

# MIKROPLASTIKA U OKOLIŠU I UTJECAJ NA LJUDSKO ZDRAVLJE

---

**Markota, Marta**

**Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:866184>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-23**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

Veleučilište u Karlovcu  
Odjel sigurnosti i zaštite  
Stručni diplomski studij Sigurnost i zaštita

Marta Markota

# **UTJECAJ MIKROPLASTIKE NA ŽIVI SVIJET I OKOLIŠ**

DIPLOMSKI RAD

Karlovac, 2024.

Karlovac University of Applied Sciences  
Safety and Protection Department  
Professional graduate study of Safety and Protection

Marta Markota

**THE INFLUENCE OF MICROPLASTICS ON  
THE LIVING WORLD AND THE  
ENVIRONMENT**

MASTER THESIS

Karlovac, 2024

Veleučilište u Karlovcu  
Odjel sigurnosti i zaštite  
Stručni diplomski studij Sigurnost i zaštita

Marta Markota

# **UTJECAJ MIKROPLASTIKE NA ŽIVI SVIJET I OKOLIŠ**

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Lidija Jakšić, mag. ing. cheming., pred.

Karlovac, 2024.



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

## VELEUČILIŠTE U KARLOVCU

Stručni prijediplomski / **stručni diplomski studij**: Sigurnost i zaštita

Usmjerenje: Zaštita na radu

Karlovac, 2024.

### ZADATAK DIPLOMSKOG RADA

Student: Marta Markota

Matični broj: 0422422018

Naslov: Utjecaj mikroplastike na živi svijet i okoliš

Opis zadatka:

U radu će biti objašnjeni pojmovi vezani uz mikroplastiku te utjecaj mikroplastike na okoliš i zdravlje. Također će biti prikazana rješenja i metode za smanjenje i uklanjanje plastičnog otpada. Osim toga, bit će provedena anketa kako bi se ispitali stavovi ispitanika o problemima vezanim uz recikliranje i zbrinjavanje otpada.

Zadatak zadan:

Rok predaje rada:

Predviđeni datum obrane:

Ožujak 2024.

Rujan 2024.

Rujan 2024.

Mentor:

Lidija Jakšić, mag. ing. cheming., pred.

Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

dr. sc. Zvonimir Matusinović, v.pred.

## **PREDGOVOR**

*Ovaj rad sam napisala samostalno te je nastao kao rezultat mog stečenog znanja tijekom diplomskog studija Sigurnosti i zaštite, uz pomoć i primjenu literature koje sam pronašla.*

*Ovim putem željela bi se zahvaliti svojoj obitelji koja mi je omogućila ovo školovanje i koja mi je pored prijatelja bila velika potpora tijekom cijelog studija. Bez njihove podrške ne bi bila sada tu gdje jesam.*

*Zahvaljujem se i svojoj mentorici Lidiji Jakšić, mag. ing. cheming, na savjetima i pomoći koju mi je pružila tijekom pisanja ovog rada.*

## SAŽETAK

Mikroplastika je naziv za plastične čestice promjera manjeg od 5 milimetara. Iako su čestice mikroplastike male, kada se nađu u oceanu ili sedimentu, opasan su oblik onečišćenja. Sveprisutan je u okolišu i svakodnevnom životu. Može se pronaći u raznim kozmetičkim preparatima kao što su paste za zube, pjene za brijanje, gelovi za tuširanje i drugi slični proizvodi. Prisutnost mikroplastike može izazvati ozbiljne probleme u prehrambenom lancu jer se na njihovim površinama mogu nakupljati razne otrovne tvari koje ribe mogu unijeti, primjerice, u svoj probavni trakt. Na taj način organizmi koji žive u vodenom okolišu imaju potencijal akumulirati toksine, čineći mikroplastiku opasnom za ljude. Mikroplastika se također može proizvoditi u okolišu jer se veći plastični fragmenti usitnjavaju i razgrađuju pod utjecajem slane vode, ultraljubičastog zračenja, oceanskih valova i drugih abiotičkih čimbenika. Mnogi znanstvenici i stručnjaci rade na rješavanju ovog problema, nadajući se da će teško razgradivu plastiku zamijeniti novim, ekološki prihvatljivijim materijalima.

**Ključne riječi:** mikroplastika, okoliš, onečišćenje, plastika, toksičnost

## **ABSTRACT**

Microplastic is the name for plastic particles with a diameter of less than 5 millimeters. Although microplastic particles are small, once they are in the ocean or sediment, they are a dangerous form of pollution. It is omnipresent in the environment and in everyday life. It can be found in various cosmetic preparations such as toothpastes, shaving foams, shower gels and other similar products. The presence of microplastics can cause serious problems in the food chain because various toxic substances can accumulate on their surfaces, which fish can introduce, for example, into their digestive tract. In this way, organisms living in the aquatic environment have the potential to accumulate toxins, making microplastics dangerous for humans. Microplastics can also be produced in the environment as larger plastic fragments break down and break down under the influence of ultraviolet radiation, salt water, ocean waves and other abiotic factors. Many scientists and experts are working to solve this problem, hoping to replace hard-to-degrade plastics with new, more environmentally friendly materials.

**Key words:** microplastics, environment, pollution, plastic, toxicity



## SADRŽAJ

ZADATAK DIPLOMSKOG RADA.....	I
PREDGOVOR .....	II
SAŽETAK .....	III
ABSTRACT.....	IV
SADRŽAJ.....	V
1. UVOD.....	1
2. PLASTIKA .....	2
3. MIKROPLASTIKA .....	5
4. UTJECAJ MIKROPLASTIKE NA ŽIVI SVIJET .....	8
4.1. Planktoni.....	9
4.2. Rakovi .....	9
4.3. Školjkaši.....	10
4.4. Ribe .....	11
4.5. Ptice.....	11
4.6. Velike morske životinje .....	12
5. UTJECAJ MIKROPLASTIKE NA ČOVJEKA.....	14
6. RJEŠENJE ZA SMANJENJE NASTANKA MIKROPLASTIČNOG OTPADA .....	17
7. UKLANJANJE PLASTIKE IZ VODA .....	19
7.1. Mehanički procesi.....	19
7.1.1. Uklanjanje pomoću mreža .....	19
7.1.2. Dinamičke membrane .....	20
7.1.3. Ultrafiltracija.....	20
7.1.4. Adsorpcija na spužvama .....	21
7.1.5. Hidrociklon .....	22
7.1.6. Filtracija pomoću pijeska.....	23
7.2. Fizikalno-kemijski procesi.....	23
7.2.1. Koagulacija .....	23
7.2.2. Flotacija.....	24
7.3. Kemijski procesi .....	24
7.3.1. UV fotoliza.....	24
7.3.2. Ozon.....	24

7.3.3. Plazma.....	24
7.4. Biološki procesi .....	25
7.5. Uklanjanje MP kombinacijom procesa.....	25
8. REZULTATI ANKETE.....	26
9. ZAKLJUČAK.....	39
10. LITERATURA .....	40
11. PRILOZI .....	43
11.1. Popis slika.....	43

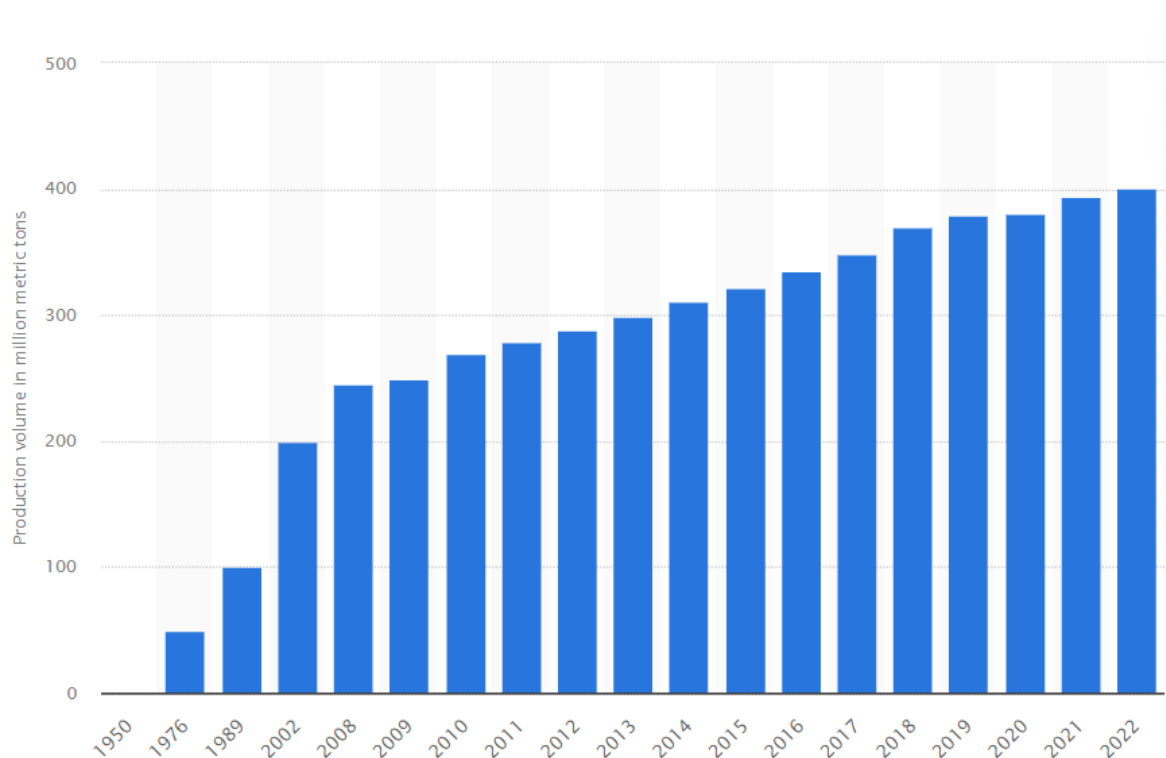
## 1. UVOD

Upotreba i proizvodnja plastike dramatično se povećala u posljednjih 65 godina. Plastika se koristi u mnogim svakodnevnim proizvodima koji poboljšavaju kvalitetu života globalno, ali oko 50% proizvedene plastike koristi se u jednokratnim proizvodima koji generiraju značajnu količinu otpada. Plastični otpad, koji nastaje zbog nepravilnog odlaganja plastičnih proizvoda, predstavlja veliki globalni problem. Većina plastike je kemijski inertan materijal koji se teško razgrađuje u morskom okolišu, rezultirajući zagađenjem naših oceana plastikom. Prisutnost otpada u morskom okolišu ima izravan utjecaj na morske vrste koje mogu progutati ili se zapetljati u takav otpad [1].

Tijekom proteklog desetljeća shvaćeno je da plastika u obliku vrlo malih čestica (<5 mm), tzv. "mikroplastika" (MP), zagađuje veći dio morskog okoliša. Ova MP nastaje zbog otpuštanja proizvedene (primarne) MP u raznim proizvodima i raspadanja većih plastičnih otpadaka (sekundarne MP). Primarna MP nalazi se u proizvodima za osobnu njegu, poput pilinga i pasta za zube, tehnologijama zračnog čišćenja površina poput brodova i strojeva od hrđe te ljudskoj medicini, gdje služe kao prijenosnici lijekova. Sekundarna MP nastaje od abiotičkog raspadanja većih plastičnih komada u okolišu ili otpadanja vlaknastih sintetičkih materijala, primjerice prilikom pranja. Vjerojatno je da se proces fragmentacije nastavlja sve do nano-razmjera, što rezultira stvaranjem nanočestica plastike, no to još nije kvantificirano [1].

## 2. PLASTIKA

Plastika je opći pojam za umjetne polimere koji se najčešće pripremaju polimerizacijom monomera iz nafte ili plina. Kada se ne proizvodi od nafte i plina, polimer se može proizvesti od ugljena, prirodnih plinova, celuloze ili lateksa iz drveća. Molekularna struktura plastičnog polimera obično je sastavljena od ugljikovodika i drugih prirodnih spojeva. Drugi kemijski aditivi se također dodaju polimeru kako bi se postigle željene osobine, poput plastifikatora koji se dodaju kako bi se poboljšala oblikovnost određenih polimera. Sada živimo u "plastičnom svijetu" gdje je gotovo sve oko nas napravljeno od plastike, i teško je zamisliti svijet bez ovog materijala. Proizvodnja plastike dramatično je porasla diljem svijeta u posljednjih 60 godina i još uvijek raste, s trenutnom godišnjom proizvodnjom od oko 300 milijuna tona (Slika 1) [2].



Slika 1. Ukupna godišnja proizvodnja plastike [2]

Svjetska proizvodnja plastike dosegla je nevjerojatnih 400,3 milijuna metričkih tona 2022. godine. To je povećanje od oko 1,6 posto u odnosu na prethodnu 2021. godinu [2].

Unatoč mnogim prednostima plastike, plastični otpad može predstavljati ozbiljnu prijetnju okolišu. Oko 50% proizvedene plastike koristi se u proizvodnji proizvoda niske vrijednosti namijenjenih jednokratnoj uporabi. Kemijski inertna priroda plastike čini je izuzetno trajnom, svojstvo koje je često poželjno. Međutim, to postaje izazov kada se plastika nepravilno odbacuje ili reciklira te završi kao otpad. Točno koliko dugo plastika može ostati u prirodi teško je predvidjeti jer nije bilo dovoljno vremena za procjenu njezine prave postojanosti. Međutim, poznato je da većina vrsta plastike ostaje u okolišu barem desetljećima te se procjenjuje da između 60 i 80% svjetskog otpada čini plastika. Jednom kada plastični otpad uđe u rijeku, nosi se nizvodno i često završi u moru gdje je studija koja je procijenila 3,070 uzoraka diljem svijeta otkrila da čak 88% površine otvorenog oceana sadrži plastične otpatke [3].

Različite plastike imaju različite sudbine u moru ovisno o njihovim fizikalno-kemijskim svojstvima. Većina plastika je lagana s niskom gustoćom, što uzrokuje da mnogi polimeri plutaju u morskoj vodi. Gustoća određene plastike određuje njezinu plovnost i položaj u vodi, utječući na njezinu interakciju s različitim organizmima. Na primjer, polivinil klorid (PVC) je gušći od morske vode i potonut će. Međutim, gustoća nije jedini faktor koji utječe na plovnost polimera u moru. Obraštaj, naseljavanje organizama na plastici, također utječe na plovnost. Tako lagane plastike poput polietilena jer dodatna težina smanjuje njihovu plovnost. S druge strane, fragmentacija ne utječe na plovnost jer ne mijenja gustoću materijala.

Postoje dva glavna izvora plastike u morskom okolišu; od pomorskih aktivnosti, poput komercijalnog ribolova i ilegalnog odlaganja, i kopnenih izvora poput rijeka, odvodnje oborinskih voda, otpadnih voda, smeća koje se unosi u more s kopna te smeća koje ljudi ostavljaju na plažama. U gusto naseljenim područjima većina plastike koja završi u moru vjerojatno dolazi iz kopnenih izvora. Plutajuća plastika ima potencijal biti transportirana putem struja i drugih hidrodinamičkih procesa.

Značajan broj vrsta poznato je da je pogođen plastičnim zagađenjem, s ozbiljnim posljedicama poput gladi zbog gutanja, utapanja zbog zapetljavanja i subletalnih učinaka poput smanjene sposobnosti hranjenja (Slika 2). Preko 267 vrsta morskih organizama poznato je da su pogođene plastičnim zagađenjem; 43% svih morskih sisavaca, 86% morskih kornjača i 44% svih vrsta morskih ptica poznato je da su pogođene plastičnim smećem [3]. Može se očekivati da je trenutno još više vrsta pogođeno plastičnim otpadom budući da je proizvodnja

plastike od tada porasla. Organizmi izloženi plastičnom smeću nisu izloženi samo polimerima već i aditivima koje sadrže, a koji se s vremenom mogu ispirati iz plastike.



Slika 2. Utjecaj plastike na životinje [4, 5, 6]

Mnogi od tih aditiva su opasni, s više od četrdeset njih uključenih na norvešku prioritetnu listu opasnih tvari. Aditivi imaju potencijal da se ispuštaju u okoliš kako plastični otpad postaje krhkiji i izložen abiotičkim faktorima poput UV-zračenja i mehaničkih sila, te tako djeluju kao izvor onečišćenja.

