

# Problematika mikroplastike u moru i površinskim vodotocima

---

Hegedušić, Andreja

Undergraduate thesis / Završni rad

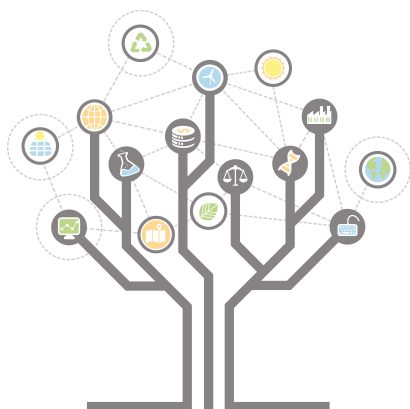
2019

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:195352>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-04-19**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**

**GEOTEHNIČKI FAKULTET**

**ANDREJA HEGEDUŠIĆ**

**PROBLEMATIKA MIKROPLASTIKE U MORU I POVRŠINSKIM VODOTOCIMA**

**ZAVRŠNI RAD**

**VARAŽDIN, 2019.**

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**

**GEOTEHNIČKI FAKULTET**

**ZAVRŠNI RAD**

**PROBLEMATIKA MIKROPLASTIKE U MORU I POVRŠINSKIM VODOTOCIMA**

**KANDIDAT:**

**ANDREJA HEGEDUŠIĆ**

**MENTOR:**

**izv. prof. dr. sc. ALEKSANDRA ANIĆ VUČINIĆ**

**VARAŽDIN, 2019.**



Sveučilište u Zagrebu  
Geotehnički fakultet



## ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnica: ANDREJA HEGEDUŠIĆ

Matični broj: 2600 - 2015./2016.

### NASLOV ZAVRŠNOG RADA:

PROBLEMATIKA MIKROPLASTIKE U MORU I POVRŠINSKIM VODOTOCIMA

Rad treba sadržati: 1. Uvod

2. Općenito o mikroplastici

3. Metode uzorkovanja i utvrđivanja prisutnosti mikroplastike u vodi

4. Problematika mikroplastike u oceanima i morima

5. Problematika mikroplastike u površinskim vodotocima

6. Zaključak

7. Popis literature

Pristupnica je dužna predati mentoru jedan uvezen primjerak završnog rada sa sažetkom. Vrijeme izrade završnog rada je od 45 do 90 dana.

Zadatak zadan: 12.03.2019.

Rok predaje: 05.07.2019.

Mentor:

Izv.prof.dr.sc. Aleksandra Anić Vučinić

Predsjednik Odbora za nastavu:

Izv.prof.dr.sc. Igor Petrović



## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom

**Problematika mikroplastike u moru i površinskim vodotocima - Issue  
of microplastics in the sea and surface waterways**

---

(naslov završnog rada)

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom **izv. prof. dr. sc. Aleksandre Anić Vučinić.**

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 27.06. 2019.

---

Andreja Hegedušić  
(Ime i prezime)

---

Andreja Hegedušić  
(Vlastoručni potpis)

## SAŽETAK

**Naslov rada:** Problematika mikroplastike u moru i površinskim vodotocima (*eng. Issue of microplastics in the sea and surface waterways*)

**Ime i prezime:** Andreja Hegedušić

Svi Zemljini ekosustavi onečišćeni su mikroplastikom, ali najveće onečišćenje pronađeno je u svim vodenim ekosustavima. Najviše mikroplastike u vodu dolazi s kopna, tj. ljudskom aktivnošću. Što se više plastike odbaci to će više otpada završiti u vodenim sustavima.

Pregledom 20 odabranih članaka sa Science Directa koji su se temeljili na problematici, uzorkovanju, utvrđivanju i sanaciji mikroplastike u oceanima, morima te površinskim vodotocima odnosno rijekama i jezerima. Postoje razne metode uzorkovanja i utvrđivanja mikroplastike. Za uzorkovanje se najčešće koriste mreže i posude za vodu, a za analizu sakupljene plastike FTIR i Raman spektroskopije. Pomoću tih analiza dobiva se veličina, oblik, boja i vrsta mikroplastike u ispitivanom području. Među najčešćim vrstama plastike koje su pronađene u odabranim studijama su plastike koje se svakodnevno koriste, a to su npr: polipropilen (PP), polietilen (PE), polistiren (PS), polivinil klorid (PVC) i polietilen tereftalat (PET). Ove vrste plastika danas se koriste za pakiranje različitih proizvoda, hranidbenih proizvoda, u građevinarstvu, kozmetici, higijenskim potrepštinama, kuhinjskim aparatima i drugdje.

Pojam mikroplastike je relativno novi pa su potrebna daljnja istraživanja kako bi se izbjegle brojne varijacije između istraživačkih skupina. Potrebno je odrediti standardne veličinu mreže i pora za unificiranost uzorkovanja.

**Ključne riječi:** mikroplastika, onečišćenje, vodeni ekosustavi, metode određivanja.

# SADRŽAJ

|          |                                                                                        |           |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>UVOD.....</b>                                                                       | <b>1</b>  |
| <b>2</b> | <b>OPĆENITO O MIKROPLASTICI .....</b>                                                  | <b>2</b>  |
| 2.1      | Podjela mikroplastike.....                                                             | 4         |
| 2.2      | Sastav mikroplastike.....                                                              | 4         |
| 2.3      | Izvori onečišćenja.....                                                                | 6         |
| 2.3.1    | Primarna mikroplastika .....                                                           | 6         |
| 2.3.2    | Sekundarna mikroplastika.....                                                          | 7         |
| 2.4      | Utjecaj na okoliš i zdravlje ljudi.....                                                | 7         |
| <b>3</b> | <b>METODE UZORKOVANJA I UTVRĐIVANJA PRISUTNOSTI MIKROPLASTIKE U VODI .....</b>         | <b>9</b>  |
| 3.1      | Obrada uzoraka.....                                                                    | 12        |
| 3.1.1    | Filtriranje .....                                                                      | 12        |
| 3.1.2    | Flotacija i elutriacija.....                                                           | 12        |
| 3.1.3    | Digestija .....                                                                        | 14        |
| 3.2      | Identifikacija, kemijska karakterizacija i kvantifikacija .....                        | 15        |
| <b>4</b> | <b>PROBLEMATIKA MIKROPLASTIKE U OCEANIMA I MORIMA.....</b>                             | <b>18</b> |
| 4.1      | Utvrdjivanje mikroplastike u Baltičkom moru .....                                      | 18        |
| 4.2      | Utvrdjivanje mikroplastike uz obalno more Španjolske (Mediteran) .....                 | 22        |
| 4.3      | Utvrdjivanje mikroplastike u Beringovom moru .....                                     | 24        |
| 4.4      | Mikroplastika u Jadranskom moru.....                                                   | 25        |
| <b>5</b> | <b>PROBLEMATIKA MIKROPLASTIKE U POVRŠINSKIM VODOTOCIMA .....</b>                       | <b>27</b> |
| 5.1      | Utvrdjivanje mikroplastike u rijeci Yangtze, Kina .....                                | 27        |
| 5.2      | Utvrdjivanje mikroplastike u rijekama Six Mile Creek i Fall Creek, New York, SAD ..... | 29        |
| 5.3      | Utvrdjivanje mikroplastike u jezeru Poyang, Kina.....                                  | 31        |
| <b>6</b> | <b>ZAKLJUČAK.....</b>                                                                  | <b>34</b> |
| <b>7</b> | <b>LITERATURA .....</b>                                                                | <b>35</b> |
|          | <b>POPIS SLIKA.....</b>                                                                | <b>38</b> |
|          | <b>POPIS TABLICA.....</b>                                                              | <b>39</b> |
|          | <b>POPIS KRATICA .....</b>                                                             | <b>40</b> |

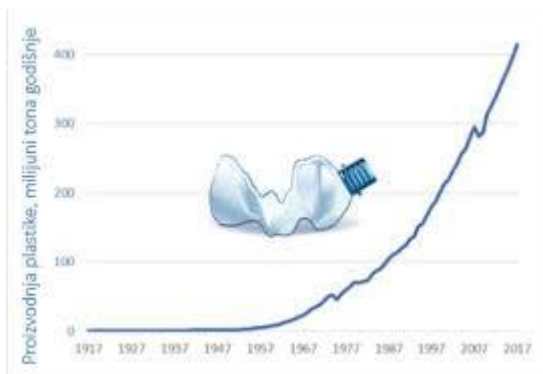
# 1 Uvod

Cilj ovog završnog rada je ukazati na sve veći problem mikroplastike u moru i površinskim vodotocima koja 70-80% dolazi s kopnenih izvora. Završni rad se temelji na problematici, načinima prikupljanja, proučavanja i uklanjanja mikroplastike iz vode. Za izradu rada koristila se pretraživačka baza Science Direct te web preglednik. Pretraživanje baze Science Directa obuhvaćalo je pretraživanje prema ključnim riječima „microplastics“, „oceans“, „rivers“ i „lakes“. Sužavanje izbora provedeno je odabirom dvije vrste članaka, preglednim i istraživačkim člancima. Kao povratnu informaciju sustav je dao dvije stotine i dva članka za 2018. i 2019. godinu. Odabir članaka proveden je pregledom sažetaka i odabirom 20 relevantnih članaka. Tema mikroplastike je sve raširenija u svijetu, jer postaje sve veći problem današnjice na što ukazuju činjenice da je ova tema relativno nova u društvu i nije dovoljno istražena. Međutim, vrijeme za intenzivno istraživanje mikroplastike tek dolazi pa je rad svakako koristan za daljnje generacije kako bi razumjele taj pojam i doprinijele smanjenju mikroplastike u vodi, ali i u ostatku okoliša.



## 2 OPĆENITO O MIKROPLASTICI

Nagli porast proizvodnje plastike zabilježen je 50-ih godina prošlog stoljeća, a 2017. godine doseže brojka od preko 400 milijuna tona godišnje proizvedene plastike u svijetu, a to je više od milijun tona dnevno što pokazuje slika 1, od kojih je većina namijenjena pakiranju [1]. Zbog toga ti materijali uvelike doprinose proizvodnji otpada, od čega milijuni tona završe u svjetskim oceanima [2].



*Slika 1 Godišnja proizvodnja plastike u svijetu [1]*

Plastika je naziv za razne umjetne polimerske materijale. Polimeri su velike molekule sastavljene od monomera povezanih u duge lance. Nastaju preradom prirodnih sirovina, kao što je celuloza ili se dobivaju kemijskom sintezom iz pojedinih frakcija nafte. Sintetički polimeri su materijali koji nastaju procesom polimerizacije malih molekulskih jedinica (monomera) koji se međusobno spajaju u molekule velike molekulske mase (polimeri) [1]. Masovno korištenje plastičnih proizvoda i loše upravljanje odlaganjem plastičnog otpada, dovodi do mehaničke degradacije plastike u okolišu i pojave mikroplastike; koja je sveprisutnija u vodenim tijelima, uključujući rijeke, jezera, ušća, obale i morske ekosustave [3].

Mikroplastika je naziv za plastične fragmente koji su manji od 5 mm [4], a zbog svoje mikroskopske veličine, teško ju je povezati s izvorom onečišćenja te vrlo teško ukloniti iz okoliša [5]. Većina globalnog onečišćenja mora (oko 80%) dolazi s kopna. Ostalih 20% dolazi od nautičara, naftnih platformi te velikih transportnih

brodova. Plastika čini većinu morskog otpada te na temelju podataka prikupljenih čišćenjem plaža, većina plastike koja dospijeva u oceane otpada na ambalažu uključujući plastične vrećice, čepove, boce za vodu i čaše. Iako se zna da mikroplastika može upijati i ispuštati otrovne kemikalije, kao i da može završiti u hranidbenom lancu, još uvijek je potrebno više spoznaja o njenom utjecaju na ljudsko zdravlje. Što se više plastike odbaci to će više otpada završiti u vodenim sustavima. Osim toga, budući da se veći komadi plastike mogu razgraditi u sitnije komadiće, svaka makroplastika koja pluta morem može se pretvoriti u stotine pa čak i tisuće komadića mikroplastike [6].

