolirano uključujući i morske ekosustave. Suvremena istraživanja ukazuju na činjenicu da se morski okoliš nekontrolirano zagađuje ljudskim djelovanjem a posljedice zagađenja morskog okoliša nekontroliranim odlaganjem plastike značajnih razmjera. Utvrđeno je da se radi o iznimno velikim količinama koje štete živim organizmima u moru, pojedinim gospodarskim djelatnostima te ljudskom zdravlju. Iz navedenog razloga danas se na svjetskoj razini kao i na razini Europske unije i nacionalnim razinama donose zakonske regulative, direktive i strategije vezane uz upravljanje morskim okolišem. Cilj takvih aktivnosti je smanjiti količine otpada u morskom okolišu te preventivno djelovati na građane i gospodarske subjekte.

LITERATURA

- Anonimus, 2019. Što su to ftalati? PLASTIKA kao SASTOJAK U KOZMETICI. Dostupno na: <https://bioboutique.hr/sto-su-to-ftalati/>, Pristupljeno: srpanj, 2019.
- Arthur C, Baker JE, Bamford HA. 2009. Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence, Effects, and Fate of Microplastic Marine Debris. University of Washington Tacoma, Tacoma, WA, USA.
- Avio CG, Gorbi S, Milan M, Benedetti M, Fattorini D, d'Errico G, Pauletto M, Bargelloni L, Regoli F. 2015a. Pollutants bioavailability and toxicological risk from microplastics to marine mussels. *Environmental Pollution*, 198:211-222.
- Barboza LGA, Vieira LR, Branco V, Figueiredo N, Carvalho F, Carvalho C, Guilhermino L. 2018a. Microplastics cause neurotoxicity, oxidative damage and energy-related changes and interact with the bioaccumulation of mercury in the European seabass, *Dicentrarchus labrax* (Linnaeus, 1758). *Aquatic toxicology*, 195:49-57.
- Barboza LGA, Vieira LR, Guilhermino L. 2018b. Single and combined effects of microplastics and mercury on juveniles of the European seabass (*Dicentrarchus labrax*): changes in behavioural responses and reduction of swimming velocity and resistance time. *Environmental Pollution*, 236:1014-1019.
- Barboza LGA, Vethaak D, Lavorande AD, Lundebye AK, Guilhermino L. 2018c. Marine microplastic debris: An emerging issue for food security, food safety and human health. *Marine Pollution Bulletin*, 133:336-348.
- Bendik E. 2018. Znanstvenici upozoravaju da mikroplastika postaje sve veći problem. Recimo, ima je u hrani. Dostupno na: <https://www.telegram.hr/zivot/znanstvenici-upozoravaju-da-mikroplastika-postaje-sve-veci-problem-recimo-jedemo-je-kroz-hranu/>, Pristupljeno: srpanj, 2019.
- Besseling E, Wegner A, Foekema EM, van den Heuvel-Greve MJ, Koelmans A. 2013a. Effects of microplastic on fitness and PCB bioaccumulation by the lugworm *Arenicola marina* (L.). *Environmental Science Technology* 47:593–600.
- Bhattacharya P, Turner JP, Ke PC. 2010. Physical adsorption of charged plastic nanoparticles affects algal photosynthesis. *The Journal of Physical Chemistry C*, 114(39):16556–16561.
- Boerger CM, Lattin GL, Moore SL, Moore CJ. 2010. Plastic ingestion by planktivorous fishes in the North Pacific Central Gyre. *Marine Pollution Bulletin*, 60:2275–2278.

