

# Utjecaj mikroplastike na prirodu i okoliš

---

Križnjak, Ivor

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:502993>

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

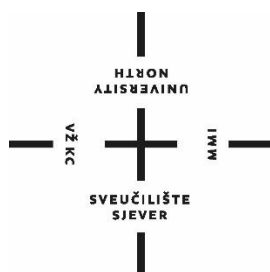
Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-30**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





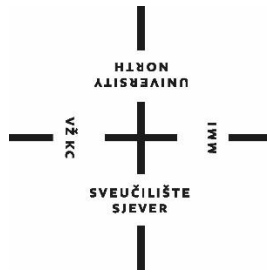
**Sveučilište  
Sjever**

DIPLOMSKI RAD br. 44/ARZO/2022

## **Utjecaj mikroplastike na prirodu i okoliš**

Ivor Križnjak, 0195022295

Koprivnica, rujan 2022.



**Sveučilište  
Sjever**

Odjel za ambalažu, recikliranje i zaštitu okoliša

DIPLOMSKI RAD br. 44/ARZO/2022

## **Utjecaj mikroplastike na prirodu i okoliš**

### **Student**

Ivor Križnjak, 0195022295

### **Mentor**

Prof. dr. sc. Bruno Zelić

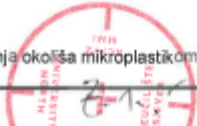
Koprivnica, rujan 2022.

# Prijava diplomskog rada

## Definiranje teme diplomskog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za ambalažu		
STUDIJ	diplomski sveučilišni studij Ambalaža		
PRISTUPNIK	Ivor Križnjak	NATIČNI BROJ	0195022295
DATUM	09. rujna 2022.	KOLEGIJ	INŽENJERSTVO U ZAŠTITI OKOLIŠA I AMBALAŽI
NASLOV RADA	Utjecaj mikroplastike na prirodu i okoliš		
NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	The impact of microplastics on nature and the environment		
MENTOR	prof. dr. sc. Bruno Zelić	ZVANJE	redoviti profesor u trajnom zvanju
ČLANOVI POVJERENSTVA	1. izv. prof. dr. sc. Dean Valdec-predsjednik 2. izv. prof. dr. sc. Krunoslav Hajdek - član 3. prof. dr. sc. Bruno Zelić - mentor 4. izv. prof. dr. sc. Bojan Šarkanj - zamjenski član 5. _____		

## Zadatak diplomskog rada

BROJ	44/ARZO/2022		
OPIS	<p>Neposredno nakon izuma plastike nije se vodilo previše računa o njezinoj akumulaciji u okoliš. Danas je upravo jedan od najvećih problema korištenja plastičnih materijala – mikroplastika. Mikroplastiku čine sve sitne čestice plastike promjera manjeg od pet milimetara. Mikroplastika je u današnje vrijeme otkrivena u svim morskim organizmima, morskoj hrani i pitkoj vodi te postaje sve veća prijetnja okolišu i zdravlju ljudi. Standardni uređaji za pročišćavanje komunalnih otpadnih voda ne mogu ukloniti tragove mikroplastike što za posljedicu ima ulazak mikroplastike u okoliš, a posljedično kroz cjeloviti prehrambeni lanac i u ljudski organizam.</p> <p>U radu je potrebno:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Definirati vrste mikroplastike</li><li>- Opisati utjecaj mikroplastike na okoliš</li><li>- Opisati utjecaj mikroplastike na živa bića</li><li>- Navesti izvore nastajanja mikroplastike</li><li>- Objasniti globalna aktivnosti povezane sa smanjenjem opterećenja okoliša mikroplastikom</li></ul>		
ZADATAK URUČEN	9.9.2022.	POTPIS MENTORA	

## **Sažetak**

Neposredno nakon izuma plastike nije se vodilo previše računa o njezinoj akumulaciji u okoliš. Danas je upravo jedan od najvećih problema korištenja plastičnih materijala – mikroplastika. Mikroplastiku čine sve sitne čestice plastike promjera manjeg od pet milimetara. Mikroplastika je u današnje vrijeme otkrivena u svim morskim organizmima, morskoj hrani i pitkoj vodi te postaje sve veća prijetnja okolišu i zdravlju ljudi. Standardni uređaji za pročišćavanje komunalnih otpadnih voda ne mogu ukloniti tragove mikroplastike što za posljedicu ima ulazak mikroplastike u okoliš, a posljedično kroz cjeloviti prehrambeni lanac i u ljudski organizam.

S obzirom na to da raste interes zajednice za taj gorući problem, potrebno mu je posvetiti više pozornosti i istražiti svu problematiku vezanu uz mikroplastiku. U ovom radu opisane su vrste mikroplastike, nastajanje mikroplastike i globalna borba za smanjenjem iste.

U radu je detaljno opisan utjecaj mikroplastike na okoliš s naglaskom na njen utjecaj na morske organizme i zdravlje ljudi. Također, opisani su i naponi za smanjenje širenja mikroplastike u okoliš te mehanizmi njene razgradnje u okolišu.

**Ključne riječi :** plastika, mikroplastika, okoliš, voda, zdravlje ljudi

## Summary

When plastics was invented, no one anticipated its accumulation in the environment. The increasing use of microplastics is becoming more and more of a threat to the environment and human health. One of the biggest problems with the use of plastics today is is microplastic, which are becoming an increasing threat to the environment and human health. Microplastics are any small plastic particles less than five millimeters in diametes. Today, microplastics are found in all marine organisms, seafood and drinking water. Standard municipal wastewater treatmetn equipmnet cannot remove traces of microplastics, resulting in microplastics entering the environment and subsequently the entire food chain and the human body.

As community interest in this burning issue increases, it is necessary to pay more attention to it and investigate all the problems associated with microplastics. This study will describe the types of microplastics, how microplastics are formed, and the global struggle to reduce microplastics.

This study will describe the effect on the environment, the exposure of marine life to microplastics, and most importantly, the effects on humans. It also describes efforts to reduce the spread of microplastics in the environment and the mechanisms of its decomposition in the environment.

**Key words:** plastic, microplastic, environment, water, human health

## SADRŽAJ

1.	UVOD .....	1
2.	ONEČIŠĆENJE OKOLIŠA .....	3
2.1.	Kemijske tvari .....	3
2.2.	Pojam kemijskog onečišćenja i kontaminacije .....	4
2.3.	Globalne inicijative i strategije .....	6
2.4.	Utjecaj kemijskih zagađivača na zdravlje ljudi .....	7
2.5.	Utjecaj kemijskih zagađivača na prirodu i okoliš .....	9
3.	POJMOVNO ODREĐENJE MIKROPLASTIKE.....	14
3.1.	Pojam mikroplastike .....	14
3.2.	Podjela mikroplastike.....	16
3.2.1.	Primarna mikroplastika .....	17
3.2.2.	Sekundarna mikroplastika .....	17
3.2.3.	Nanoplastika.....	18
3.3.	Izvori i oblici .....	19
3.4.	Proizvodnja mikroplastike.....	26
3.5.	Globalna borba za smanjenjem mikroplastike.....	28
4.	PROBLEMATIKA UTJECAJA MIKROPLASTIKE NA PRIRODU I OKOLIŠ.....	32
4.1.	Učinci na okoliš .....	32
4.2.	Prikaz izloženosti morskog života mikroplastici .....	33
4.3.	Utjecaj na ljude.....	36
4.4.	Postojani organski zagađivači .....	38
4.5.	Budućnost i perspektiva mikroplastike u okolišu .....	40
5.	ZAKLJUČAK.....	46
	LITERATURA.....	47

## 1. UVOD

Sve je veća svijest o mikroplastici u okolišu i njezinim potencijalnim negativnim posljedicama za sigurnost vode, biološku raznolikost, ekosustav i ljudsko zdravlje.

Mikroplastiku čine, kao što naziv implicira, sitne plastične čestice. Mikroplastika su sve plastične čestice promjera manjeg od pet milimetara. Postoje dvije kategorije mikroplastike: primarna i sekundarna.

Primarna mikroplastika su sitne čestice dizajnirane za komercijalnu upotrebu primjerice u kozmetici, te mikrovlakna koja se izdvajaju iz odjeće i drugog tekstila, kao što su ribarske mreže. Sekundarna mikroplastika su čestice koje nastaju razgradnjom i trošenjem većih plastičnih predmeta, poput plastične ambalaže. Ta je pojava uzrokovana izlaganjem čimbenicima iz okoliša, uglavnom sunčevom zračenju i oceanskim valovima.

Kao i kod ostalih plastičnih predmeta, osnovni problem mikroplastike je u tome što je potrebno jako puno vremena za njenu razgradnju na jednostavnije, po okoliš manje štetne spojeve. Slika 1. prikazuje izgled mikroplastike. Ovisno o vrsti, plastici treba nekoliko stotina godina da se razgradi u okolišu, a u tom vremenu može imati značajne negativne utjecaje na okoliš. Na pješčanim plažama se primjerice mikroplastika može vidjeti u obliku sitnih raznobojnih komadića. Mikroplastiku u oceanima morske životinje često zamjenjuju s hranom koju uobičajeno konzumiraju.

Dio onečišćenja okoliša mikroplastikom dolazi direktno od neodgovarajućeg zbrinjavanja otpada, ali većim dijelom mikroplastika nastaje djelovanjem atmosferilija ili tokova vode na plastične predmete odbačene u okoliš. U pravilu su najveći izvor mikroplastike koja nastaje u okolišu plastični predmeti namijenjeni jednokratnoj upotrebi kao što su plastične slamke ili vrećice, koji nakon odbacivanja u okoliš zbog djelovanja različitih čimbenika rezultiraju nastankom sitnog plastičnog materijala mikroskopske veličine.

Mikroplastika je otkrivena u različitim morskim organizmima, od planktona do kitova, u komercijalnoj morskoj hrani, pa čak i u pitkoj vodi. Zabrinjavajuće je da standardni uređaji za pročišćavanje komunalne otpadne vode ne mogu ukloniti sve tragove mikroplastike. Kao



otežavajuću okolnost treba uzeti u obzir kako se mikroplastika koja je prisutna u oceanima može vezati s drugim onečišćenjima prije nego što završi u metabolizmu morskih organizama.

Svijest o problemima koje mikroplastika izaziva u okolišu potaknula je istraživanja koja uključuju njezinu pojavnost i distribuciju u okolišu, kemijska i fizikalna svojstva, sudbinu i transport, te utjecaj na biosustave.

Sve veći interes za mikroplastiku ogleda se u broju objavljenih recenziranih znanstvenih radova i novinskih članaka. Brzi rast publikacija o onečišćenju okoliša mikroplastikom u zadnjih tridesetak godina prvenstveno je povezan sa sudbinom i transportom mikroplastike u morskom okolišu, kopnenim vodama i otpadnim vodama.

Istodobno, financiranje za potporu istraživanju mikroplastike povećalo se u posljednjem desetljeću.

U okviru aktualnih istraživanja, razvijaju se novi pristupi za izolaciju, brojanje i mjerenje količine mikroplastike u okolišu kojima se karakterizira globalna distribuciju mikroplastike. Tako su primjerice Ujedinjeni narodi donijeli u ožujku 2022. Globalnu rezoluciju o plastičnom onečišćenju.



Slika 1. Prikaz mikroplastike

Izvor : <https://www.medicalnewstoday.com/articles/could-microplastics-in-human-blood-pose-a-health-risk#Plastic-in-most-blood>

## 2. ONEČIŠĆENJE OKOLIŠA

### 2.1. Kemijske tvari

Iako su kemikalije donijele golemu korist ljudskoj civilizaciji, uključujući lijekove i dodatke prehrani, njihove dobrobiti sada su u neravnoteži s njihovim negativnim utjecajem na zdravlje ljudi i okoliš.

Dobro poznati štetni zagađivači kao što su arsen, olovo, kadmij, plastika i živa, kao i smog i čestice koje se prenose zrakom u velikim gradovima, dokumentirane su još u vrijeme starog Rima i Atene, čiji su stanovnici bili izloženi onečišćenoj vodi i zraku. Agencija za registre otrovnih tvari i bolesti (ATSDR) navodi 275 kemikalija kao prioritetne zagađivače, a dijeli ih na temelju njihove učestalosti, toksičnosti i mogućnosti štetnog djelovanja na zdravlje ljudi. [15]

Nažalost, ovaj broj će vrlo vjerojatno biti znatno veći s obzirom na poteškoće u praćenju novih ili nepoznatih kemikalija nakon što su ispuštene u okoliš. Kako bi se navedeno prevladalo, istraživanja su usmjerena k definiranju „kontaminanata u nastajanju“ koje tek treba regulirati i na taj način predvidjeti buduće negativne utjecaje na okoliš. Mnoge kemikalije koje se sada smatraju zagađivačima smatrale su se korisnima u vrijeme njihova otkrića.

Na primjer, kada su 1950-ih razvijeni organoklorini insekticidi njihova glavna primjena bila je kontrola insekata koji prenose bolesti i smanjuju prinose u poljoprivredi, a pokazali su izuzetnu uspješnost ubrzo nakon primjene.

Međutim, objavljivanjem knjige *Tiho proljeće* autorice Rachel Carson 1962. (Carson 1962.), svijet se počeo suočavati s ozbiljnim problemima kao posljedicama postojanosti organskih pesticida u okolišu te rezultirajući kumulativnu izloženost divljih životinja i ljudi. Iako su neki postojani organski pesticidi u međuvremenu zabranjeni, čovječanstvo se još uvijek nosi s njihovim nasljeđem. Diklor-difenil-trikloroetan (DDT), koji se naširoko koristio kao pesticid 1950-ih, dobro je poznat primjer. Kontinuirana nedopuštena proizvodnja i uporaba pesticida te njihovi ostaci u okolišu i dalje su problem u nekim zemljama.[13]

Razmak između otkrivanja dobrobiti kemikalije i razumijevanja njihove potencijalne štete za okoliš rezultirao je razvojem obrazaca koji su strogo pratili nove kemijske sintetske puteve, licenciranja, proizvodnju i upotrebu, pri čemu je rastao oprez oko mogućih učinaka na okoliš,

povezan sa zabranama i ograničenjima. Često je užurbana potraga za zamjenskim kemikalijama rezultirala drugim negativnim učincima.

Široka upotreba različitih kemikalija rezultirala je brojnim ispuštanjima različitih onečišćenja u okoliš pri čemu je dio ovih onečišćenja završio i u prehrambenom lancu što je rezultiralo čestim otkrivanjem negativnih nuspojava. Dakle, iako toksičnost kemikalija nije novost, intenziviranje proizvodnje kemikalija i crpljenje prirodnih resursa tijekom posljednjih 100 godina sada predstavlja ozbiljan rizik za čovječanstvo.[15]

Emisije onečišćujućih tvari mogu biti kontinuirane, ali se često ne prijavljuju pri čemu postoji velika varijabilnost u prijavljenim količinama. Emisija, raspršivanje i izloženost opasnim kemijskim onečišćujućim tvarima i njihovim smjesama često su sporadične i nisu vremenski ili prostorno ograničeni. Upravo je ovo glavni razlog sve veće izloženosti ljudi različitim kemijskim onečišćenjima. Postoje brojni dokazi o globalnoj migraciji onečišćujućih tvari u obliku čestica i aerosola koje se prenose zrakom i vodom.