Još jedan problem koji postavlja plastični otpad je potencijal za prijenos invazivnih vrsta. Mnoge vrste, poput mekušaca, školjki, crva i hidroida, mogu koristiti plutajuće otpad kao stanište i bit će transportirane zajedno s plastikom. Procjenjuje se da se širenje faune udvostručilo u suptropskim područjima i utrostručilo u područjima visoke geografske širine (iznad 50°) zbog plutajućeg plastičnog otpada [3].

### 3. MIKROPLASTIKA

Plastične čestice manje od 5 mm u promjeru prvi su put znanstveno otkrivene 1972. godine u Sargaškom moru, ali tek 2004. godine je korišten termin mikroplastika (MP) i postala je očita važnost ovog fenomena (Slika 3). Od 2004. godine postoji stalni porast dostupnih saznanja o kontaminaciji MP-om u morskom okolišu. Osim znanstvenog interesa, postoji i rastući interes među građanima i nevladinim organizacijama da se nešto poduzme kako bi se izbjeglo daljnje onečišćenje svjetskih oceana malim plastičnim česticama [7].



Slika 3. Mikroplastika pronađena na plaži [8]

Dakle, MP je svaka sintetička čvrsta čestica ili polimerna matrica, koja može biti pravilnog ili nepravilnog oblika i veličine od 1  $\mu\text{m}$  do 5 mm. Može biti primarnog ili sekundarnog podrijetla i ne može se otopiti u vodi. Čestice MP manje od 5  $\mu\text{m}$  teško je precizno izmjeriti pomoću klasičnih svjetlosnih mikroskopa, pa se koriste druge metode za njihovu determinaciju. Čestice manje od 1  $\mu\text{m}$  spadaju u kategoriju nanoplastike (NP). Ove čestice molekularne veličine još nisu proučavane u morskim okolišima, ali vjerojatno su prisutne i mogu predstavljati rizik za zdravlje ekosustava. Osim nedostatka prave definicije mikroplastike, nedostaje i stavka u Zakonu o vodama (NN 66/19) o dozvoljenim količinama ili broju komadića MP u određenom volumenu vode za piće. To smanjuje važnost istraživanja o ovom problemu i primjenu rezultata u zaštiti okoliša i izvora pitke vode. Iako postoji sve veći interes za istraživanje utjecaja MP na ljudsko zdravlje, većina istraživanja se trenutno provodi na životinjskim modelima poput miševa, štakora i vodenih organizama [3, 9].



Mikroplastika može ući u okoliš izravno ili nakon razgradnje većih plastika. Mikroplastika, često nazvana mikroperle, proizvodi se u mikroskopskoj veličini za upotrebu u kozmetici, poput pilinga i pasta za zube, te tehnologijama zračnog čišćenja za uklanjanje hrđe s površina poput brodova i strojeva te u ljudskoj medicini, služeći kao nositelji za dostavu lijekova. Kada veći komadi plastike postanu krhki ili ostarjeli zbog UV zračenja, valova i drugih abiotičkih čimbenika, polako se razgrađuju na manje i manje komade koji na kraju postaju manji od 5 mm u promjeru. Treća kategorija mikroplastike, koja se često drži odvojeno od ostalih, je "industrijska plastika" koja se odnosi na smole kuglica koje se koriste kao prethodnici u procesima proizvodnje plastike.

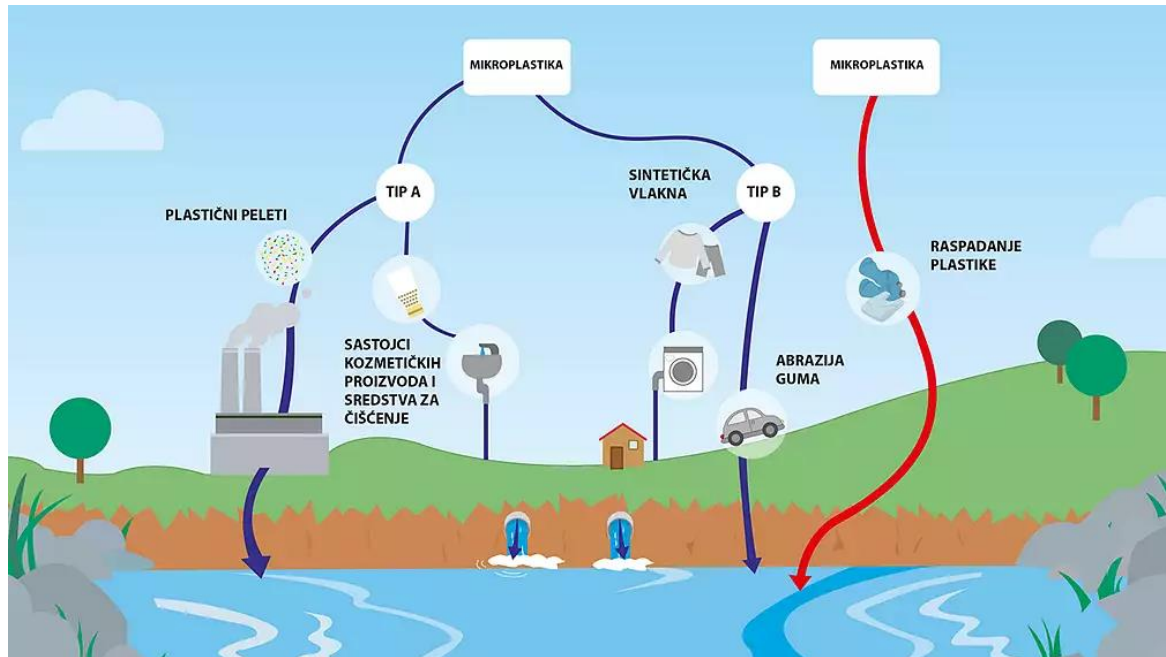
Ove male kuglice, veličine samo nekoliko milimetara, lako se gube tijekom obrade i prijevoza, što dovodi do njihovog prisustva u okolišu. Otkrivene su na plažama diljem svijeta. Sintetički materijali također se široko koriste u raznim potrošačkim proizvodima, a kada se ti proizvodi peru, mogu se otpustiti sintetička vlakna. U područjima s ograničenom ili bez obrade otpadnih voda, ili tijekom prelijevanja oborinskih voda iz postrojenja za obradu, ta vlakna mogu završiti u moru. Procjenjuje se da svaka osoba svakodnevno otpušta do 2,4 mg MP u okoliš putem upotrebe potrošačkih proizvoda. U Europskoj uniji, 70% kućanstava je povezano s postrojenjima za obradu otpadnih voda, ali čak i tretirane otpadne vode još uvijek sadrže čestice MP, s koncentracijama do 100 čestica po litri, koje mogu biti otpuštene u okoliš. Razgradnja većih plastičnih predmeta smatra se glavnim izvorom MP u morskom okolišu [3, 9].

Najčešće vrste MP pronađene u okolišu su kuglice, granule, nepravilni fragmenti i vlakna. Polietilen je najčešće proizvedeni plastični polimer i to se odražava u onome što se obično nalazi u okolišu. Na primjer, školjke prikupljene sa Sjevernog Pacifika su pronađene da sadrže 58 % polietilena, 5 % polipropilena i 1 % polistirena mikročestica [3].

Četiri glavna izvora MP su dakle veći otpad, sredstva za čišćenje (kozmetika i zrakoplovstvo), odjeća (vlakna) te lijekovi (Slika 4). Veći otpad se razgrađuje na sve manje komadiće kroz fragmentaciju i/ili vremenske uvjete, tj. smanjenje molekularne mase zbog utjecaja kao što su fizičko abrazivno djelovanje protiv sedimenta, UV svjetlost, mikrobnna razgradnja itd. Sredstva za čišćenje sadrže primarne MP koje ulaze u kopnene vodotokove kroz otpadne vode gdje se ne mogu filtrirati zbog njihove male veličine. Vlakna od odjeće dopijevaju u more istim putem kada se oslobađaju u kanalizaciju iz perilica za rublje, i vjerojatno u manjoj mjeri također putem zagađenja zraka s kopna. Putanje mikroplastika



primijenjenih u medicinske svrhe do danas su nepoznate, ali se može pretpostaviti da ovi čestice na kraju također ulaze u sustave odvodnje i na taj način dopijevaju u okoliš.



Slika 4. Primarna mikroplastika koja nastaje u procesu proizvodnje (naznačeno plavom bojom) i sekundarna mikroplastika koja nastaje razgradnjom većih komada plastike (naznačeno crvenom bojom) [10]

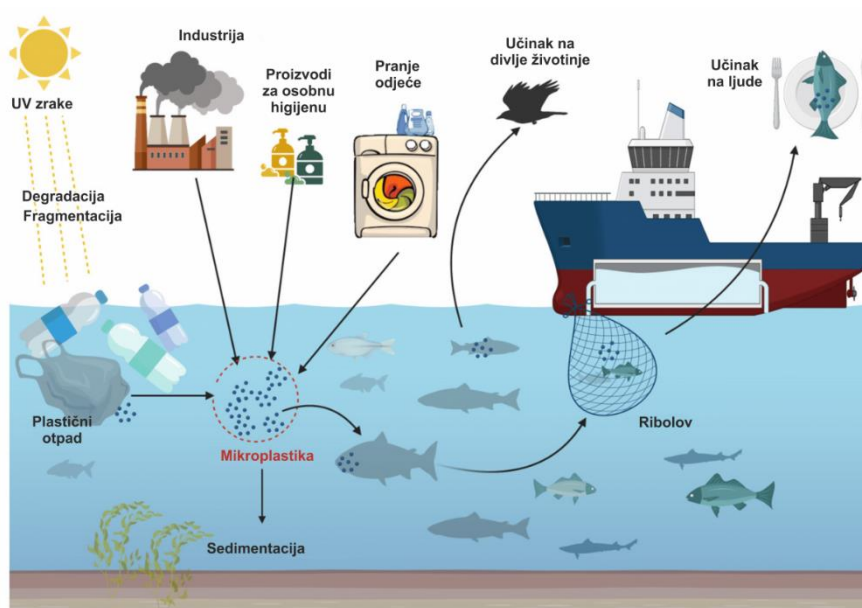
Mikroplastiku je teško ukloniti, jednom kada se pojavi u okolišu, posebno u morskim okolinama. Ona izbjegava sustave filtriranja pročišćavanja otpadnih voda zbog svoje male veličine i ulazi u rijeke te na kraju u more. Trenutno je gotovo nemoguće ukloniti MP iz mora, npr. korištenjem mreža, bez istovremeno uklanjanja još više planktona i time narušavanja funkcioniranja ekosustava.

Znanstvenici, političari i javnost postali su svjesni golemih količina plastičnog otpada, a njihova je pozornost usmjerena ne samo na sprječavanje stvaranja veće količine otpada, već i na razumijevanje utjecaja plastike na okoliš. Zabrinutost nije samo zbog velikih količina plastičnog otpada, već i zato što se sporo biorazgrađuje, pa plastika ostaje u okolišu stoljećima i može se transportirati daleko od svog izvora. MP i NP su sve veći problem i sada su sveprisutni u okruženju. Globalna kontaminacija MP i NP i njihov potencijalni utjecaj na okoliš i organizme i dalje je slabo shvaćen te se malo zna o izloženosti i toksikološkim učincima MP i NP kod ljudi. Trenutačno, zbog nedostatka standardiziranih i validiranih metoda, ostaje nemoguće odrediti ukupnu izloženost ljudi MP i NP, a teško je odrediti i točne toksikološke učinke [3, 9].

## 4. UTJECAJ MIKROPLASTIKE NA ŽIVI SVIJET

Mikroplastika je dovoljno mala da je moguće progutati je mnogim morskim vrstama, na primjer filtrirajućim organizmima poput planktona, kitova i morskih pasa. Morske ptice također su vrlo osjetljive na MP otpad, posebno plutajuće plastike (i u makro i mikro razmjerima) koje se lako mogu zamijeniti plijenom poput ribljih jaja i stoga mogu biti pojedene. Osim toga, organizmi koji dišu škrgama, poput riba i rakova, kao i drugi filtrirajući organizmi poput dagnji i školjki, također su vjerojatno pogođeni MP. Nije zabilježeno izbacivanje vlakana, što ukazuje na to da mikroplastika može ostati dugoročno, ako ne i trajno, unutar životinja nakon što je progutana (Slika 5.). Vlakna koja su pronađena vjerojatno potječu od ribolovne opreme. Učinci mikroplastike na morske organizme obično su subletalni, poput smanjenog hranjenja i povećanog uzimanja određenih kontaminanata. Osim subletalnih učinaka, također je sugerirano da mikrovlakna mogu blokirati probavni trakt.

Unošenje MP od strane vrsta u akvakulturama ili ribarstvu može potencijalno predstavljati rizik za sigurnost hrane za ljude. Mikroplastika također može služiti kao stanište za raznolike mikrobne zajednice. Kolonizirane MP mogu biti privlačnije kao hrana nego 'čiste' plastične čestice, te tako potaknuti gutanje od strane planktona i prijenos prema lancu prehrane. Također mogu služiti kao prijevozna sredstva za strane mikrobe, čime olakšavaju unošenje neinvazivnih vrsta. Ako su ti mikrobi također patogeni, MP može postati vektor bolesti za morsku faunu.



Slika 5. Unos mikroplastike i toksičnih spojeva putem hranidbenog lanca [11]

## 4.1. Planktoni

Do danas nema izvještaja o štetnim učincima MP na fotosintetske fitoplanktone. Ove mikroalge fiksiraju ugljik iz anorganskog CO<sub>2</sub> i energiju iz sunčeve svjetlosti te stoga nemaju potrebu za unosom čestica organske tvari. Stoga je malo vjerojatno da će doći do zdravstvenih problema povezanih s gutanjem MP. Indirektni toksični učinci mogu se očekivati od opasnih kemikalija koje se ispuštaju u stanište mikroplastikom, ako se nalaze u visokoj koncentraciji zajedno s mikroalgama. Nasuprot tome, NP je dovoljno mala da prođe kroz stanične stijenke i membrane te je pokazano da smanjuje rast populacije i koncentracije klorofila u zelenoj algi *Scenedesmus obliquus*. Međutim, mnogi protozoi su miksotrofni i mogu birati između fotosinteze i heterotrofnog načina hranjenja.

Mikroplastika koja je preoblikovana u guste i hranjive fecalne pelete može pružiti još jedan način izloženosti MP drugim komponentama prehranbenog lanca i istovremeno povećati njihov vertikalni transport kao dio biološke pumpe. Ako takve promjene uključuju prelazak na manje hranjive namirnice i/ili energetski skuplji način hranjenja, energetski balans organizma za hranjenje bit će negativno pogođen, s potencijalnim posljedicama na rast, reprodukciju i kondiciju. Povećane stope smrtnosti i smanjena sposobnost preživljavanja potomstva uočene su kod uobičajenog kopepoda sjeveroistočnog Atlantika, *Calanus helgolandicus*, kada su izloženi visokim koncentracijama MP, a značajan metabolički trošak procijenjen je i pripisan smanjenom unosu hranjive hrane.

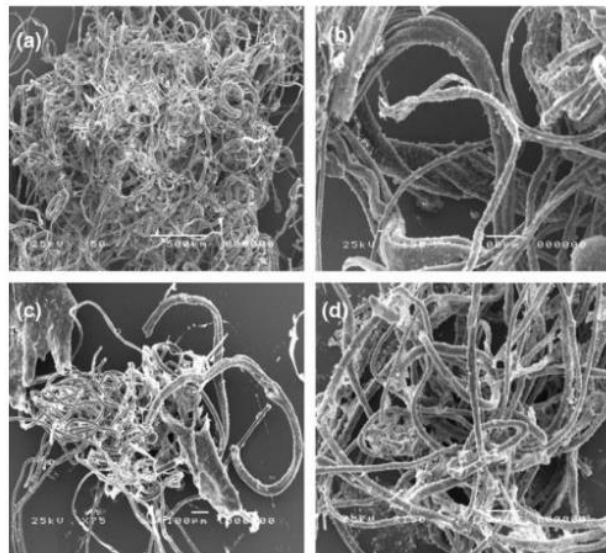
CARS mikroskopija je pokazala da se MP prijanja na različite vanjske i unutarnje dijelove tijela kopepoda, uključujući probavni kanal kao i plivaće noge. Vanjska akumulacija MP u finim dlačicama i bodljama hranidbenih i plivaćih dodataka može imati niz nepovoljnih učinaka koji još nisu proučeni, uključujući kretanje i reakciju bijega, stvaranje struje hrane radi privlačenja hrane, pronalaženje partnera i kopulacija te izleganje jaja kod vrsta koje nose jaja. Nano-plastika navodno ima toksične učinke na larve morskih ježinaca ovisno o njihovom površinskom naboju i agregacijskom stanju. Nano-polistirenski amin (PS-NH<sub>2</sub>) izazvao je snažne razvojne defekte i malformacije u embrionima morskog ježinca vrste *Paracentrotus lividus* [2, 3, 9].