Mikroplastika ne izaziva akutne fatalne posljedice na žive organizme, ali može uzrokovati kronične posljedice zbog toksičnosti, koja se smatra ključnim problemom u dugotrajnoj izloženosti. Mikroplastika inducira toksične učinke kroz nekoliko mehanizama. Prvo, toksičnost može biti izravno uzrokovana polimernim materijalima koji se koriste za proizvodnju plastičnih proizvoda. Na primjer, polistiren se naširoko koristi u zaštitnim pakiranjima, posudama, bocama i poklopcima, a pronađeno je kako može negativno utjecati na reproduktivnost kod morskih organizama. Drugo, mikroplastika bi mogla nanijeti štetu organizmima zbog njihove male veličine i oštih rubova [3].

Unatoč činjenici da su slatkovodni sustavi barem jednako ozbiljno onečišćeni mikroplastikom kao i oceani, velike rijeke i ostali površinski vodotoci su do danas relativno malo isticali. Procjenjuje se da 1,15 do 2,41 milijuna tona plastičnih masa svake godine ulazi u oceane iz samih rijeka, što predstavlja do 50% procjene odloženih plastičnih masa na kopnu. Jednom kad mikroplastika dosegne obalne vode, njihova raspršenost i transportni putevi vođeni su dinamikom oceana i atmosfere [7], [8].

## **2.1 Podjela mikroplastike**

Prilikom nepropisnog odlaganja ili lošeg gospodarenja, plastični se otpad može akumulirati u kopnenom i morskom okruženju te biti podvrgnut razgradnji uslijed Sunčeva zračenja, mehaničke sile i mikrobiološkog djelovanja. To dovodi do fragmentacije i sloma većih plastičnih materijala (makroplastike) u mikroplastiku [2].

Osim već spomenute mikroplastike čija je veličina plastičnih čestica manja od 5 mm, navodi se i kategorija nanoplastike, čija se veličina plastičnih čestica kreće od 1 do 100 nm [2].

Nakon prikupljanja uzorka koje može biti: selektivno (gdje su uzorci prikupljeni izravnom ekstrakcijom), skupno uzorkovanje (gdje se volumen uzorka u cijelosti prikuplja) i uzorkovanje reduciranog volumena (reduciranje volumne mase); može se utvrditi radi li se o mikroplastici ili nanoplastici. Mikroplastika se najčešće može vizualno identificirati nakon čega slijedi kemijska analiza sastava, obično kombinirajući optičke i spektroskopske analitičke tehnike kako bi se minimalizirala pojava lažno pozitivnih i/ili lažno negativnih čestica. Što se tiče nanoplastike, još uvijek nema utvrđenih protokola za njihovu identifikaciju i kvantifikaciju. Ipak, neke su analitičke metode već bile korištene za tu svrhu, kao što je elektronska mikroskopija, atomska spektrometrija i ostale tehnike koje rade na principu raspršenja svjetlosti [2].

## **2.2 Sastav mikroplastike**

Kemijski sastav plastike je složena smjesa monomera (oni grade polimere) i aditiva (stabilizatori, usporivači plamena, punila i pigmenti) koji služe kao sirovine te određuju određene značajke plastike, kao što su fleksibilnost, čvrstoća i boja i sl. [9].

Neke od najčešćih boja mikroplastike su: plava, crvena, bijela, ljubičasta, zelena, crna, žuta; ali mikroplastika može biti i prozirna [10].

Neki kemijski sastojci za termoplastične proizvode uključuju polietilen (PE), polipropilen (PP), polistiren (PS) i polivinil klorid (PVC), dok polietilen teraftalat (PET), poliuretan (PU) i stiren-butadienska guma (SBR) su uobičajeni aditivi u termoreaktivnim proizvodima. Plastika se rijetko degradira, ali se dugotrajno razgrađuje na fragmente različitih veličina i oblika različitim mehaničkim i toplinskim procesima [9].

Po količini zastupljenosti pojedine vrste plastike u uzorcima vode, najzastupljenija vrsta plastike je polivinil klorid (PVC) sa zastupljenošću od 1,4 g/mL i polistiren (PS) 1,05 g/mL, a približno istu zastupljenost imaju polipropilen (PP) 0,94 g/mL i polietilen (PE) od 0,91 do 0,97 g/mL [2].

Plastika se razlikuje i po gustoći. Najgušća vrsta plastike je polietilen teraftalat (PET) s gustoćom od 1,37 do 1,45 g/cm<sup>3</sup>, nakon nje slijedi polivinil klorid (PVC) od 1,16 do 1,58 g/cm<sup>3</sup>, polistiren (PS) od 1,04 do 1,1 g/cm<sup>3</sup>, polietilen (PE) od 0,92 do 0,97 g/cm<sup>3</sup> i na kraju polipropilen (PP) od 0,9 do 0,91 g/cm<sup>3</sup> [11].

Tijekom plastične fragmentacije, organske kemikalije; poliklorirani bifenili (PCB), policiklički aromatski ugljikovodici (PAHs), dikloro-difenil-trikloroetan i njegovi metaboliti (DDT), polibromirani difenil eteri (PBDE), alkilfenoli i bisfenol A se oslobađaju zajedno sa svojim fragmentima u vodene ekosustave. To onečišćenje opasnim tvarima zajedno s povećanjem plastičnog otpada predstavlja ozbiljan toksikološki rizik po vodene ekosustave i ljude [9].

Mikroplastika može izlučiti plastične aditive, uključujući trajne organske onečišćujuće tvari (POPs) i potencijalno toksične elemente koji su adsorbirani u većim koncentracijama od onih u okolnom okruženju. Trajne organske onečišćujuće tvari, uključujući poliklorirani bifenil (PCB) i policiklički aromatski ugljikovodik (PAH) akumuliraju se na mikroplastici, čime se povećava njihov potencijalni toksični učinak u okolišu.

## 2.3 Izvori onečišćenja

Zbog brojnih izvora i često nepravilnih oblika, mikroplastiku može biti zahtjevno utvrditi. Ovisno o podrijetlu nastanka mikroplastike, moguće ju je podijeliti na primarnu mikroplastiku – u proizvodima se nalazi u obliku čestica manjih od 5 mm i sekundarnu mikroplastiku koja je formirana uslijed fragmentacije veće makroplastike [12]. Primarna i sekundarna mikroplastika prisutna je u svim morskim ekosustavima u različitim koncentracijama. Najnovije studije su pokazale kako će se većina mikroplastike, bilo primarne ili sekundarne, nastaviti fragmentirati dok ne dostignu nano-veličinu ( $<1\ \mu\text{m}$ ) ili se neprekidno degradirati dok se polimer potpuno ne mineralizira u ugljični dioksid, vodu ili biomasu [9].

### 2.3.1 Primarna mikroplastika

Primarna mikroplastika industrijski se proizvodi u obliku čestica koje su manje od 5 mm. Čestice se proizvode u obliku peleta i granula koji se dalje mogu obrađivati u veće plastične predmete ili ostati u izvornim oblicima te se koristiti u kozmetici, građevinarstvu i drugim industrijskim granama. Primarna mikroplastika se često nalazi u proizvodima za *peeling* (uklanjanje površinskog, odumrlog sloja kože abrazivnim sredstvima) zbog abrazivnog učinka. Čestice mikroplastike mogu biti vrlo mekane pa se dodaju i u paste za zube, budući da ne uništavaju caklinu. Također, mikroplastika se može naći i u većini ruževa za usne, maskarama i ostaloj dekorativnoj kozmetici [1], [13]. Vrlo često se mikroplastika nalazi i u gelovima za tuširanje, lakovima za nokte te kremama za sunčanje. Primarni zastupnici mikroplastike obično se dodaju kozmetičkim proizvodima u zamjenu za neki prirodan sastojak jer proizvod daje vrlo poželjna svojstva kao što je viskoznost, snaga vezanja i dodatni sjaj [13]. Ove sitne čestice izravno ulaze u morski okoliš ispuštanjem (ne)obrađenih otpadnih komunalnih i industrijskih voda. Prema istraživanju, oko 5000 g primarne mikroplastike iz osobne higijene i proizvoda za zdravstvenu njegu ukupnog stanovništva, ulazi u svjetske vodne tokove svake godine [9].

### 2.3.2 Sekundarna mikroplastika

Sekundarna mikroplastika nastaje u prirodi usitnjavanjem većih komada plastike djelovanjem valova, slane vode, UV zračenja i ostalih biotičkih i abiotičkih čimbenika. Tako usitnjena plastika nije se razgradila niti promijenila kemijsku strukturu, samo je promijenila fizički izgled. Jedan od važnijih izvora sekundarne mikroplastike je sintetička tkanina od koje se proizvodi veliki dio odjeće. Procjenjuje se da se tijekom jednog pranja rublja u prosjeku ispusti 1900 vlakana mikroplastike. U Europskoj uniji 70% kućanstava je povezano s postrojenjima za pročišćavanje otpadnih voda, međutim i takva obrađena voda još uvijek sadrži mikroplastiku u koncentraciji i do 1000 čestica po litri koja se ispušta u prijemnike [1]. Izvori sekundarne mikroplastike također mogu biti i abrazija automobilskih guma, trošenje brodske opreme i ribolovnog alata [12].

Meke sintetičke gumene granule ili sitne pahuljice iz automobilskih guma ili drugih gumenih proizvoda, zamjetan su tip mikroplastike i uglavnom ulaze u vodeni okoliš kroz kanalizaciju. Veličina čestica automobilske gume kreće se od 10 nm do nekoliko 100  $\mu\text{m}$  [8].

## 2.4 Utjecaj na okoliš i zdravlje ljudi

U mnogim zemljama okruženim obalnim vodama, toksikološke i ekološke posljedice na rezidentnu biotu i na ljudsko zdravlje su značajne i dalekosežne. Navedene posljedice predmet su znanstvenog istraživanja u posljednja tri desetljeća te su još uvijek u fokusu istraživanja za biologe i toksikologe [9]. Iako je poznato da mikroplastika može upijati i ispuštati otrovne kemikalije, kao i da može završiti u hranidbenom lancu, još uvijek je potrebno više spoznaje o njenom utjecaju na ljudsko zdravlje. Premda se zaključuje da mikroplastika u morskoj hrani ne predstavlja opasnost za ljudsko zdravlje, izvješće objavljeno u sklopu UN-ovog programa za okoliš (UNEP – od *eng. United Nations Environment Programme*) 2016. godine ističe nepoznanice u razumijevanju utjecaja toksičnosti mikroplastike,

uz napomenu da mikroplastika može djelovati kao sredstvo prijenosa i širenja patogenih odgovornih za ljudske bolesti [6].

Prijenos plastike i mikroplastike od kopnenih do riječnih sustava te naknadno kretanje vode (poput poplava), rezultiralo je povećanim priljevima mikroplastike u morski okoliš. Obalne zone također su podložne utjecaju vjetrom nanesenog otpada, izravno odloženom otpadu na obali i ispuštanju otpadnih voda. Rezultat toga je da je morsko i obalno okruženje „sudoper“ za većinu odbačene plastike [12].

Mikroplastika je pronađena u morskim vrstama koje se koriste za prehranu ljudi poput školjkaša i riba. Nadalje, mikroplastika je zabilježena u vodi iz slavine, flaširanoj vodi, pivu, medu, šećeru i soli [14]. Plastika je sastavni dio svakodnevnog života ljudi te zbog toga malo dodanih vlakana ili čestica koje se mogu pojaviti u nekim prehrambenim proizvodima ili pićima vjerojatno nisu ni usporedive s količinom plastičnih materijala i kemikalija kojima su ljudi izloženi uslijed korištenja odjeće ili materijala za kontakt s hranom, ambalaže, građevinskog materijala i kuhinjskih aparata. U stvari, razumno je pretpostaviti da količina mikroplastičnih vlakana koje se navodno nalaze u vodi iz slavine može biti ekvivalentna količini koja završava u čaši vode koja stoji na kuhinjskom pultu uslijed taloženja prašine ili čestica zraka koje se uglavnom sastoje od mikroplastičnih vlakana iz odjeće. Ipak strah od potencijalnog rizika djelovanja mikroplastike na ljudsko zdravlje u prehrambenim proizvodima i napitcima često je pretjeran [14].