- Browne MAA, Niven SJJ, Galloway TSS, Rowland SJJ, Thompson RCC. 2013. Microplastic moves pollutants and additives to worms, reducing functions linked to health and biodiversity. *Current Biology*, 23:2388–2392.
- Budimir S. 2014. Mikroplastika u morima. Dostupno na: <https://www.biom.hr/vijesti/mikroplastika-u-morima/>, Pristupljeno: lipanj 2019.
- Butterworth A, Clegg I. 2012. Marine deris: a global picture of the impact on animal welfare and of animal-tocused solutions, WSPA International, 222.
- Carpenter EJ, Anderson SJ, Harvey GR, Miklas HP, Peck BB. 1972. Polystyrene spherules in coastal waters. *Science*, 178:749–750.
- Choy CA, Drazen JC. 2013. Plastic for dinner? Observations of frequent debris ingestion by pelagic predatory fishes from the central North Pacific. *Marine Ecology Progress Series*, 485:155–163.
- Cole M, Lindeque PK, Fileman ES, Halsband C, Goodhead R, Moger J. 2013. Microplastic ingestion by zooplankton. *Environmental Science & Technology*, 47(12):6646–6655.
- Cózar A, Echevarría F, González-Gordillo JI, Irigoien X, Ubeda B, Hernández-León S, Palma AT, Navarro S, García-de-Lomas J, Ruiz A, Fernández-de-Puelles ML, Duarte CM. 2014. Plastic debris in the open ocean, *PNAS* July 15, 2014 111(28):10239-10244.
- Davison P, Asch RG. 2011. Plastic ingestion by mesopelagic fishes in the North Pacific Subtropical Gyre. *Marine Ecology Progress Series*, 432:173–180.
- Direktiva 2015/720/EU o izmjeni Direktive 94/62/EZ u pogledu smanjenja potrošnje laganih plastičnih vrećica za nošenje.
- Direktiva 2008/56/EZ o uspostavljanju okvira za djelovanje Zajednice u području politikeorskog okoliša.
- Eriksen M, Lebreton LCM, Carson HS, Thiel M, Moore CJ, Borerro JC. 2013. Plastic pollution in the world's oceans: more than 5 trillion plastic pieces weighing over 250,000 tons afloat at sea. *PLoS ONE*, 9(12):e111913.
- Farrell P, Nelson K. 2013. Trophic level transfer of microplastic: *Mytilus edulis* (L.) to *Carcinus maenas* (L.) *Environmental Pollution*, 177: 1-3.
- Foekema EM, De Gruijter C, Mergia MT, van Franeker JA, Murk TJ, Koelmans AA, 2013. Plastic in north sea fish. *Environmental Science & Technology*, 47(15):8818–8824.
- Koelmans AA, Gouin T, Thompson R, Wallace N, Courtney A. 2014. Plastics in the marine environment. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 33(1):5-10.
- Komunikacija Komisije Europskom Parlamentu, Vijeću, Europskom Gospodarskom i Socijalnom Odboru i Odboru Regija, 2018. Europska strategija za plastiku u kružnom

- gospodarstvu, Dostupno na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/?uri=COM:2018:28:FIN>, Pristupljeno: lipanj, 2019.
- Goldstein MC, Rosenberg M, Cheng L. 2012. Increased oceanic microplastic debris enhances oviposition in an endemic pelagic insect. *Royal Society Biology Letters*, 8:817–820.
- Goldstein M, Titmus AJ, Ford AM. 2013. Scales of spatial heterogeneity of plastic marine debris in the Northeast Pacific ocean. *Plos One*, e184.
- Gray AD, Weinstein JE. 2017. Size and shape-dependent effects of microplastic particles on adult daggerblade grass shrimp (*Palaemonetes pugio*). *Environmental Toxicology Chemistry*, 36:3074-3080.
- Gregory MR. 2009. Environmental implications of plastic debris in marine settings - entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 364(1526):2013-2025.
- Hammer J, Parsons J, Kraak MHS. 2012. Plastic in the marine environment: The dark side of a modern gift. *Reviews of environmental contamination and toxicology*.
- Ismail A, Adilah NMB, Nurulhudha MJ. 2009. Plastic pellets along Kuala Selangor-Sepang coastline. *Malaysian Applied Biology Journal*, 38:85–88.
- Ivar do Sul JA, Costa MF. 2014. The present and future of microplastics pollution inthe marine environment, review *Environmental Pollution* 185:352-364.
- Jayasiri HB, Purushothaman CS, Vennila A. 2013. Quantitative analysis of plastic debris on recreational beaches in Mumbai, India. *Marine Pollution Bulletin*, 77:107–112.
- Kaiser J. 2010. The dirt on ocean garbage patches. *Science*, 328(5985):1506.
- Kaposi KL, Mos B, Kelaher BP, Dworjanyn SA. 2014. Ingestion of microplastic has limited impact on a marine larva. *Environmental Science Technology*, 48:1638–45.
- Kartar S, Milne RA, Sainsbury M. 1973. Polystyrene waste in the Severn Estuary. *Marine Pollution Bulletin*, 4(9):144.
- Kartar S, Abou-Seedo F, Sainsbury M. 1976. Polystyrene Spherules in the Severn Estuary—A progress report. *Marine Pollution Bulletin*, 7(3):52.
- Khopkar U. 2011. Skin biopsy: Perspectives, InTech, Rijeka, 336.
- Law KL, Morét-Ferguson S, Maximenko NA, Proskurowski G, Peacock EE, Hafner J. 2010. Plastic accumulation in the North Atlantic subtropical gyre. *Science*, 329:1185–1188.
- Lavender Law K. 2014. Microplastics in the seas, *Science*, 345:144-145.