## 4.2. Rakovi

Vitičari su nepokretni organizmi koji također žive u međuplimnoj zoni. Kao i dagnje, oni su filtratori i stoga nije iznenađujuće da 33,5% vitičara iz Sjevernog Pacifika sadrži

mikroplastične čestice. Prosječan broj mikroplastičnih čestica obično se kreće između 1 i 30. U Clyde Bay (zapadna obala Škotske), čak 83% jastoga koji su tamo pronađeni sadrže MP čestice, a 62% tih čestica prisutno je kao čvrsto zapetljane kugle (Slika 6). Jastozi su svejedi i stoga konzumiraju razne rakove, školjkaše, a unos plastičnih čestica vjerojatno se događa putem hrane ili pasivno iz sedimenta dok se hrane [2, 3, 9].

Obalni rakovi su primijećeni kako konzumiraju mikroplastiku i putem škrga i jedenjem plavih dagnji koje su prethodno bile izložene mikroplastici. Mikroplastika koja se unosi putem škrga zadržava se duže vremena (21 dan) u usporedbi s onom koja se unosi hranom (14 dana). To sugerira da način unosa može utjecati na utjecaj mikroplastike na organizme, pri čemu su organizmi koji posjeduju škrga osjetljiviji od onih koji unose mikroplastiku hranom



Slika 6. Mikrofotografija prisutnosti plastike u organizmu škampa [1]

#### 4.3. Školjkaši

Školjkaši poput plavih dagnji su filtratori koji mogu filtrirati oko 2 litre morske vode svaki sat i stoga nije iznenađujuće da je pronađena MP u njima. Pokazano je da uzgojene plave dagnje sadrže više MP od divljih dagnji kada se sakupljaju s istih lokacija. Veće razine MP u uzgojenim dagnjama uglavnom su pretpostavljene da potječu od plastične užadi na kojoj su dagnje uzgajane. Značaj onečišćenja MP na sigurnost morske hrane nije poznat, iako je važno napomenuti da su koncentracije utvrđene u uzgojenim dagnjama i kamenicama relativno male. Ako se konzumira 250 g plavih dagnji, unijet će se 90 čestica, a 6 kamenica od 100 g

po porciji sadržavati će oko 50 čestica. Međutim, na temelju godišnje potrošnje školjki u Europi, taj broj se povećava na 11.000 čestica po osobi godišnje [2].

#### 4.4. Ribe

Također je utvrđeno da nekoliko vrsta riba sadrži MP čestice u svom probavnom sustavu (Slika 7). Iako je do sada pregledan velik broj vrsta riba, prostorna pokrivenost takvih studija je relativno slaba, s nedovoljno podataka. Probavni sustav riba uhvaćenih u divljini obično sadrži između 1 i 7,2 čestice, što možda ilustrira da mikroplastika prolazi ravno kroz ribu i ne blokira probavni sustav niti se nakuplja u organizmu. Riba koja nakuplja plastiku u svom probavnom sustavu može postati neuhranjena i izgladnjeti, što može rezultirati smanjenjem populacije riba. Iako je primijećeno da veće ribe obično sadrže više plastičnih komada u probavnom sustavu od manjih riba, nije poznato jesu li ove čestice nedavno konzumirane ili se nakupljaju tijekom vremena. Potrebno je znanje o zadržavanju plastike u probavnom sustavu riba kako bi se to utvrdilo, što ga čini temom visoke važnosti za daljnje istraživanje. Također je potrebno daljnje znanje o tome može li plastika proći kroz stijenkicu probavnog sustava i ući u meso ribe. Nijedno istraživanje dosad nije pokazalo prijenos mikroplastike kroz probavni sustav ribe, što predstavlja potencijalni rizik za sigurnost hrane za ljude [2].



Slika 7. Pronađena mikroplastika u ribi [12]

#### 4.5. Ptice

Da je plastični otpad opasan za morske ptice poznato je već nekoliko desetljeća, s prvim zapisima koji datiraju iz 1960-ih i 70-ih godina, dok su široko korišteni standardizirani protokoli uzorkovanja mnogo novijih. Neke morske ptice čini se posebno su osjetljive na



gutanje mikroplastike i makroplastike, dok je gutanje plastike zanemarivo kod drugih vrsta. Ptice koje se hrane na površini mora, poput sjevernog galeba, albatrosa i čigri, posebno su izložene, ali plastika je također zabilježena kod vrsta koje rone, poput tupika, a mnoge vrste uopće nisu proučavane.

Tijekom 1990-ih gotovo 30% plastike pronađene u morskim pticama bile su industrijske granule. Nedavno se čini da se to prebacilo na veći udio potrošačke plastike, što može ukazivati na bolju prevenciju ulaska industrijskih granula plastike u okoliš ili općenito proporcionalno povećanje potrošačkog otpada plastike koji završava u moru. Plastične čestice mogu biti namjerno pojedene ili unesene sekundarno kada su skrivene unutar hrane. Gutanje plastike ne samo da predstavlja zdravstveni rizik u vezi s inhibicijom hranjenja i naknadnom glađu, već također izlaže morske ptice kontaminantima povezanim s plastikom i može negativno utjecati na kondiciju ptica (Slika 8) [2].



Slika 8. Unesena plastika u probavnom traktu uginulog albatrosa [13]

#### 4.6. Velike morske životinje

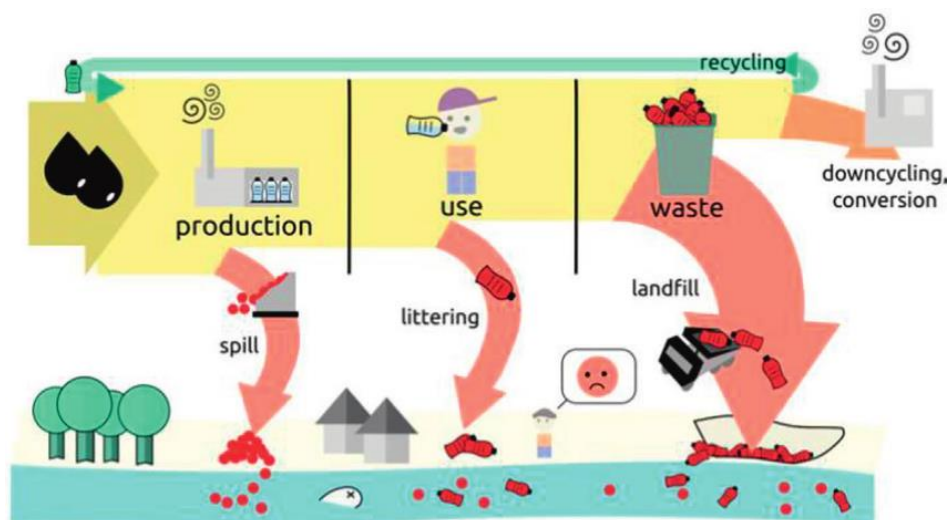
Mnogi veliki morski organizmi su pokazali visoku osjetljivost na plastični otpad. Mesolit je dokumentiran kao smrtonosno štetan za morske sisavce zbog gutanja i zaplitanja. Na primjer, poznato je da morske kornjače direktno stradaju od plastičnog otpada u oceanu, kao što je slučaj u Brazilu gdje je 60,5% kornjača imalo morski otpad u svom probavnom sustavu, pri čemu je većina toga bila plastika. Također postoje brojni izvještaji o nasukanim kitovima ili drugim morskim sisavcima koji su pronađeni mrtvi s velikom količinom ljudskih tvari u želucu, često plastikom. Taj plastični otpad često nije definiran po veličini, vrsti polimera,

podrijetlu ili znanstvenim istraživanjima, s malim uzorcima jer se obično prikupljaju samo pojedinci, međutim ti izvještaji ukazuju na to da su morski sisavci jako pogođeni plastičnim onečišćenjem u oceanu. Osim toga, ne bi bilo etički uhvatiti dovoljan broj velikih morskih sisavaca kako bi se dobila dovoljno velika skupina podataka za statističku potvrdu ovoga. Mnoge vrste kitova, su organizmi koji filtriraju morsku vodu što ih čini izuzetno osjetljivima na gutanje MP. S dugim životnim vijekom i visokim udjelom masti, postoji mogućnost da kitovi nakupljaju POP-ove (*persistent organic pollutants*), ali i da gutaju i nakupljaju MP. Iako, prema našem znanju, nisu provedena istraživanja na polarnim medvjedima, već je poznato da su osjetljivi na mnoge opasne kemikalije povezane s plastikom. Poznato je da sadrže visoku koncentraciju štetnih organskih onečišćivača, kao što su bromirani retardanti plamena koji se nalaze u nekim plastičnim materijalima. Također, ako se plastika bioakumulira, mogu biti izloženi MP iz svoje hrane, kao što je primjerice prstenasta foka koja je njihov primarni izvor hrane [2].

## 5. UTJECAJ MIKROPLASTIKE NA ČOVJEKA

Prema najnovijoj globalnoj procjeni MP, na površini oceana pluta 93-236 tisuća tona MP, što odgovara 51 bilijun čestica. 79% globalnog plastičnog otpada nalazi se na odlagalištima, što čini tlo velikim spremištem MP. Na primjer, 90% švicarskih poplavnih tla sadrži MP na dubinama između 0 i 5 cm [14].

Plastični proizvodi obično se proizvode korištenjem novih resursa, uglavnom naftom baziranih materijala. Međutim, oni gube svoju vrijednost tijekom svog životnog ciklusa zbog curenja duž cijelog lanca vrijednosti, poput gubitka granula, gubitka tijekom prijevoza i skladištenja plastičnog otpada te bacanja smeća, kao i kombiniranog prelijevanja otpadnih voda i loše dizajniranih proizvoda, što dovodi do gubitka u okolišu koji se lako širi i teško se može povratiti, kako je prikazano na slici 9. To dovodi do onečišćenja okoliša, što utječe na divlje životinje i ljudsko blagostanje. Mali postotak se reciklira za ponovnu proizvodnju, dok se ostatak koristi za energetska obnova.



Slika 9. Životni ciklus mikroplastike i plastičnih proizvoda [14]

Primarna MP namjerno se proizvodi za određene namjene, uključujući kozmetičke abrazive, nosače lijekova te industrijske i inženjerske primjene poput pjeskarenja zrakom. Ovu MP obično je teško ukloniti pomoću tehnologija za odlaganje otpadnih voda i jednom kada uđu u otpadne vode, konačno će se nakupljati u okolišu. Sekundarna MP potječe od većih plastičnih predmeta koji se postupno fragmentiraju na manje komadiće pod utjecajem različitih složenih uvjeta okoline poput vjetera, valova, temperature i UV svjetlosti, kao što je već napomenuto.

Izvori MP u oceanu uglavnom uključuju izvore na kopnu, pri čemu 80% uzrokuju obalni turizam, rekreacija, komercijalni ribolov ili primjena plastične ribolovne opreme, dok 18%



uzrokuju brodovi i industrije poput akvakulture i naftnih platformi [14]. Mikroplastika ulazi u tlo putem različitih izvora, uključujući odlagališta, tretmane tla, primjenu kanalizacijskog mulja na tlo, navodnjavanje otpadnim vodama, kompost i organsko gnojivo, ostatke poljoprivrednih folija za pokrivanje, trošenje guma i atmosfersko taloženje.

Mikroplastični otpad može utjecati na tlo stvaranjem pukotina, pora, agronomskim praksama poput oranja i žetve, produženjem korijena biljaka, aktivnostima unošenja i izbacivanja tla od strane raznih organizama. Osim toga, aktivnosti iskopavanja kod životinja vjerojatno najviše doprinose vertikalnom prijenosu MP u tlu; međutim, aktivnosti lova i životnih aktivnosti glista, mogu olakšati horizontalnu distribuciju MP u tlu. Dodatno, vrste plastike također mogu utjecati na migraciju, jer su se pokazale različite interakcije mikroperli i mikrovlakana s agregacijom tla, što može imati potencijalno blokirajući učinak na prijenos MP u tlu. Osim toga, transport može ovisiti o svojstvima površine plastike koju mijenja proces degradacije. Priroda tla utječe na migraciju MP, što dovodi do promjene svojstava tla poput strukture i funkcije tla, kao i mikrobne raznolikosti. Ova mikrobna raznolikost može se prenijeti na biljke i životinje te predstavljati potencijalne probleme za kvalitetu i sigurnost hrane, što na kraju ugrožava ljudsko zdravlje. Sol se uglavnom proizvodi destilacijom morske vode koja sadrži mikroplastične materijale. Teško je izbjeći mikroplastiku u konačnim proizvodima morske soli bez dodatnih postupaka pročišćavanja. Termoplastika poput polietilena, polipropilena i polistirena čine većinu mikroplastike koja se može pronaći u hrani, što čini više od 50%. Vlakna su kritična jer se smatra da uzrokuju toksične učinke pri nižim dozama od sfernih čestica. Na primjer, udio vlakana dosegao je gotovo 100% mikroplastike u morskoj soli i jestivim tkivima riba i školjkaša [14, 15].

Studije pokazuju da ljudska osoba godišnje konzumira najmanje 50.000 mikroplastičnih čestica zbog infiltracije prehrambenog lanca, konzumiranja vode i udisanja zraka. Postoji sedam vrsta izvora koji se mogu smatrati izvorima hrane mikroplastike, a to uključuje flaširanu vodu, pivo, morske plodove (školjke i ribu), sol, vrećice za čaj, konzerviranu hranu i gotove obroke. Voda u plastičnim bocama koja se koristi za piće jedan je od najgorih izvora mikroplastike, što rezultira godišnjim unosom oko 130.000 fragmenata mikroplastike u ljudsko tijelo. Infiltracija se samo pogoršava kada je boca izložena direktnom sunčevom svjetlu. Voda iz slavine sadrži sitne plastične čestice, ali razina u flaširanoj vodi je dvostruko veća od razine u vodi iz slavine. S druge strane, 1 litra piva sadrži 4,05 plastičnih vlakana. Osim toga, školjke su drugi najveći izvor mikroplastike nakon vode jer mnoge morske vrste pogrešno konzumiraju plastične ostatke koji plutaju u oceanu. Sitna plastična vlakna prisutna

su u cijelom njihovom tijelu, uključujući školjke, koje ljudi konzumiraju. Osim toga, 1 kilogram morske soli sadrži 212 čestica mikroplastike. Nadalje, plastične vrećice za čaj, kada se urone u vruću vodu, oslobađaju mikroplastiku u šalici, stoga većina marki koristi papirnate vrećice za čaj. Najveća prijetnja zdravlju kod konzervirane hrane je kemijska tvar BPA jer se koristi za ojačavanje plastike, koja prodire u hranu unutar konzerve i kontaminira je. Konačno, brzi obroci obično se poslužuju u plastičnim posudama, koje dodaju tajni sastojak vašoj prehrani zajedno s drugim hranjivim tvarima – mikroplastikom [14, 15].

Mikroplastični materijali mogu nositi razne kontaminante poput tragova metala i nekih potencijalno štetnih organskih kemikalija. Kemijski materijali mogu iscuriti s plastične površine u tijelo, što dovodi do povećanja potencijala toksičnih učinaka. Osim toga, MP može uzrokovati rak jer ima karcinogene svojstva.