### **3 METODE UZORKOVANJA I UTVRĐIVANJA PRISUTNOSTI MIKROPLASTIKE U VODI**

Na raspodjelu mikroplastike u vodenim ekosustavima u velikoj mjeri utječu meteorološki, vremenski i geografski čimbenici, koji mogu kompromitirati reproduktivnost rezultata. Rezultati se obično izražavaju kao ukupna mikroplastika po jedinici uzorka (broj čestica mikroplastike ili masa u litri vode) koji ponekad daju detaljne klasifikacije o veličini, boji i obliku [11].

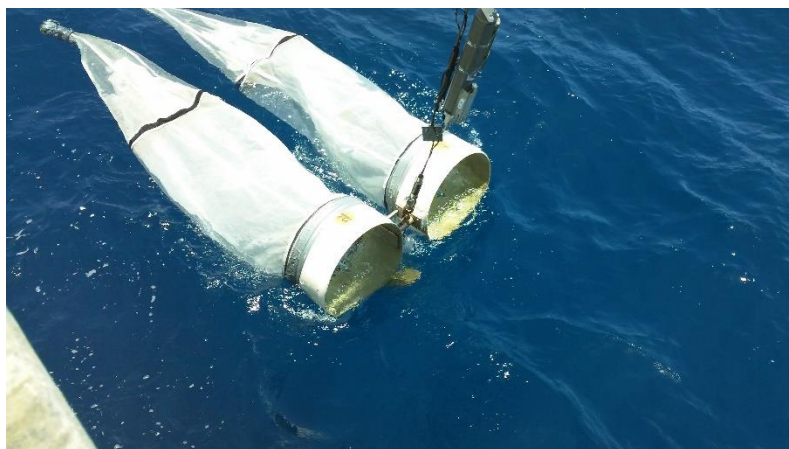
Mikroplastika se distribuira u stupcu vode ovisno o svojstvima, kao što su gustoća, oblik, veličina, mogućnosti adsorpcije kemikalija te ovisno o uvjetima okoliša kao što je gustoća vode, vjetar, morske struje i valovi. Dakle, količina i kvaliteta mikroplastike u vodenom sustavu su ovisne o mjestu uzorkovanja i dubini. Razlike u gustoći slatke i slane vode, respektivno  $1,00 \text{ g/cm}^3$  i  $1,03 \text{ g/cm}^3$ , može dovesti do izrazite raspodjele mikroplastike u vodenom stupcu u svakoj od njih. Primjerice, mikroplastika će se nalaziti dublje u stupcu vode u sustavima slatke vode [11].

Reprezentativnost mjerenja ovisi o količini uzorkovane vode, koja se često postiže redukcijom volumena na licu mjesta (in situ) uporabom mreža, sita ili pumpi. Upotreba „Manta“ mreže (prikazana na slici 2), omogućuje uzorkovanje površinskih i podpovršinskih voda, dok se „Bongo“ mreže prikazane na slici 3 koriste za prikupljanje uzoraka iz vodenog stupca [11].





*Slika 2 Prikaz mreže – „Manta net“ [15]*



*Slika 3 Prikaz mreže – „Bongo net“ [16]*

„Bongo“ mrežama uzorci se prikupljaju pri sporijim brzinama zbog malih pora mreže ( $\sim 100 \mu\text{m}$ ) kako se pore ne bi brzo začepile. Osim vodoravne vuče, ove mreže se mogu vući vertikalno ili koso, pri čemu je priključen mjerač protoka radi mogućnosti procjene volumena vode i izražavanje rezultata u  $\text{m}^3$ . Veličina mreža može uvelike utjecati na rezultate koncentracije mikroplastike. Na primjer, uzorkovanjem vodenog stupca s najlonskom mrežom (pore -  $100 \mu\text{m}$ ) uočena je do sto puta veća koncentracija mikroplastike za razliku od uzorkovanja vodenog stupca „Manta“ mrežama (pore -  $333 \mu\text{m}$ ) pri čemu su uočene koncentracije od 0,1 i 0,00135

čestica mikroplastike u litri. Ipak „Manta“ mrežama omogućeno je uzorkovanje većih količina vode i široko se primjenjuju. „Plankton“ mreže također imaju pore malih dimenzija ( $\sim 100\ \mu\text{m}$ ), što omogućuje prikupljanje uzorka unutar minute i rezultira i do 30 puta većim koncentracijama prikupljene mikroplastike nego li što su rezultati evidentirani u istraživanjima gdje su se koristile „Manta“ mreže. Što se tiče prikupljanja sintetičkih vlakana, filtriranjem uzorka na mreži s veličinom pora od  $80\ \mu\text{m}$  uočava se 250 puta više sintetičkih vlakana u talogu, nego li u talogu koji zaostaje na mreži veličine pora od  $330\ \mu\text{m}$  nakon filtriranja. Alternativa mrežama su crpke za vodu fiksirane na brod i namijenjene prikupljanju uzoraka na pučini ili obali. Na obali je moguće filtriranje ili prosijavanje pomoću kante/posude, ali je dugotrajno i zahtjevno. Uzorci se također mogu skupljati u staklenim bocama i naknadno obrađivati u laboratoriju [11].

Za postizanje reprezentativnosti može biti potrebno prikupljanje većih količina vode, a reduciranje uzoraka se može postići u laboratoriju primjenom višestrukog filtriranja uzorka pomoću čeličnih mreža različitih veličina pora. Što se tiče uzorkovanja s pomoću najlonske mreže i pumpnih sustava, potrebno je biti oprezan jer predstavljaju potencijalni izvor mikroplastičnog onečišćenja, stoga se preporuča korištenje čeličnih sita i staklenih boca prilikom uzorkovanja [11].

Temeljem proučavanja studija o uzorkovanju vode, utvrdilo se da se za uzorkovanje najviše koristi mreža, nakon čega slijede pumpe i sita. Samo je jedna studija koristila boce i kante za prikupljanje uzoraka vode. Temeljem izvješća Nacionalne uprave za oceane i atmosferu (NOAA) preporučuje se uporaba „Manta“ mreža, nakon čega slijedi prosijavanje ( $0,3\ \text{mm}$ ) i filtriranje ( $0,3\ \text{mm}$ ) [11].

Osim utvrđivanja ukupne količine mikroplastike temeljem prikupljanja vodenog uzorka, provodi se i uzorkovanje sedimenta. Raspodjela mikroplastike na sedimentu je neujednačena, budući da uvelike ovisi o svojstvima mikroplastike i utjecaju čimbenika okoliša, kao što su vjetrovi i morske struje. Rezultati u velikoj mjeri ovise o području uzorkovanja i dubini, jer neka područja mogu sadržavati veće

koncentracije mikroplastike. Prikupljanje uzoraka s morskog dna zahtjeva plovilo i uporabu specijalizirane opreme koja se spušta na morsko dno kako bi se prikupili uzorci [11].

### **3.1 Obrada uzoraka**

Mikroplastika se mora izdvojiti iz uzoraka vode i sedimenata kako bi se mogla kvantificirati i karakterizirati. Izdvajanje se provodi u dva koraka [11]:

1. redukcijom volumena uzorka, na primjer, korištenjem mreža tijekom skupljanja ili prosijavanjem ukoliko se radi o krupnijim česticama te
2. odvajanje mikroplastike, obično filtriranjem i/ili izdvajanjem na temelju različite gustoće (preporuča se korištenje NaCl).

#### **3.1.1 Filtriranje**

Filtriranje je najčešći postupak u izdvajanju mikroplastike iz uzorka vode. Veličina pora mreže/filtera mogu znatno varirati, od 0,45  $\mu\text{m}$  do 55,5 mm, stoga određuju i veličinu mikroplastike koja će se zadržati. Međutim, male veličine pora također mogu dovesti do brzog zasićenja mreže/filtera organskim i mineralnim tvarima. Prilikom izdvajanja mikroplastike iz uzorka sedimenta, uzorci se prosijavaju, nakon čega slijedi izdvajanje mikroplastike na temelju različite gustoće i konačno filtriranje [11]. Prolazak, odnosno zadržavanje čestica mikroplastike kroz pore filtera/mreže ovisi uvelike o obliku čestica [3].

#### **3.1.2 Flotacija i elutriacija**

Princip razdvajanja tvari na temelju razlike u gustoći tvari može se koristiti za izdvajanje mikroplastike od sedimenata. Sediment je potrebno promiješati u zasićenoj otopini soli i pustiti da se sediment istaloži, a dekantacijom prikupiti uzorak otopine koji sadrži mikroplastiku za daljnju filtraciju. Za izdvajanje mikroplastike od

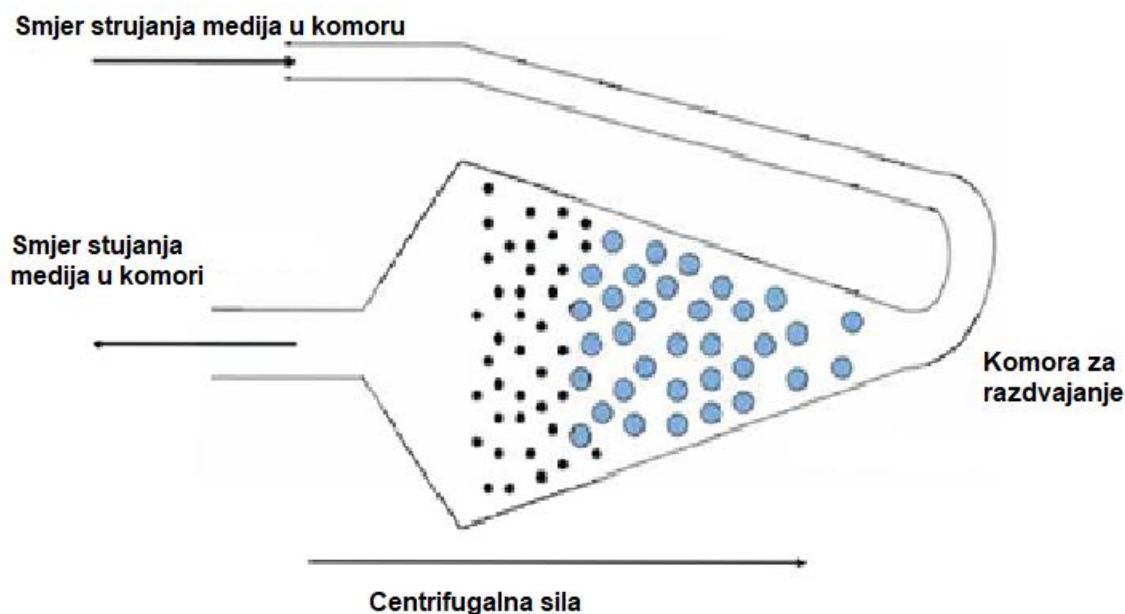
sedimenata potrebna je gustoća otopine  $>1,4 \text{ g/cm}^3$ , budući da gustoća mikroplastike ovisi o tipu polimera, koncentraciji aditiva pa čak i količini apsorbiranih tvari i organizama [11]. Primjerice, na temelju različitih gustoća, u vodi se mogu izdvojiti neke vrste plastike kao što su polietilen (PE) i polipropilen (PP) iz uzoraka tla ili sintetička vlakana iz sedimenata zbog svog oblika i velike površine [11].

NaCl (natrijev klorid) je jedna od najčešće korištenih soli za pripremanje otopina koje se koriste za izdvajanje polimera na temelju različitih gustoća, jer je lako dostupna, jeftina i ekološki prihvatljiva. Međutim, utvrđeno je da eksperiment s NaCl ima niske stope oporabe ( $< 90\%$ ) i veće stupnjeve pogrešaka, kao i NaBr (natrijev bromid), dok su se u eksperimentima koji su provedeni s otopinama NaI (natrijev jodid) i  $\text{ZnBr}_2$  (cinkov bromid) mogli odvojiti teži polimeri s dobrim stupnjem oporabe (99%). Nadalje, izdvajanje pomoću otopina NaI i  $\text{ZnBr}_2$  zahtijeva jedno pranje sedimenata, dok s otopinom NaCl zahtijeva tri pranja [11]. U tablici 1 može se vidjeti koji polimeri se mogu izdvojiti s kojom zasićenom otopinom soli.