Različita onečišćenja u obliku kemikalija mogu se distribuirati na različite načine kao što su kontaminirane divlje životinje i ljudi, odbačeni materijali (npr. plastika i elektronika) te sintetičke čestice nano i mikro razmjera (npr. mikroplastika). Međunarodna trgovina hranom, mineralima, energijom, kemikalijama i industrijskom robom, najveći dio koje se transportira vodenim tokovima, često je povezana s velikim potencijalom za širenje onečišćenja te rezultira povećanjem izloženosti različitim kemikalijama.

## **2.2. Pojam kemijskog onečišćenja i kontaminacije**

Kemijsko onečišćenje odnosi se na onečišćenje našeg okoliša kemikalijama koje se tamo prirodno ne nalaze. [19]

Kemijske tvari i mikroplastika su danas prisutne svugdje, u hrani, zraku i različitim proizvodima koje današnje društvo koristi. Većinu kemikalija stvorio je čovjek na način da mogu ispuniti različite korisne funkcije. Kao takve, kemikalije imaju široku primjenu – od poljoprivrede i industrijskih procesa do proizvodnje lijekova i kućanskih proizvoda. Tijekom proizvodnje, skladištenja, transporta i odlaganja, kemikalije mogu dospjeti u okoliš na različite načine.[8]

Procjenjuje se da danas na tržištu EU postoji oko 100.000 sintetičkih kemikalija, pri čemu nove kemikalije stalno ulaze na tržište. Pritom, vlasti ne mogu držati korak sa sve većim protokom kemikalija i trenutačno u EU postoje dostatne informacije i razumijevanje o mehanizmu djelovanja na okoliš i zdravlje ljudi za samo 500 od tih 100.000 kemikalija.

Poznato je da su čestice mikroplastike koje je stvorio čovjek pronađene u nekim od najudaljenijih dijelova našeg planeta, a nedavna istraživanja sugeriraju da je razina kemijskog onečišćenja prešla „planetarnu granicu” te je stoga potrebo hitno djelovanje kako bi se osigurao stabilan ekosustav.[15]

Štetne tvari mogu dospjeti u ljudsko tijelo ako ih osoba udiše, jede i pije ili se apsorbiraju kroz kožu. Neke od najštetnijih kemikalija su „zauvijek kemikalije”, koje ulaze u naša tijela ili okoliš i pritom se ne razgrađuju, odnosno akumuliraju se. Posebnu grupu štetnih kemikalija čine i „kemikalije koje ometaju rad hormona” blokirajući, oponašajući ili ometajući naše prirodne hormone s brojnim posljedicama po zdravlje. Tako je primjerice bisfenol A (BPA) izuzetno štetna kemikalija koja se koristi u proizvodnji plastičnih proizvoda kao što su boce za vodu i posude za hranu. Dokazano je da uzrokuje rak i bolesti srca, kao i da utječe na plodnost.[13]

Kemijsko onečišćenje može utjecati na osjetljivu ravnotežu Zemljinih ekosustava. Rudarstvo, poljoprivreda i odlaganje otpada uzrokuju znatno onečišćenje tla. Prisutnost teških metala poput kadmija, žive i olova može utjecati na kvalitetu tla i smanjiti broj mikroorganizama koji podržavaju plodnost tla. Zdravlje tla utječe na biološku raznolikost i sposobnost stanovništva da proizvode hranu.

Oceani su opterećeni visokom razinom plastičnog i drugog kemijskog onečišćenja što je rezultiralo mrtvim zonama u kojima razina kisika u vodi ne može podržavati život. Visoka ili produljena izloženost štetnim kemikalijama također je utjecala na morsku biološku raznolikost.

Kemijsko onečišćenje može biti uzrokovano različitim kemikalijama iz različitih izvora i može uključivati različite zdravstvene učinke od jednostavnih probavnih smetnji do iznenadne smrti od trovanja. Učinci su obično povezani s izloženošću velikim količinama kemikalija. Općenito, konzumiranje hrane, pijenje vode ili udisanje zraka onečišćenih kemikalijama može dovesti do različitih teških bolesti.[15]

Trovanje kemikalijama može imati ozbiljne zdravstvene posljedice koje mogu izazvati trenutne simptome i bolesti ili odgođene učinke koji se mogu pojaviti nakon nekoliko tjedana ili čak mjeseci od izlaganja. Navedeno ovisi prvenstveno o vrsti zagađivača i količini kemikalija kojima je osoba izložena. Pri tome se ne treba zavaravati da je u slučaju izloženosti kemikalijama sve u redu ako se simptomi odmah ne pojave.

Različita kemijska onečišćenja mogu se akumulirati u vodenom stupcu tijekom dužih vremenskih razdoblja. To znači da bi, u slučaju ako se ne prati sastav voda oceana, prisutno kemijsko onečišćenje moglo predstavljati ozbiljne zdravstvene rizike za oceanski ekosustav te u konačnici uzrokovati različite oblike intoksikacije kod ljudi nakon konzumacije kontaminirane ribe ili plodova mora. Dio utjecaja kemijskog onečišćenja može se regulirati praćenjem preporuka kojima se može smanjiti izloženost kemijskom onečišćenju.

### **2.3. Globalne inicijative i strategije**

Međunarodni pokušaji reguliranja globalnog ispuštanja i protoka štetnih kemikalija započeli su sporazumima, poput Bečke konvencije o zaštiti ozonskog omotača (22. ožujka 1985.) i Baselske konvencije o kontroli prekograničnog kretanja opasnog otpada i njegovog odlaganja (22. ožujka 1989.). Potom je slijedilo usvajanje Stockholmske konvencije o postojećim organskim zagađivačima (POP) 2001. i Minamatske konvencije o živi 2013. Otkako je stupila na snagu 2004. godine, primjena Stockholmske konvencije rezultirala je zabranom samo 26 sintetičkih kemikalija s još devet u pregledu Dodataka B (ograničenje) i C (nenamjerna proizvodnje). [1]

Kao rezultat međunarodnih, nacionalnih te regionalnih inicijativa i instrumenata uspješno su realizirane težnje za sprječavanje ili uklanjanje kemijskog onečišćenja, mjerama kao što su one iz amandmana Montrealskog protokola za kontrolu tvari koje oštećuju ozon (npr. klorofluorouglijika, ugljik tetraklorida, US-EPA 2018) Agencije za zaštitu okoliša Sjedinjenih Američkih Država i Europske agencije za kemikalije.

Međutim, prema sadašnjim stopama kemijske industrije bit će potrebno više od 100.000 godina da se procijeni utjecaj svih postojećih sintetičkih kemikalija na zdravlje ljudi i okoliš, te dodatnih 2.000 godina da se procijene kemikalije koje će se tek razviti.

Ove procjene snažno upućuju na to da trenutni međunarodni propisi o izlivanju otrovnih kemikalija širom svijeta nisu uspjeli. Nadalje, nije jasno poštuju li se međunarodne zabrane univerzalno, osobito u zemljama u kojima je regulacija proizvodnje, uporabe i odlaganja kemikalija slaba ili korumpirana (UNEP 2019.). U lipnju 2016. potpisan je Zakon Franka R. Lautenberga o kemijskoj sigurnosti za 21. stoljeće kojim se mijenja američki Zakon o kontroli otrovnih tvari (TSCA).[13]

Izmjene su uključivale značajne promjene, kao što je obveza EPA-e (Agencije za zaštitu okoliša) da procijeni postojeće kemikalije s jasnim i provedivim vremenskim okvirom te primjena procjena kemikalija temeljenih na riziku. Lautenberg TSCA je izjavio da EPA treba odrediti „nerazuman rizik“ uzrokovan kemikalijom kako bi se osiguralo da ne predstavlja „nerazuman rizik“ za ranjivo stanovništvo.

Koman i sur. (2019.) tvrde da je Lautenbergov amandman TSCA poboljšao postojeći TSCA, ali nije uključio nekoliko važnih aspekata osjetljivosti stanovništva na kemijska onečišćenja, uključujući definiranje „nerazumnog rizika“ za specifične skupine izloženih populacija kao što su djeca, trudnice, radnici i starije osobe. Doista, ciljevi održivog razvoja (SDG) Ujedinjenih naroda specificirali su 17 ključnih pitanja za 2018., među kojima su najmanje četiri istaknula onečišćenje okoliša kao jedan od čimbenika koji uzrokuju kritične globalne probleme.

Štoviše, prijenos mnogih kemikalija na velike udaljenosti putem zraka, podzemnih voda, tla ili međunarodne trgovine, te stalno uvođenje novih kemikalija, predstavljaju izazov za sposobnost biosfere da apsorbira i nosi se sa sadašnjim i budućim utjecajem kemijskog onečišćenja.

## **2.4. Utjecaj kemijskih zagađivača na zdravlje ljudi**

Količina, vrijeme zadržavanja i pokretljivost zagađivača okoliša zajedno stvaraju dugotrajni kemijski otisak. Izloženost ljudi onečišćujućim tvarima iz točkastih i distribuiranih izvora trenutno je neizbježna zbog njihovog opsežnog i sveprisutnog ispuštanja, raspršivanja i odlaganja.

Samo u 2018. izloženost ljudi onečišćujućim tvarima putem tla, vode i zraka (u zatvorenim i vanjskim prostorima) dovela je do procijenjenih 8,4 milijuna smrti u zemljama s nižim i srednjim

dohotkom po glavi stanovnika. The Lancet Povjerenstvo za onečišćenje i zdravlje procijenilo je da je broj preuranjenih smrti povezanih s onečišćenjem okoliša na 9 milijuna, dok je Nacionalni institut za zdravlje SAD-a procijenio da se radi o čak 13 milijuna preuranjenih smrti godišnje.[13]

Bez obzira na instituciju koja provodi ova istraživanja, jasno je da izloženost kemijskim zagađivačima ubija milijune ljudi godišnje i štetno djeluje na zdravlje desetaka milijuna diljem svijeta što prevedeno u smanjenu ekonomsku aktivnost iznosi nekoliko milijardi dolara gubitka godišnje. Masa emisije opasnih spojeva uglavnom se procjenjuje analogijom i/ili nagađanjem, ali sve je više dokaza o njihovim negativnim utjecajima na zdravlje ljudi i okoliš.[1]

Oštećenje ljudskog zdravlja izazvano onečišćujućim tvarima dobro je dokumentirano u istraživanjima provedenim proteklih šezdeset godina, a uključuje i akutne i kronične bolesti središnjeg živčanog sustava, kardiovaskularnog, bubrežnog, kožnog i reproduktivnog sustava, kao i izazivanje nezaraznih bolesti poput različitih tumora.

Akutna respiratorna upala može biti potaknuta udisanjem toksičnih čestica, dok kemijsko taloženje u jetri, bubrezima ili tjelesnoj masnoći može pokrenuti kronične zdravstvene probleme. Na primjer, većina hidrofobnih kemikalija nakuplja se u tjelesnoj masnoći, odakle se mogu ponovno mobilizirati tijekom kasnijeg života ili naglog gubitka tjelesne težine i uzrokovati štetu drugim vitalnim organima.[13]

Nadalje, mnogi kemijski zagađivači, čak i u malim dozama – osobito POP- i (postojane organske onečišćujuće tvari) kao što su DDT, dikloro-difenil-dikloro-etilen (DDE), heksaklorocikloheksan (HCH, poznat i kao lindan) i klordan, bromirani usporivači plamena (BFR) kao što su polibromirani difenil eteri (PBDE), poliklorirani bifenili (PCB) i drugi organokloridni pesticidi – kemikalije su koje izazivaju endokrine poremećaje (EDC) koji ometaju sintezu, lučenje, transport, vezanje ili eliminaciju prirodnih hormona koji se prenose krvlju.

## 2.5. Utjecaj kemijskih zagađivača na prirodu i okoliš

Bioraznolikost u površinskom sloju Zemlje, od temeljne stijene do vegetacijske krošnje, predstavlja primarne pretpostavke za održavanje života na Zemlji. Akutni i kronični utjecaj prekomjerne aktualne i ranije uporabe agrokemikalija i drugih industrijskih zagađivača pridonosi značajnom gubitku bioraznolikosti na Zemlji.

Tako je primjerice globalni gubitak pčelinjih zajednica zbog neonikotinoidnih pesticida uzrokovao međunarodnu krizu oprašivanja usjeva. Postoje izvješća o kemijskim zagađivačima u obliku pesticida koji uzrokuju gubitak više od 40% ukupnih taksonomskih skupina potočnih beskralješnjaka u nekim regijama. Ostaci postojećih kemikalija, uključujući mnoge pesticide, mogu imati dugoročne ekološke utjecaje, posebno u visoko kontaminiranim područjima sa značajnim prijetnjama onečišćenja podzemnih i morskih voda. Gubici do 78% vrsta insekata prijavljeni su na 290 lokacija u Njemačkoj.[15]

Takvi ekološki utjecaji i njihova postojanost mogu duboko promijeniti biološke procese poput razgradnje i stvaranja tla u prirodnim okruženjima, što dovodi do nepovoljnih ili izazovnih okruženja za proizvodnju hrane. Onečišćenje atmosfere reaktivnim dušikom i njegovo taloženje odgovorni su za smanjenje bioraznolikosti na regionalnoj i globalnoj razini.

Tako je primjerice prema istraživanju provedenom u SAD-u koje je obuhvatilo više od 15.000 lokacija, uključujući šume i travnjake, 24% mjesta bilo karakterizirano gubitkom ranjivih vrsta kao rezultat taloženja dušika u atmosferi, osobito kada je depozicija dušika bila iznad 8,7 kg/ha/god. Slična studija provedena u Ujedinjenom Kraljevstvu također je pokazala kako bogatstvo vrsta opada s povećanjem taloženja dušika u rasponu od 5,9 do 32,4 kg/ha/god.[15]

Prekomjerno opterećenje zagađivačima koji imaju nutritivnu vrijednost, a uzrokovano je ljudskim aktivnostima, utječe na stotine obalnih i morskih ekosustava i povezano je s „nestankom” flore i faune. Na globalnoj razini također postoje dokazi da niski prinosi usjeva mogu biti uzrokovani površinskim (troposferskim) onečišćenjem ozonom ( $O_3$ ), a povišene razine  $O_3$  također su povezane s kemijskim zagađivačima. Predviđa se da bi kemikalije iz kojih nastaje  $O_3$  do 2030. mogle uzrokovati globalne gubitke prinosa pšenice (4-26%), soje (9,5-19%) i kukuruza (2,5-8,7%).[8]



Gubici prinosa u poljoprivredi nastaju kao rezultat fiziološke interferencije biljke s molekulama  $O_3$ , pri čemu dolazi do nastajanja reaktivnih kisikovih spojeva uglavnom kroz difuziju  $O_3$  u međustanični zračni prostor lišća biljke.

Izlijevanje sirove nafte u okoliš može utjecati na životinje i biljke na dva različita načina pri čemu sam negativan utjecaj nafte dolazi u kombinaciji s procesima koji se koriste za sanaciju naftnih onečišćenja. Razumijevanje obje vrste utjecaja može pomoći osobama koje saniraju područja onečišćena naftom da minimiziraju negativne utjecaje na okoliš te pomognu u njegovom bržem oporavku.[3]

Onečišćenja okoliša koja su povezana s izlijevanjem sirove nafte mogu naštetiti živim bićima jer su spojevi koji su prisutni u sirovoj nafti otrovni. Izlijevanje sirove nafte može dvojako utjecati na organizme prisutne u okolišu, kroz izloženost gutanjem ili udisanjem i putem iritacije kože i očiju. Sirova nafta također može ugušiti neke male vrste riba, beskralježnjaka ili prekriti perje ptica i krzno sisavaca, smanjujući sposobnost životinja da održe tjelesnu temperaturu.