Mikroplastika je pronađena u vodi iz slavine, što može nositi na svojoj površini organizme koji uzrokuju bolesti i djelovati kao vektor za bolesti u okolišu. Osim toga, MP može blokirati probavni trakt malih ptica i riba, kao i uzrokovati unutarnje fizičke ozljede poput posjekotina ili iritacije osjetljivih probavnih tkiva. Istraživači pokazuju da izloženost mikroplastici može dovesti do oksidativnog stresa, oštećenja DNA i upale, među ostalim zdravstvenim problemima. Posebno, kada upala postane kronična, to može otvoriti put vrlo ozbiljnim zdravstvenim problemima.

Voće i povrće imaju kontaminaciju koja se događa kada biljke usisavaju vodu koja sadrži MP kroz svoje korijene. Većina usjeva ima MP, poput krušaka, krumpira, rotkvica i salate. Međutim, jabuke i mrkve imaju najviše razine mikroplastičnih čestica [14, 15].

Nedavna studija je otkrila da ljudi svaki tjedan pojedu 5 grama mikro i nano plastike. Od najudaljenijih dubina oceana do najdubljeg dijela pluća, čini se da su mikroplastike prodrle u svaki dio naših života, uključujući i ljudski probavni sustav. U laboratorijskim testovima, mikroplastike su pokazale da uzrokuju oštećenje ljudskih stanica, uključujući alergijske reakcije, smrt stanica, oštećenje stanica te poticanje upalnih i imunoloških reakcija [14, 15].

Prema Europskoj agenciji za sigurnost hrane (EFSA), još uvijek nema dovoljno informacija i podataka koji objašnjavaju kako je MP prisutna u hrani i kako utječe na ljudsko zdravlje i ponašanje u našem tijelu. Stoga je vrlo važno provesti više istraživanja kako bi se razvile nove metode standardizacije za analizu MP i utvrdio njihov učinak i rizik na ljudsko tijelo. Trenutno nema savjeta od službenih vlasti koji ukazuju na potrebu promjene prehrane navike ili izbjegavanje određene hrane kako bi se izbjegla mikroplastika [14].

## 6. RJEŠENJE ZA SMANJENJE NASTANKA MIKROPLASTIČNOG OTPADA

Ocean Cleanup, neprofitna organizacija (Slika 10.), razvija i širi tehnologije kako bi očistila svjetske oceane od plastike. *“Our aim is to put ourselves out of business once the oceans are clean “ - “Naš je cilj ugasiti posao kada oceani budu čisti” [16].*



Slika 10. Ocean Cleanup organizacija [16]

*“Naš cilj je ukloniti 90% plutajućeg plastičnog otpada iz oceana do 2040. Planiramo to postići čišćenjem postojećeg plastičnog otpada koji već pluta u oceanu i zaustavljanjem izvora plastike koja dopijeva u naše oceane” [16].*

Kako bi se eliminirao učinak mikroplastičnog otpada potrebno je (Slika 11):

1. Smanjiti upotrebu jednokratne plastike.
2. Pravilno reciklirati.
3. Sudjelovati u čišćenju plaža ili rijeka.
4. Izbjegavati proizvode koji sadrže mikroperle.
5. Kupiti filter za vodu i prestati koristiti boce s vodom.
6. Kupiti odjeću koja nije sintetička i ekološki prihvatljiva.
7. Sušiti na zraku, ne koristiti sušilicu.
8. Koristiti javni prijevoz i dati prednost željezničkoj infrastrukturi.
9. Smanjiti konzumaciju mesa i ribe.
10. Koristiti aktivni ugljikov filter na slavini.
11. Koristiti papirnate vrećice umjesto plastičnih vrećica.



Slika 11. Prijedlozi za eliminiranje plastičnog otpada [17, 18, 19, 20]



## 7. UKLANJANJE PLASTIKE IZ VODA

### 7.1. Mehanički procesi

#### 7.1.1. Uklanjanje pomoću mreža

Mikroplastika se nalazi u svim vodnim tijelima (od površine do dna), u mnogim vrstama sedimenta te u raznim tkivima i stanicama vodenih organizama. Različite metode uzorkovanja iz vodenog okoliša zahtijevaju različite vrste opreme za uzorkovanje. Pri uzorkovanju iz vodenog stupca koriste se različite mreže ovisno o visini uzorkovanja vodenog stupca. Površinski uzorci uzimaju se pomoću povlačnih mreža s pravokutnim otvorom i mrežom povezanom s vrećom za sakupljanje, neuston mrežom, katamaran mrežom ili manta mrežom (Slika 12.). Bongo mreže se koriste za uzorkovanje na srednjoj visini vodenog stupca. Za uzorkovanje sedimenta koriste se kutijaste jezgre, željezne žlice ili neplastične lopatice [21].



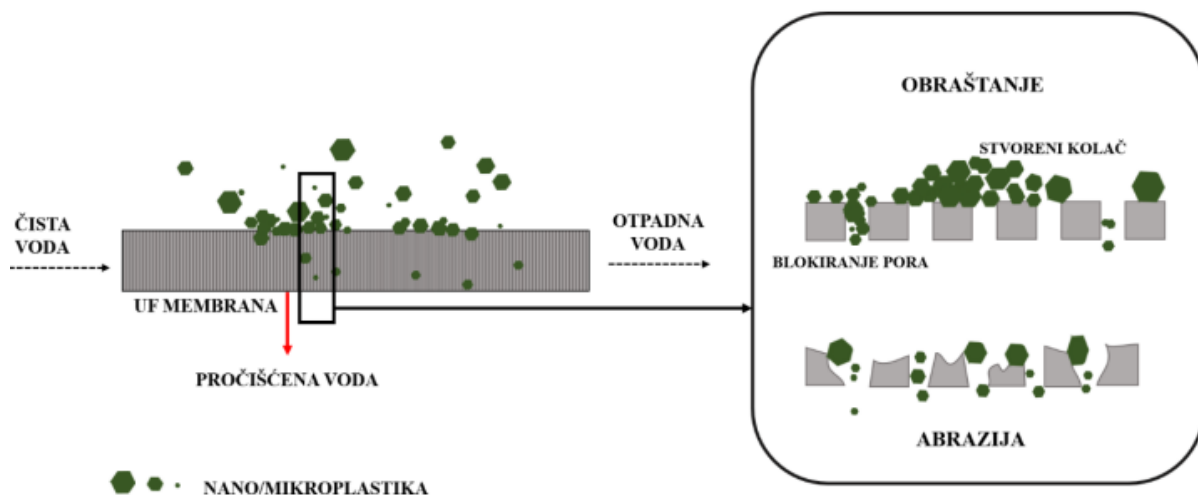
Slika 12. Prikaz katamaran mreže i manta mreže [22]

### 7.1.2. Dinamičke membrane

Dinamičke membrane sve se više koriste u posljednjih 20 godina zbog niske cijene, male potrošnje energije i jednostavnog čišćenja. Princip se temelji na stvaranju kolača koji se sastoji od nakupljenih mikroplastičnih čestica (sekundarna membrana) na površini potporne membrane. Kroz sekundarnu membranu otpadna voda se dodatno filtrira, uklanjajući velike količine prisutnih zagađivača. Prednost ove vrste filtracije je što koristi zagađivače iz otpadne vode za stvaranje filtarskog sloja bez dodavanja kemikalija ili drugih pomoćnih tvari [21].

### 7.1.3. Ultrafiltracija

Čestice mikroplastike odvajaju se zahvaljujući selektivnoj propusnosti membrane. Razdvajanje se temelji na razlikama u tlaku, koncentraciji i naponu. Tijekom ultrafiltracije, hidrostatski tlak gura tekućinu kroz polupropusne membrane s veličinom pora od 2 do 104 nm. Izrađene su od 22 vrste polimernih tvari, prirodnih (celuloza) i sintetičkih (PVC, politetrafluoretilen). CMT (Cross Flow Membrane Technology na engleskom) koristi se za odvajanje bakterija, pesticida, suspendiranih čestica, boja i mikroplastike iz otpadne vode, stvarajući fizičku barijeru za mikroplastiku tako da samo čista voda može proći kroz membranu. Odvajanje se može ubrzati uz pomoć vakuuma ili primjenom vanjskog pritiska na filtriranu otopinu. Čestice mikroplastike sudaraju se jedna s drugom i dalje se fragmentiraju, uzrokujući trošenje njihovih površina. Te čestice nepravilnog oblika tada dopijevaju na površinu membrane, oštećujući je. Ako se filtracija ubrzava vakuumom ili vanjskim tlakom, oštećenje membrane će biti očitije. Iz navedenih razloga koriste se membrane poput keramike i metala koje su otpornije na mehanička oštećenja. Glavni nedostatak ove metode je što se membrana brzo zaprlja, odnosno začepi pore, zbog adsorpcije čestica sličnih mikroplastici prisutnih u filtriranom uzorku, koje zatim tvore sekundarnu membranu (filterski kolač). , što smanjuje učinkovitost odvajanja željenih čestica mikroplastike (Slika 13.) [21].

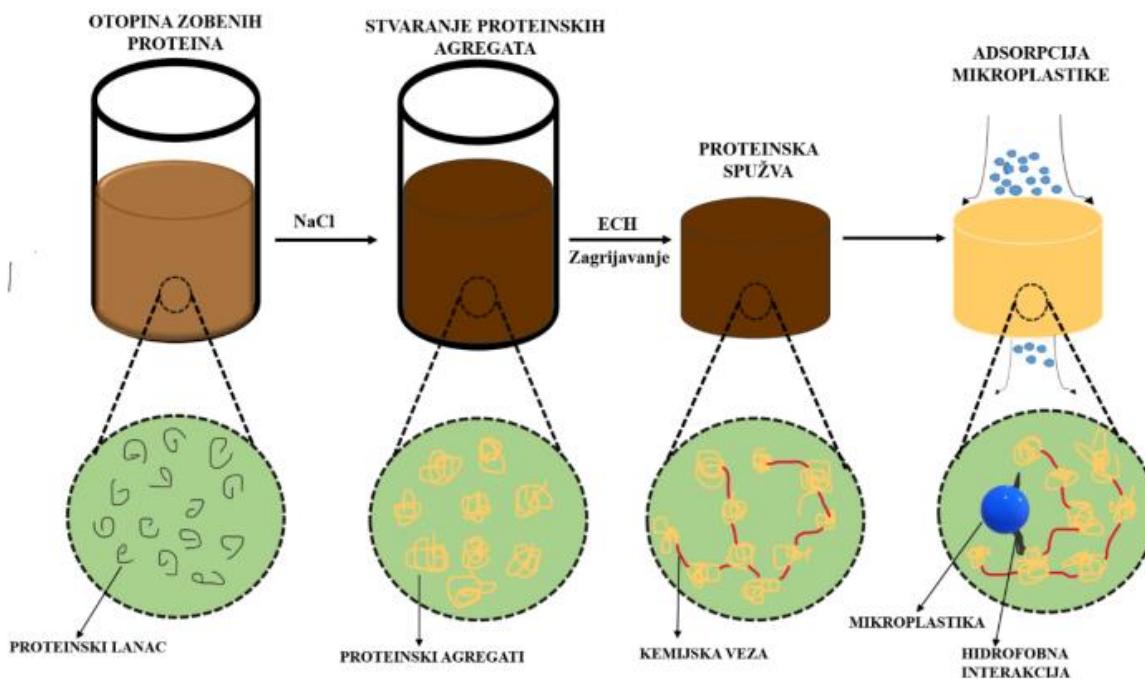


Slika 13. Interakcija mikroplastike s filtracijskom membranom [21]

#### 7.1.4. Adsorpcija na spužvama

Spužve napravljene od biomase su poželjne zbog svoje sposobnosti razgradnje kako bi se izbjegla sekundarna kontaminacija. U mnogim istraživanjima o adsorpciji mikroplastike, korištene su spužve napravljene od hitina i grafenovog oksida koje imaju visoku sposobnost adsorpcije različitih čestica mikroplastike. Prednost ovih spužvi je što se mogu obnoviti i ponovno koristiti. Efikasnost takvih spužvi može doseći i do 89,8% uklonjenih čestica mikroplastike. Međutim, najveći nedostatak im je visoki trošak proizvodnje.

Spužva na bazi zobenih proteina ima iste karakteristike kao i komercijalna spužva od poliuretana (slika 14). Dobra je u upijanju vode te se relativno brzo komprimira. Nova tehnologija izrade spužvi na bazi zobenih proteina omogućila je održavanje ravnomjerne vlaknaste strukture i visoku povezanost strukture pora, što se može kontrolirati pomoću NaCl kako bi se utjecalo na propusnost spužve za vodu. Poželjno ih je koristiti za uklanjanje mikroplastike manjih dimenzija iz vodenih ekosustava. Na sobnoj temperaturi moguće je postići učinkovitost uklanjanja mikroplastike do 81,2% [21].



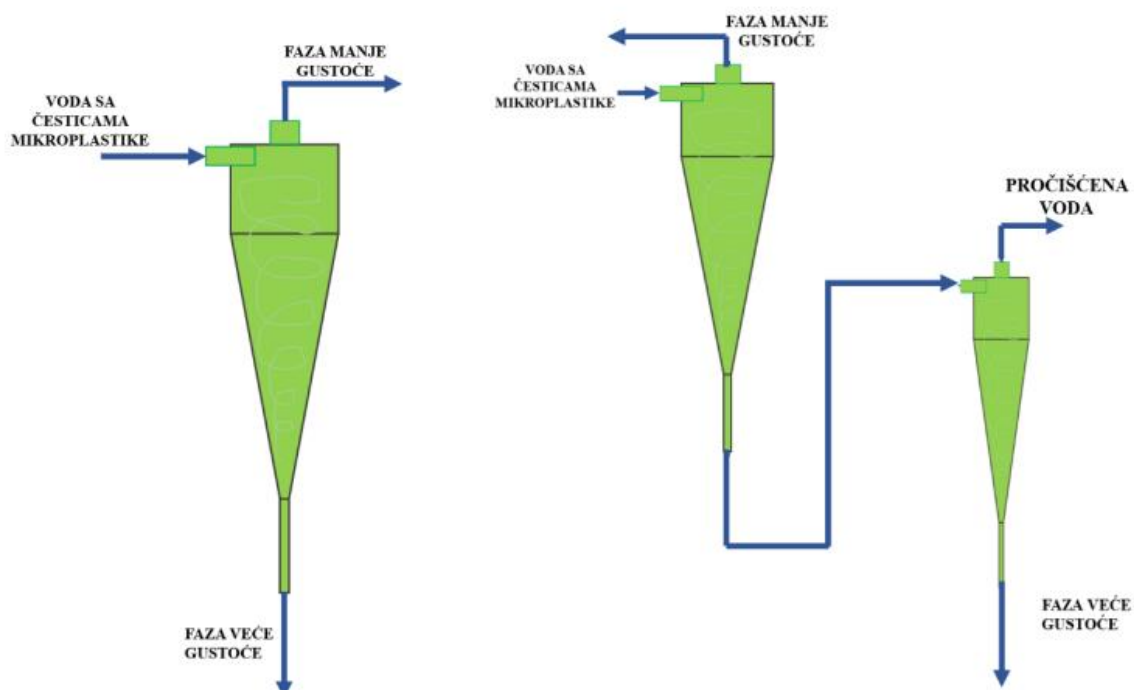
Slika 14. Shematski prikaz proizvodnje spužve na bazi zobnih proteina te adsorpcija mikroplastike [21]

#### 7.1.5. Hidrociklon

Hidrocikloni su uređaji koji se koriste za obradu plastičnog otpada i mogu se koristiti za separaciju mikroplastike. Često se koriste u petrokemijskoj, prehrambenoj, farmaceutskoj industriji i postrojenjima za obradu otpadnih voda. Karakterizira ih visok hidraulički kapacitet opterećenja, brza separacija, isplativost, niski troškovi održavanja, dosljednost i pouzdanost. Rad se temelji na tri glavne sile: centrifugalna sila, sila plutanja i sila otpora.

Hidrocikloni se mogu spojiti u serijski i paralelni sustav. Paralelni spoj konvencionalnih hidrociklona koristi se za uklanjanje grubih čestica mikroplastike iz tekućine koja sadrži mješavinu finih i grubih čestica. Nakon što se odvoje grublje čestice mikroplastike, koristi se paralelni sustav malih hidrociklona za uklanjanje preostalih sitnijih čestica mikroplastike koje konvencionalni hidrociklon ne može ukloniti (Slika 15.) [21].