*Tablica 1 – Odvajanje tipova polimera pomoću otopina korištenih u separaciji gustoće. (oznake:  $\pm$  moguća separacija, + separacija, - nije separirano) [11]*

| Polimer   | Gustoća ( $\text{g/cm}^3$ ) | Voda ( $1 \text{ g/cm}^3$ ) | NaCl ( $1,2 \text{ g/cm}^3$ ) | NaI ( $1,6 \text{ g/cm}^3$ ) | $\text{ZnBr}_2$ ( $1,7 \text{ g/cm}^3$ ) |
|-----------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------------------|
| PP        | 0,9-0,91                    | +                           | +                             | +                            | +                                        |
| PE        | 0,92-0,97                   | +                           | +                             | +                            | +                                        |
| PA        | 1,02-1,05                   | -                           | +                             | +                            | +                                        |
| PS        | 1,04-1,1                    | -                           | +                             | +                            | +                                        |
| Akril     | 1,09-1,20                   | -                           | +                             | +                            | +                                        |
| PMA       | 1,17-1,20                   | -                           | +                             | +                            | +                                        |
| PU        | 1,2                         | -                           | +                             | +                            | +                                        |
| PVC       | 1,16-1,58                   | -                           | $\pm$                         | +                            | +                                        |
| PVA       | 1,19-1,31                   | -                           | $\pm$                         | +                            | +                                        |
| Alkid     | 1,24-2,10                   | -                           | -                             | +                            | +                                        |
| Poliester | 1,24-2,3                    | -                           | -                             | +                            | +                                        |
| PET       | 1,37-1,45                   | -                           | -                             | +                            | +                                        |
| POM       | 1,41-1,61                   | -                           | -                             | $\pm$                        | +                                        |

Elutriacija je postupak za izdvajanje čestica na temelju njihove veličine, oblika i gustoće pri čemu se koristi struja plina ili tekućine koja teče u smjeru koji je obično suprotan smjeru sedimentacije [17]. U elutriaciji prikazanoj na slici 4 obično se na dno kolone ubrizgava tekućina kao što je voda, što omogućuje odvajanje plutajućih mikroplastika od taložne organske tvari i sedimenata. Mikroplastika se skuplja u mreži u koloni i zatim se razdvaja pomoću zasićenih otopina (soli poput NaI). Prednost elutriacije je jeftino i učinkovito odvajanje mikroplastike od velikih količina sedimenata, što omogućuje reprezentativnije uzorkovanje i redukciju uzorka za daljnju obradu flotacijom. Ova metoda traje najmanje 1 sat po uzorku (sastoji se od 3 poduzorka) i zahtijeva prethodno prosijavanje po rasponu veličina [11].



*Slika 4 Prikaz procesa elutriacije [18]*

### 3.1.3 Digestija

Uzorci koji su prikupljeni u okolišu sadržavaju i određeni udio organske tvari koji može varirati od 0,5 do 7,0%. Naime, određene tamnije fragmente algi lako je zamijeniti sa sitnim česticama. Zbog toga je iz uzoraka obradom potrebno ukloniti organske tvari kako bi se mogućnost precjenjivanja svela na najmanju moguću

mjeru. Nadalje, bitan je odabir metode uklanjanja organske tvari budući da se nastoji ne narušiti pri tome strukturalni ili kemijski integritet polimera. Ovaj korak obrade uzorka bitan je ponajprije, ako utvrđivanju broja čestica prvo prethodi vizualno utvrđivanje. Unatoč tome, manji broj provedenih studija izvijestio je o provođenju ovog koraka obrade. Što se tiče istraživanja koja su provela ovaj korak obrade, najčešće su korišteni oksidacijski procesi pri čemu se koristio 30-35%  $\text{H}_2\text{O}_2$  (vodikov peroksid). Osim oksidacijskih metoda za uklanjanje organske tvari, u istraživanjima su se koristile i kisele, alkalne ili enzimske reakcije [11].

### 3.2 Identifikacija, kemijska karakterizacija i kvantifikacija

Identifikacija i kvantifikacija mikroplastike gotovo uvijek se obavlja vizualnim pregledom, čak i ako slijedi kemijska karakterizacija. Vizualna identifikacija mikroplastike je brza, jednostavna i jeftina tehnika koja se može izvesti in situ. Međutim, postoje poteškoće u razlikovanju mikroplastike od drugih materijala [2]. Vizualni pregled omogućuje klasifikaciju čestica plastike na temelju fizičkih svojstava, promatranih izravno ili pomoću stereoskopa prikazanog na slici 5 ili mikroskopa [11].



*Slika 5 Prikaz stereoskopa [19]*

To je jedna od najčešće korištenih i široko dostupnih metoda identifikacije i kvantifikacije mikroplastičnih čestica. Ova metoda može biti uzrok većem broju varijacija u rezultatima budući da ovisi o promatraču i njegovom iskustvu, umoru i slično. U analizi je to dovelo do precjenjivanja ili podcjenjivanja broja i vrste uočenih

mikroplastičnih čestica. Kako bi se olakšala vizualna identifikacija na temelju boje mikroplastičnih čestica, uvela se upotreba bojila. Rezultati se vide pod crvenim, narančastim ili zelenim filtrom na fluorescentnom mikroskopu. Iako biogeni materijali, kao što su alge, morske alge, drvo, perje i školjke mekušaca nisu obojeni, a izlaganje plastike vremenskim utjecajima ne utječe na bojenje, neke vrste plastike kao što su PVC ili PET imaju slabe signale, a vlakna je teško obojiti [11].

Preporučuje se kemijska karakterizacija potencijalne mikroplastike pomoću Fourieriove infracrvene spektroskopije (FTIR) i Ramanove spektroskopije [20]. Obje metode vibracijske spektroskopije su nedestruktivne, vrlo točne i komplementarne, stvarajući spektar temeljen na interakciji svjetla s molekulama. FTIR proizvodi infracrveni spektar koji proizlazi iz promjene dipolnog momenta, dok Raman osigurava molekularni spektar otisaka na temelju polarizabilnosti kemijskih veza. Vibracijska spektroskopija ograničena je visokom cijenom, raspoloživošću opreme, vremenom i naporom potrebnim za analizu i obradu uzoraka [11], [21].

Postoji i pirolitička-plinska kromatografija - masena spektrometrija (Pyro-GC-MS), gdje se mikroplastika termički razlaže (pirolizira) u inertnim uvjetima i nastali plin se zamrzava i odvaja na kromatografskoj koloni, identificiranom masenom spektrometrijom. Ova metoda može osigurati kemijsku karakterizaciju jednog uzorka mikroplastike ili skupnog uzorka, ali je destruktivna i ne pruža informacije o broju, veličini ili obliku [11].

Zbog široke kontaminacije okoliša mikroplastikom (uključujući zrak), treba poduzeti mjere tijekom uzorkovanja kako bi se smanjila kontaminacija uzoraka tim česticama i vlaknima. Dosadašnja istraživanja ukazala su na pet pravila kojih se treba pridržavati kako bi se smanjila mogućnost kontaminacije prikupljenog uzorka [11]:

- upotreba staklene ili metalne opreme umjesto plastične,

- izbjegavanje upotrebe sintetičkog tekstila tijekom uzorkovanja ili rukovanja uzorcima, preferirajući korištenje laboratorijske kute od 100% pamuka,
- čišćenje površina sa 70%-tnim etanolom i papirnatim ručnicima, nakon čega slijedi pranje opreme „ultra čistom vodom“,
- korištenje Petrijevih zdjelica i porculanskog posuđa,
- držanje uzoraka pokrivenim što je više moguće i rukovanje s njima u čistim prostorima s kontroliranom cirkulacijom zraka i ograničenim pristupom (npr. zatvorena vrata i prozori).



## **4 PROBLEMATIKA MIKROPLASTIKE U OCEANIMA I MORIMA**

Svi Zemljini ekosustavi onečišćeni su mikroplastikom. Međutim, zbog nedostatka jednostavnosti i ujednačenosti metoda uzorkovanja, malo se zna o vremenskoj i geografskoj distribuciji onečišćenja. Pronađene su varijacije između istraživačkih skupina u svim koracima uzorkovanja. Na primjer, ne postoji standardna veličina pora i promjera mreža koje se koriste za prikupljanje uzoraka, što dovodi do različitih rezultata glede uočenih veličina mikroplastike u svakoj studiji [22].

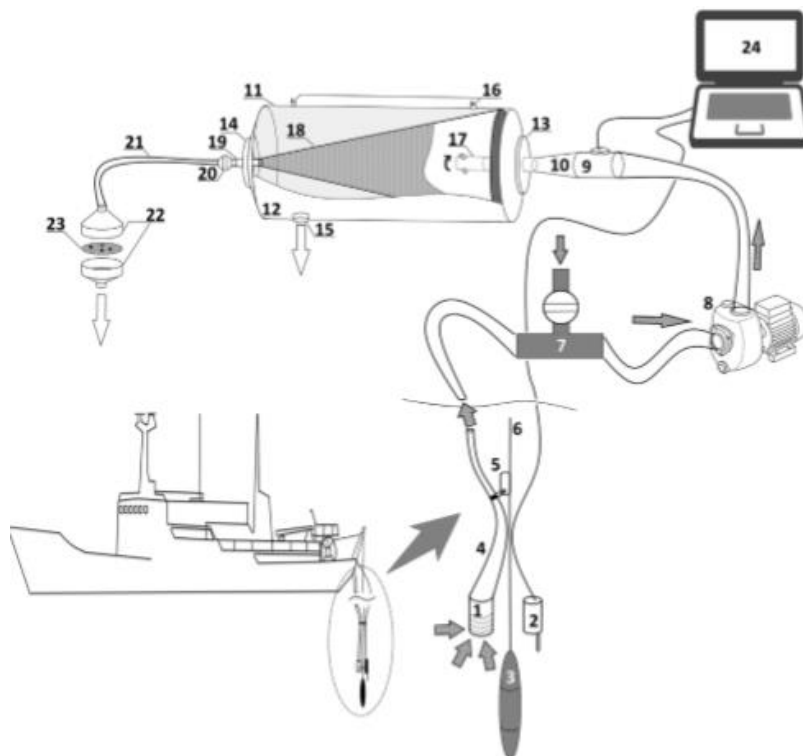
Za potrebe ovog završnog rada, izdvojene su tri studije koje se bave problematikom utvrđivanja mikroplastike u moru te su detaljnije obrađene u nastavku. Studije su odabrane na temelju količine podataka koje su bile vezane uz samu temu te razumljivosti napisanih članaka. Također, bilo je važno da studije ne budu iz istog područja uzorkovanja radi mogućnosti usporedbe. Na kraju je dodan i osvrt na stanje istraživanja mikroplastike i u Jadranskom moru.

### **4.1 Utvrđivanje mikroplastike u Baltičkom moru**

Poznato je kako Baltičko more ima heterogenu strukturu saliniteta, relativno veliki slatkovodni dovod s kopna te dotok slane vode iz Atlantskog oceana. Zbog toga je bilo od interesa proučiti vertikalnu raspodjelu mikroplastike u ovisnosti o salinitetu i toplinskom strukturom vodenog stupca. Istraživanje je provedeno na četiri lokacije u Baltičkom moru tijekom proljetnog razdoblja termokline [22].