Budući da većina sirove nafte pluta, organizmi koji su najviše pogođeni sirovom naftom su životinje poput morskih vidra i morskih ptica koje obitavaju na površini mora ili na obalama. Tijekom većine incidenata povezanih s izlijevanjem sirove nafte, morske ptice bivaju ozlijeđene i ubijene u većem broju nego druge vrste. Isto tako, morske su vidre izrazito osjetljive na izlijevanje sirove nafte jer njihova sposobnost da zadrže tjelesnu toplinu ovisi o čistoći krzna. Ako se sirova nafta neko vrijeme zadrži na plaži, mogu stradati i drugi organizmi poput puževa, školjki i kopnenih životinja.[10]

Većina država ima propise o specifičnim postupcima koje treba slijediti u slučaju izlijevanja sirove nafte. Neobučeni ljudi ne bi trebali pokušavati uhvatiti bilo koju životinju koja je izložena sirovoj nafti. U većini slučajeva izlijevanja u SAD-u uspostavlja se centar za rehabilitaciju ptica i/ili sisavaca za brigu o životinjama koje su joj izložene.

Bitna je vrsta prolivene sirove nafte jer se različite vrste sirove nafte različito ponašaju u okolišu, a različito i utječu na životinje. Međutim, nemoguće je reći koja je vrsta sirove nafte najgora. Kako bi se njen štetan utjecaj mogao bolje opisati, potrebno je razlikovati tzv. „laku” i „tešku sirovu naftu”. Gorive frakcije nafte, poput benzina i dizel goriva, spadaju u „laku sirovu naftu”. Laka sirova nafta je hlapljiva (razmjerno brzo isparava), tako da se obično ne zadržava dugo u vodenom ili morskom okolišu (obično ne dulje od nekoliko dana). Ako se raširi po vodi

relativno će brzo ispariti i nestati s površine. Međutim, dok je prisutna, laka sirova nafta može izazvati dvije značajne opasnosti. Naime, može se zapaliti ili eksplodirati. Također treba spomenuti i toksičnost sirove nafte. Štetno djeluje na životinje ili biljke s kojima dolazi u kontakt, a opasna je i za ljude ako udišu njezine pare ili ako dođe u kontakt s kožom.[10]

Suprotno tome, „teška sirova nafta” te katran ili asfalt ostaju u okolišu mjesecima ili godinama ako nisu uklonjeni. Iako ove frakcije sirove nafte mogu biti izrazito postojane, općenito su znatno manje akutno toksične od „lake sirove nafte”. Kratkoročno, osim što pokrivaju površinu i na taj način sprječavaju otapanje kisika u morskoj vodi, dugoročno izloženost „teškim sirovim naftama” u nekim slučajevima može izazvati neke kronične zdravstvene posljedice poput tumora.[6]

Također, ako „teška sirova nafta” dospije na perje ptica, ptice mogu umrijeti od hipotermije, vidi sliku 2. ptice natopljene sirovom naftom. Nakon nekoliko dana ili tjedana, sirova nafta će se stvrdnuti, postajući vrlo slična površini asfaltne ceste. S druge strane, u stvrdnutom stanju, teška sirova nafta vjerojatno neće naštetiti životinjama ili biljkama koje dolaze u dodir s njima.



Slika 2. Ptica natopljena sirovom naftom

Izvor:<https://news.softpedia.com/news/Oil-Spills-in-River-Company-Responsible-for-the-Incident-Forgets-to-Clean-Up-358621.shtml>

Između „lake“ i „teške“ sirove nafte nalaze se mnoge različite vrste „srednje sirove nafte“, koje će različito vrijeme ostati u okolišu te će ih karakterizirati različiti stupnjevi toksičnosti. U konačnici, učinci bilo koje frakcije sirove nafte ovise o tome gdje se nafta izlijeva, kamo teče te s kojim biljnim i životinjskim vrstama dolazi u kontakt.

Najveći dio sirove nafte koja se crpi iz podzemnih bušotina nalazi se duboko ispod površine Zemlje, često usred oceana. Kada se naftne platforme ili naftne bušotine oštete, tisuće tona sirove nafte može dospjeti u okoliš. Slika 3 prikazuje izlijevanje sirove nafte u more. Učinci izlijevanja sirove nafte u okoliš i staništa mogu biti katastrofalni.[10]

Sirova nafta na različite načine utječe na vodna tijela. Kada se sirova nafta izlije u oceanu ili slatkoj vodi, ona se ne miješa s vodom jer ima gustoću manju od gustoće vode te posljedično pliva na površini vode. Zbog toga se u vrlo kratkom vremenskom razdoblju sirova nafta u obliku vrlo tankog sloja širi po površini vode. To može spriječiti sunčevu svjetlost da proдре u vodeni stupac, što može ozbiljno utjecati na planktone, a time i na cijeli prehrambeni lanac morskog ekosustava.



Slika 3. Izlijevanje sirove nafte

Izvor: <http://www.ptice.info teme/507/>

Možda je vizualno najnegativniji utjecaj kada pri izlijevanju sirova nafta zahvaća obalu. Često se s ovim povezuju slike ptica i morskih sisavaca prekrivenih sirovom naftom, no sirova

nafta koja se izlije na obalu prekriva i stijene, naplavine, morsku travu, pijesak i tlo, odnosno cijelo stanište.[6]

Osim ako se izlivena sirova nafta ne ukloni različitim metodama čišćenja, ostat će na obali kroz relativno dug vremenski period dok se pod utjecajem atmosferilija i morskih struja ne razgradi ili opere. Proces čišćenja iznimno je spor zbog čega se poduzimaju brojni koraci i koriste različite metode kako bi se sirova nafta uklonila s obale.

Sirova nafta izlivena na obali je dugoročno iznimno opasna za okoliš jer je obalni pojas područje u kojemu je koncentriran život brojnih morskih organizama. Obično su obalna područja rasadnici ribe i morskog života, a uz to su i prvotno stanište mladuncima različitih morskih sisavaca.

Morski i obalni život može biti ugrožen izlivenom sirovom naftom na više načina, gutanjem, uništavanjem staništa i izravnim kontaktom sa sirovom naftom. Primjerice, morski sisavac koji se nađe u području izlivena sirove nafte može ju progutati, dok ribe koje plivaju kroz onečišćeno područje mogu unijeti sirovu naftu u svoj metabolizam preko škrga što prikazuje slika 4., prikaz uginule ribe zbog izlivanja sirove nafte u more.[10]

Čak i u slučaju ako je morski organizam udaljen od mjesta izlivanja sirove nafte, može doći u kontakt s njom ako mu se u hranidbenom lancu nađe drugi, niži organizam koji je bio izložen djelovanju sirove nafte. Prisutnost sirove nafte u metabolizmu bilo kojeg organizma može štetno utjecati na njihovu sposobnost reprodukcije, ali i na održavanje postojećeg potomstva.

Osim vizualno najizraženijeg utjecaja izlivena sirove nafte na obalu, izrazito negativan učinak sirova nafta ima i na živi svijet ispod površine vode gdje utječe na osjetljivu ravnotežu u grebenima i plitkim staništima. Plankton, organizma koji se nalazi na samom dnu lanca ishrane, često strada zbog izlivanja sirove nafte kao posljedice fizikalno-kemijskih promjena do koje u vodi posljedično dolazi te zbog nedostatka sunčeve svjetlosti ispod naftne mrlje.



Slika 4. Posljedice izlivanja sirove nafte u oceane

Izvor: <https://www.nationalgeographic.com/science/article/100608-gulf-oil-spill-environment-birds-animals-pictures>

### 3. MIKROPLASTIKA

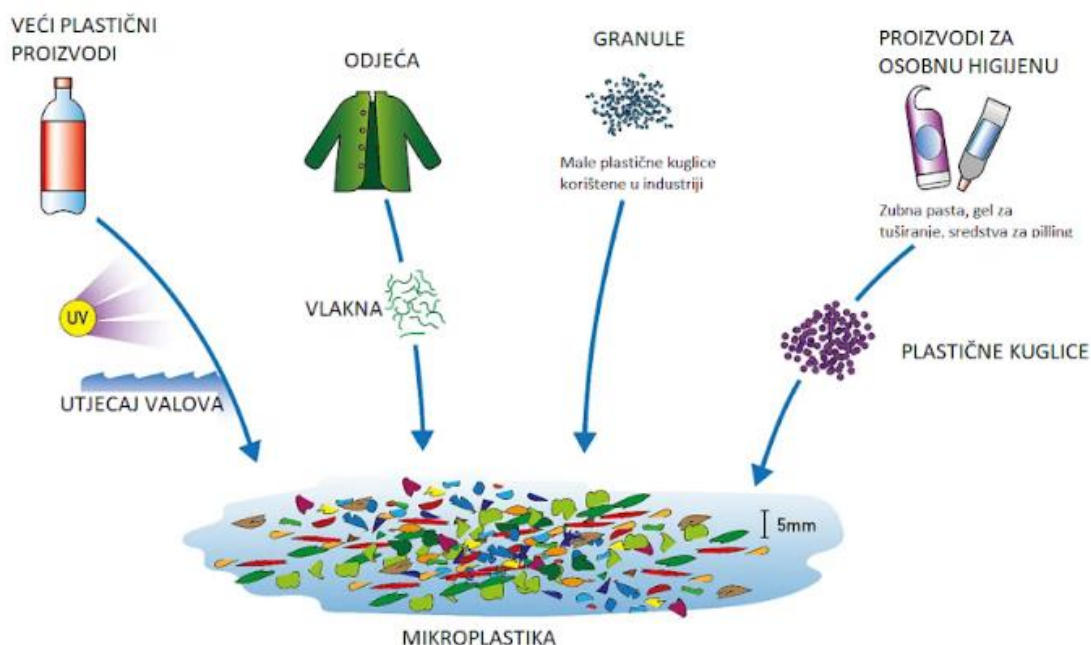
#### 3.1. Pojam mikroplastike

Mikroplastika su čestice plastike bilo kojeg plastičnog materijala manje od 5 mm. Mikroplastika uzrokuje onečišćenje prirodnih ekosustava, a ulazi u ekosustave iz više izvora (Slika 5), najčešće putem kozmetike, odjeće, ambalaže i industrijskih procesa.[11]

Razlikujemo dvije vrste mikroplastike, primarnu i sekundarnu. Sve čestice plastike veličine 5,0 mm ili manje koje nastaju prije ulaska u okoliš spadaju u primarnu mikroplastiku. U primarnu mikroplastiku spadaju mikrovlakna iz sintetičke odjeće, plastične kuglice i mikrozrnca.

U sekundarnu mikroplastiku spada sva mikroplastika nastala razgradnjom velikih plastičnih proizvoda ili ambalaže koji nastaju u kućnim ili industrijskim procesima. Najčešće su to ambalaža poput boca za vodu ili sokova, ribarske mreže koje koriste ribolovci, različite vrećice, posude i istrošene gume različitih vozila.

Danas su te dvije vrste mikroplastike sastavni dio okoliša i u njemu su u vrlo visokim koncentracijama, a najzastupljenije su u slatkovodnim i morskim ekosustavima. Važno je napomenuti da čak 35% mikroplastike u morima i oceanima dolazi od sintetičke odjeće, koja je najčešće napravljena od akrila, najlona ili poliestera. Mikroplastika dobivena iz odjeće nastaje tijekom procesa pranja. Zrak i kopneni ekosustav također nije pošteđen od akumulacije mikroplastike.[17] Izvori mikroplastike prikazani su na Slici 5.



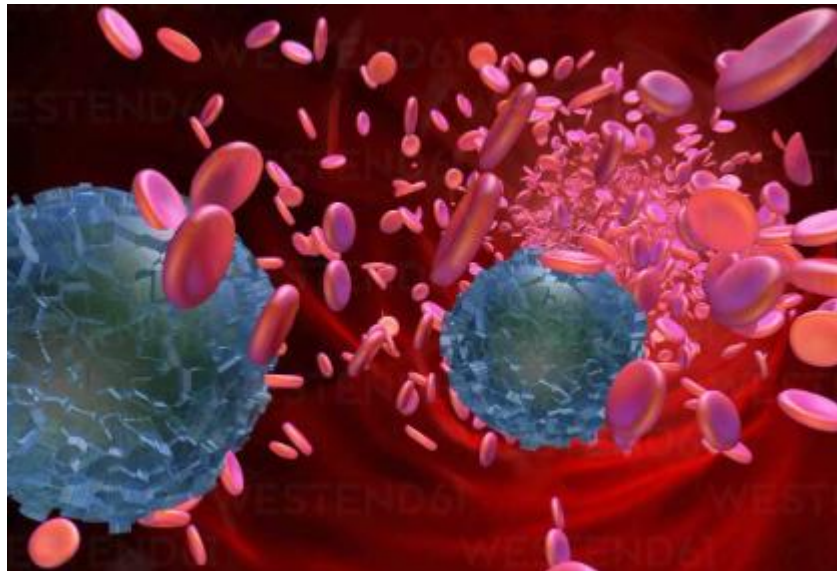
Slika 5. Izvori mikroplastike

Izvor: <https://encounteredu.com/multimedia/images/sources-of-microplastics>

Materijali izrađeni od plastike teško se i sporo razgrađuju, a ovisno o vrsti plastike, spontana razgradnja u okolišu može trajati i do tisuću godina. Mikroplastika se može naći u tkivima i tijelima mnogih organizama, a tamo najčešće dospijeva gutanjem. Tako je primjerice pokazano kako je masa glista manja u kopnenom ekosustvu s dokazanom prisutnošću mikroplastike pri čemu je sastav tla također osiromašen.

Kretanje mikroplastike u okolišu do danas je još uvijek u potpunosti neistraženi fenomen, ali je prema rezultatima recentnih istraživanja pronađena čak i u dubokim slojevima oceanskog sedimenta. Tako primjerice istraživanja provedena u Kini (2020.) pokazuju prisutnost mikroplastike u slojevima koji su stariji od izuma plastike. Pretpostavka je da su ih tamo donijeli morski crvi.[26]

Mikroplastika je pronađena i u krvotoku ljudi, ali za sada njeni učinci još nisu poznati (Slika 6).



Slika 6. Ilustracija prisustva mikroplastike u krvotoku ljudi

Izvor: <https://absolute-health.org/en/blog/post/microplastic.html>

### 3.2. Podjela mikroplastike

Morski biolog Richard Thompson izmislio je pojam mikroplastika [27]

Prema izvješću Organizacije za zaštitu Oceana i mora, mikroplastika je postala svakodnevna pojava u cijelom svijetu. Prema procjeni Organizacije za zaštitu Oceana i mora iz 2019. godine, sva mikroplastika prisutna u oceanima ima masu između 93.000 i 236.000 tona. Također je procijenjeno da u oceanima postoji 15 do 58 trilijuna pojedinačnih komada mikroplastike.