Slika 15. Prikaz separacije čestica mikroplastike različitih gustoća pomoću hidrociklona [21]

#### 7.1.6. Filtracija pomoću pijeska

Ova se metoda koristi s ciljem odvajanja suspendiranih krutih tvari fizičkom adsorpcijom kroz tri sloja koji se sastoje od antracitnih zrnaca, silicijevog pijeska i šljunka. To je učinkovita metoda za uklanjanje mikroplastike i drugih onečišćujućih čestica iz vode, ali ima veliki nedostatak jer se gornji slojevi začepuju, što zahtijeva zaustavljanje postupka filtracije kako bi se slojevi mogli očistiti povratnim ispiranjem. Čestice mikro- i nanoplastike lako prolaze kroz prvi sloj antracita i dosežu silicijev sloj koji ih vrlo lako adsorbira putem hidrofilne interakcije. Začepljenje sloja zbog adsorpcije čestica mikro- i nanoplastike u silicijevom sloju rezultira smanjenjem učinkovitosti separacije. Ispiranje i čišćenje slojeva, posebno silicijevog sloja, otežano je zbog prisutnosti adsorbiranih čestica mikro- i nanoplastike koje su čvrsto vezane za silicijeva zrnca zbog hidroksilnih skupina na njihovoj površini. Iz tih razloga ova se metoda rijetko koristi [21].

## 7.2. Fizikalno-kemijski procesi

### 7.2.1. Koagulacija

Koagulacija je bitan fizikalno-kemijski proces u postrojenjima za pročišćavanje vode koji se koristi za uklanjanje što veće količine mikroplastike koja bi mogla dospjeti u prehrambeni lanac. Učinak procesa koagulacije ovisi o vrsti mikroplastike, što rezultira različitim efektima

koagulanata. Mikro- i nanoplastične čestice imaju tendenciju stvaranja nestabilnih skupina koje se lako raspršuju pod utjecajem vodene turbulencije tijekom protoka. Upotrebom koagulanasa mogu se formirati čvrste i stabilne strukture koje se mogu ukloniti bez potrebe za lomljenjem putem postupaka sakupljanja ili taloženja [21].

### 7.2.2. Flotacija

Ova metoda se temelji na površinskoj modifikaciji mikroplastike kako bi se promijenila površinska slobodna energija koja je ključna za uklanjanje mikroplastike iz vode. Na taj način se mijenjaju svojstva vlaženja mikroplastike, odnosno ona postaje više hidrofilna i puno se lakše može odvojiti [21].

## 7.3. Kemijski procesi

### 7.3.1. UV fotoliza

Fotoliza je proces razgradnje tvari pod utjecajem svjetlosti. Najčešće se koristi UV svjetlosno zračenje kako bi se stvorili reaktivni intermedijeri i radikali. Budući da fotoliza koristi sunčevo zračenje kao glavni izvor energije, često se koristi za razgradnju plastike. Ultraljubičasto zračenje može promijeniti fizikalna i kemijska svojstva polimera prisutnih u plastičnim česticama, što dovodi do njihove razgradnje. Pod utjecajem UV zračenja različitih valnih duljina, na površini mikročestica plastike nastaju pukotine, što rezultira povećanjem hrapavosti površine čestica i njihovim usitnjavanjem [21].

### 7.3.2. Ozon

Koristi se za obradu različitih onečišćujućih tvari u okolišu, za pročišćavanje vode za piće i otpadnih voda. Budući da se ozon sastoji od tri atoma kisika ( $O_3$ ), to je vrlo nestabilna molekula koja lako reagira s različitim komponentama u vodi. Ozon je snažan oksidans koji mijenja fizikalno-kemijska svojstva mikroplastike, što dovodi do njenog razgradnje. Budući da ozon djeluje uglavnom na površini mikroplastike, ona se ne može potpuno razgraditi, pa se stoga često kombinira s drugim metodama ili se koristi kao predtretman u nekim obradnim procesima [21].

### 7.3.3. Plazma

Ima mnogo slobodnih elektrona koje koristi za stvaranje ozona iz kisika i zraka. Najčešće se koristi za tretiranje otpadnih voda uklanjanjem mikroplastike pomoću reaktivnih kisikovih vrsta koje se generiraju ionizacijom zraka [21].

## 7.4. Biološki procesi

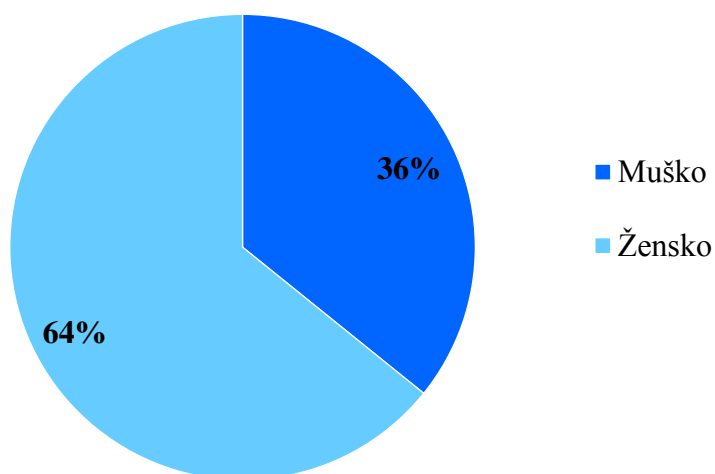
Plastika je u većini slučajeva teško razgradiva, ali unatoč tome, proces razgradnje još uvijek je popularna metoda za njezino uklanjanje zbog svoje ekonomičnosti i ekološke prihvatljivosti. Razgradnja se uglavnom provodi primjenom pojedinačnih ili kombiniranih biokultura kao što su alge, bakterije, kvasci i plijesni. Često se koristi u kombinaciji s drugim metodama kao što je membranska filtracija. Na taj način se može ubrzati razgradnja plastike, iako je za potpunu razgradnju potrebno i do nekoliko desetljeća [21].

## 7.5. Uklanjanje MP kombinacijom procesa

Veća efikasnost uklanjanja mikroplastike postiže se kombinacijom nekoliko različitih metoda, ali sve ovisi o isplativosti takvih poduhvata. Obično se primarni korak u obradi vode sastoji od procesa poput obiranja, sedimentacije, flotacije, koagulacije-flotacije ili filtracije zbog niskih troškova održavanja i relativno jednostavnih zahtjeva provedbe. Efikasnost navedenih procesa ovisi uglavnom o veličini mikroplastike koja se uklanja iz uzorka vode: što su čestice veće, lakše će se i efikasnije ukloniti. Na ovaj način nije moguće razgraditi mikroplastiku, već je samo moguće ukloniti iz onečišćenog uzorka vode, što rezultira muljem koji se mora zbrinuti jer sadrži mikroplastiku i predstavlja ekološki problem. Membranski bioreaktor kombinira fizičke i biološke procese obrade vode. Općenito, biološki procesi obrade kombiniraju se s mikro-, ultra- i nanofiltracijom, čime se postiže 40% veća efikasnost, ali su i troškovi obrade veći. Membranska filtracija općenito može efikasnije ukloniti mikroplastiku iz vode (> 90%) u usporedbi s nekim biološkim procesom, pa se često koristi kao posljednji korak obrade [21].

## 8. REZULTATI ANKETE

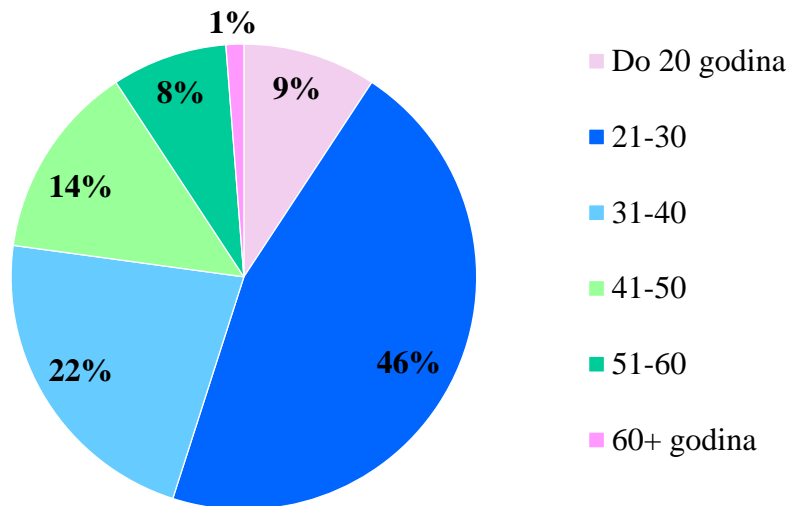
U vezi s izradom diplomskog rada na temu "Utjecaj mikroplastike na živi svijet i okoliš", provedeno je on-line ispitivanje. Istraživanje je provedeno putem društvenih mreža te je nekolicini ispitanika anketni upitnik poslan e-mailom. On-line anketno ispitivanje provedeno je u razdoblju od 1. lipnja 2024. do 26. lipnja 2024. Istraživanje nije sadržavalo točne i netočne odgovore, već je cilj bio prikupiti mišljenja ispitanika. Cilj istraživanja bio je saznati koliko su građani, posebno mladi ljudi u Hrvatskoj, svjesni otpada i okoliša te na koji način doprinose njegovom očuvanju. Upitnik je bio sastavljen od 20 pitanja koja se mogu podijeliti u nekoliko kategorija. Prva kategorija pitanja (1. – 5.) sadržavala je općenite podatke o ispitanicima (spol, dob, vrsta obrazovanja, županija u kojoj žive, te pitanje žive li u gradu ili na selu). Druga kategorija (6. – 9.) sastojala se od pitanja o otpadu i mikroplastici. Treća kategorija (10. – 12.) testirala je znanja ispitanika o problemima gospodarenja otpadom i njihove navike pri postupanju s otpadom iz kućanstava. Četvrta kategorija (13. – 14.) uključivala je pitanja o korištenju plastičnih materijala i pitanje (15.) odnosilo se na njihove stavove prema načinima zaštite okoliša. Sudionici su također bili traženi da ocijene svoja mišljenja i stavove o određenim pitanjima (16. – 20.). U istraživanju je sudjelovalo 162 sudionika te je anketa bila anonimna.



Slika 16. Raspodjela odgovora ispitanika na pitanje kojeg su spola

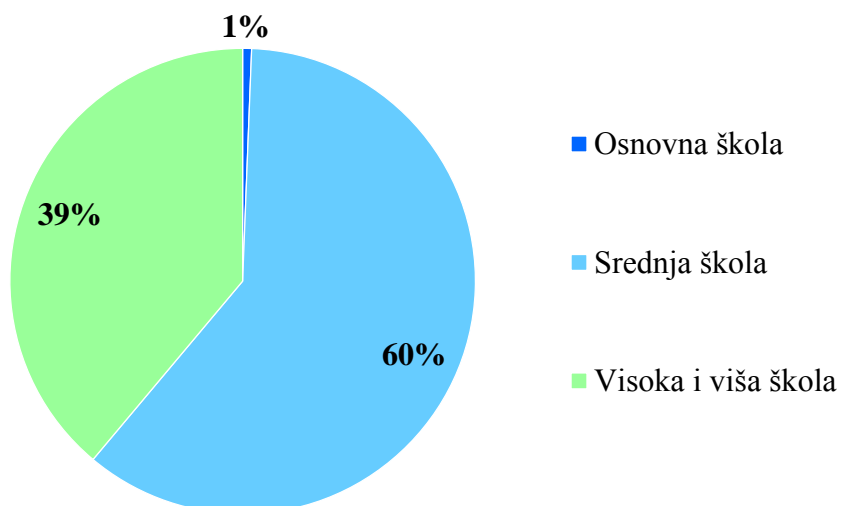
Na početku su postavljena pitanja socio-demografskog tipa. Pokazalo se da je veći udio žena (64%) u usporedbi s muškarcima (36%) (Slika 16.). Prethodne studije pokazale su da spol

ima utjecaj na navike recikliranja, odnosno da su žene sklonije biti više angažirane u odvajanju otpada u usporedbi s muškarcima [23, 24].



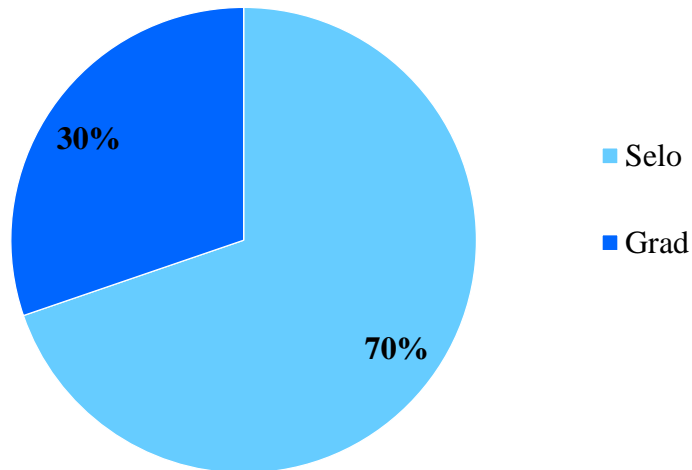
Slika 17. Raspodjela odgovora ispitanika na pitanje koliko imaju godina

Prema prikazanom na Slici 17., najzastupljenija dobna skupina je ona između 21 i 30 godina (46%), dok je najmanje zastupljena dobna skupina ona iznad 61 godine (1%).



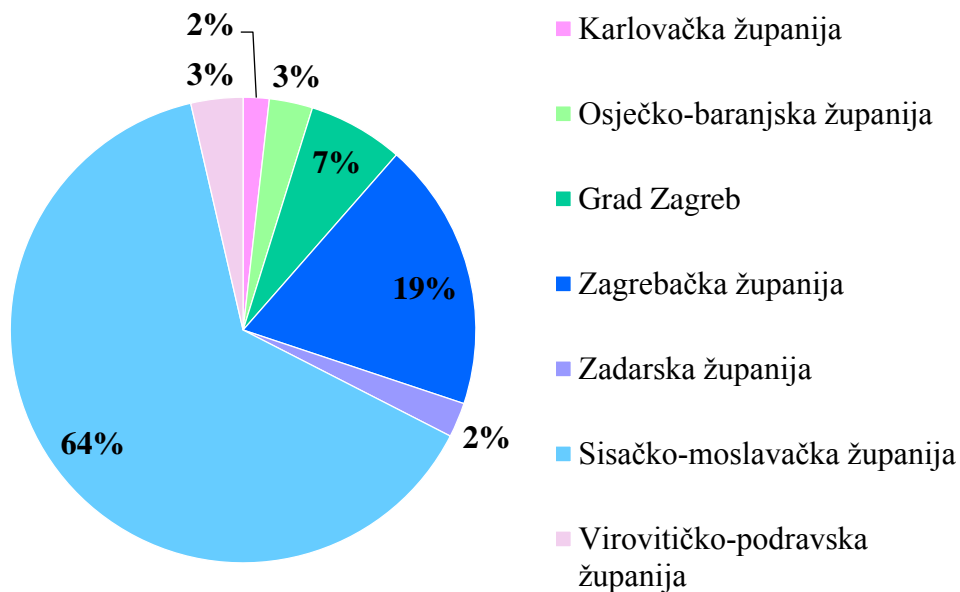
Slika 18. Raspodjela odgovora ispitanika na pitanje koje su školske spreme

Najveći udio ispitanika (60%) ima završenu srednju školu, dok nešto manje ima završenu visoku/višu školu (39%) (Slika 18.).