Uzorkovanje je provedeno pomoću pumpe za vodu budući da je navedena metoda povoljnija u usporedbi s metodom uzimanjem uzoraka uz pomoć mreža jer omogućuje uzorkovanje vode s određenog mjesta na različitim dubinama. Međutim, ograničenja uzorkovanja s potopnim pumpama očituju se u nemogućnosti uzorkovanja površinskih slojeva vode, pri čemu je maksimalna dubina uzorkovanja trenutno ograničena na nekoliko metara. Zbog toga, za potrebe uzorkovanja u navedenom istraživanju, osmišljen je novi alat za uzorkovanje PLEX (PLastics Explorer) prikazan na slici 6. PLEX je baziran na samousisnoj pumpi koja ima

mogućnost sakupljanja uzorka vode iz unaprijed definiranog sloja. Navedenim sustavom moguće je prikupiti nekoliko kubičnih metara vode iz različitih slojeva do 100 m [22].



*Slika 6 Dijagram rasporeda PLEX-a [22]*

(1-filter primarne usisne vode, 2-senzor temperature/tlaka, 3-uteg, 4-ulazno crijevo, 5-„camlock“, 6-najlonsko uže sa žičanim završetkom, 7-T-utičnica s kuglastim ventilom za priključak na usisnu vodu iz posude, 8-rotacijska crpka, 9-mjerač visine, 10-ulazni spoj, 11-jedinica za filtriranje, 12-polje s filterom, 13-ulazni otvor, 14-izlazni otvor, 15-ispust otpadnih voda, 16-ispušni ventil, 17-rotirajuća mlaznica za raspršivanje, 18-mreža za filtriranje, 19-ispust, 20-izlazni ventil, 21-izlazno crijevo, 22-držač filtera, 23-filter za uzorkovanje, 24-prijenosno računalo)

Uzorkovanje je provedeno u šest slojeva: iznad termokline, unutar hladnog srednjeg sloja, iznad halokline, u sredini između halokline i dna i donji sloj (1-2m iznad dna). Filteri za uzorkovanje promjera 50 mm s veličinom od 174  $\mu\text{m}$  bili su pripremljeni u laboratoriju i pregledani pod mikroskopom kako bi se otkrile moguće kontaminacije. Filtri su pohranjeni u osušene Petrijeve zdjelice koje su potom

obavijene papirom i stavljene u čelične kutije u hladnjaku ispod 4° do laboratorijske analize [22].

Nakon postupka filtracije, filtri koje sadrže krute tvari su stavljeni u čistu Petrijevu zdjelicu. Osušeni su na sobnoj temperaturi 24 sata u blago otvorenim Petrijevim zdjelicama koje su prekrivene tkaninom za sito kako bi se spriječila kontaminacija iz zraka. Neotopljene krutine iz svakog uzorka bile su smještene na tri odvojena filtera. Mikroplastika se detektirala izravno na filterima, koji su analizirani pod stereomikroskopom (Micromed Zoom Digital, uvećanje od 10 puta do 40 puta). Veličine mikroplastike izmjerene su samo za obojene čestice mikroplastike. Ekstrahirane mikroplastike svrstane su u tri skupine: fragmenti, filmovi i vlakna. Morfološka karakterizacija mikroplastike dana je prema njihovom obliku, boji, prozirnosti i strukturi površine, a kemijska identifikacija je provedena pomoću Ramanove spektroskopije [22].

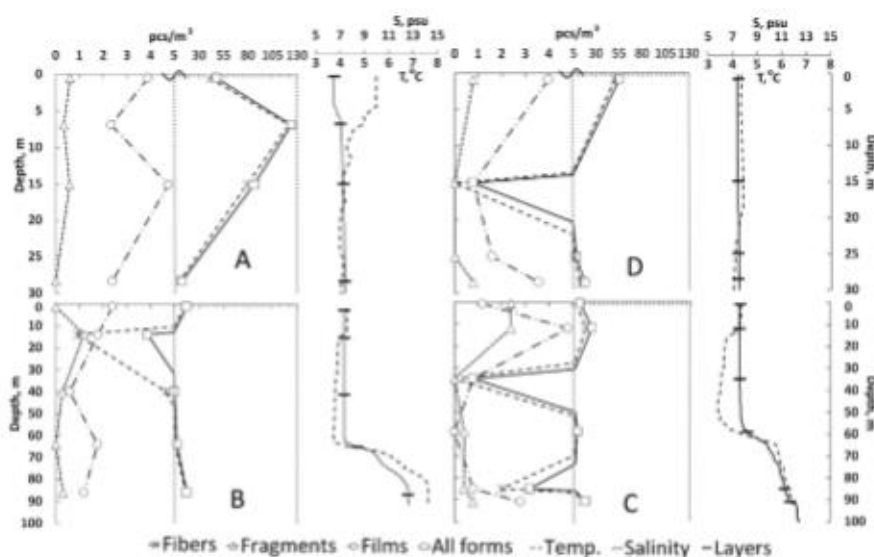
Mikroplastični uzorci stavljeni su na kemijski pročišćeno kvarcno staklo i stavljeni u držač mikroskopa. Veličina laserske točke varirala je do  $1 \times 25 \mu\text{m}$  do  $1 \times 30 \mu\text{m}$  ovisno o korištenoj snazi lasera. Za male primjerke ( $<100 \mu\text{m}$ ) općenito načinjene od PP, PE, celuloznog acetata, ugljika i najlona maksimalna dozvoljena laserska snaga je od 5 do 45 mW, a za ostale uzorke ( $>100 \mu\text{m}$ ) od poliestera, PET, PA, smole i druge vrste polimera smanjena je na 5 do 20 mW. Ramanski spektri zabilježeni su u rasponu valnih brojeva za polimere između  $600 \text{ cm}^{-1}$  i  $1750 \text{ cm}^{-1}$  sa spektralnom razlučivošću  $4 \text{ cm}^{-1}$  [22].

Ekstrahirane mikroplastike svrstane su u tri skupine, u obliku filmova, vlakana i pahuljica, međutim povremeno su otkriveni i drugi oblici mikroplastike. Kontaminacija uzorka iznosila je  $8,3 \pm 4,6$  mikroplastike kom/uzorak. Neka vlakna i filmovi su predstavljali ukupno onečišćenje iz zraka na brodskoj palubi, a brzina kontaminacije je 0,5 vlakna/uzorak. Relativno veliki volumen morske vode ( $2,5 - 3,3 \text{ m}^3$ ) prikupljen s PLEX-om u svakom sloju, rezultiralo je visokim brojem

mikroplastičnih čestica u uzorcima (prosjeak  $78,2 \pm 47,9$  mikroplastike kom/uzorak [22]).

Uzorci za pranje kontrolne mreže pripremljeni su samo jedanput po postaji i predstavljaju zbroj čestica zadržanih na filtarskoj mreži na svakoj stanici. Ovaj način kontrole izabran je umjesto pranja nakon svakog uzorka zbog hitne potrebe da se smanji vrijeme potrebno za uzorkovanje. Svaki uzorak pranja u mreži sadržavao je mikroplastiku u obliku vlakana (prosječno  $70,4 \pm 39,9$  mikroplastike kom/uzorak), filmovi ( $7,6 \pm 4,2$  kom/uzorak) i fragmenti ( $1,0 \pm 0,7$  kom/uzorak) [22].

Vlakna su dominirala nad drugim oblicima mikroplastike. Veći sadržaj vlakana zabilježen je u podzemnim i donjim slojevima, dok je u sezonskim termoklinskim vlaknima sadržaj bio najniži i povećan s dubinom u srednjim i piknoklinskim slojevima. Stratifikacija fragmenata imala je suprotnu strukturu: nema fragmenata u dubljim vodenim slojevima, dok je njegov maksimalan sadržaj promatran u sezonskoj termoklini i blago je smanjen s dubinom. Stratifikacija filmova pokazala je međuprostor između fragmenata i vlakana što je sve prikazana na slici 7 [22].

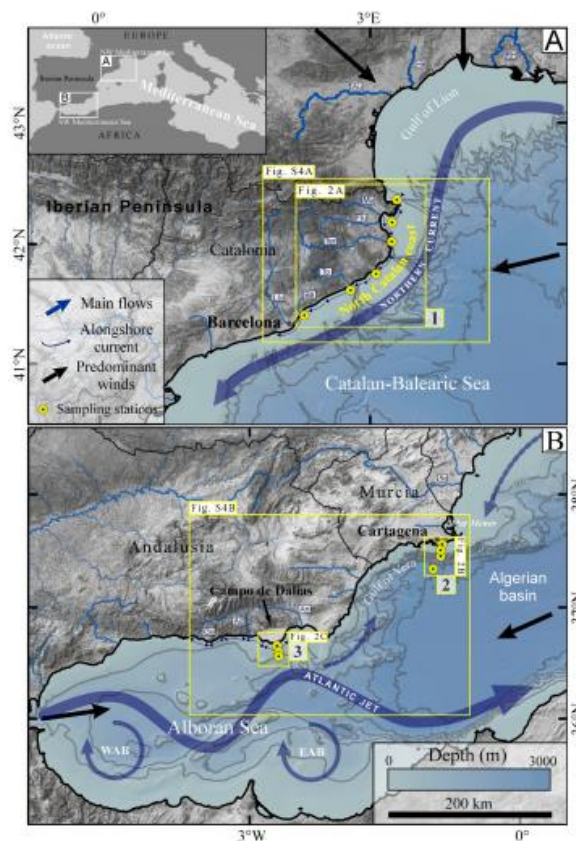


Slika 7 Vertikalna raspodjela koncentracije mikroplastike (vlakna, fragmenti i filmovi) [22]

Ukupno je iz uzorka izdvojeno 122 čestice mikroplastike (uglavnom vlakna, kao najzastupljenijeg tipa mikroplastike) prema morfološkim karakteristikama, a 44 od njih uspješno su identificirane pomoću Ramanove spektroskopije. U drugim slučajevima identifikacija nije bila moguća zbog male veličine uzoraka ili jake pozadinske fluorescencije. Između uspješno otkrivenih uzoraka, 33 ih je identificirano kao plastika različitih tipova: polietilen teraftalat (PET), poliamid (PA), polietilen (PE), polipropilen (PP), polistiren (PS), polivinil klorid (PVC), polimetil metakrilat (PMMA) i fenolne (PF) i politerpene (PTR) smole. Jedno vlakno je detektirano kao čisti ugljik; međutim, jednako je debljine, ne sužava se prema krajevima, imao je trodimenzionalno savijanje i bistru i homogenu ljubičastu boju koja ukazuje na njegovo antropogeno podrijetlo [22].

#### **4.2 Utvrđivanje mikroplastike uz obalno more Španjolske (Mediteran)**

Drugo istraživanje koje je odabrano za prikaz u ovom radu je provedeno duž španjolske obale na moru uz Cartagenu, Campo de Dalías i u sjevernom Katalonskom transektu, (slika 8). U prosijeku je provedeno 21 sakupljanje uzoraka s mrežama u trajanju od 15-20 min uz brzinu plovidbe od 3 čvora ( $1,5 \text{ ms}^{-1}$ ). Uzorci su prikupljeni pomoću „Manta“ mreže veličine pora  $335 \mu\text{m}$  koja je raspoređena približno 2 m od trupa broda s prosječnim obuhvatom površine od  $824 \text{ m}^2$  po vuči i prosječnom brzinom protoka vode od  $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ . Dubina vode na navedenim postajama kretala se od 48 do 2282 m. Mreža je isprana filtriranom morskom vodom nakon svakog izvlačenja kako bi se osiguralo da su svi plastični otpadi prikupljeni i kvantificirani. Uzorci su preneseni u staklene posude i fiksirani s 3% pufera otopine formalina prije pohranjivanja na hladno mjesto na brodu. Koncentracija mikroplastičnih čestica je izračunata dijeljenjem broja ili mase sakupljenih mikroplastičnih čestica s površinom uzorkovanog područja. Uzorkovano područje izračunava se množenjem duljine svake vuče mreže s neto širinom područja. Određeni su kemijski sastav, boja, veličina i oblik za agregirane i plutajuće čestice mikroplastike [23].