### **3.2.1. Primarna mikroplastika**

U primarnu mikroplastiku spadaju proizvodi načinjeni od sitnih komadića plastike. Najčešće se ti proizvodi koriste u kozmetici za piling lica, čišćenje i pranje tijela te u različitim granama industrije. Ponekad se primarna mikroplastika upotrebljava u medicini za izradu lijekova. U prošlosti su se za pilinge lica koristili prirodni sastojci poput mljevenih badema i zobnih pahuljica, no danas se većinom koriste mikroplastični strugači ili mikroznca.[11]

U industriji se primarna mikroplastika koristi za pjeskarenje zrakom. Pjeskarenje zrakom upotrebljava se za čišćenje hrđe i boje na strojevima, motorima i trupovima brodova. Budući da je pjeskarenje zrakom proces u kojemu se mikroplastika koristi u više ciklusa, sve dok čestice nisu manje od kritične veličine za pjeskarenje, ona je često kontaminirana teškim metalima poput kadmija, kroma i olova.

Mnoge tvrtke su se u zadnje vrijeme obavezale smanjiti proizvodnju mikroznaca napravljenih od plastike, prebacile su se na bioplastična mikroznca koja se brzo i potpuno razgrađuju.

### **3.2.2. Sekundarna mikroplastika**

U sekundarnu mikroplastiku spadaju mali komadići plastike nastali razgradnjom i trošenjem veće plastične ambalaže i proizvoda od plastike (Slika 7.). Tijekom vremena ili upotrebe, dolazi do degradacije i smanjenja strukturne čvrstoće ambalaže i proizvoda od plastike što rezultira nastankom mikroplastike.[11]

Fragmentacija je proces trošenja plastičnih materijala na manje dijelice

Najmanja mikroplastika otkrivena u oceanima je promjera 1,6 mikrometra i nastala je procesom fragmentacije zbog svojeg nejednakog oblika.





Slika 7. Plutajuća mikroplastika u moru

Izvor: <https://www.jamesheal.com/a-simple-guide-to-microplastics-in-fashion>

### 3.2.3. Nanoplastika

Ovisno o korištenoj definiciji, nanoplastika su svi plastični materijali manji od 1  $\mu\text{m}$  (tj. 1000 nm), odnosno oni manji od 100 nm. Ne postoje dokazi, ali se smatra da nanoplastika nastaje u okolišu kao privremeni nusprodukt kod nastanka mikroplastike.[17]

Prisutnost nanoplastike u sjevernoatlantskom subtropskom vrtlogu je potvrđena kroz razvoj različitih analitičkih metoda i tehnika kao što su Ramanova spektroskopija, infracrvena spektroskopija s nano-Fourierovom transformacijom (nano-FTIR) ili infracrvena spektroskopija s mikroskopijom atomskih sila. Uz ove tehnike, obećavajuća je i fluorescencija koja bi mogla predstavljati jedinstven alat za identifikaciju i kvantifikaciju nanoplastike, budući da omogućuje razvoj brzih, lakih, jeftinih i osjetljivih metoda.

Nanoplastika zbog svoje male veličine predstavlja prijetnju za okoliš i zdravlje. Zbog svoje male veličine mogu proći kroz stanične membrane i utjecati na njihovo funkcioniranje.

Čestice nanoplastike su lipofilne što znači da se mogu otapati u mastima i lipidima, što im daje mogućnost ugradnje u jezgru lipidnog dvosloja.

Nanoplastika može proći kroz epitelnu membranu riba i nakuplja se u žučnom mjehuru, mozgu i gušterači ribe. Pojedine ribe poput malih Zebrica osjećaju posljedice poput stresa. Vodenbuha *Daphnia pulex* može progutati polistirensku nanoplastiku što posljedično utječe na njen rast i reprodukciju te potiče obranu od stresa.[17]

### **3.3. Izvori i oblici mikroplastike**

Uz najčešći izvor mikroplastike povezan s pranjem sintetičke odjeće, čitav je niz načina kako primarna i sekundarna mikroplastika dolaze u okoliš.

Automobilske gume kako se troše pretvaraju se u sitne čestice plastike i gume. Nadalje, plastične kuglice veličine 2,0-5,0 mm, od kojih se izrađuju drugi plastični proizvodi, često ulaze u ekosustave zbog različitih incidenata povezanih s njihovom manipulacijom.[17]

Dokazano je da više od 80 % mikroplastike dolazi od guma tekstila i prašine.

Mikroplastika se može dokazati u analizama vode. To uključuje uzimanje i proučavanje uzoraka planktona, analizu pješčanih i muljevitih sedimenata, te kemijskih zagađivača. Rezultati tih studija pokazali su da je mikroplastika u okoliš dospjela iz više različitih izvora.

Mikroplastika čini približno 30% velike pacifičke mrlje smeća (Slika 8) koja zagađuje svjetske oceane. Prema izvješću IUCN-a iz 2019., mikroplastika je veći izvor onečišćenja mora nego vidljivi veći komadi plastično otpada koji se nalazi u morima.[11]



Slika 8. Velika pacifička mrlja smeća

Izvor: <https://www.forbes.com/sites/scottsnowden/2019/05/30/300-mile-swim-through-the-great-pacific-garbage-patch-will-collect-data-on-plastic-pollution/?sh=598c4c0c489f>

### **Automobilske gume i mikroplastika**

Trošenje guma uvelike utječe na dotok (mikro)plastike u okoliš. Procjenjuje se da se emisija mikroplastike u okoliš u Danskoj kreće između 5.500 i 14.000 tona godišnje.[17]

Utjecaj sekundarne mikroplastike na prirodu veći je od utjecaja primarne mikropastike. Treba istaknuti da brojne studije koje prate unos mikroplastike u okoliš ne uzimaju u obzir njeno stvaranje fragmentacijom većih plastičnih predmeta.

Emisije mikroplastike u okoliš iznose oko 0.81 kg/godišnje po glavi stanovnika. U tom prosjeku najviše odlazi na emisije iz automobilskih guma, zatim slijede umjetne trave, kočnice i oznake na cestama. Nedavno provedena studija je pokazala da su oznake na cestama, koje su zaštićene slojem staklenih kuglica (slika 9), rezultirale emisijom mikroplastike u okoliš na način

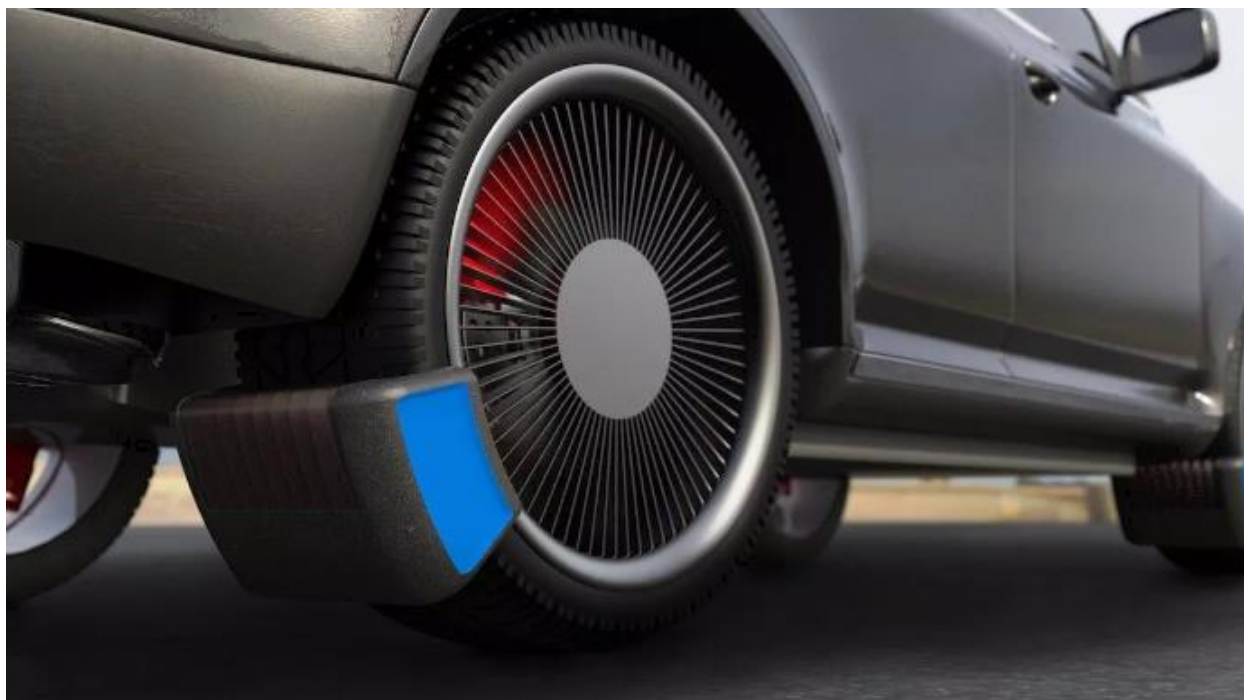
da je samo njihov godišnji doprinos bio između 0,1 i 4,3 g/osobi, što čini približno 0,7% svih sekundarnih emisija mikroplastike. Sve te emisije ovise o vrstama ceste i kanalizacijskim sustavima. Od emisija nastalih potrošnjom guma u oceanima završi 5-10 % mikroplastike [11].



Slika 9. Staklene kuglice u oznakama na cesti

Izvor: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920921004181>

. Grupa studenata 2020. godine dobila je UK National James Dyson nagradu za najbolji dizajn naprave za sprječavanje onečišćenja okoliša automobilskim gumama. Naprava je veoma jednostavna i skuplja mikroplastiku iz guma (Slika 10).



Slika 10. Ilustracija uređaja za hvatanje mikroplastike nastale habanjem guma

Izvor: <https://www.ecowatch.com/microplastics-car-tires-james-dyson-award-2647697441.html>

### **Odjeća i mikroplastika**

Različite studije pokazuju da su sintetička vlakna (primjerice najlon, akril, poliester, spandex) lako odvojiva od odjeće te kao takva mogu ostati u okolišu. Svaki odjevni predmet može osloboditi više od 1.900 vlakana mikroplastike pri čemu umjetne tkanine otpuštaju najveći postotak vlakana. Za prosječno opterećenje jednog pranja rublja u perilici, što iznosi približno 6 kilograma, više od 700.000 vlakana može se osloboditi po ciklusu pranja odjeće. [11]

Proizvođači perilica rublja pokušavaju pronaći rješenje za smanjenje unosa mikroplastike iz odjeće u okoliš na način da se filtriranjem pri pranju odjeće u perilicama rublja smanji količina vlakana i mikrovlakana.

Utvrđeno je kako tekstilna mikrovlakna postoje u cijelom prehrambenom lancu pa se tako nalaze i u najmanjim zooplanktonima, ali i u velikim sisavcima poput kitova. Poliester ili primarno



vlakno je jeftina alternativa pamuku. Međutim, upravo ta primarna vlakna uzrokuju veliki udio mikroplastike u okolišu. Provedenim istraživanjima pokazano je da se pranjem odjeće u okoliš ispusti više od 100 vlakana po litri vode (Slika 11).



Slika 11. Mikroskopska slika mikrovlakana u otpadnoj vodi nastaloj pranjem sintetičke odjeće

Izvor: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749117309387>

Pokazalo se da je 33% svih vlakana koji se pojavljuju u zatvorenim prostorima upravo ova vrsta poliesterskih vlakna. Kako bi se uvidjela izloženost ljudi poliesterskih vlaknima, ona su proučavana u otvorenim i zatvorenim prostorima te je pokazano kako je njihova koncentracija u zatvorenim prostorima bila 1,0-60,0 vlakana/m<sup>3</sup>, dok je koncentracija na otvorenom bila mnogo niža i iznosila je 0,3-1,5 vlakana/m<sup>3</sup>. U zatvorenom prostoru dnevna stopa taloženja iznosila je između 1.586 i 11.130 vlakana po m<sup>3</sup>, a pronađeno je kako je u prašini nakupljeno približno 190-670 vlakana/mg prašine.[17]

## Kozmetička industrija i mikroplastika

Neke su tvrtke prirodne sastojke za kozmetičke proizvode zamijenile mikroplastikom, primjerice proizvode za piling kože. Pri tome se najčešće radi o „mikrozrcima” (Slika 12) koja su izrađena od polietilena, ali se za ovu svrhu mogu koristiti i drugi polimerni materijali kao što su polipropilen, polietilen tereftalat (PET) i najlon.[11]



Slika 12. Mikroplastika u kozmetičim proizvodima

Izvor: <https://www.seasidesustainability.org/post/what-you-need-to-know-about-microplastics-in-your-beauty-products>

Mikroplastika se sakrivena nalazi u kozmetičkim proizvođenima poput pilinga, sapuna i gelova za tuširanje, a kuglice mikroplastike se obično odmah nakon upotrebe ispiru u kanalizaciju. Njihova mala veličina onemogućuje njihovo potpuno zadržavanje na rešetkama i sedimentatorima postrojenja za primarnu obradu komunalnih voda, što rezultira unosom mikroplastike iz kozmetičkih proizvoda u rijeke i oceane.

Pročistači komunalnih voda imaju učinkovitost otklanjanja 95-99,9% mikroplastike. Ako izračunamo da dnevno izlazi iz pročistaća oko 160 trilijuna litara vode, to znači da otprilike 8 bilijuna čestica mikroplastike izađe i ulazi u vodene tokove. Ovdje nije uključen kanalizacijski mulj koji zaostaje nakon obrade komunalnih otpadnih voda, a koji se može koristiti kao gnojivo putem kojeg otpadna mikroplastika može završiti i u tlu.[17]

Mnoge tvrtke u kozmetičkoj industriji obećale su ukinuti mikroplastiku u svojim proizvodima, no činjenice pokazuju da na tržištu još i dalje postoji oko 80 proizvoda namijenjenih za piling koji sadrže mikroplastiku. Ukoliko gledamo trend ispuštanja to iznosi čak 80 tona mikroplastike u Velikoj Britaniji, i utjecaj na okoliš i životinje je velik. Opasne kemikalije pesticidi i policiklistički aromatski ugljikovodici su apsorbirani u mikroplastiku i to predstavlja veliku prijetnju za okoliš. Europska agencija za kemikalije (ECHA) i Program Ujedinjenih naroda za okoliš (UNEP) ograničavaju korištenje mikroplastike u kozmetičkim proizvodima. [11]

Uklanjanjem mikroplastike iz industrije kozmetike ne bi spriječilo pojavu mikroplastike, zbog toga što na tržištu postoje i drugi proizvodi koji u sastavu imaju plastične sastojke. Novi Zeland zabranio je korištenje mikroplastike u kozmetici, ali je dopustio upotrebu kopoliera akrilata koji služi sa vodo odbojnost.

### **Ribolovna industrija i mikroplastika**

Ribolovna industrija, morska plovila (stakloplastika) i pomorska industrija puna su plastike koja može izravno ulazi u mora i oceane kao makroplastika i kao sekundarna mikroplastika pri razgradnji, što predstavlja veliku ugrozu za okoliš i biljni i životinjski svijet. Morski otpad koji je vidljiv na plažama također nastaje uslijed nasipanja materijala koje nose obalne i oceanske struje. Među morskim otpadom ima razmjerno puno ribolovne opreme koja također pripada skupini plastičnog otpada.