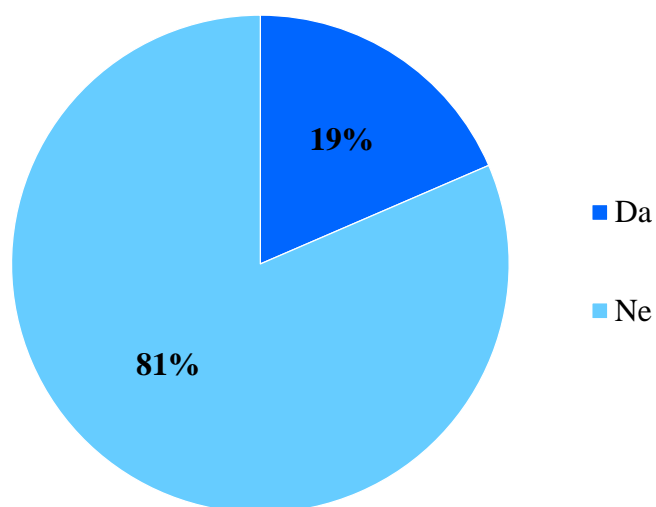


Slika 19. Raspodjela odgovora ispitanika na pitanje gdje žive

Prema rezultatima prikazanim na Slici 19., većina ispitanika živi na selu (70%), dok ostatak ispitanika živi na selu (30%). Što se tiče županije u kojoj ispitanici žive, najviše ih se nalazi u Sisačko-moslavačkoj županiji (64%) (Slika 20.).

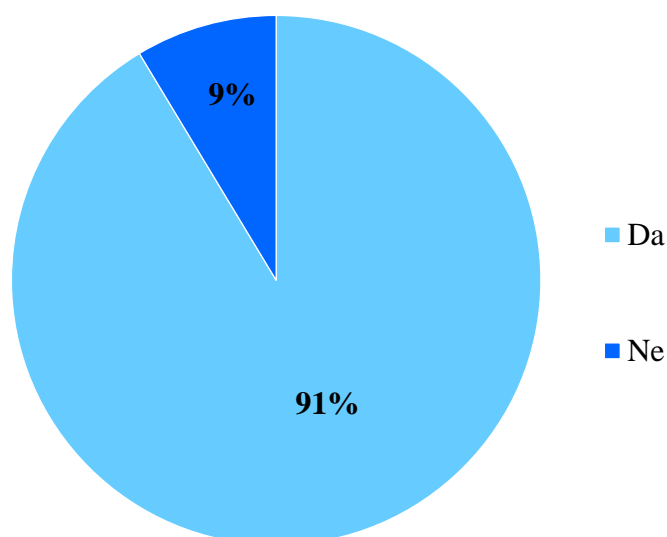


Slika 20. Raspodjela odgovora ispitanika na pitanje iz koje su županije

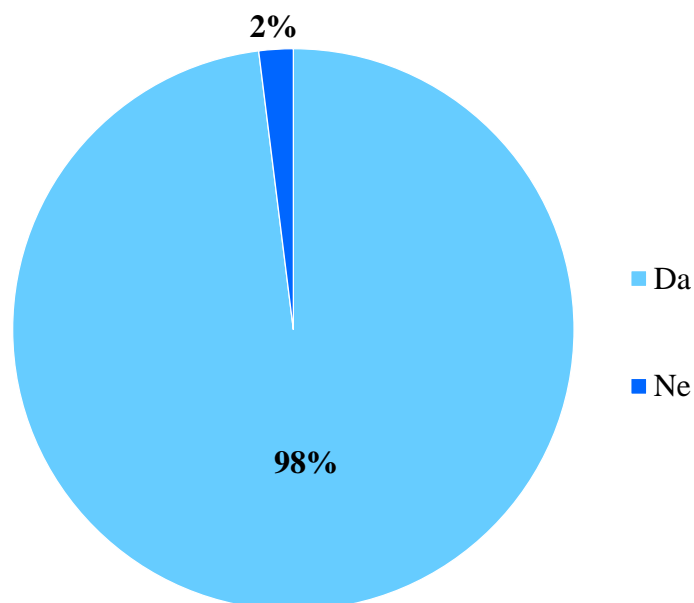


Slika 21. Raspodjela odgovora ispitanika na pitanje je li otpad isto što i smeće

Prema rezultatima prikazanim na Slici 21., većina ispitanika smatra da otpad nije isto što i smeće (81%). Otpad je svaka tvar ili predmet koji posjednik odbacuje, namjerava ili mora odbaciti. Suprotno tome, smeće je pomiješani otpad koji najčešće odlazi na odlagališta, a često završava i na divljim deponijima u prirodi. Način na koji se gospodari otpadom će odrediti hoće li otpad predstavljati problem ili daljnju korisnu sirovinu [25, 26].

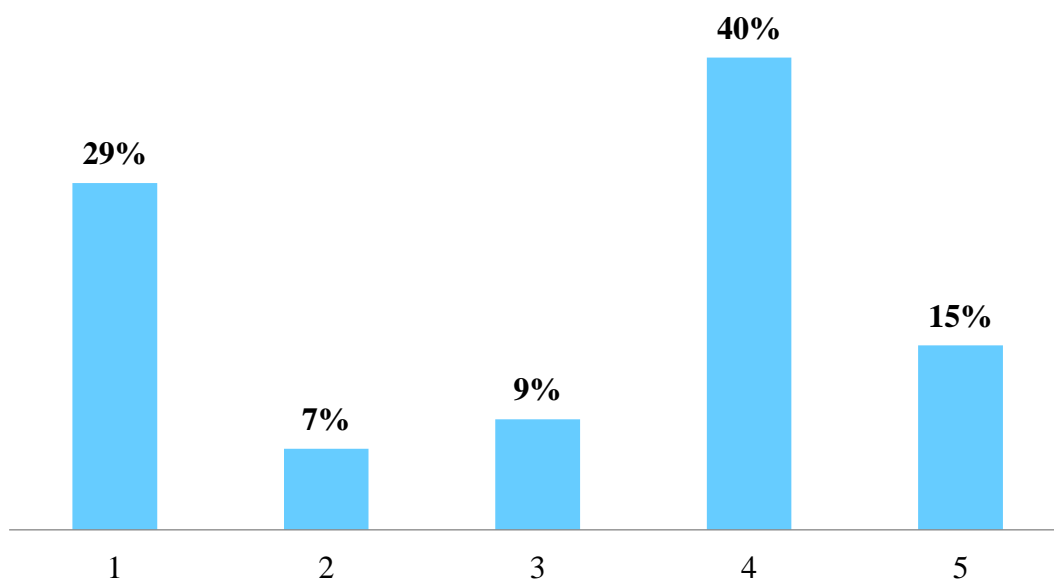


Slika 22. Raspodjela odgovora ispitanika na pitanje jesu li upoznati s pojmom mikroplastika



Slika 23. Raspodjela odgovora ispitanika na pitanje misle li da je mikroplastika štetnija od plastike

Iako pojam mikroplastike predstavlja jednu od novijih tema današnjice, istraživanje je pokazalo da je 91% ispitanika (Slika 22.) upoznato s mikroplastikom i smatra da je mikroplastika štetnija od plastike (98%) (Slika 23).

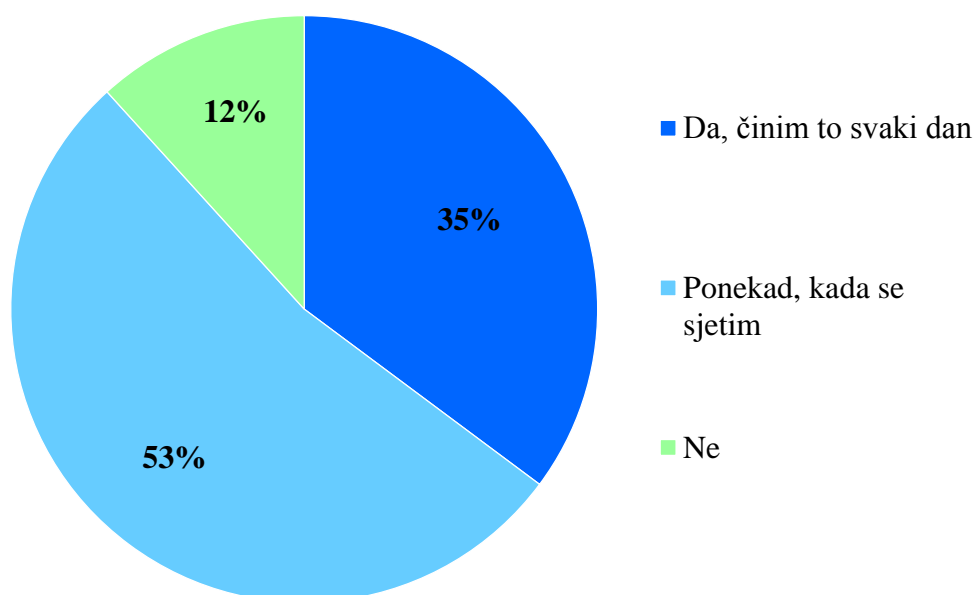


Slika 24. Raspodjela odgovora ispitanika na pitanje koliko su zabrinuti zbog utjecaja plastike i mikroplastike na okoliš (1 znači uopće se ne brinem, a 5 da se jako brinem)



Većina ispitanika, reciklirali ili ne, zabrinuti su zbog utjecaja plastike i mikroplastike na okoliš (Slika 24.).

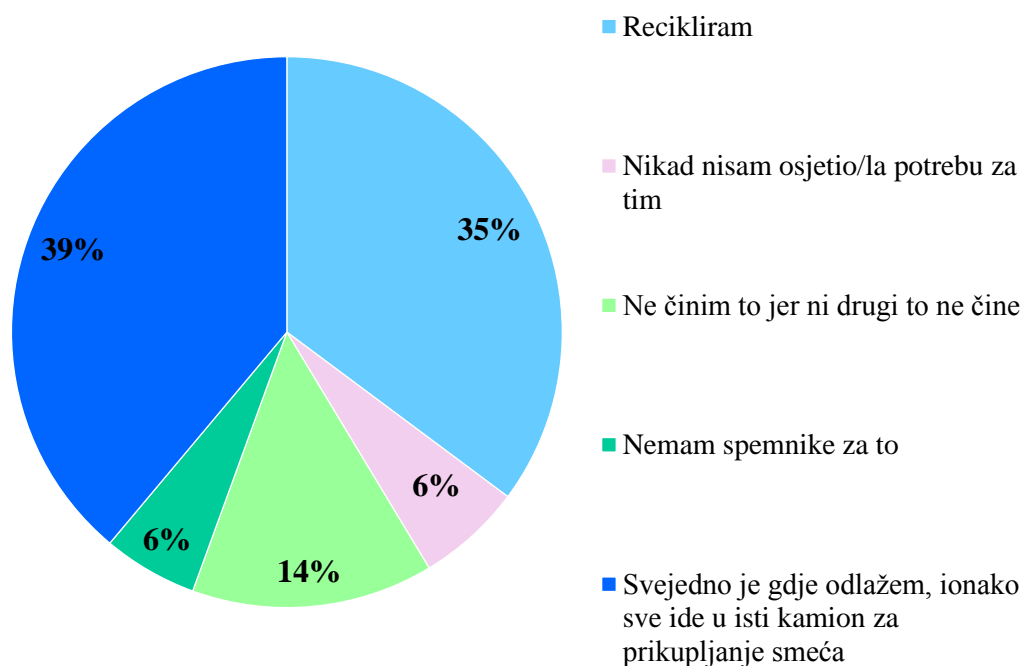
Često se postavljaju pitanja o važnosti recikliranja, načinu funkcioniranja recikliranja i uštedi energije koju recikliranje donosi. Tematike kao što su održivost, održiv način života i zelena filozofija su vrlo opsežne zbog sve veće brige za okoliš. Kada se reciklira, smanjuje se količina otpada na deponijima, sprječava se onečišćenje, čuvaju se prirodni resursi i pomaže se u borbi protiv klimatskih promjena. S ciljem prikupljanja informacija o navikama ispitanika vezanim uz navike recikliranja, ispitanici su upitani, razvrstavaju li otpad u za to predviđene spremnike (Slika 25.).



Slika 25. Raspodjela odgovora ispitanika na pitanje razvrstavaju li otpad u za to predviđene spremnike

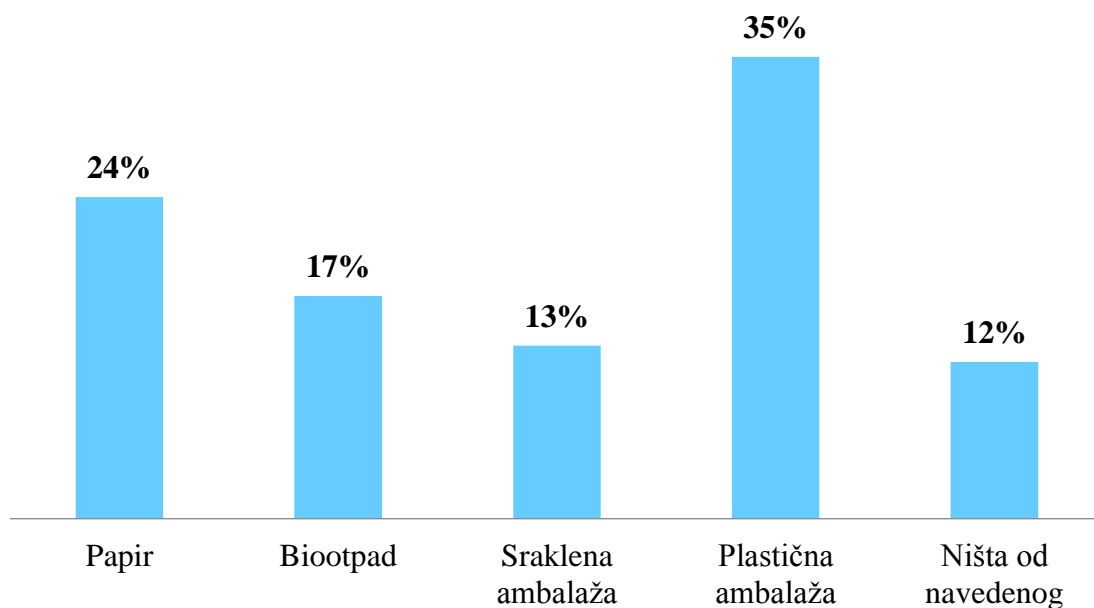
Prema rezultatima prikazanim na Slici 25., istraživanje pokazuje da 53% ispitanika reciklira samo kada se sjeti, 35% ispitanika reciklira svaki dan, dok 12% ispitanika ne reciklira nikako. Vrlo je važno osvijestiti stanovnike o važnosti recikliranja jer velik udio plastičnog otpada dolazi upravo iz kućanstva [27].

Osim toga, potrebno je provoditi edukacije stanovnika o odvojenom sakupljanju otpada na izvoru te osigurati adekvatan broj kanti za razvrstavanje otpada koje bi trebale biti dostupne stanovnicima jer i to mogu biti važni čimbenici koji utječu na sortiranje otpada.

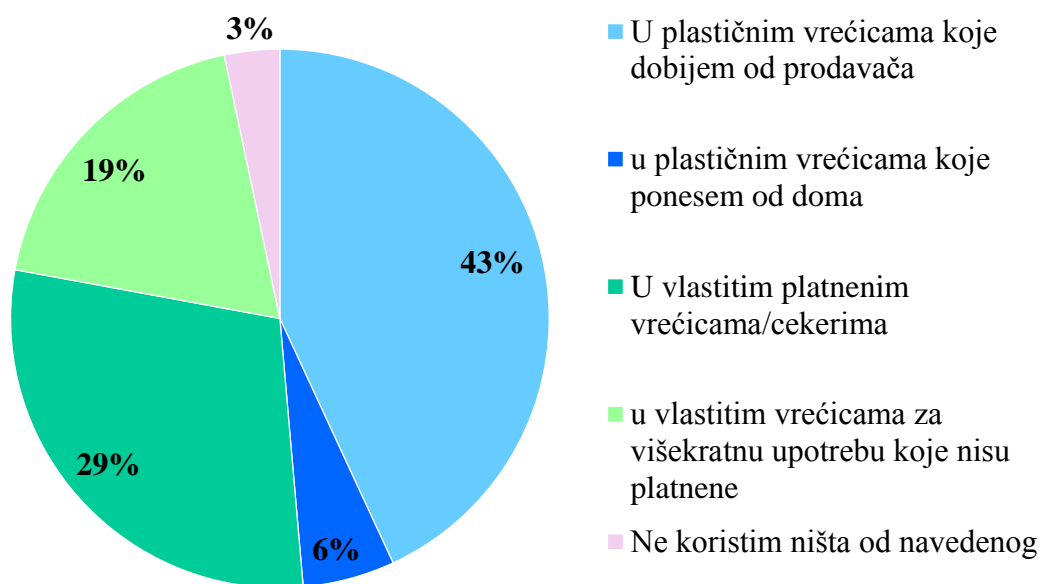


Slika 26. Raspodjela odgovora ispitanika na pitanje koji je razlog što ne recikliraju otpad ili rijetko to čine

Prema prikazanim rezultatima na Slici 26., ispitanici koji ne recikliraju otpad ili to samo povremeno čine, odgovorili su da im je svejedno gdje ga odlažu jer sve završava u istom kamionu za smeće (39%), dok odmah po statistici slijedi odgovor da ne razvrstavaju jer ni drugi to ne čine (14%). Važno je osvijestiti stanovnike o problemima koje otpad može predstavljati jer se smatra kako informiranost o ovim pitanjima može utjecati na pozitivan stav prema recikliranju koji vodi i do na smanjenje zagađenja i aktivnije sudjelovanje u odvajanju otpada [28, 29]. Odlaganje otpada u kućanstvu je osobna stvar i stvar mogućnosti. Na primjer, osobe koje žive na selu imaju veću mogućnost odlaganja i recikliranja biootpada putem komposta kako bi dobile humus, za razliku od ljudi koji žive u zgradama.