*Slika 8 Karta područja istraživanja: 1) sjeverni Katalonski transekt, 2) transekt Cartagena, 3) Campo de Dalias [23]*

Prikupljeni uzorci podvrgnuti su ultrazvuku 2 min te su izliveni u staklene čaše volumena 2L napunjene s filtriranom morskom vodom kroz filter veličine  $0,7 \mu\text{m}$  ( $\sim 1,03 \text{ g cm}^{-3}$ ) kako bi se odvojila plutajuća mikroplastika od one vezane uz morske agregate koji su potonuli na dno čaše (agregatna frakcija). Obje frakcije su vakuumski filtrirane na mrežici ( $330 \mu\text{m}$ ) od nehrđajućeg čelika. Veći uzorci su se sušili i prethodno obradili s 3-4 ml 30%  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Postupak se ponavljao tako dugo dok se iz uzorka nije uklonio sav organski materijal, tako da se plastika jasno opaža i ekstrahira. Sve plastične čestice izvađene su pomoću stereomikroskopa (10 puta do 40 puta) i standardne pincete od nehrđajućeg čelika. Mikroplastične čestice ( $N=453$ , 18% od ukupnog broja sakupljene plastike) su kemijski identificirane korištenjem Ramanovog mikro spektrometra s visokim spektrom razlučivosti od  $0,15 \text{ cm}^{-1}$  u rasponu valnih brojeva od 100 do  $3200 \text{ cm}^{-1}$  i laserom valne duljine 532 nm. Provedena je Ramanova mikro spektroskopija za detekciju 90% svih analiziranih

čestica, dok ostatak (10%) nije bilo moguće identificirati zbog visoke fluorescencije spektara [23].

Ukupno je detektirano 2489 plastičnih čestica ukupne suhe mase 758 mg u rasponu od 0,33 do 40 mm. Prosječna koncentracija svih sakupljenih plastičnih čestica bila je  $0,04 \pm 0,04 \text{ mg/m}^2$  na području sjevernog Katalonskog transekt;  $0,05 \pm 0,04 \text{ mg/m}^2$  u Cartageni i  $0,07 \pm 0,02 \text{ mg/m}^2$  u Campo de Dalias, što je rezultiralo s ukupnim prosjekom od  $0,05 \pm 0,04 \text{ mg/m}^2$ . Najmanja koncentracija uočena je u području sjevernog Katalonskog transekt ( $0,003 \text{ mg/m}^2$ ), a najveća na Cartageni ( $0,131 \text{ mg/m}^2$ ) [23].

Tri polimera koja se najčešće koriste u industriji plastike su oni koji se nalaze u najvećim omjerima pronađenim tokom ove studije: polietilen niske i visoke gustoće (PE), polipropilen (PP) i polistiren (PS), koji su predstavljali 54,5%, 16,5% i 9,7% od ukupne pronađene mikroplastike. Slijedili su ih „ostali“ polimeri s manjom zastupljenošću kao što su: poliamid (PA), poliuretan (PUR), polietilen teraftalat (PET), polivinil klorid (PVC) i fluorouglični polimeri [23].

#### **4.3 Utvrđivanje mikroplastike u Beringovom moru**

Treće istraživanje koje je odabrano za prikaz u ovom radu, provedeno je na Beringovom moru i Beringovom tjesnacu (oba se nalaze između sjeverne Amerike i Azije) i Chukchi (rubno more Arktičkog oceana). Uzorci sedimenata sakupljeni su uporabom kutije ( $65 \times 50 \times 65 \text{ cm}^3$ ) od nehrđajućeg čelika. Odvajanje mikroplastike od sedimenata provedeno je pomoću modificiranih laboratorijskih metoda. Suhi uzorak mase 200 g stavio se u čašu te se dodalo 200 ml zasićene otopine kalijevog jodida (KI) i miješalo se 1 min staklenim štapićem. Nakon otprilike 2 sata odstojanja, ostatak otopine je dekantiran i pospremljen, dok je talog podvrgnut ponovljenom postupku još 5 puta. Sve dekantirane otopine su pomiješane i profiltrane (veličina pora  $0,7 \text{ }\mu\text{m}$ , promjera 47mm). Sve čestice su vizualno identificirane, izbrojene i izmjerene pod svjetlosnim stereomikroskopom. Većina površinskih sedimenata

sakupljena u istraživačkom području bila je neznatno onečišćena plastikom. Mikroplastika nije otkrivena u uzorcima uzetih iz područja najbližeg dnu, koje je bilo najsjevernije [24].

Identificirana su dva tipa čestica, vlakna i film, od čega su vlakna zastupljena sa 64,4% i filmovi (35,6%). Boje čestica kvalificirane su kao bijela i crna, što čini 52% odnosno 48% ukupnih mikroplastičnih čestica. Od onih čestica koje su podvrgnute FTIR analizi, identificirani polimeri uključuju polipropilen, polietilen tereftalat i umjetna svila. Veličina čestica kretala se od 0,10 mm i 4,86 mm s prosječnom duljinom od  $1,63 \pm 1,12$  mm. Sveukupno, srednja veličina bila je  $1,46 \pm 0,73$  mm i  $1,31 \pm 0,97$  mm iz pod-Arktičke i Arktičke regije [24].

#### **4.4 Mikroplastika u Jadranskom moru**

Institut za oceanografiju i ribarstvo iz Splita pokrenuo je projekt pod nazivom „Sustav gospodarenja napuštenom ribolovnom opremom u Jadranskoj regiji“ koji se bavi širim kontekstom problematike otpada iz mora. Do sada se u Jadranu nisu provodila nikakva istraživanja vezana uz mikroplastiku i ovim se projektom po prvi put sa znanstvenog stajališta pristupilo ovoj problematici. Količina i sastav mikroplastike se istraživao na području srednjeg Jadrana, kao i na ušću rijeke Neretve, koji predstavljaju područja potencijalne veće akumulacije ove vrste otpada. Provedena su i praćenja stanja plutajućeg otpada u moru na lokacijama Brački kanal i akvatorij sjeverno od otoka Hvara. Preko 90% pronađenih predmeta bilo je od plastike, slijede papirnati predmeti i oni od obrađenog drva [1], [25].

Uzorci su prikupljeni pomoću „Manta“ mreža koja je pričvršćena za brod, veličine 330  $\mu$ m. „Manta“ mreže se vuče 30 min pri brzini od 2-3 čvora i nakon završetka mreža se isprala kako bi se koncentrirao zaostali materijal na mreži [1], [25].



Očekivano je veća količina mikroplastike zabilježena u uzorcima bliže obali i u unutrašnjem dijelu riječnog ušća zbog blizine potencijalnih izvora otpada s kopna. Na području splitskog arhipelaga srednje vrijednosti koncentracije mikroplastike bile su znatno veće u jesen nego u proljeće. Sezonska razlika u koncentraciji i sastavu mikroplastike može se objasniti razlikama u hidrološkim parametrima (struje, vjetar, valovi). Uzorci pijeska uzorkovani su tijekom i nakon turističke sezone kako bi se odredili sezonski utjecaji raspodjele mikroplastike. Na plaži Bačvice nađena je nešto veća količina mikroplastike nakon turističke sezone što pokazuje slika 9, dok su znatno veće koncentracije nađene u jesen na plaži Zaglav (otok Vis) što se može objasniti direktnim utjecajem otvorenog mora, jakih južnih vjetrova i valova [1], [25].



*Slika 9 Koncentracija mikroplastike na plažama [1], [25]*

Iz slike 9 najbolje vidimo da otpad iz mora koji je prikupljen u razdoblju između studenog 2014. i ožujka 2016. godine sadrži najviše plastike [1], [25].

## **5 PROBLEMATIKA MIKROPLASTIKE U POVRŠINSKIM VODOTOCIMA**

Procjenjuje se da većina mikroplastičnog onečišćenja u morskom okolišu dolazi s kopna, dok su u unutrašnjosti, slatke vode vrlo važni izvori onečišćenja oceana mikroplastikom. Međutim, studija o onečišćenju mikroplastikom u unutarnjim vodama ima relativno malo u usporedbi s morskim okolišem. U kontinentalnim područjima, rijeke i jezera su izravni primatelji otjecanja iz urbanih, industrijskih i poljoprivrednih područja [26].

Riječni promet je pretežno jednosmjernan, od izvora rijeke prema ušću ili moru. Stopa tog prijevoza povezana je s protokom, prisutnošću vrtloga i drugih sporih vodenih područja te vegetacijom. U slatkoj vodi polimeri plutaju, dok u morskoj vodi slanost povećava njegovu plovnost, kao rezultat toga, više plastike će se akumulirati u područjima koja se sporo kreću [12].

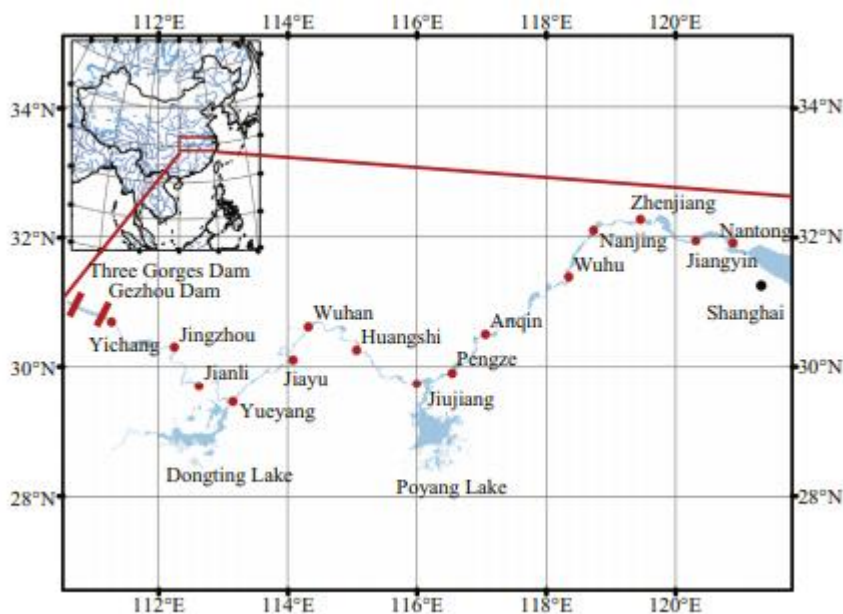
Kao i za oceane i mora, tako su navedene 3 studije i za površinske vodotoke obrađene detaljno u nastavku. Također se vodilo mišljenjem pronalaska što bolje opisanih studija radi bolje usporedbe i količinom potrebnih podataka te se obratila pozornost i na vode tekućice i stajaćice.

### **5.1 Utvrđivanje mikroplastike u rijeci Yangtze, Kina**

Zbog visoke gustoće naseljenosti i visoke potrošnje plastike u Kini, rijeka Yangtze jedna je od najvećih rijeka na svijetu. Smatra se najvećom rijekom za izvoz plastike u ocean u svim postojećim studijama [27].

Uzorci su prikupljeni na 15 mjesta duž 1700 km dugog segmenta srednjeg i donjeg toka rijeke Yangtze prikazano na slici 10. Uzorci su prikupljeni tijekom sušne sezone od studenog do prosinca pomoću plovila za upravljanje ribarstvom. Za prikupljanje uzoraka upotrijebljena je modificirana AVANI mreža s veličinom pora od 333  $\mu\text{m}$ . Širina mreže iznosila je 20 cm, a dubina mreže 57 cm tijekom uzorkovanja.

Nakon 13 do 15 minuta uzorci su prebačeni u staklenu bocu. Koncentracija mikroplastike kao čestica po površini/volumenu izračunata je preko izmjerene brzine protoka, vremena uzorkovanja i dimenzije mreže. U bocu je dodan jedan mililitar formaldehida kako bi se spriječio rast mikroorganizama. Planktonska mreža veličine pora od 64  $\mu\text{m}$ , također je korištena za filtriranje 100 L površinske vode koja je uzorkovana koritom (posudom) od nehrđajućeg čelika za prikupljanje mikroplastike. Mreža je isprana deioniziranom vodom prije svakog uzorkovanja, a sve otopine filtrirane su kroz filtere s veličinom pora 1,2  $\mu\text{m}$ . Provedena je vizualna analiza pod stereomikroskopom te su njihovi tipovi polimera identificirani pomoću Ramanovog mikroskopa [27].