Odbačeni ili izgubljeni ribolovni pribor, uključujući plastičnu monofilamentnu strunu i najlonske mreže (ponekad zvane mreže duhova), može plutati na različitim dubinama oceana. Razne su zemlje izvijestile da su provedena istraživanja pokazala kako se mikroplastika nakuplja u različitim izvorima morske hrane. Radi se o mikroplastici kao industrijskom nusproduktu, ali i o mikroplastici iz drugih izvora. Indonezijska istraživanja pokazala su da je 55% svih istraženih ribljih vrsta sadržavalo ostatke umjetnih tvari, dok je u Americi to bilo visokih 67%. [11]

Međutim, velika je razlika u porijeklu mikroplastike koja je u ove dvije zemlje pronađena u ribama. U Indoneziji se većinom radilo o krhotinama plastike, dok su u Sjevernoj Americi dominantna bila sintetička vlakna iz odjeće i određenih vrsta mreža. Kada je riba onečišćena mikroplastikom, plastika će otići i druge dijelove prehrambenog lanca, pa i čovjeka.



Nedavnim istraživanjem utvrđena je grupa kemikalija porijeklom iz plastike pod nazivom polibromirani difenil eteri (PBDE) u želucu ptica kratkorepa striga. Pokazano je da je otprilike 25% ptica imalo kongenere s kemijskim elementom bromom kojeg nije uobičajeno pronaći u njihovom plijenu. Međutim, polibromirani difenili dospjeli su u ptice upravo plastikom koja je pronađena u njihovom probavnom sustavu.[28] Na ovome primjeru može se uočiti kako nije samo plastika ta koja se prenosi prehranbenim lancem, već i kemikalije koje su sastavni dio različitih plastičnih materijala.

### **Vodeni transport i mikroplastika**

Veliki utjecaj na onečišćenje mora imaju i brodovi. Statistički gledano davne 1970. godine brodovi su izbacili više od 23.000 tona plastičnog otpada u okoliš. U SAD-u (Sjedinjene Američke Države) zakonski je zabranjeno izbacivanje plastike u more. Međunarodnim sporazumom (MARPOL 73/78, Aneks V) zabranjeno je izbacivanje otpada sa brodova u mora i oceane. Treba napomenuti da je vodeni transport i dalje dominantan izvor onečišćenja. Istraživanjima se dokazalo da je oko 10 % sveukupne plastike iz vodenog transporta pronađeno na udaljenim Havajima. [11]

Velika oluja koja je 24. srpnja 2012. u blizini obale kod Hong Konga potopila brod kineske tvrtke Sinopec sa 150 tona perlica i drugog sirovog plastičnog materijala primjer je veće ekološke nesreće u kojoj je okoliš direktno opterećen mikroplastikom dok je broj manjih incidenata koje doprinose onečišćenju mora mikroplastikom daleko veći.[29]

### **3.4. Proizvodnja mikroplastike**

Zbog svoje veličine i raznolikosti izvora, karakterizacija mikroplastike još je složenija nego za velike plastične ostatke.

Za mikroplastiku koja potječe iz primarnih izvora moguće je identificirati njen izvor te je stoga moguće donijeti mjere i djelovati u skladu s njima kako bi se ublažio i/ili smanjio njen unos u okoliš. Male čestice plastike, unutar klase veličine mikroplastike, proizvode se kako bi se upotrijebile u različitim drugim proizvodima, primjerice proizvodima za osobnu higijenu i njegu. Istraživanja pokazuju kako bi korisnici pilinga za lice samo iz Sjedinjenih Američkih Država mogli biti odgovorni za ispuštanje 263 tone polietilenske mikroplastike godišnje.[17]

Druga vrsta čestica, odnosno sekundarna mikroplastika, također nastaje kao rezultat nenamjernog ispuštanja plastične sirovine (tj. peleta, grudica) koja nastaje kao nusprodukt proizvodnje plastike. Sekundarna mikroplastika dolazi iz različitih izvora poput industrije, proizvoda od plastike, prašine i vlakana, do trošenja plastičnih proizvoda.

Nusprodukti proizvodnje plastike uključuju čestice nastale rezanjem, poliranjem ili oblikovanjem tijekom proizvodnje proizvoda na bazi plastike, emisije tijekom nanošenja ili održavanja boja na bazi plastike, vlakna koja se oslobađaju iz sintetičkih tekstilnih proizvoda tijekom pranja ili čestice gume koje se oslobađaju trošenjem guma na cestama.

U proizvodnji plastičnih proizvoda kao sirovina koriste se male plastične kuglice smole i granule. U Sjedinjenim Američkim Državama je 1987. godine proizvodnja plastičnih kuglica porasla na 21,7 milijuna tona, dok je 1960. iznosila svega 2,9 milijuna tona plastičnih kuglica. U 2019. godini proizvedeno je na svjetskoj bazi oko 368 milijuna tona plastičnih kuglica; od čega je 51% proizvedeno u Aziji. Kina, najveći svjetski proizvođač, odgovorna je za 31% ukupne svjetske proizvodnje plastike i plastičnih proizvoda.[11]

U pomorskom i kopnenom transportu plastičnih kuglica slučajnim izlivanjem, neprikladnom upotrebom materijala za pakiranje ili izravnim istjecanjem iz industrijskih pogona, mogu ući u vodene ekosustave. U analizi švedskih voda koju je proveo KIMO Sweden, korištenjem mreže s oknima veličine 80  $\mu\text{m}$  pronađeno je od 150 do 2.400 plastičnih čestica mikroplastike po  $\text{m}^3$  za koju se vjeruje da je u vodeni ekosustav došla upravo tijekom transporta različitih proizvoda. Zanimljiv je i rezultat koji je dobiven u blizini tvornice za proizvodnju plastike, koncentracija je iznosila 102.000 plastičnih čestica po  $\text{m}^3$  .[20]

Mnoga industrijska postrojenja u kojima se koristi sirova plastika smještena su blizu vodenih površina. Ako se slučajno izbace tijekom proizvodnje, plastični materijali mogu zagaditi vodene putove.

Sveukupno gledajući, unatoč spomenutim istraživanjima, još uvijek je nedovoljno istražen utjecaj na okoliš pojedinih procesa i industrijskih postrojenja koja doprinose onečišćenju okoliša mikroplastikom.

### 3.5. Globalna nastojanja za smanjenje onečišćenja mikroplastikom

Onečišćenje plastikom je globalni problem. Trenutačni odgovori na ovaj problem su parcijalni i mogu rezultirati samo ograničenim učinkom na ispuštanje plastike u okoliš. Stoga su u tijeku brojan istraživanja te se provode brojne studije kako bi se pronašlo globalno rješenje za ovaj problem.

Četiri stupa Europske strategije za plastiku iz 2018. godine su ponovna uporaba i recikliranje, smanjenje otpada, postizanje cirkuliranja kroz inovacije i ulaganja te poticanje globalnih akcija. Radnje vezane uz mikroplastiku u Strategiji svrstane su pod dio koji se odnosi na suzbijanje nastanka otpada gdje se navodi da se ciljane mjere za sprječavanje onečišćenja trebaju provoditi istovremeno spram različitih izvora onečišćenja. U Strategiji se priznaje da je razumijevanje tih izvora i utjecaja mikroplastike i dalje manjkavo.

Izvješća SAPEA (Znanstveni savjet za politiku europskih akademija) o pregledu dokaza koji podupiru ovo mišljenje potvrđuju da su znanstveni temelji zakonodavstva relevantnog za onečišćenje plastikom i mikroplastikom rijetki. Stoga je potrebno i važno preispitati znanstveno obrazloženje usmjereno ka sadašnjem i potencijalnom budućem razvoju politika usmjerenih na mikroplastiku u svjetlu današnje znanosti.

Općenito, SAPEA (2019.) pokazuje da je dostupno znanstveno znanje o onečišćenju mikroplastikom i njegovim utjecajima mješavina osporavanog znanja, informirane ekstrapolacije, nagađanja i mnogih nepoznanica. To odražava i nezrelost znanstvenog polja i njegovu intrinzičnu složenost. Odgovarajuća pisana građa povezana s povezanošću društvenih i bihevioralnih znanosti s onečišćenjem mikroplastikom tek je u povojima.[20]

Postojeća literatura opisuje javnu svijest o mikroplastici i protivi joj se na temelju osjećaja „gađenja i bijesa“, posebno u pogledu njenog ulaska u prehrambeni lanac.

Općenito, literatura podržava konsenzus o potrebi djelovanja, s malo naznaka onih koji poriču plastično onečišćenje.

Znanstvena istraživanja još ne daju točnu sliku zaliha mikroplastike u okoliša i tokova mikroplastike i temeljnih trendova, a kamoli njihovih učinaka, iako su istraživanjima došli do važnih rezultata i zaključaka. Prijavljeni štetni učinci profesionalne izloženosti mikroplastici, pokusi na životinjama i ono što se zna o potencijalnim opasnostima razlozi su za zabrinutost, kao

i poticaj za provođenje daljnjih istraživanja. Postoje dokazi o sve većem opsegu i globalnom doseg u zagađenja mikroplastikom i njegovoj dugotrajnoj prirodi.[20]

Također, utvrđeno je da mikroplastika nalazi svoj put do prehrambenog lanca i svih dijelova okoliša.

Važno je rasvijetliti prirodu takvih učinaka i postoji li stvarni potencijal da ti učinci negativno utječu na biotu i ekosustave ili na ljudsko zdravlje kada mikroplastika uđe u tijelo (putem udisanja, uzimanja hrane ili kroz kožu). Takvih je istraživanja, usmjerenih na pojavu ili odsutnost negativnih učinaka u određenim kontroliranim okolnostima i terenskim studijama, sve više. Na primjer, mnoge životinjske vrste gutaju plastiku zamjenjujući je za hranu – od velikih sisavaca, ptica i riba do sićušnog zooplanktona, od kojih neki umiru kao ishod toga.[21]

Prema istraživanjima koje je provela SAPEA, laboratorijski pokusi pokazuju da mikroplastika može uzrokovati niz mehaničkih, kemijskih i bioloških utjecaja na biotu uzrokujući štetu, disfunkciju i fiziološke poremećaje. Provedena istraživanja pružila su dokaze o upalama i stresu, kao i negativnim učincima na potrošnju hrane, rast, reprodukciju i preživljavanje niza vrsta.

Sve veći broj znanstvenih dokaza koji upućuju na opasnost od nekontroliranog onečišćenja mikroplastikom te njena dugotrajna postojanost i teška razgradivost, sugeriraju da što prije treba poduzeti mjere i korake kako bi se spriječilo ili barem smanjilo njeno ispuštanje u okoliš.

Ove mjere trebaju imati za cilj [20]:

- a) ograničiti nepotrebnu upotrebu plastike;
- b) ograničiti namjernu upotrebu mikroplastike;
- c) spriječiti ili ublažiti stvaranje mikroplastike tijekom životnog ciklusa plastike i proizvoda koji sadrže plastiku;
- d) izbjegavati ispuštanje u okoliš što je moguće bliže izvoru; i
- e) ublažiti i kontrolirati količinu mikroplastike na ključnim točkama od izvora do poniranja vode.

EU se zalaže za usvajanje sporazuma o plastici na globalnoj razini kako bi se potaknuo zajednički prijelaz na kružno gospodarstvo što je navedeno u novom akcijskom planu za kružno gospodarstvo.

Takav bi se globalni sporazum trebao baviti onečišćenjem plastikom tijekom cijelog njenog životnog ciklusa kako bi se loše upravljanje plastikom svelo na najmanju moguću mjeru čime bi se u najvećoj mjeri spriječio ulazak plastike u okoliš. Trenutačno ne postoji instrument koji bi se bavio ovom problematikom na globalnoj razini.

Neke zemlje poduzimaju mjere za smanjenje potrošnje plastike ili povećanje njena recikliranja kroz različite kampanje, dok druge imaju posebne zakone, poput obvezivanja proizvođača da minimiziraju otpad, usvajanja ciljeva recikliranja ili postupnog ukidanja najproblematičnijih plastičnih proizvoda, uključujući plastiku za jednokratnu upotrebu. Republika Hrvatska usvojila je Direktivu o smanjenju utjecaja određenih plastičnih proizvoda u 2019. godini. Ti određeni jednokratni proizvodi su vrećice, štapići za uši, slamke i pribori za jelo. Ova Direktiva dio je akcijskog plana kojim bi zemlje Europske unije prešle na kružno gospodarstvo. Time bi se značajno smanjila količina plastičnog otpada do 2030. godine. Navedeno bi se učinilo promjenama u proizvodnji, korištenju i recikliranju plastike i plastičnih proizvoda.

Svu plastičnu ambalažu moralo bi se moći reciklirati, uporaba bi bila ograničena, s naglaskom na kozmetičke proizvode s ciljem sprječavanja daljnjeg porasta plastičnog otpada u vodama. Glavna je ideja da se do kraja desetljeća, svaki korišteni komad plastične ambalaže u Europi reciklira ili ponovno koristi.[25]

Međutim, nedavne studije pokazuju da se trenutačnim mjerama može samo smanjiti onečišćenje mora plastikom za približno 7%. Više od 100 zemalja uspostavilo je globalni sporazum o plastici, u kojemu se nalazi okvir Programa Ujedinjenih naroda za okoliš (UNEP) Cilj ovog sporazuma bio bi uspostaviti mehanizme povezane s nadzorom globalnog ispuštanja i upravljanja plastikom, smanjenje istjecanja plastike u okoliš i smanjenje utjecaja proizvodnje i potrošnje plastike na prirodne resurse.[22]

Potreba za poduzimanjem hitnih, konkretnih radnji naglašena je u nekoliko rezolucija Skupštine Ujedinjenih naroda za okoliš (UNEA) počevši od 2014. godine. UNEA3 je 2017. godine osnovala Stručnu skupinu za morski otpad (AHEG) kako bi identificirala potencijalna rješenja. Skupina je završila svoj rad i njezine su preporuke razmotrene na drugom zasjedanju UNEA5 početkom 2022., što je dovelo do pokretanja pregovora o pravno obvezujućem globalnom sporazumu za borbu protiv ovog velikog problema današnjice, onečišćenja plastikom.

Cilj sporazuma trebao bi biti uklanjanje problema koje postojeći instrumenti ne rješavaju. Sporazum bi također trebao pomoći u usmjeravanju i koordinaciji napora svih uključenih dionika pružanjem sveobuhvatnog okvira za djelovanje. Mandat dogovoren na UNEA5 uključuje uspostavu međuvladinog pregovaračkog odbora koji će razviti međunarodni pravno obvezujući instrument o onečišćenju plastikom, uključujući utjecaj na morski okoliš, na temelju sveobuhvatnog pristupa koji se bavi cijeloživotnim ciklusom plastike.

Pregovarački odbor trebao bi, u skladu sa svojim mandatom, razmotriti odredbe kojima se specificiraju ciljevi instrumenta, promiču održive proizvodnje i potrošnje, provode i ažuriraju nacionalni akcijski planovi, te provode izvještavanja i procjene učinkovitosti novog instrumenta.

## 4. UTJECAJ MIKROPLASTIKE NA PRIRODU I OKOLIŠ

### 4.1. Učinci na okoliš

Mehanizam znanstvenog savjetovanja Europske unije 2019. godine napravio je pregled znanstvenih dokaza te objavio kako je danas mikroplastiku moguće naći u svim dijelovima okoliša.

Mikroplastika u morima i oceanima posebno je veliki problem, a do tog su zaključka došli 2008. godine i sudionici Međunarodne istraživačke radionice o pojavi, učincima i sudbini mikroplastičnog morskog otpada.

Ovaj zaključak su izveli na temelju [7]:

- dokumentirane pojave mikroplastike u morskom okolišu,
- dugog vremena zadržavanja tih čestica (i, stoga, njihovog vjerojatnog nakupljanja u budućnosti), i
- njihovog dokazanog gutanja od strane morskih organizama.