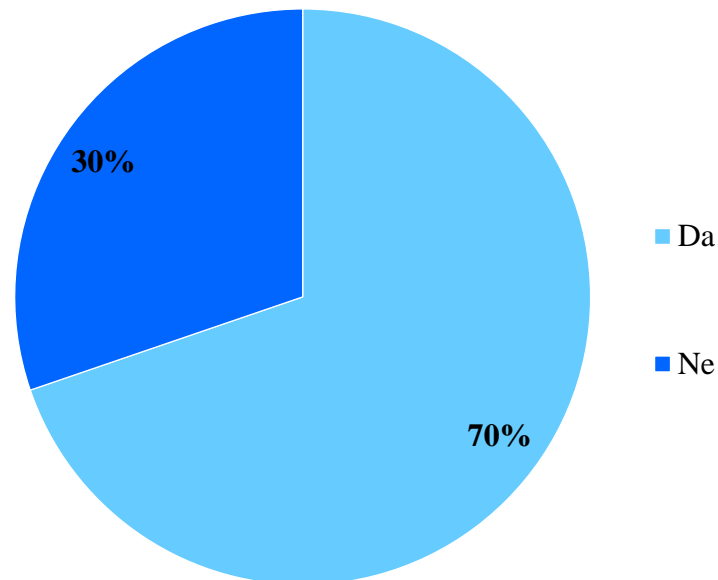


Slika 27. Raspodjela odgovora ispitanika na pitanje koju vrstu otpada najviše recikliraju  
 Prema rezultatima prikazanim na Slici 27., ispitanici koji recikliraju, ili ponekad to čine, najviše recikliraju plastičnu ambalažu (35%), a nakon nje papir (24%).



Slika 28. Raspodjela odgovora ispitanika na pitanje u čemu najčešće odnose kupljene namirnice prilikom kupovine

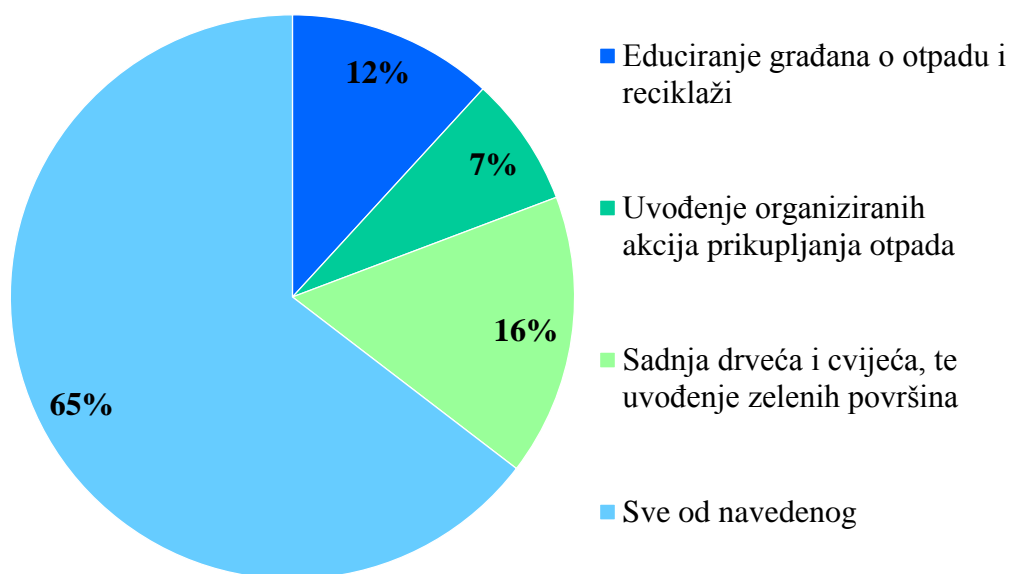
Iz slike 28. vidi se kako 43% ispitanika prilikom kupnje koristi plastične vrećice, dok njih 29% koristi one platnene. Također, 19% koristi vlastitu vrećicu za višekratnu upotrebu koja nije platnena. Manji udio ispitanih izjasnio se kako ne koristi niti jednu vrećicu (3%) jer namirnice nose u rukama ili ruksaku/torbi.



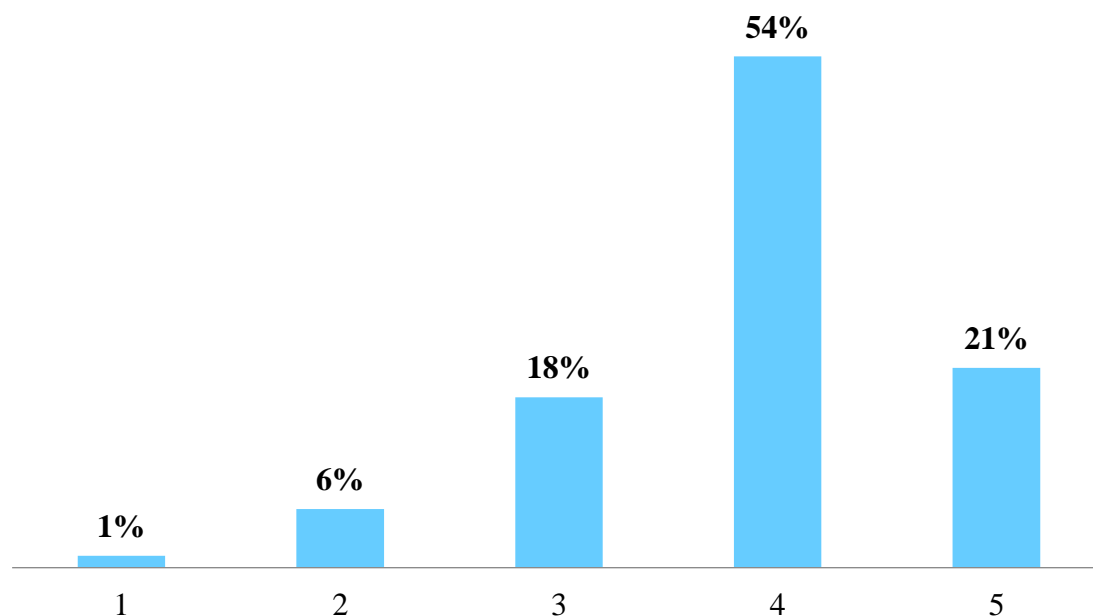
Slika 29. Raspodjela odgovora ispitanika na pitanje podržavaju li zabranu/smanjenje upotrebe plastičnih vrećica, tanjura, pribora za jelo, slamki

Rezultati prema slici 29. pokazuju kako 70% ispitanika podržava zabranu upotrebe navedenih proizvoda i uvođenje papirnatih, a ostali dio od 30% ne podržava zabranu.

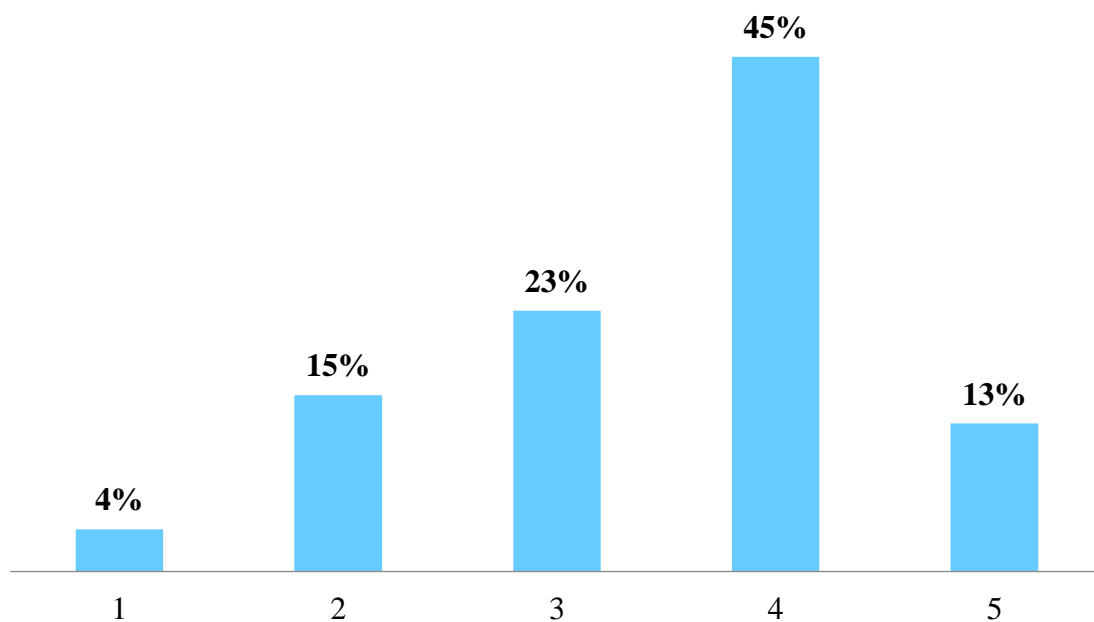
Na pitanje što bi se promijenili od navedenog u svom mjestu s ciljem zaštite okoliša i prirode (Slika 30.), ispitanici smatraju da bi trebalo više educirati građane, uvesti akcije prikupljanja otpada i organizirati i poduprijeti ljude u sadnji drveća i cvijeća, odnosno širenja zelenih površina.



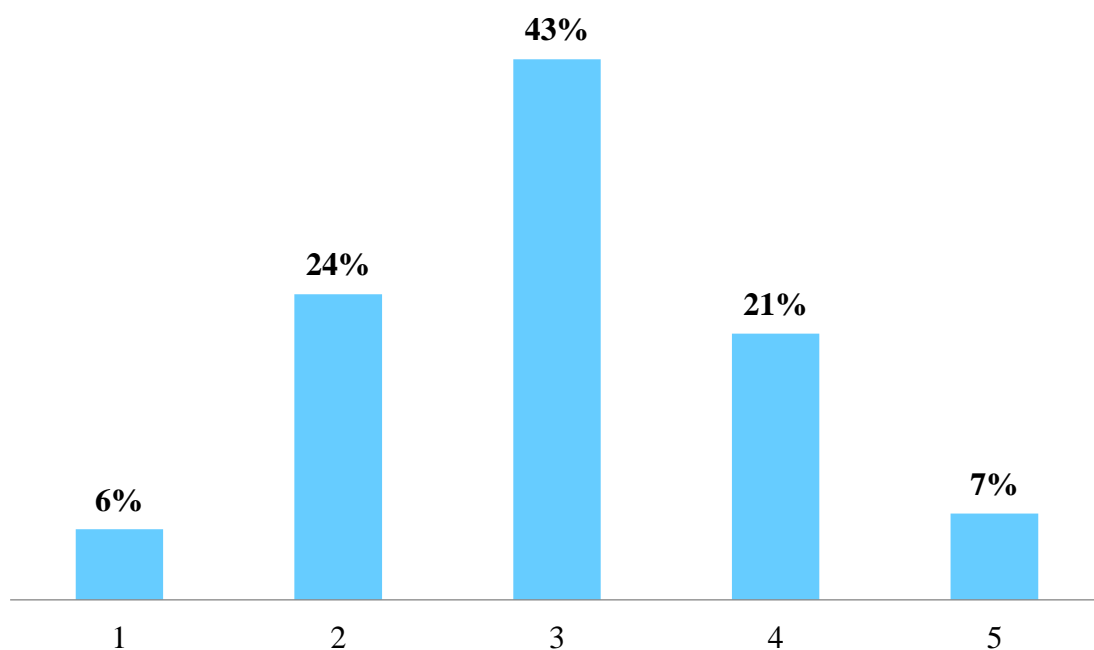
Slika 30. Raspodjela odgovora ispitanika na pitanje što bi od navedenog promijenili u svome gradu/selu s ciljem zaštite okoliša i prirode



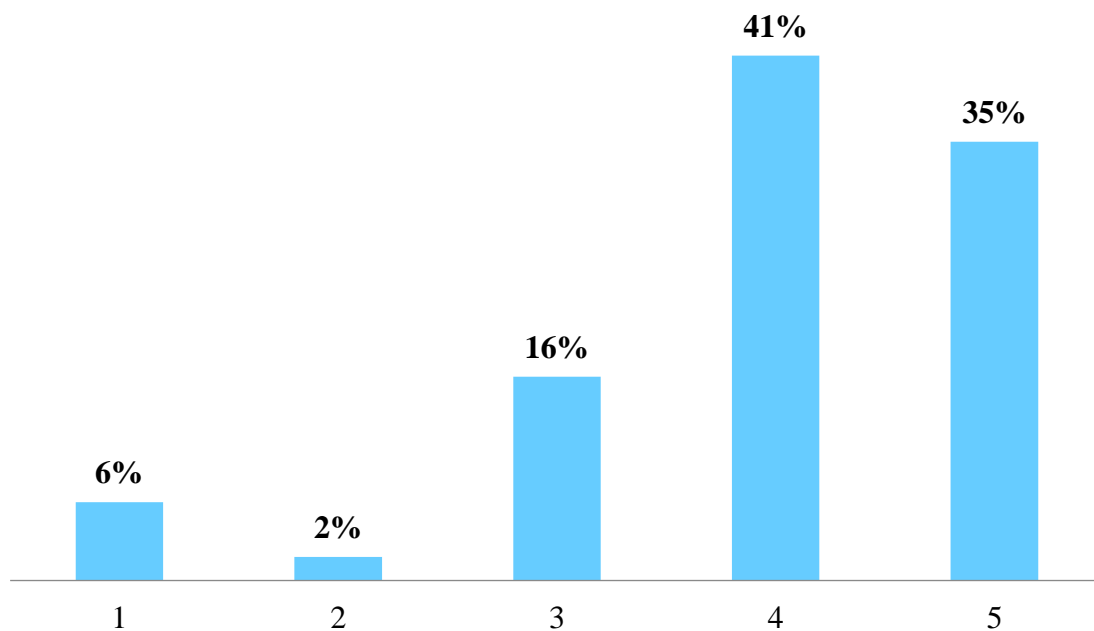
Slika 31. Raspodjela odgovora ispitanika na pitanje njihovog stava kupuje li se i baca li se u Hrvatskoj previše plastičnih vrećica (1 znači uopće se ne slažem, a 5 da se u potpunosti slažem)