*Slika 10 Mjesta za uzorkovanje duž srednjeg i donjeg toka rijeke Yangtze [20]*

Budući da je širina rijeke bila različita za svako područje, dimenzije mjesta uzorkovanja su izmjerene pomoću satelitskih snimki, a za procjenu količina mikroplastike, množi se količina mikroplastike sa širinom rijeke. Rezultati su ukazali na to da se više od 75% mikroplastike nalazi u površinskom sloju vodenog toka. Stoga bi procjena količine mikroplastike u površinskim vodama trebala približno prikazati cjelokupno stanje onečišćenja. Količina mikroplastike u površinskoj vodi

rijeke Yangtze kretala se od  $1,95 \times 10^5$  do  $9,00 \times 10^5$  komada/m<sup>2</sup> s prosjekom od  $4,92 \times 10^5$  jedinica/km<sup>2</sup>. Mikroplastika je također pronađena u svim uzorcima sedimenta sa sadržajem u rasponu od 7 do 66 kom/kg. U većem broju, mikroplastika je pronađena na mjestima od najvećeg grada do najvećeg povezanog jezera uz ovaj dio te rijeke [27].

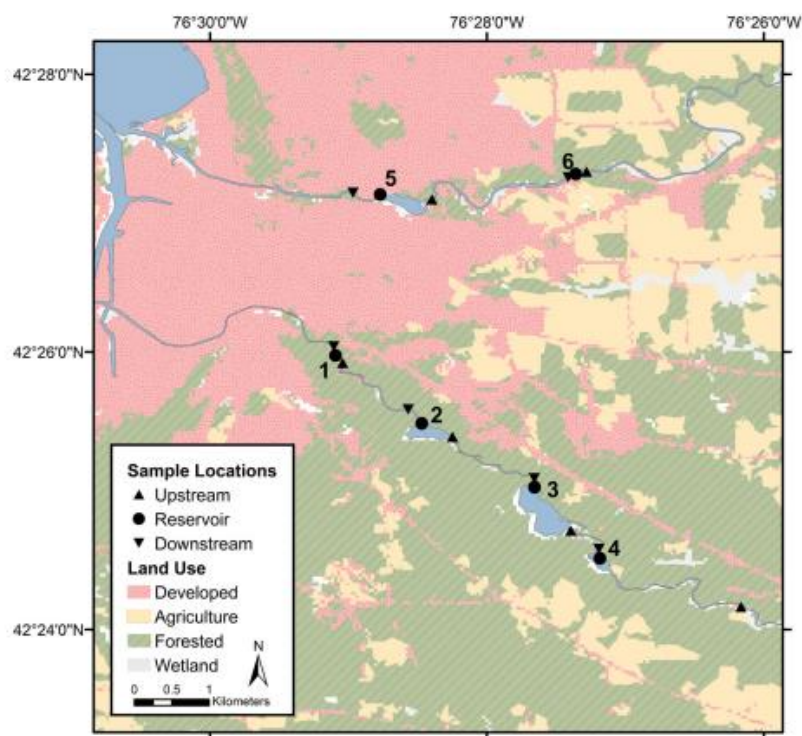
Listovi i fragmenti mikroplastike pronađeni su u većini mjesta tijekom ove studije. Mikroplastika je razvrstana u četiri kategorije po njihovoj veličini: 0,3-0,5 mm, 0,5-1 mm, 1-2 mm, 2-5 mm. Udio mikroplastike u frakciji 0,3-0,5 mm povećao se u blizini ušća. U najvećoj mjeri su pronađene čestice polipropilena (PP), polietilena (PE) te polistirena (PS). Međutim, pronađeni su i drugi tipovi polimera kao što je najlon, celuloza, polioksimetilen (POM), ali u značajno manjoj koncentraciji [27].

Otkrića vezana za mikroplastični transport iz jezera vezanih uz rijeke tijekom sušne sezone impliciraju da se mikroplastika u rijeci Yangtze također može transportirati do tih jezera zbog obrnutog kretanja tijekom vlažnog razdoblja. Bez obzira na njihovu konačnu sudbinu, značajna koncentracija mikroplastike ostaje u riječnom sustavu, što može povećati izloženost slatkovodne biote i povećati potencijalni ekološki rizik. Što se tiče transporta mikroplastike u oceane, trebalo bi provesti poboljšani dugoročni nadzor kako bi se točno procijenilo kretanje mikroplastike iz rijeke u more [27].

## **5.2 Utvrđivanje mikroplastike u rijekama Six Mile Creek i Fall Creek, New York, SAD**

Utvrđivanje mikroplastike provedeno je odabirom 6 brana: dvije na rijeci Fall Creek i četiri uz Six Mile Creek blizu Ithace, New York prikazane na slici 11. Brane su se kretale u visini od 1,5 do 18 m, a za svaku branu je odabrano tri mjesta uzorkovanja: uzvodno od akumulacije, centar unutar akumulacije i nizvodno od brane. Uzorci na branama sakupljeni su unutar 24 sata, a uzorkovanja su završena u roku od 6 dana bez oborina u međuvremenu. Uzorci su se prikupljali u dvije

plastične boce od 1 L koje su tijekom laboratorijske obrade skupljene u jednu (2 L). Uzorci su preneseni u staklene posude, gdje je višak vode dekantiran. Svaki uzorak bio je približno 400 g vlažne mase [28].



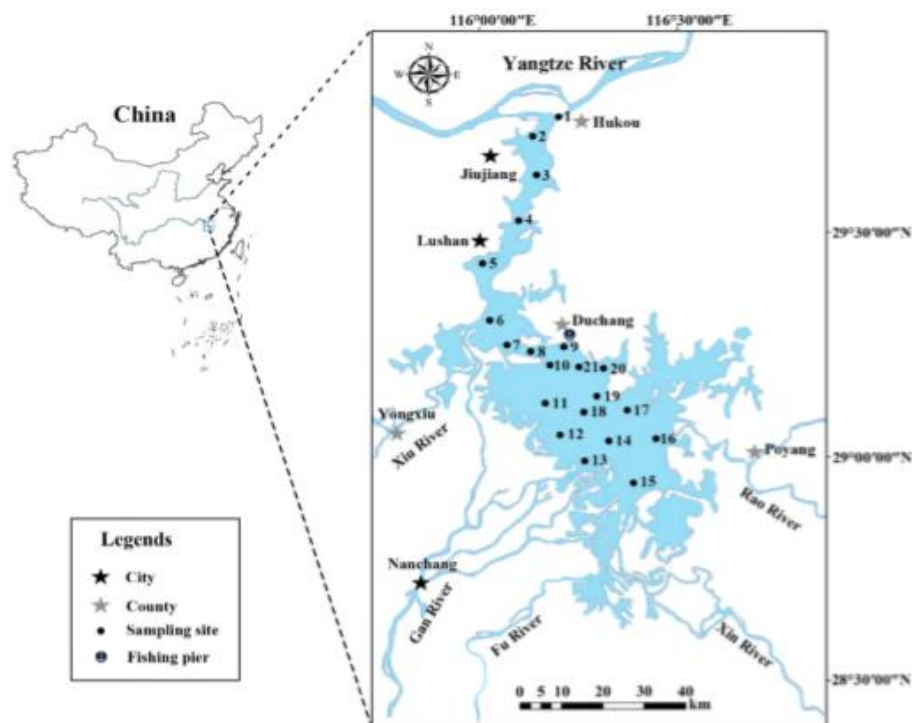
Slika 11 Karta uzorkovanih lokacija na svakoj od 6 ispitanih brana [28]

Uzorci su obrađeni u laboratoriju nakon peroksidne oksidacije i metode odvajanja na temelju različite gustoće te su se prvo filtrirali kroz sita s otvorima od 4,76 mm i 0,335 mm. Nakon toga, uzorci su filtrirani vakuumom na filter papiru pora 0,45  $\mu\text{m}$ . Mikroplastika je vizualno identificirana mikroskopom i proveden je dodatni test tvrdoće kako bi se isključile krhke čestice pod pritiskom. Broj mikroplastičnih čestica se može precijeniti 20 do 70% zbog pogreške identifikacije i zbog toga se ovi rezultati oslanjaju na relativni odnos između mjerenja umjesto na samostalno brojanje iz pojedinačnih uzoraka. Vrste polimera ispitane su pomoću Ramanove spektroskopije s uvećanjem do 20 puta [28].

Koncentracije mikroplastike u sedimentu varirale su na temelju položaja u odnosu na brane. Koncentracije izmjerene u sakupljenim sedimentima unutar akumulacije su značajno veće od onih pronađenih u sedimentima uzvodno od akumulacije. Koncentracije mikroplastike u sedimentu bile su većih veličina od onih u uzorcima vode, što ukazuje na nakupljanje mikroplastike u nanesejoj frakciji [28].

### **5.3 Utvrđivanje mikroplastike u jezeru Poyang, Kina**

Jezero Poyang (slika 12) je najveće slatkovodno jezero u Kini i može se podijeliti na dva dijela. Sjeverni dio, kao plovni put do rijeke Yangtze (duljina 40 km i širina 3-5 km) i južni dio koji predstavlja glavninu jezera (duljina 133 km i širina 74 km) te ga prihranjuje 5 glavnih pritoka. Na jezeru je prikupljeno ukupno 21 uzorak duž jezera Poyang. Prikupljeni su uzorci na dubini do 1 m te su filtrirani kroz sito od nehrđajućeg čelika (50  $\mu\text{m}$ ) i 1000 g sedimenta sa svakog mjesta pohranjeno je u vrećici od aluminijske folije za prijevoz do laboratorija. Uzorci su obrađeni na sobnoj temperaturi s 10 ml  $\text{H}_2\text{O}_2$  (vodikov peroksid) i ostavljene preko noći. Nakon toga, uzorci su se filtrirali na filter papiru veličine pora 0,45  $\mu\text{m}$  te su se zatim sušili u peći na 50°C 24 sata. Mikroplastika je ekstrahirana iz svakog uzorka sedimenta metodom razdvajanja na temelju različitih gustoća. Provedena je vizualna identifikacija kako bi se dobili podatci o boji, obliku i veličini mikroplastike te se zatim provela Ramanova identifikacija poradi utvrđivanja vrsta polimera [26].



Slika 12 Geografski položaj rijeke Poyang [26]

Za površinske vode, najviša razina mikroplastike utvrdila se u srednjem dijelu jezera, nakon čega slijedi sjeverni kanal, dok su nalazišta u južnom dijelu jezera imala najnižu razinu mikroplastičnog onečišćenja. Potvrđivanje čestica plastike identificirano je mikro-Ramanom spektroskopijom. Od 100 odabranih čestica, 89 je uspješno identificirano kao plastika, a to su PP i PE u nešto većoj mjeri i PVC i najlon u manjoj mjeri, a preostale čestice bile su neplastične. Udjeli mikroplastike niže gustoće (PP i PE) u vodama bili su veći od onih u sedimentima, dok je udio PVC-a ( $1,38-1,14 \text{ g/cm}^3$ ) u vodama znatno je niža od one u sedimentima [26].

Studije su pokazale da je mikroplastika u sedimentima u većoj mjeri povezana s izvorima onečišćenja, nego onima u vodama (isto se odnosi i na istraživanja u rijekama). Međutim, prostorna korelacija između mikroplastičnog onečišćenja površinskih voda i sedimenata još trebaju daljnja istraživanja. Problem kod voda stajaćica, u ovom slučaju jezera, je taj što dolazi do dužeg vremena zadržavanja

jezerske vode koja omogućuje raspadanje većih plastičnih materijala u mikroplastiku i njeno kontinuirano gomilanje [26].



## 6 ZAKLJUČAK

Svi Zemljini ekosustavi su vrlo vjerojatno onečišćeni mikroplastikom. Premda se o onečišćenosti okoliša mikroplastikom počelo govoriti još 1970-ih, intenzivnija istraživanja krenula su u posljednjih nekoliko godina. Stoga, studije prikazane u ovom radu predstavljaju dio pionirskih istraživanja glede utvrđivanja onečišćenja mikroplastikom i nastojanja utvrđivanja unificirane metodologije istraživanja.