Dosadašnja istraživanja onečišćenja plastikom uglavnom su bila usmjerena na plastične predmete veće veličine (Slika 13). Poznatiji nepovoljni utjecaji na morsku floru i faunu su zapetljavanje u plastiku, gutanje te opće slabljenje organizma koje često dovodi do smrti ili nasukavanja. To je razlog za ozbiljnu zabrinutost kojeg je prepoznala i javnost.

Naspram toga, mikroplastika manja je od 5 mm te je teško uočljiva jer je se najčešće ne vidi golim okom. Upravo je zbog toga mikroplastika dostupna većem broju morskih bića. Putem različitih morskih bića ulazi na dno hranidbenog lanca, postaje dio životinjskog tkiva i tada je se ne može otkriti vizualnim pregledom.[4]

Nadalje, posljedice razgradnje plastike i dugoročnog ispuštanja onečišćenja uglavnom su zanemarene. U okolišu se trenutno nalazi mnogo plastike. Ona se veoma polako razgrađuje, no taj je proces dugotrajan, a kako se njenom razgradnjom oslobađaju štetni i otrovni spojevi, cijeli taj proces naziva se „dugom toksičnošću“.

Mikroplastika nije prisutna samo u morskim sustavima, nalazi se i u slatkim vodama. Nema vodene površine u kojoj ju se ne može pronaći, a niti kontinenta na kojem je nema. U SAD-u provedeno je istraživanje kojim su prikupljeni uzorci iz 29 pritoka Velikih jezera. Otkriveno je da se tamo nalazi čak 98% čestica mikroplastike veličine od 0,355 mm do 4,75 mm. [4]



Slika 13. Plutajući plastični proizvodi u moru

Izvor: <https://zastita-prirode.hr/ekologija-i-okolis/mikroplastika-tihi-ubojica-naseg-ekosustava/>

#### 4.2. Izloženost morskog života mikroplastici

Mikroplastika dolazi u životinjski organizam kroz probavni ili dišni sustav. Uočena je u probavnom traktu pjeskulje (*Arenicola marina*), duguljaste, crvolike životinje iz koljena kolutićavaca (*Annelida*) i reda mnogočetinaša koja se hrani naslagama. S druge strane, na obalama Amerike, Afrike i Australije živi rak *Carcinus maenas* za kojeg je karakteristično može jesti škrgama, odnosno, one mu mogu poslužiti za apsorpciju hranjivih tvari te na taj način mikroplastika ulazi, ne samo u njegov probavni sustav, već i u dišni. [30]

Takozvani koralj cvjetača ili čipkasti koralj (*Pocillopora verrucosa*) koji obitava u vodama Indijskog i Tihog oceana također metabolizira mikroplastiku. Ponekad je potrebno i do 14 dana da je životinja probavi (normalno razdoblje probave je 2 dana), no ukoliko dođe do zapetljavanja



čestica mikroplastike u probavi životinje, eliminacija istih iz organizma može biti spriječena u potpunosti.[16]

Kako se grabežljivci hrane drugim životinjama, tako se prenosi i mikroplastika s njihovog plijena na njih. Na primjer, istraživanja su pokazala veće količine plastike u želucu riba lampiona koje se hrane manjim ribama, ali su i one same glavni plijen ribama koje se koriste u komercijalne svrhe, kao što su sabljarka ili tuna. S obzirom na to mikroplastika apsorbira kemijske zagađivače oni se prehranbenim lancem prenašaju iz tkiva jednog u tkivo drugog organizama. Manje životinje u opasnosti su od smanjenog unosa hrane uzrokovanog lažnim osjećajem zasićenosti i posljedičnog gladovanja ili drugih fizičkih ozljeda kao posljedicama konzumiranja mikroplastike. Tako primjerice ribe često pogrešno zamijene čestice plastike za hranu koja im može blokirati probavni trakt šaljući netočne signale za hranjenje mozgu životinje.

Rijetke su studije koje prikazuju mikroplastiku u probavnom traktu slatkovodnih organizama. Jedna takva provedena je na ušću Rio de la Plata, rijeke u Argentini te je tim istraživanjem mikroplastika nađena u probavnom sustavu 11 vrsta riba (Slika 14).[31]



Slika 14. Prikaz kontaminacije ribe mikroplastikom

Izvor: <https://www.biom.hr/mikroplastika-u-morima/>

I u probavnom sustavu organizmima koji se hrane sa morskog dna pronađena je mikroplastika. Morski krastavci hrane se ostacima s dna, odnosno sedimentom pa ih se naziva i „morskim usisavačima“ i „morskim čistačima“ te kao takvi imaju veliku ulogu u morskom ekosustavu. Istraživanje je pokazalo da su 4 vrste morskih krastavaca (*Holothuria floridana*, *Thyonella gemmate*, *Cucumaria frondose* i *H. grisea*) uspoređujući omjer zna pijeska i zrna mikroplastike, progutale oko 20 puta više dijelova plastike i oko 130 puta više dijelova najlona.[5]

Morski krastavci neselektivno gutaju plastične čestice, no upravo ovi rezultati sugeriraju da postoje i organizmi koji ih gutaju selektivno.

Školjkaši su još jedna vrsta životinja u čijem se probavnom sustavu pronalazi mikroplastika i nanoplastika. Sposobnost filtracije školjkaša se smanjuje nakon što dođu u doticaj s mikroplastikom što uzrokuje njihovu neurotoksičnost i imunotoksičnost te druge za njih nepovoljne učinke.

Zbog smanjene fagocitoze i aktivnosti NF-KB gena javlja se smanjena imunološka funkcija. Doticaj s mikroplastikom školjkašima smanjenu sposobnost detoksikacije spojeva u tijelu, što dovodi do tzv. oksidativnog stresa, a posljedično može oštetiti i DNK.[2]

Zbog navedenog sve češći su zastoji razvoja školjkaša, a sve manja stopa oplodnje. Kada su školjkaši bili izloženi mikroplastici i drugim zagađivačima, kao što su POP (postojane organske onečišćujuće tvari), živa ili ugljikovodici u laboratorijskim uvjetima, pokazalo se da su se toksični učinci pogoršali.

Ne samo ribe, već i drugi morski organizmi mogu progutati mikroplastiku. Uočeno je da skleraktinski koralji, poznatiji kao kameni koralji koji se sastoje od velikog broja pojedinačnih polipa i čije kolonije mogu doseći značajnu veličinu čineći tako biološke grebene, i u laboratorijskim uvjetima unose mikroplastiku u svoj organizam. Iako učinci mikroplastike u njihovom organizmu nisu detaljnije proučavani, uvidjelo se da će izbijeliti zbog stresa koji kod njih izazivaju progutane čestice mikroplastike.

Tijekom laboratorijskih istraživanja, uočeno je da se mikroplastika priljepljuje za vanjštinu koralja. Prianjanje za vanjsku stranu koralja potencijalno može biti štetno zbog toga što oni ne podnose nikakve čestice na svojoj vanjštini pa tako ni sediment i skidaju ih izlučujući sluz pritom trošeći energiju povećavajući pri tome vjerojatnost smrtnosti.

Kod obale Belizea na otoku Turneffe 2017. godine morski biolozi proveli su istraživanje koje je pokazalo da 75% podvodne morske trave ima zalijepljena mikroplastična vlakna, kuglice i krhotine. Plastične komade obrasli su organizmi za koje je specifično da se lijepe uz morsku travu, tzv. epibionti. Morska trava je važna za ekosustav jer se njome se hrane ptice.[23]

Nisu samo vodeni organizmi ti koji mogu biti izloženi negativnom utjecaju plastike. Mikroplastika negativno utječe i na kopnene biljke, a glistama, primjerice, može čak zaustaviti i rast.

Prvi dokazi o mikroplastičnim fragmentima nađenim u probavnom traktu vodozemaca zabilježeni su u Europi 2019. godine kod običnog europskog tritona (*Triturus carnifex*). Prvi dokaz za mikroplastične predmete u sadržaju je želuca vodozemca *Caudatu* koji je prisutan u cijelom svijetu.

Zooplankton guta zrnca mikroplastike veličine između 1,7 i 30,6  $\mu\text{m}$  i izlučuje fekalne tvari kontaminirane mikroplastikom. Zooplanktona, mikroplastika privlači jer emitira slične infokemikalije koje emitiraju fitoplanktoni poput dimetil sulfida. Plastika kao što je polipropilen (PP), polietilen niske gustoće (LDPE) i polietilen visoke gustoće (HDPE) miriši na dimetil sulfid zbog vezanja fitoplankton na nju. Ove vrste plastike sastavni su dio plastičnih vrećica, posuda za čuvanje hrane i čepova boca. Kao posljedica toga, zelene i crvene plastične niti pronađene su u planktonskim organizmima i morskim algama.[23]

Ne samo da životinje i biljke gutaju mikroplastiku, već neki mikrobi žive na njenoj površini tvoreći pritom sluzavi biofilm koji pruža novo stanište za kolonizaciju mikroba stoga dolazi do širenja patogena i gena otpornih na antibiotike. Jednako tako, upravo zbog brzog kretanja mikroplastike kroz vodu, ti se patogeni premještaju sa svog staništa te na drugim mjestima, gdje određeni patogen možda nije prirodno prisutan, mogu širiti različite bolesti.

### **4.3. Utjecaj na ljude**

Prema opsežnom pregledu znanstvenih dokaza objavljenih 2019. od strane Mehanizma znanstvenog savjetovanja Europske unije, malo se toga zna o rizicima za ljudsko zdravlje povezanim s nano i mikroplastikom, a ono što je poznato upućuje na neizvjesnost u budućnosti. Autori ovog pregleda kao glavna ograničenja navode kvalitetu i metodologiju dosadašnjeg

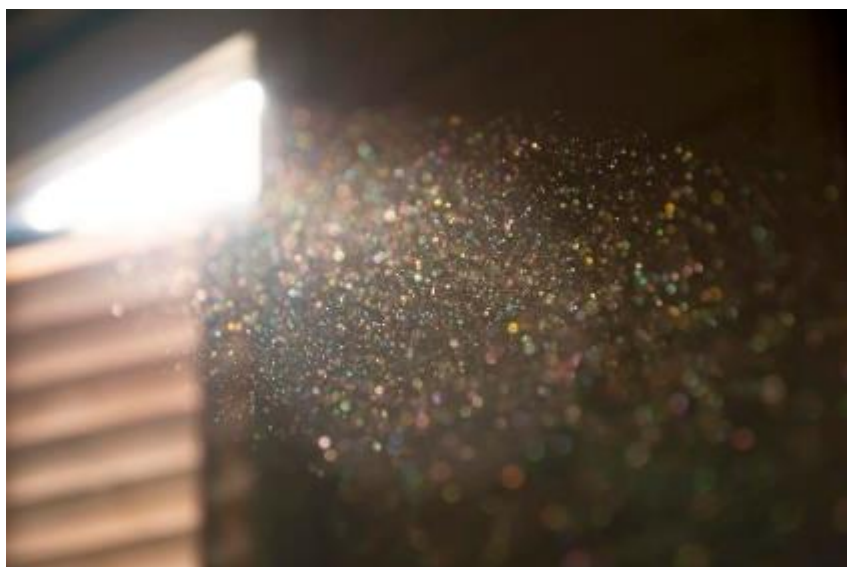
istraživanja. Pregled zaključuje da „postoji potreba za razumijevanjem potencijalnih oblika toksičnosti za različite kombinacije veličina-oblik-tip nano mikroplastike u pažljivo odabranim ljudskim modelima, prije čvrstih zaključaka o „stvarnim” rizicima za ljude”. [24]

Srednja vrijednost unosa mikroplastike kod ljudi je na razinama koje se smatraju sigurnima; međutim, kod nekih pojedinaca ove granice mogu biti prekoračene, a učinci, ako ih ima, za sada nisu poznati. Nije poznato ni hoće li se i u kojoj mjeri mikroplastika bioakumulirati kod ljudi.

Istraživanje objavljeno 2022. godine prvi je put identificiralo prisutnost polimera u ljudskoj krvi kod 17 od 22 zdrava dobrovoljca. Srednja vrijednost ukupne mjerljive koncentracije plastičnih čestica bila je 1,6 mg/L. Svrha navedene studije bila je razviti metodu uzorkovanja i analitičku metodu koja bi se mogla koristiti za otkrivanje plastike u ljudskoj krvi. [32]

Studija je dokazala da polimerne kuglice na bazi metakrilata ( $> 10 \mu\text{m}$ ) koje se koriste u terapijske svrhe u prehrani ne ostavljaju znakove bio akumulacije u organima miševa, osim u probavnom traktu. Ono što zabrinjava znanstvenike je kada mikroplastiku pojedu ribe i rakovi kasnije mogu konzumirati ljudi na vrhu prehrambenog lanca. Kao što znamo mikroplastike je svuda oko nas, i nalazi se u hrani, no stupanje njene apsorpcije i retencije i dalje nije jasan. [9]

. Rijetko kada će čovjek progutati mikroplastiku, prije će biti izložen mikroplastici u obliku kuće prašine koju će udisati. (Slika 15).



## Slika 15. Prikaz kućne prašine

Izvor: <https://www.forbes.com/sites/jeffmcmahon/2020/06/28/most-dust-motes-in-your-home-are-toxic-microplastics-and-the-saharan-dust-storm-may-bring-more/?sh=11d395286c25>

Najveća zabrinutost u vezi sa mikroplastikom je to što se može spojiti s teškim metalima ili drugim kemijskim spojevima u okolišu koje mogu biti patogene za ljude. Kroz izloženost mikroplastici u razinama koje se nalaze u okolišu još uvijek je nepoznat stvarni rizik za ljudski organizam.

### 4.4. Postojani organski zagađivači

Postojani organski zagađivači (POP) otrovne su kemikalije koje štetno utječu na ljudsko zdravlje i okoliš. S obzirom na to da se prenose vjetrom i vodom, većina POP utječe na žive organizme daleko od mjesta gdje se koriste i ispuštaju. POP dugo ostaju u okolišu i mogu se nakupljati i prelaziti s jedne vrste na drugu kroz hranidbeni lanac. Kako bi riješile globalnu zabrinutost povezanu s POP, Sjedinjene Američke Države koordinirale su s 90 drugih zemalja i Europskom unijom potpisivanje revolucionarnog ugovora Ujedinjenih naroda koje se održalo u Stockholmu, u svibnju 2001. Prema ugovoru, poznatom kao Stockholmska konvencija, zemlje potpisnice su se složile smanjiti ili eliminirati proizvodnju, upotrebu i/ili ispuštanje 12 ključnih POP, a Konvencijom je definiran i postupak dodavanja drugih POP kemikalija na taj popis.[7]

Plastične čestice na svojoj površini putem adsorpcije mogu u velikoj mjeri koncentrirati i transportirati sintetičke organske spojeve (npr. postojeane organske zagađivače, POP) koji su obično prisutni u okolišu i okolnoj morskoj vodi. Mikroplastika može djelovati kao nositelj POP-a iz okoliša u organizme. Aditivi dodani plastici tijekom proizvodnje mogu se otopiti nakon gutanja, potencijalno uzrokujući ozbiljne štete organizmu. Endokrini poremećaj zbog dodataka koji se koriste u proizvodnji plastičnih materijala mogu utjecati na reproduktivno zdravlje ljudi i divljih životinja podjednako.[4]

Polimerni materijali i plastika dobiveni iz sirove nafte nisu biorazgradivi. Danas na tržištu možemo naći prirodne polimere koji se koriste za proizvodnju biorazgradivih proizvoda.