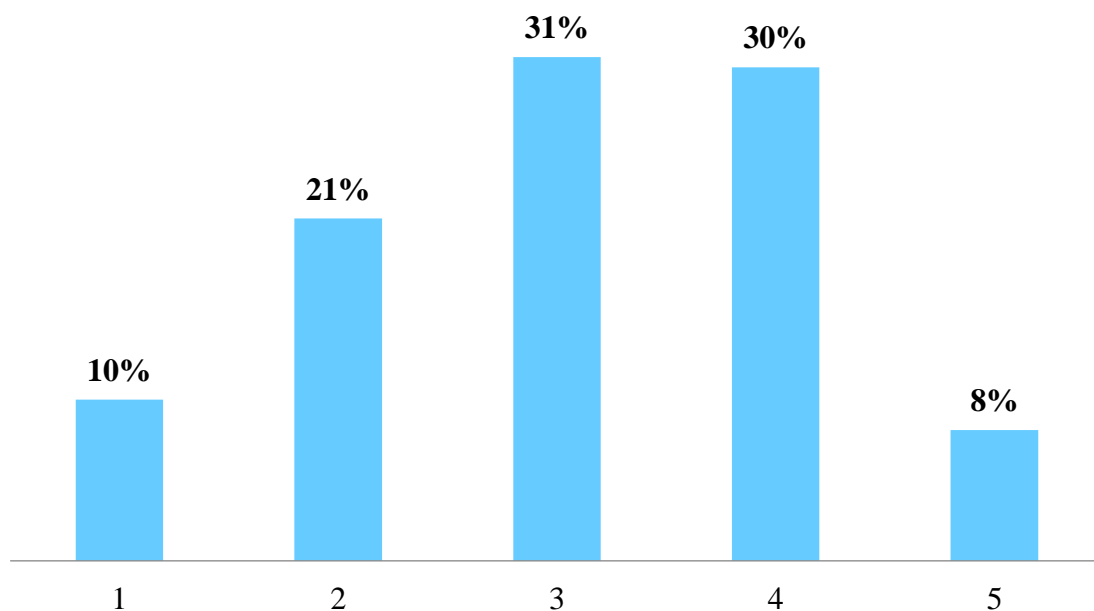
Slika 32. Raspodjela odgovora ispitanika na pitanje njihovog stava spadaju li plastične vrećice među najveće zagađivače okoliša (1 znači uopće se ne slažem, a 5 da se u potpunosti slažem)



Slika 33. Raspodjela odgovora ispitanika na pitanje njihovog stava smatraju li se ekološki osviještenom osobom (1 znači uopće se ne slažem, a 5 da se u potpunosti slažem)



Slika 34. Raspodjela odgovora ispitanika na pitanje njihovog stava jesu li za zaštitu prirodnog okoliša nužne velike društvene promjene (1 znači uopće se ne slažem, a 5 da se u potpunosti slažem)



Slika 35. Raspodjela odgovora ispitanika na pitanje njihovog stava zloupotrebljavaju li ljudi žestoko okoliš (1 znači uopće se ne slažem, a 5 da se u potpunosti slažem)

Prema rezultatima prikazanim na Slici 31. – Slici 35., ispitanici su se izjasnili kako se slažu da se u Hrvatskoj kupuje i baca previše plastičnih vrećica, te da su nužne velike društvene promjene. Također, slažu se da plastične vrećice spadaju među najveće zagađivače okoliša.

Plastične vrećice koje se najčešće koriste u trgovinama su opasne jer se mogu raspadati u mikroplastiku koja može biti štetna, a također mogu ozlijediti i ubiti životinje ako ih progutaju ili se zapetljaju u njih. Iako se ove vrećice tehnički mogu reciklirati, nije preporučljivo bacati ih u običnu kantu za smeće, bilo kod kuće ili na ulici. Plastične vrećice su najveći zagađivač jer često uzrokuju kvarove u reciklažnim strojevima - često se zapetljaju u dijelove opreme i zaustavljaju cijeli sustav koji se mora ručno očistiti i ponovno pokrenuti.

Pravilno recikliranje ne mora biti komplicirano. Većina se trudi dati sve od sebe, ali ponekad je teško znati kako i gdje reciklirati svaki komad ambalaže. Zato je važno provoditi edukacije i usvojiti jednostavnu rutinu koja će se lako uklopiti u svakodnevne navike stanovnika.



## 9. ZAKLJUČAK

Mikroplastika predstavlja mnogo veći izazov za uklanjanje zbog svoje male veličine i ogromne količine, koja može ostati aktivna godinama. Male čestice MP služe kao nosači bakterija i perzistentnih organskih zagađivača, koji se smatraju biorazgradivim materijalima. Osim toga, sastoje se od kemijskih materijala koji su opasni za ljudsko i životinjsko zdravlje u visokim koncentracijama. Mnogi izvori hrane i odlagališta imaju mikroplastični otpad koji direktno ili indirektno ulazi u ljudsko tijelo konzumiranjem hrane ili udisanjem zraka, što utječe na ljudsko zdravlje. Utvrđeno je da osoba godišnje pojede najmanje 50.000 čestica MP. Ipak, nema dovoljno podataka koji bi pomogli da se sazna kako MP utječe na ljude. Međutim, postoje neka rješenja za eliminiranje utjecaja MP na ljude i životinje. Stoga je vrlo važno provesti više istraživanja kako bi se razvile nove metode standardizacije za analizu MP i utvrdilo njihovo djelovanje i rizik na ljudsko tijelo.

Kako je jedan dio ovog rada bio cilj provesti istraživanje jesu li i koliko stanovnici osviješteni na temu otpada i recikliranja, na temelju dobivenih rezultata može se zaključiti da ispitanici imaju određenu svijest o ekološkom ponašanju. Međutim, unatoč tome, i dalje veći dio ispitanika ne reciklira ili to ponekad čini kada se sjeti. Također, usprkos određenoj svijesti o štetnosti plastike i mikroplastike, često koriste plastične vrećice na prodajnim mjestima gdje se one i dalje dijele besplatno. Budući da u Hrvatskoj, kao i u svijetu, još uvijek nema prikladne zamjene za većinu plastične ambalaže, ispitanici se uglavnom oslanjaju na praktičnost i dostupnost proizvoda, a tek onda na ekološku prihvatljivost. Prema rezultatima ovog istraživanja, prema osobnom mišljenju, potrebno je uvesti neke ozbiljne edukacije za ljude, ne samo na području Hrvatske već i šire. Unatoč tome što se u javnosti pridaje veliki značaj recikliranju, i postoji javna potpora, to se ne odražava u ponašanjima i akcijama pojedinaca. Potrebno je osvijestiti ljude, bilo to putem konferencija, televizijskih programa, školskih programa ili sankcija, putem novčanih kazni.

## 10.LITERATURA

- [1] Radovan A.: „Mikroplastika - nevidljiva prijetnja zdravlju i okolišu”, završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Varaždin, 2019.
- [2] Annual production of plastics worldwide from 1950 to 2022, <https://www.statista.com/statistics/282732/global-production-of-plastics-since-1950/>, pristupljeno: 26.5.2024.
- [3] Bråte I. L., Halsband C., Allan I., Thomas, K.: „Microplastics in marine environments: Occurrence, distribution and effects”, Report made for the Norwegian Environment Agency, NIVA, Oslo (2014.), ISBN 978-82-577-6489-0
- [4] Our Ocean’s Future Is At Risk, <https://dev.clearblueseas.org/about-us/>, pristupljeno: 10.7.2024.
- [5] SUROVA REALNOST Pogledajte što plastika čini morskim životinjama, <https://www.morski.hr/surova-realnost-pogledajte-sto-plastika-cini-morskim-zivotinjama/>, pristupljeno: 10.7.2024.
- [6] Spasite planet: Možete učiniti jako puno s malom promjenom, <https://www.24sata.hr/native-sadrzaj/spasite-planet-mozete-uciniti-jako-puno-s-malom-promjenom-625411>, pristupljeno: 10.7.2024.
- [7] Guić R.: „Mikroplastika u morskom okolišu”, završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2016.
- [8] Ljudi udišu do pet grama plastike sedmično, dovoljno za izradu bankovne kartice, <https://infodan.ba/ljudi-udisu-do-pet-grama-plastike-sedmicno-dovoljno-za-izradu-bankovne-kartice/>, pristupljeno: 15.7.2024.
- [9] Marceljak Ilić M.: „Mikroplastika u podzemnim vodama RH”, Speleolog, 70 (2022.), 92-103.
- [10] Bez mikroplastike, <https://tvrka.kaufland.hr/ljudi-okolis/mikroplastika.html>, pristupljeno: 15.7.2024.
- [11] Utjecaj mikroplastike na ljudsko zdravlje, <https://www.zzjzdnz.hr/zdravlje/okolis-i-zdravlje/utjecaj-mikroplastike-na-ljudsko-zdravlje>, pristupljeno: 15.7.2024.

- [12] From Fish to Humans, A Microplastic Invasion May Be Taking a Toll, <https://www.scientificamerican.com/article/from-fish-to-humans-a-microplastic-invasion-may-be-taking-a-toll/>, pristupljeno: 15.7.2024.
- [13] Seabirds eat floating plastic debris because it smells like food, study finds, <https://www.theguardian.com/environment/2016/nov/09/seabirds-eat-floating-plastic-debris-because-it-smells-like-food-study-finds-algae-sulfur>, pristupljeno: 15.7.2024.
- [14] Ahmad J.: „Effect of Microplastic on the Human Health”, *Advances and Challenges in Microplastics*, IntechOpen, Rijeka, (2023.), ISBN 978-1-83768-304-8
- [15] The potential impact of nano- and microplastics on human health: Understanding human health risks, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935124004390>, pristupljeno: 3.6.2024.
- [16] The Ocean Cleanup, <https://theoceancleanup.com/about/>, pristupljeno: 4.6.2024.
- [17] Plastic bag, <https://www.vecteezy.com/free-vector/plastic-bag>, pristupljeno: 15.7.2024.
- [18] Why should you air dry your laundry? Let's count the ways, <https://www.washingtonpost.com/climate-solutions/2023/05/14/laundry-air-dry-energy-saving/>, pristupljeno: 15.7.2024.
- [19] The Problem: Cap Craze, <https://stopthecaps.org/the-problem>, pristupljeno: 15.7.2024.
- [20] No to pollution of disposable plastic bottles, Yes to life-saving water containers, <https://www.change.org/p/department-of-trade-and-industry-no-to-pollution-of-disposable-plastic-bottles-yes-to-life-saving-water-containers>, pristupljeno: 15.7.2024.
- [21] Švegović L., „Mikroplastika u vodenom okolišu”, završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2022.
- [22] Manta trawl net, 70 x 30 cm, <https://www.kc-denmark.dk/products/manta-net/manta-trawl-net,-70-x-30-cm.aspx>, pristupljeno: 26.8.2024.
- [23] Ekere W., Mugisha J., Drake L.: „Factors influencing waste separation and utilization among households in the Lake Victoria crescent, Uganda”, *Waste Management*, 29 (2009.) 12, 3047–3051, PMID: 19740642

- [24] Padilla A. J., Trujillo J. C.: „Waste disposal and households' heterogeneity. Identifying factors shaping attitudes towards source-separated recycling in Bogotá, Colombia”, *Waste Management*, 74 (2018.), 16–33, PMID: 29258776
- [25] Zakon o gospodarenju otpadom (NN 84/21, 142/23), <https://www.zakon.hr/z/2848/Zakon-o-gospodarenju-otpadom>, pristupljeno: 26. 7. 2024.
- [26] Reducing loss of resources from waste management is key to strengthening the circular economy in Europe, <https://www.eea.europa.eu/publications/reducing-loss-of-resources-from>, pristupljeno: 26. 7. 2024.
- [27] Boucher J., Friot D.: „Primary Microplastics in the Oceans: a Global Evaluation of Sources”, IUCN, ISBN: 978-2-8317-1827-9, Gland, Switzerland, (2017.).
- [28] Hasan S. E.: „Public Awareness Is Key to Successful Waste Management”, *Journal of environmental science and health, Part A, Toxic/hazardous substances & environmental engineering*, 39 (2004.) 2, 483-92., PMID: 15027831
- [29] Nasir N. et al.: „Plastic waste knowledge of households towards a sustainable environment”, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1151 (2023) 1, pp. 012010, ISSN: 1755-1307.

## 11.PRILOZI

### 11.1. Popis slika

Slika 1. Ukupna godišnja proizvodnja plastike [2]	2
Slika 2. Utjecaj plastike na životinje [4, 5, 6]	4
Slika 3. Mikroplastika pronađena na plaži [8]	5
Slika 4. Primarna mikroplastika koja nastaje u procesu proizvodnje (naznačeno plavom bojom) i sekundarna mikroplastika koja nastaje razgradnjom većih komada plastike (naznačeno crvenom bojom) [10]	7
Slika 5. Unos mikroplastike i toksičnih spojeva putem hranidbenog lanca [11]	8
Slika 6. Mikrofotografija prisutnosti plastike u organizmu škampa [1]	10
Slika 7. Pronađena mikroplastika u ribi [12]	11
Slika 8. Unesena plastika u probavnom traktu uginulog albatrosa [13]	12
Slika 9. Životni ciklus mikroplastike i plastičnih proizvoda [14]	14
Slika 10. Ocean Cleanup organizacija [16]	17
Slika 11. Prijedlozi za eliminiranje plastičnog otpada [17, 18, 19, 20]	18
Slika 12. Prikaz katamaran mreže i manta mreže [22]	19
Slika 13. Interakcija mikroplastike s filtracijskom membranom [21]	21
Slika 14. Shematski prikaz proizvodnje spužve na bazi zobenih proteina te adsorpcija mikroplastike [21]	22
Slika 15. Prikaz separacije čestica mikroplastike različitih gustoća pomoću hidrociklona [21]	23
Slika 16. Raspodjela odgovora ispitanika na pitanje kojeg su spola	26
Slika 17. Raspodjela odgovora ispitanika na pitanje koliko imaju godina	27
Slika 18. Raspodjela odgovora ispitanika na pitanje koje su školske spreme	27
Slika 19. Raspodjela odgovora ispitanika na pitanje gdje žive	28
Slika 20. Raspodjela odgovora ispitanika na pitanje iz koje su županije	28
Slika 21. Raspodjela odgovora ispitanika na pitanje je li otpad isto što i smeće	29
Slika 22. Raspodjela odgovora ispitanika na pitanje jesu li upoznati s pojmom mikroplastika	29
Slika 23. Raspodjela odgovora ispitanika na pitanje misle li da je mikroplastika štetnija od plastike	30
Slika 24. Raspodjela odgovora ispitanika na pitanje koliko su zabrinuti zbog utjecaja plastike i mikroplastike na okoliš (1 znači uopće se ne brinem, a 5 da se jako brinem)	30

Slika 25. Raspodjela odgovora ispitanika na pitanje razvrstavaju li otpad u za to predviđene spremnike _____	31
Slika 26. Raspodjela odgovora ispitanika na pitanje koji je razlog što ne recikliraju otpad ili rijetko to čine _____	32
Slika 27. Raspodjela odgovora ispitanika na pitanje koju vrstu otpada najviše recikliraju ____	33
Slika 28. Raspodjela odgovora ispitanika na pitanje u čemu najčešće odnose kupljene namirnice prilikom kupovine _____	33
Slika 29. Raspodjela odgovora ispitanika na pitanje podržavaju li zabranu/smanjenje upotrebe plastičnih vrećica, tanjura, pribora za jelo, slamki _____	34
Slika 30. Raspodjela odgovora ispitanika na pitanje što bi od navedenog promijenili u svome gradu/selu s ciljem zaštite okoliša i prirode _____	35
Slika 31. Raspodjela odgovora ispitanika na pitanje njihovog stava kupuje li se i baca li se u Hrvatskoj previše plastičnih vrećica (1 znači uopće se ne slažem, a 5 da se u potpunosti slažem) _____	35
Slika 32. Raspodjela odgovora ispitanika na pitanje njihovog stava spadaju li plastične vrećice među najveće zagađivače okoliša (1 znači uopće se ne slažem, a 5 da se u potpunosti slažem) _____	36
Slika 33. Raspodjela odgovora ispitanika na pitanje njihovog stava smatraju li se ekološki osviještenom osobom (1 znači uopće se ne slažem, a 5 da se u potpunosti slažem) _____	36
Slika 34. Raspodjela odgovora ispitanika na pitanje njihovog stava jesu li za zaštitu prirodnog okoliša nužne velike društvene promjene (1 znači uopće se ne slažem, a 5 da se u potpunosti slažem) _____	37
Slika 35. Raspodjela odgovora ispitanika na pitanje njihovog stava zloupotrebljavaju li ljudi žestoko okoliš (1 znači uopće se ne slažem, a 5 da se u potpunosti slažem) _____	37