Plastika vjerojatno nikad neće nestati, ali može se smanjiti njezina upotreba ili ju zamijeniti nekim drugim proizvodima. Da bi se smanjila količina mikroplastike u okolišu, prvenstveno je važno smanjiti količinu otpadne plastike koja dospijeva u okoliš. Mikroplastika se nalazi svuda u okolišu i izvan njega, ali najčešće završi u vodama i to u jezerima, rijekama, morima i oceanima. Može se direktno ispustiti u mora i oceane ili transportirati jezerima i rijekama. Međutim, najviše plastike u vodene tokove dolazi s kopna, tj. ljudskom aktivnošću.

Zbog nedostatka ujednačenosti i jednostavnosti u metodama uzorkovanja, događaju se brojne varijacije između istraživačkih skupina u svim koracima uzorkovanja. Problem je što još nije navedena standardna mreža, pore ili veličina očica koje bi se koristile za uzorkovanja različitih veličina mikroplastike. Najviše studija bavilo se utvrđivanjem mikroplastike u morima i oceanima, dok je utvrđivanje mikroplastike u rijekama, jezerima i drugim površinskim vodotocima manje zastupljeno u istraživanjima. Najviše istražitelja ovog područja slaže se u tome da se više mikroplastike nalazi u sedimentima nego u vodama, ali i ta tvrdnja treba daljnje istraživanje.

Ovaj rad je dobra podloga za ukazivanje na onečišćenosti vodenog okoliša mikroplastikom i počecima njenog istraživanja. S druge strane, rad ukazuje na trenutnu nepotpunost informacija, koja može dovesti do povećanja zainteresiranosti istraživača za ovu temu te tako poboljšati kvalitetu i načine uzorkovanja i analize mikroplastike u okolišu u budućnosti.

## 7 LITERATURA

- [1] A. Klarić, Karakterizacija mikroplastike iz sedimenata plaže”, diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu Prirodoslovno- matematički fakultet, Zagreb, 2019.
- [2] A. B. Silva, A. S. Bastos, C. I. L. Justino, J. P. da Costa, A. C. Duarte, and T. A. P. Rocha-Santos, “Microplastics in the environment: Challenges in analytical chemistry - A review,” *Anal. Chim. Acta*, vol. 1017, pp. 1–19, 2018.
- [3] J. Sun, X. Dai, Q. Wang, M. C. M. van Loosdrecht, and B. J. Ni, “Microplastics in wastewater treatment plants: Detection, occurrence and removal,” *Water Res.*, pp. 21–37, 2019.
- [4] G. Gatidou, O. S. Arvaniti, and A. S. Stasinakis, “Review on the occurrence and fate of microplastics in Sewage Treatment Plants,” *J. Hazard. Mater.*, pp. 504–512, 2019.
- [5] M. Rujnić-Sokele, “Plastični otpad – globalni ekološki problem”, *Polimeri: Časopis za plastiku i gumu*, vol. 36, pp. 1–2, 2015.
- [6] Greenpeace Hrvatska, “Breme plastike za europski okoliš”, 2017. [Online]. Dostupno na: <https://www.greenpeace.org/croatia/breme-plastike-za-europski-okolis/> [Preuzeto:17-06-2019.]
- [7] E. C. Atwood, F. M. Falcieri, S. Piehl, M. Bochow, M. Matthies, J. Franke, S. Carniel, M. Sclavo, C. Laforsch, F. Siegert, “Coastal accumulation of microplastic particles emitted from the Po River, Northern Italy: Comparing remote sensing and hydrodynamic modelling with in situ sample collections,” *Marine Pollution Bulletin* 2019.
- [8] T. Wang, X. Zou, B. Li, Y. Yao, Z. Zang, Y. Li, W. Yu, W. Wang, “Preliminary study of the source apportionment and diversity of microplastics: Taking floating microplastics in the South China Sea as an example,” *Environ. Pollut.*, pp. 965–974, 2019.
- [9] C. G. Alimba and C. Faggio, “Microplastics in the marine environment: Current trends in environmental pollution and mechanisms of toxicological profile,” *Environmental Toxicology and Pharmacology*, vol. 68. pp. 61–74, 2019.
- [10] S. Zhang, J. Wang, X. Liu, F. Qu, X. Wang, X. Wang, Y. Li, Y. Sun, “Microplastics in the environment: A review of analytical methods, distribution, and biological effects,” *TrAC - Trends Anal. Chem.*, vol. 111, pp. 62–72, 2019.
- [11] J. C. Prata, J. P. da Costa, A. C. Duarte, and T. Rocha-Santos, “Methods for sampling and detection of microplastics in water and sediment: A critical

- review,” *TrAC - Trends Anal. Chem.*, vol. 110, pp. 150–159, 2019.
- [12] N. Welden, „Microplastics: Emerging Contaminants Requiring Multilevel Management“, *Waste*, pp. 405-424, Elsevier Inc., 2019.
  - [13] V. Godoy, M. A. Martín-Lara, M. Calero, and G. Blázquez, “Physical-chemical characterization of microplastics present in some exfoliating products from Spain,” *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 139, pp. 91–99, Feb. 2019.
  - [14] S. Rist, B. Carney Almroth, N. B. Hartmann, and T. M. Karlsson, “A critical perspective on early communications concerning human health aspects of microplastics,” *Sci. Total Environ.*, vol. 626, pp. 720–726, 2018.
  - [15] “Manta net - Aquatic BioTechnology.” [Online]. Dostupno na: <https://aquaticbiotechnology.com/en/plankton-nets/manta-net>. [Preuzeto: 02-05-2019].
  - [16] “June | 2011 | NOAA Teacher at Sea Blog.” [Online]. Dostupno na: <https://noaateacheratsea.blog/2011/06/>. [Preuzeto: 02-05-2019].
  - [17] R. M. Blair, S. Waldron, V. Phoenix, and C. Gauchotte-Lindsay, “Micro- and Nanoplastic Pollution of Freshwater and Wastewater Treatment Systems,” *Springer Sci. Rev.*, vol. 5, no. 1–2, pp. 19–30, 2017.
  - [18] R. Curtis Bird, “Separation of Cell Populations Synchronized in Cell Cycle Phase by Centrifugal Elutriation.” [Online]. Dostupno na: [https://biocyclopedia.com/index/cell\\_biology\\_methods/separation\\_of\\_cell\\_populations.php](https://biocyclopedia.com/index/cell_biology_methods/separation_of_cell_populations.php). [Preuzeto: 02-05-2019].
  - [19] “Using a Mirror Stereoscope | Northern Land Manager.” [Online]. Dostupno na: <http://www.landmanager.org.au/using-mirror-stereoscope>. [Preuzeto: 02-05-2019].
  - [20] M. Lares, M. C. Ncibi, M. Sillanpää, and M. Sillanpää, “Occurrence, identification and removal of microplastic particles and fibers in conventional activated sludge process and advanced MBR technology,” *Water Res.*, vol. 133, pp. 236–246, 2018.
  - [21] N. L. Fahrenfeld, G. Arbuckle-Keil, N. Naderi Beni, and S. L. Bartelt-Hunt, “Source tracking microplastics in the freshwater environment,” *TrAC - Trends Anal. Chem.*, vol. 112, pp. 248–254, 2019.
  - [22] M. B. Zobkov, E. E. Esiukova, A. Y. Zyubin, and I. G. Samusev, “Microplastic content variation in water column: The observations employing a novel sampling tool in stratified Baltic Sea,” *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 138, no. November 2018, pp. 193–205, 2019.
  - [23] W. P. de Haan, A. Sanchez-Vidal, and M. Canals, “Floating microplastics

- and aggregate formation in the Western Mediterranean Sea,” *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 140, no. December 2018, pp. 523–535, 2019.
- [24] J. Mu, L. Qu, F. Jin, S. Zhang, C. Fang, X. Ma, W. Zhang, C. Huo, Y. Cong, J. Wang, “Abundance and distribution of microplastics in the surface sediments from the northern Bering and Chukchi Seas,” *Environ. Pollut.*, pp. 122–130, 2019.
  - [25] P. Tutman, “Projekt DeFishGear –sustav gospodarenja otpadom iz mora u Jadransko –jonskoj regiji,” *Insitut za Oceanografiju i Ribarstvo, Split*, 2014.
  - [26] W. Yuan, X. Liu, W. Wang, M. Di, and J. Wang, “Microplastic abundance, distribution and composition in water, sediments, and wild fish from Poyang Lake, China,” *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, vol. 170, no. October 2018, pp. 180–187, 2019.
  - [27] X. Xiong, C. Wu, J. J. Elser, Z. Mei, and Y. Hao, “Occurrence and fate of microplastic debris in middle and lower reaches of the Yangtze River – From inland to the sea,” *Sci. Total Environ.*, vol. 659, pp. 66–73, 2019.
  - [28] L. Watkins, S. McGrattan, P. J. Sullivan, and M. T. Walter, “The effect of dams on river transport of microplastic pollution,” *Sci. Total Environ.*, vol. 664, pp. 834–840, 2019.

## POPIS SLIKA

|                                                                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Slika 1 Godišnja proizvodnja plastike u svijetu [1] .....                                                                  | 2  |
| Slika 2 Prikaz mreže – „Manta net“ [15] .....                                                                              | 10 |
| Slika 3 Prikaz mreže – „Bongo net“ [16] .....                                                                              | 10 |
| Slika 4 Prikaz procesa elutriacije [18] .....                                                                              | 14 |
| Slika 5 Prikaz stereoskopa [19] .....                                                                                      | 15 |
| Slika 6 Dijagram rasporeda PLEX-a [22] .....                                                                               | 19 |
| Slika 7 Vertikalna raspodjela koncentracije mikroplastike (vlakna, fragmenti i filmovi) [22] .....                         | 21 |
| Slika 8 Karta područja istraživanja: 1) sjeverni Katalonski transekt, 2) transekt Cartagena, 3) Campo de Dalías [23] ..... | 23 |
| Slika 9 Koncentracija mikroplastike na plažama [1] .....                                                                   | 26 |
| Slika 10 Mjesta za uzorkovanje duž srednjeg i donjeg toka rijeke Yangtze [20] ...                                          | 28 |
| Slika 11 Karta uzorkovanih lokacija na svakoj od 6 ispitanih brana [27] .....                                              | 30 |
| Slika 12 Geografski položaj rijeke Poyang [25] .....                                                                       | 32 |

## POPIS TABLICA

Tablica 1 – Odvajanje tipova polimera pomoću otopina korištenih u separaciji gustoće. (oznake:  $\pm$  moguća separacija, + separacija, - nije separirano) [11]..... 13

## POPIS KRATICA

|                               |                                                   |
|-------------------------------|---------------------------------------------------|
| PE                            | polietilen                                        |
| PP                            | polipropilen                                      |
| PS                            | polistiren                                        |
| PVC                           | polivinil klorid                                  |
| PET                           | polietilen tereftalat                             |
| PU                            | poliuretan                                        |
| SBR                           | stiren-butadienska guma                           |
| PBC                           | poliklorirani bifenil                             |
| PAHs                          | policiklički aromatski ugljikovodici              |
| DDT                           | dikloro-difenil-trikloroetan i njegovi metaboliti |
| PBDE                          | polibromirani difenil eter                        |
| UNEP                          | program Ujedinjenih naroda za okoliš              |
| FTIR                          | Fourieriova infracrvena spektroskopija            |
| POM                           | polioksimetilen                                   |
| NaCl                          | Natrijev klorid                                   |
| NaBr                          | Natrijev bromid                                   |
| NaI                           | Natrijev jodid                                    |
| ZnBr <sub>2</sub>             | Cinkov bromid                                     |
| H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> | Vodikov peroksid                                  |
| Pyro-GC-MS                    | Pyrolysis-gas chromatography - mass spectrometry  |
| PA                            | poliamid                                          |
| PMA                           | poli metil akrilat                                |

|      |                      |
|------|----------------------|
| PVA  | polivinil alkohol    |
| PMMA | polimetil metakrilat |
| PF   | fenolne smole        |
| PTR  | politerpene smole    |
| PUR  | poliuretan           |