Mnogi POP uključeni u Stockholmsku konvenciju više se ne proizvode. Međutim, ljudi i staništa još uvijek mogu biti izloženi riziku od POP koji su ostali u okolišu. Iako je većina

razvijenih zemalja poduzela snažne korake za kontrolu POP, veliki broj zemalja u razvoju tek je relativno nedavno počeo ograničavati njihovu proizvodnju, upotrebu i ispuštanje.

Stockholmska konvencija dodaje važnu globalnu dimenziju nacionalnim i regionalnim naporima za kontrolu POP. Iako Sjedinjene Američke Države još nisu dio Stockholmske konvencije, Konvencija je odigrala važnu ulogu u kontroli štetnih kemikalija na nacionalnoj i globalnoj razini. EPA (Agencija za zaštitu okoliša) i Sjedinjene Američke Države smanjile su ispuštanje dioksina i furana u tlo, zrak i vodu. Uz procjenu dioksina, EPA također marljivo radi na smanjenju globalnog ispuštanja i korištenja DDT. Sjedinjene Američke Države i Kanada potpisale su sporazum o virtualnom uklanjanju postojećih otrovnih tvari u Velikim jezerima kako bi se smanjile njihove emisije. Sjedinjene Američke Države su također potpisale i regionalni protokol Ekonomske komisije Ujedinjenih naroda o POP sukladno Konvenciji o dalekosežnom prekograničnom onečišćenju zraka koja govori o Stockholmskoj konvenciji o POP i drugim kemikalijama.[4]

Mnogi POP su naširoko korišteni tijekom razvoja industrijske proizvodnje nakon Drugog svjetskog rata kada je tisuće sintetičkih kemikalija uvedeno u komercijalnu upotrebu. Mnoge od ovih kemikalija pokazale su se korisnima u kontroli štetočina i bolesti, proizvodnji usjeva i industriji. Međutim, te iste kemikalije su nepredviđeno negativno utjecale na zdravlje ljudi i okoliš.

Mnogi ljudi su upoznati s nekim od najpoznatijih POP, kao što su PCB, DDT i dioksini. POP uključuju niz tvari koje su:

- Namjerno proizvedene kemikalije koje se trenutno ili su se nekoć koriste u poljoprivredi, kontroli bolesti, proizvodnji ili industrijskim procesima. Primjeri uključuju PCB-e, koji su bili korisni u raznim industrijskim primjenama (npr. u električnim transformatorima i velikim kondenzatorima, kao hidraulične kapljevine i kapljevine za izmjenu topline, te kao aditivi bojama i mazivima) i DDT, koji se još uvijek koristi za suzbijanje komaraca koji prenose malariju u nekim dijelovima svijeta.[7]
- Nenamjerno proizvedene kemikalije, poput dioksina, koje nastaju iz nekih industrijskih procesa i izgaranja (na primjer, spaljivanje komunalnog i medicinskog otpada i spaljivanje smeća u dvorištu).

Uz sporazume vezane uz POP u čijem su potpisivanju sudjelovale, Sjedinjene Američke Države su također pružile široku financijsku i tehničku potporu zemljama diljem svijeta koje

podupiru smanjenje POP. Neke od tih inicijativa uključuju popis ispuštanja dioksina i furana u Aziji i Rusiji te smanjenje izvora PCB-a u Rusiji.

Veliki poticaj za Stockholmsku konvenciju bilo je otkriće kontaminacije POP u relativno netaknutim arktičkim regijama - tisućama milja od bilo kojeg poznatog izvora. Velik dio dokaza o dalekosežnom prijenosu plinovitih i čestičnih tvari u zraku u Sjedinjenim Američkim Državama usredotočen je na prašinu ili dim jer su vidljivi na satelitskim slikama. Praćenje kretanja većine POP u okolišu je složeno jer ti spojevi mogu postojati u različitim fazama.

#### **4.5. Budućnost i perspektiva mikroplastike u okolišu**

Često, kada ljudi bace neku stvar, prestanu razmišljati o njoj. Međutim, pred otpadom je dugo putovanje nakon što dospije u kantu za smeće. Ako se s otpadom ne postupa pravilno, otpad veoma lako može završiti u ekosustavima i uzrokovati probleme za okoliš i javno zdravlje. Kao jedna od najznačajnijih sastavnica otpada, plastika je ujedno danas i jedan od najtraženijih materijala čija potražnja raste zajedno s porastom stanovništva i potrošnjom.

Većina proizvedene plastike su jednokratni proizvodi koji se bacaju godinu dana ili manje nakon proizvodnje. Trajnost plastike ono je što je kao komercijalni materijal čini tako privlačnom i ono što je čini toliko štetnom za okoliš. Plastici mogu biti potrebne godine, ali i cijelo stoljeće da se razgradi. Rašireno je mišljenje da svaki pojedini komad plastike (Slika 16) ikada stvoren (koji nije spaljen) i danas postoji na planetu.[7]



**PLASTIKA:**  
KOLIKO TREBA PLASTICI DA SE RAZGRADI?

Najlon za pecanje 	±600 godina
Plastična boca 	±500 godina
Plastični pribor za jelo 	±400 godina
Upaljač 	100 godina
Plastična šalica 	65-75 godina
Plastična vrećica 	55 godina
Koža za cipele 	10-20 godina
Cigaretni opušci 	1-5 godina
Balon 	6 mjeseci

Slika 16. Prikazivanje vremenskog trajanja razgradnje plastičnih predmeta

Izvor:

<https://hrsale.2021outletshops.ru/category?name=koliko%20dugo%20je%20potrebno%20da%20se%20razgradi%20plastika>

Čestice plastike nikada nisu istinski biorazgradive, jednostavno se fragmentiraju u sve manje i manje dijelove dok ne postanu nevidljivi golim okom.

Pokazalo se da je do 2013. godine više od 250 morskih vrsta diljem svijeta progutalo mikroplastiku, a taj je broj od tada vjerojatno porastao kako se zastupljenost otpadne mikroplastike povećavala. Antropogeni otpad kao što su omoti od hrane, limenke, boce i drugi predmeti za jednokratnu upotrebu, mogu predstavljati i fizičku i kemijsku prijetnju divljim morskim životinjama.



Fizička ozljeda može nastati kada se životinje poput ptica, riba, kornjača ili drugih morskih sisavaca zapetljaju u otpad ili ga konzumiraju. Zapetljane životinje mogu se utopiti ili postati ozlijeđene ili oštećene, zbog čega ne mogu pobjeći predatorima. Slično tome, plastika i smeće koji se pogrešno smatraju hranom i progutaju mogu dovesti do gušenja ili začepjenja organa koji zatim mogu dovesti do uginuća.

Paradoksalno, plastika je problem jer apsorbira i zagađivače. Čestice na svojoj površini koncentriraju hidrofobne kontaminante koji se iz drugih izvora već nalaze u morskoj vodi. Metabolički procesi koji se odvijaju u crijevima mogu uzrokovati oslobađanje tih kontaminanata, prenoseći kemikalije u organizam.

Nakon što se mikroplastika proguta i probavi, organizam je izložen mnogo većim količinama toksičnih materijala jer je pokazano da su štetne kemikalije višestruko koncentriranije na plastičnim površinama nego u okolnoj vodi.

Mikroplastika također može promijeniti svojstva sedimenata duž obalnih linija. Pokazalo se da visoke koncentracije mikroplastike mogu povećati propusnost, kao i smanjiti apsorpciju topline. Veća propusnost može povećati vjerojatnost da će se organizmi koji žive u sedimentu isušiti, a niže maksimalne temperature mogu utjecati na organizme kao što su morske kornjače utječući pritom na određivanje spola jaja.

Kako globalna populacija raste, postaje relevantnije i važnije proučavati širenje i utjecaj mikroplastike, posebno u oceanskim ekosustavima. Obalna područja posebna su područja od interesa za proučavanje jer uključuju nekoliko različitih tipova staništa – obale, koraljni grebeni, morska trava, mangrove, lagune, plićaci itd. – i važno ih je odvojiti od ekosustava otvorenog oceana zbog toga što u ovom području čestice mikroplastike dopijevaju na različite načine i na njih utječu različiti čimbenici okoliša.[7]

Velik broj vrsta organizama živi u obalnim područjima, a svi su oni u opasnosti da budu oštećeni hidrofobnim i teškim metalnim zagađivačima koje nosi mikroplastika, stoga je potrebno locirati žarišta koncentracije mikroplastike kako bi se dalje proučavao njihov utjecaj.

Plastika i plastične čestice također se koncentriraju duž obalnih linija, na koje dolazi otpad i s kopna i iz mora. Kopneni izvori su najzastupljeniji na mjestima s velikim ljudskim utjecajima i gustoćom, dok se otpad iz oceana nakuplja ovisno o obalnim strujama.

Kao što je prethodno navedeno, do sada provedene istraživanja još nisu dala odgovore na osnovne podatke o količinama, tokovima, putovima i vremenski ovisnim trendovima mikroplastike u različitim dijelovima okoliša. Međutim, niz objavljenih procjena sugerira da bi onečišćenje kopna mikroplastikom u tlu i slatkovodnim sustavima moglo biti obilnije od onog procijenjenog za morski okoliš.

Provedene su i studije o mikroplastici koja se prenosi zrakom na otvorenom i u zatvorenom prostoru, iako više kao put za transport mikroplastike s jedne lokacije na drugu – npr. gradska prašina koja sadrži mikroplastiku u zraku postaje atmosferski talog iznad kopna i vodenih tijela. Međutim, iz perspektive utjecaja na ljudsko zdravlje, mikroplastika u zraku ima potencijalni značaj negativan učinak zbog udisanja.[7]

Kreatori politike, znanstvenici i javnost do sada su najviše pažnje posvetili zagađenju morskog okoliša mikroplastikom jer je upravo stanje oceana odigralo najveću ulogu u privlačenju pozornosti na sveprisutnost plastičnog onečišćenja i njegovih štetnih učinaka. Pozornost politike treba proširi i na druge dijelove okoliša, što treba shvatiti kao napredak u očuvanju okoliša pri čemu se pozornost ne smije skrenuti s istraživanja mikroplastike u morskom okolišu.

Važno je da onečišćenje mora mikroplastikom ostaje istaknuti politički problem u Europi i svijetu. Na primjer, Okvirna direktiva EU o pomorskoj strategiji (MSFD) definira obveze državama članicama s obzirom na prisutnost mikrootpada (uključujući mikroplastiku). Sav napredak koji je do sada postignut u okviru MSFD-a je dobrodošao, ali treba učiniti i više. To naglašava činjenica da je, prema dostupnim podacima, oko 99% plastike koja uđe u ocean neprijavljeno i za nju se ne zna. Znanstveno modeliranje sugerira da se „plastika koja nedostaje” nalazi u udaljenim obalnim područjima.

Nedavno je došlo do porasta znanstvene pozornosti vezano uz mikroplastiku u slatkovodnim sustavima. Vezano uz mikroplastiku na kopnu vrlo malo se zna o načinima njena prijenosa i akumulacija, iako postoje neke objavljene studije.

Nadalje, ovakva situacija mikroplastike u površinskim vodama bi mogla dovesti do konkretnih zakonskih mjera ili prilagodbi postojećih [7]:

- Okvirna direktiva o vodama - za razliku od Okvira morske strategije Direktiva ne obvezuje države članice na poduzimanje mjera protiv otpada u površinskim vodama. U kontekstu

detaljne revizije Okvirne direktive o vodama i bilo kakvog mogućeg praćenja te revizije, Komisija bi mogla razmotriti usklađivanje Direktive s načinom na koji se postupa s otpadom i mikrootpadom prema Okvirnoj direktivi o morskoj strategiji.

- Značajan izvor onečišćenja tla mikroplastikom javlja se korištenjem kanalizacijskog mulja u poljoprivredi koji sadrži visoke koncentracije mikroplastike porijeklom iz komunalnih otpadnih voda. To ukazuje na potencijalni sukob između, s jedne strane, uklanjanja više mikroplastike iz vodenog okoliša, npr. Filtriranjem u većom omjeru koja je propisana Direktivom o pročišćavanju komunalnih otpadnih voda i vjerojatnosti da će takva mikroplastika pronaći svoj put u tlo, ako se ne filtrira iz mulja. To bi također moglo imati implikacije na Direktivu iz 1986. kojom se uređuje korištenje kanalizacijskog mulja u poljoprivredi (Direktiva 86/278/EEC)
- EU-ove Direktive o kvaliteti vanjskog zraka sadrže detaljne propise za čestice u zraku na dva različita praga veličine (tj. aerodinamički promjer) - PM10 (10 mikrona ili manje) i PM2,5 (2,5 mikrona ili manje). Budući da nije navedena nikakva vrsta materijala ili sastav, sva mikroplastika u zraku u ovim klasama veličine automatski je obuhvaćena. Međutim, iz nekoliko dostupnih studija o mikroplastičnim vlaknima u zraku razine koncentracije vlakana duljine ispod 50  $\mu\text{m}$  nisu poznate. Objavljene distribucije veličine za duljine od 50  $\mu\text{m}$  do milimetarske ljestvice sugeriraju više koncentracije za vlakna ispod 50  $\mu\text{m}$ . Ovo pitanje, uz činjenicu da izloženost u zatvorenom prostoru nije obuhvaćena, možda bi se isplatilo ponovno razmotriti zajedno s tekućom provjerom prikladnosti ovih direktiva.
- Na zakonodavstvo se obično gleda kao na konačan način za postizanje potrebnih promjena. Međutim, razmatranje ljudskog i organizacijskog ponašanja može značiti da zakonodavstvo nije uvijek najbolje ili jedino rješenje. Osim propisa, naknada, zabrana itd., mjere za smanjenje onečišćenja mikroplastikom mogu uključivati dobrovoljne sporazume i blaže mjere podizanja svijesti, komunikaciju i obrazovanje. SAPEA ističe da se ponašanje može brzo promijeniti kao odgovor na nove okolnosti ili medijske poruke. Promjene koje proizlaze iz zakonodavstva mogu trajati dugo zbog: sporih procesa donošenja odluka i poteškoće u provedbi. Istraživanje promjene ponašanja sugerira da je najbolje kombinirati niz različitih intervencija i pristupa, baveći se nizom determinanti ponašanja, psiholoških i situacijskih (npr. društvene norme, stavovi, vrijednosti). Ljudi i organizacije će vjerojatno

promijeniti svoje ponašanje ako postoji dovoljna motivacija, izvedive alternative ili poticajni uvjeti.

Komisija bi trebala iskoristiti trenutačne odredbe u postojećim pravnim instrumentima za sprječavanje i smanjenje mikroplastike u zraku, tlu i vodi. Zagađenjem zraka, slatkovodne vode i tla mikroplastikom trebalo bi se razmatrati na isti način i u istoj mjeri kao i zagađenja mora mikroplastikom. Tamo gdje je to moguće i izvedivo, prema postojećim relevantnim instrumentima, trebalo bi uvesti nove mjere.