- Lee KW, Shim WJ, Kwon OK, Kang JH, 2013. Size-Dependent Effects of Micropolystyrene particles in the marine copepod *Tigriopus japonicus*. *Environmental Science Technology* 47(19):11278-11283.
- Lithner D, Larsson A, Dave G. 2011. Environmental and health hazard ranking and assessment of plastic polymers based on chemical composition. *Science Total Environment* 409:3309–3324.
- Luis LG, Ferreira P, Fonte E, Oliveira M, Guilhermino L, 2015. Does the presence of microplastics influence the acute toxicity of chromium(VI) to early juveniles of the common goby (*Pomatoschistus microps*)? A study with juveniles from two wild estuarine populations. *Aquatic Toxicology*, 164:163-174.
- Lusher A. 2014. *Microplastics in the Marine Environment: Distribution, Interactions and Effects*, Marine Anthropogenic Litter, Springer Open Bremerhaven Germany, 447.
- Martínez-Gómez C, León VM, Marina SC, Gomáriz-Olcina M, Vethaak AD. 2017. The adverse effects of virgin microplastics on the fertilization and larval development of sea urchins. *Marine environmental research*, 130:69-76.
- Murray F, Cowie PR, 2011. Plastic contamination in the decapod crustacean *Nephrops norvegicus* (Linnaeus, 1758). *Marine pollution bulletin*, 62:1207–1217.
- Nerland IL, Halsband C, Allan I, Thomas KV. 2014. Microplastics in marine environments: Occurrence, distribution and effects. *Akvaplan*, 71 str
- Oliveira M, Ribeiro A, Hylland K, Guilhermino L. 2013. Single and combined effects of microplastics and pyrene on juveniles (0+ group) of the common goby *Pomatoschistus microps* (Teleostei, Gobiidae). *Ecological Indicators*,34:641-647.
- Pedà C, Caccamo L, Fossi MC, Gai F, Andaloro F, Genovese L, Perdichizzi A, Romeo T, Maricchiolo G. 2016. Intestinal alterations in European sea bass *Dicentrarchus labrax* (Linnaeus, 1758) exposed to microplastics: preliminary results. *Environmental Pollution*, 212:251-256.
- Provencher JF, Bond AL, Mallory ML, 2014. Marine birds and plastic debris in Canada: a national synthesis and a way forward. *Environmental Reviews*,23(1):1-13.
- Rak Šajn J. 2017. Ne promijenimo li navike, do 2050. u moru će biti više plastike nego ..ribe. Dostupno na: <https://www.vecernji.hr/premium/ekologija-un-zagadenje-more-otpad-1177219>, Pristupljeno: srpanj, 2019.
- Rebolledo ELB, Van Franeker JA, Jansen OE, Brasseur SMJM, 2013. Plastic ingestion by harbour seals (*Phoca vitulina*) in The Netherlands. *Marine Pollution Bulletin*, 67:200–202.

- Ribeiro F, Garcia AR, Pereira BP, Fonseca M, Mestre NC, Fonseca TG, Ilharco LM, Bebianno MJ. 2017. Microplastics effects in *Scrobicularia plana*. *Marine pollution bulletin*, 122:379-391.
- Ten Brink P, Schweitzer JP, Watkins E, Howe M. 2016. *Plastics Marine Litter and the Circular Economy*. A briefing by IEEP for the MAVA Foundation.
- Thompson RC, Olsen Y, Mitchell RP, Davis A, Rowland SJ, John AWG., 2004. Lost at sea: Where is all the plastic? *Science*, 304(5672):838-838
- Tutman P, Bojanić Varezić D, Prvan M, Božanić J, Nazlić N, Šiljić J, Pavičić M. 2017. Integrirano planiranje u cilju smanjenja utjecaja morskog otpada, Projekt defishgear, Dostupno na: https://bib.irb.hr/datoteka/863203.0XX-0XX_MORSKI_OTPAD-1.pdf, Pristupljeno: srpanj, 2019.
- Universidad de Cádiz. 2015. The Mediterranean Sea classified as the sixth highest region for the accumulation of plastic debris on the planet. Dostupno sa: <https://phys.org/news/2015-06-mediterranean-sea-sixth-highest-region.html>, Pristupljeno: srpanj, 2019.
- Valavanidis A, Vlachogianni T. 2014. Microplastics in the marine environment: ubiquitous and persistent pollution problem in the world's oceans threatening marine biota.
- Van Cauwenberghe L, Janssen CR. 2014. Microplastics in bivalves cultured for human consumption. *Environmental Pollution*. 193:5–70.
- Van Franeker J, Meijboom A, De Jong M, Verdaat H. 2010. Fulmar litter EcoQO monitoring in the Netherlands 1979-2008 in relation to EU directive 2000/59/EC on portreception facilities. Wageningen IMARES Report.
- Wegner A, Besseling E, Foekema EM, Kamermans P, Koelmans AA. 2012. Effects of nanopolystyrene on the feeding behaviour of the blue mussel (*Mytilus edulis* L.). *Environmental Toxicology and Chemistry*, 31:2490–2497.
- Welden NAC, Cowie PR. 2016. Long-term microplastic retention causes reduced body condition in the langoustine, *Nephrops norvegicus*. *Environmental Pollution*, 218:895-900.
- Wright SL, Thompson RC, Galloway TS. 2013. The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review, *Environmental Pollution*, 178:483-492.