Potencijalni relevantni primjeri uključuju okvirnu direktivu o vodi i direktive primjenjive na pročišćavanje gradskih otpadnih voda, primjenu kanalizacijskog mulja kao gnojiva i kvalitetu zraka. Provedena istraživanja i mišljenja stručnjaka trebali bi pomoći u određivanju najbolje mjere za svaki problem, tvar i kontekst. Osim zakonodavstva, također treba razmotriti blaže dobrovoljne, ekonomske ili uvjerljive mjere usmjerene na poticanje odgovornih promjena kroz komercijalne, društvene ili altruistične inicijative.

## 5. ZAKLJUČAK

U radu je obrađena tematika vezana uz mikroplastiku i njezin utjecaj na ljude i okoliš (prirodu). Prolazeći kroz tematiku vidljivo je da se mikroplastični minijaturizirani proizvodi kreću na velikim udaljenostima oko planeta zbog svojih posebnih svojstava, uključujući uzgon, izdržljivost, lakoću i oblike.

Međutim, kopneni ekosustavi identificirani su kao glavni izvori i putevi prijenosa mikroplastike u vodeni okoliš kao i u atmosferu. Povećana akumulacija mikroplastike u tim sredinama ojačana njihovim posebnim karakteristikama osigurala je da dobiju pristup mikrobima i drugim organizmima na nižem kraju hranidbenog lanca, posebno morskoj bioti kao što je fitoplankton, te da na kraju pronađu svoj put do prehrambenih lanaca.

Ulaskom u te organizme nakupljaju se u njihovim različitim organelama i organima, izazivajući različite toksične učinke uglavnom putem oksidativnog stresa. Međutim, različiti znanstveni napori usmjereni na ublažavanje štetnih učinaka mikroplastike na oblike života nisu bili učinkoviti kao što se očekivalo zbog njihove stope porasta u okolišu i složenosti različitih organizama u prehrambenim lancima.

## LITERATURA

1. Ainsworth, E.A. (2017) Understanding and improving global crop response to ozone pollution. *Plant J.* 90, 886–897.
2. Barbier, E. B. (2016). The protective service of mangrove ecosystems: A review of valuation methods. *Marine Pollution Bulletin*, 109(2), 676-681
3. Ćorić, D. (2002) Međunarodni sustav odgovornosti i naknade štete zbog onečišćenja mora uljem, Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, Jadranski zavod, Zagreb,
4. Can-Güven, E. (2021). Microplastics as Emerging Atmospheric Pollutants: A Review and Bibliometric Analysis. *Air Qual. Atmos. Health* 14, 203–215.
5. Chubarenko, I., Esiukova, E., Bagaev, A., Isachenko, I., Demchenko, N., Zobkov, M., Khatmullina, L. (2018). Behavior of Microplastics in Coastal Zones. In *Microplastic Contamination in Aquatic Environments An Emerging Matter of Environmental Urgency*, Environmental Science, str. 175-223
6. Dobrinić J. (2000) Onečišćenje mora uljima i elementima u tragovima, Tehnički fakultet, Rijeka
7. Avanthi Deshani Igalavithana ,Mahagama Gedara Y. L. Mahagamage, Pradeep Gajanayake ,Amila Abeynayaka, Premakumara Jagath Dickella Gamaralalage, Masataka Ohgaki, Miyuki Takenaka, Takayuki Fukai and Norihiro Itsubo (2022). Microplastics and Potentially Toxic Elements: Potential Human Exposure Pathways Through Agricultural Lands and Policy Based Countermeasures. *Microplastics* 1 (1) 102–120.
8. Gruber, K. (2018) Cleaning up pollutants to protect future health. *Nature* 555, 20–42.
9. Jacques, O., and Prosser, R. S. (2021). A Probabilistic Risk Assessment of Microplastics in Soil Ecosystems. *Sci. Total Environ.* 757, 14-39
10. Kafol Z. (2006) Onečišćenje mora, Zemlja, Velika ilustrirana enciklopedija, Mozaik knjiga, Zagreb, str. 108-112.
11. Sartain, M., Wessel, C., & Sparks, E. (2018). *Microplastics Sampling and Processing Guidebook*. Mississippi State, MS: Mississippi State University

12. Sharma S., Chatterje S., (2017) Microplastic pollution, a threat to marine ecosystem and humanhealth: a short review, *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 21530–21547.
13. Silano, M., Silano, V. (2017) Food and feed chemical contaminants in the European Union: Regulatory, scientific, and technical issues concerning chemical contaminants occurrence, risk assessment, and risk management in the European Union. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 57, 2162-2217.
14. Štrumberger, N.(2000) Rukovanje materijalima u prometu, fakultet prometnih znanosti u Zagrebu, Zagreb
15. Tang, F.H.M., Lenzen, M., McBratney, A., Maggi, F. (2021) Risk of pesticide pollution at the global scale. *Nat Geosci*. 14, 206-210.
16. Thompson, R. C. (2015). Microplastics in the Marine Environment: Sources, Consequences and Solutions. In *Marine Anthropogenic Litter*, str. 185-200
17. Thompson, R. C., Moore, C., vom Saal, F. S., & Swan, S. H. (2009). Plastics, the environment and human health: Current consensus and future trends. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 364, 2153–2166.
18. Wessel, C. C., Lockridge, G. R., Battiste, D., & Cebrian, J. (2016). Abundance and characteristics of microplastics in beach sediments: Insights into microplastic accumulation in northern Gulf of Mexico estuaries. *Marine Pollution Bulletin*,109(1), 178-183.
19. <https://www.environmentalpollutioncenters.org/chemical/> 05.09.2022.
20. <https://www.euoparc.org/wp-content/uploads/2018/01/Eu-plastics-strategy-brochure.pdf> 05.09.2022.
21. <https://ourworldindata.org/plastic-pollution> 05.09.2022.
22. <https://www.discovermagazine.com/environment/the-fight-against-microplastics> 05.09.2022.
23. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2022.786026/full> 05.09.2022.
24. [https://environment.ec.europa.eu/topics/plastics/microplastics\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/plastics/microplastics_en) 05.09.2022.

25. <https://www.ekovjesnik.hr/clanak/361/europska-unija-novom-strategijom-ogranicava-uporabu-plastike-za-jednokratnu-uporabu> 05.09.2022.
26. Baoming Xue, Linlin Zhang, Ruilong Li, Yinghui Wang, Jing Guo, Kefu Yu, Shaopeng Wang (2020) Underestimated Microplastic Pollution Derived from Fishery Activities and “Hidden” in Deep Sediment, *Environ. Sci. Technol.* 54, 4, 2210–2217
27. <https://www.plymouth.ac.uk/staff/richard-thompson> 09.09.2022.
28. Kosuke Tanaka, Hideshige Takada, Rei Yamashita, Kaoruko Mizukawa, Masa-aki Fukuwaka, Yutaka Watanuki, Accumulation of plastic-derived chemicals in tissues of seabirds ingesting marine plastics, *Mar Pollut Bull*, 69(1-2):219-22
29. <https://www.reuters.com/article/us-pollution-hongkong-sinopec-idUSBRE8780I920120809> 10.09.2022.
30. Christian Ebere Enyoh, Leila Shafea, Andrew Wirnkor Verla, Evelyn Ngozi Verla, Wang Qingyue, Tanzin Chowdhury, Marcel Paredes, Microplastics Exposure Routes and Toxicity Studies to Ecosystems: An Overview, *Environ Anal Health Toxicol*, e2020004.
31. Rocío S Pazos, Tomás Maiztegui, Darío C Colautti, Ariel H Paracampo, Nora Gómez, Microplastics in gut contents of coastal freshwater fish from Río de la Plata estuary, *Mar Pollut Bull*, 122(1-2):85-90
32. Heather A.Leslie, Martin J.M.van Velzen, Sicco H.Brandsma, A. Dick Vethaak, Juan J.Garcia-Vallejo, Marja H.Lamoree, Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood, *Environment International* Volume 163, 107199



# Sveučilište Sjever

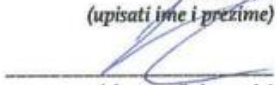


## IZJAVA O AUTORSTVU I SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, Ivor Križnjak (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom Utjecaj mikroplastike na prirodu i obalje (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

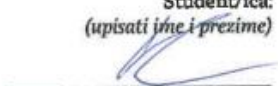
Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

  
(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, Ivor Križnjak (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom Utjecaj mikroplastike na prirodu i obalje (upisati naslov) čiji sam autor/ica.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

  
(vlastoručni potpis)

**4.9%**

Results of plagiarism analysis from 2022-09-12 17:30 UTC

Diplomski rad Ivor\_Križnjak\_Utjecaj Mikroplastike na prirodu i okoliš.docx

Date: 2022-09-12 17:18 UTC

 All sources 29
  Internet sources 22
  Plagiarism Prevention Pool 7

<input checked="" type="checkbox"/>	[0]	<a href="https://wikipedia.net/hr/Microplastics">wikipedia.net/hr/Microplastics</a> 0.2% 26 matches
<input checked="" type="checkbox"/>	[1]	<a href="https://sr.wikipedia.org/sr-el/Mexponvactrea">sr.wikipedia.org/sr-el/Mexponvactrea</a> 0.8% 15 matches 1 document with identical matches
<input checked="" type="checkbox"/>	[3]	<a href="https://www.eurolab.net/hr/testeri/kimyasaal-ve-malzeme-guvenligi-testeri/kalici-organik-kirleticiler-(pop)-(ab)-2019-1021/">www.eurolab.net/hr/testeri/kimyasaal-ve-malzeme-guvenligi-testeri/kalici-organik-kirleticiler-(pop)-(ab)-2019-1021/</a> 0.8% 7 matches
<input checked="" type="checkbox"/>	[4]	<a href="https://www.eurolab.net/hr/testeri/kimyasaal-ve-malzeme-guvenligi-testeri/kalici-organik-kirleticiler-(pop)-(ab)-2019-1021/">www.eurolab.net/hr/testeri/kimyasaal-ve-malzeme-guvenligi-testeri/kalici-organik-kirleticiler-(pop)-(ab)-2019-1021/</a> 0.8% 7 matches
<input checked="" type="checkbox"/>	[5]	<a href="https://wikipedia.net/hr/Persistent_organic_pollutant">wikipedia.net/hr/Persistent_organic_pollutant</a> 0.4% 6 matches
<input checked="" type="checkbox"/>	[6]	<a href="https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2021-02-10_HR.html">www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2021-02-10_HR.html</a> 0.2% 4 matches
<input checked="" type="checkbox"/>	[7]	<a href="https://www.haop.hr/sites/default/files/uploads/dokumenti/012_klima/dostava_podataka/izvjesca/hrvabki NIR 2021.pdf">www.haop.hr/sites/default/files/uploads/dokumenti/012_klima/dostava_podataka/izvjesca/hrvabki NIR 2021.pdf</a> 0.2% 5 matches
<input checked="" type="checkbox"/>	[8]	<a href="https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-8-2018-0317_HR.html">www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-8-2018-0317_HR.html</a> 0.2% 4 matches
<input checked="" type="checkbox"/>	[9]	<a href="https://lajna.info/2022/03/27/naucnici-otkri-prvi-trag-mikroplastike-u-ljudskoj-krv/">lajna.info/2022/03/27/naucnici-otkri-prvi-trag-mikroplastike-u-ljudskoj-krv/</a> 0.2% 3 matches
<input checked="" type="checkbox"/>	[10]	from a PlagScan document dated 2020-07-24 00:33 0.2% 3 matches 1 document with identical matches
<input checked="" type="checkbox"/>	[12]	<a href="https://repositorij.more.unist.hr/islandora/object/more:221/datastream/PDF/view">repositorij.more.unist.hr/islandora/object/more:221/datastream/PDF/view</a> 0.2% 3 matches
<input checked="" type="checkbox"/>	[13]	<a href="https://core.ac.uk/download/pdf/226325516.pdf">core.ac.uk/download/pdf/226325516.pdf</a> 0.2% 3 matches 2 documents with identical matches
<input checked="" type="checkbox"/>	[16]	<a href="https://mingor.gov.hr/UserDocsImages/klimatska_aktivnosti/znak_ilo_svjetsko/pops_vodici_brosura/brosura_stockolmska.pdf">mingor.gov.hr/UserDocsImages/klimatska_aktivnosti/znak_ilo_svjetsko/pops_vodici_brosura/brosura_stockolmska.pdf</a> 0.2% 3 matches
<input checked="" type="checkbox"/>	[17]	<a href="https://environmentgo.com/hr/effects-of-microplastics-on-humans/">environmentgo.com/hr/effects-of-microplastics-on-humans/</a> 0.2% 2 matches
<input checked="" type="checkbox"/>	[18]	from a PlagScan document dated 2020-07-23 23:20 0.2% 2 matches 2 documents with identical matches
<input checked="" type="checkbox"/>	[21]	<a href="https://repositorij.pmf.unizg.hr/en/islandora/object/pmf:9609/datastream/PDF/view">repositorij.pmf.unizg.hr/en/islandora/object/pmf:9609/datastream/PDF/view</a> 0.2% 3 matches
<input checked="" type="checkbox"/>	[22]	<a href="https://hr.science19.com/how-does-an-oil-spill-affect-environment-4462">hr.science19.com/how-does-an-oil-spill-affect-environment-4462</a> 0.2% 1 matches
<input checked="" type="checkbox"/>	[23]	<a href="https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fbioe.2020.562760/full">www.frontiersin.org/articles/10.3389/fbioe.2020.562760/full</a> 0.2% 2 matches
<input checked="" type="checkbox"/>	[24]	from a PlagScan document dated 2021-07-06 11:09 0.2% 2 matches
<input checked="" type="checkbox"/>	[25]	from a PlagScan document dated 2020-07-02 13:12 0.2% 2 matches
<input checked="" type="checkbox"/>	[26]	<a href="https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019_09_90_1796.html">narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019_09_90_1796.html</a> 0.2% 1 matches
<input checked="" type="checkbox"/>	[27]	<a href="https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2008_12_145_3971.html">narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2008_12_145_3971.html</a> 0.2% 2 matches
<input checked="" type="checkbox"/>	[28]	<a href="https://repositorij.pfi.uniri.hr/islandora/object/pfi:2437/datastream/PDF/view">repositorij.pfi.uniri.hr/islandora/object/pfi:2437/datastream/PDF/view</a> 0.2% 2 matches
<input checked="" type="checkbox"/>	[29]	<a href="https://apps.unizg.hr/tekorova-nagrada/javno-radovi/735/preuzmi">apps.unizg.hr/tekorova-nagrada/javno-radovi/735/preuzmi</a> 0.2% 1 matches

<input checked="" type="checkbox"/>	[30]	<a href="#">repositorij.kf-split.hr/islandora/object/kfst:780/datastream/PDFView</a> 0.2% 1 matches
<input checked="" type="checkbox"/>	[31]	from a PlagScan document dated 2022-01-31 10:21 0.2% 1 matches
<input checked="" type="checkbox"/>	[32]	from a PlagScan document dated 2020-09-29 14:27 0.2% 1 matches
<input checked="" type="checkbox"/>	[33]	from a PlagScan document dated 2018-04-26 07:58 0.2% 1 matches
<input checked="" type="checkbox"/>	[34]	<a href="#">hrcak.srca.hr/file/379937</a> 0.2% 1 matches

58 pages, 12382 words

PlagLevel: 4.9% selected / 4.9% overall

71 matches from 35 sources, of which 25 are online sources.

#### Settings

Data policy: Compare with web sources, Check against organization repository, Check against the Plagiarism Prevention Pool

Sensitivity: Medium

Bibliography: Consider text

Citation detection: Reduce PlagLevel

Whitelist: --