Mikroplastika - nevidljiva prijetnja zdravlju i okolišu

Radovan, Ana-Maria

Undergraduate thesis / Završni rad

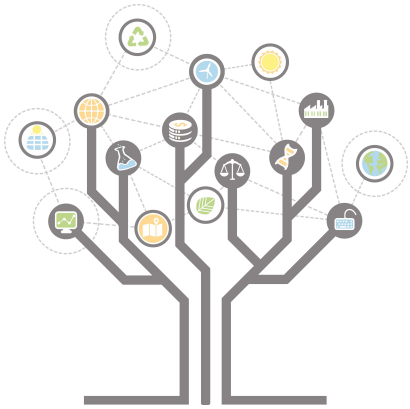
2019

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:130:017553

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations

zir.nsk.hr

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEOTEHNIČKI FAKULTET

ANA-MARIA RADOVAN

MIKROPLASTIKA – NEVIDLJIVA PRIJETNJA ZDRAVLJU I OKOLIŠU

ZAVRŠNI RAD

VARAŽDIN, 2019.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEOTEHNIČKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD

MIKROPLASTIKA – NEVIDLJIVA PRIJETNJA ZDRAVLJU I OKOLIŠU

KANDIDAT:

ANA-MARIA RADOVAN

MENTOR:

izv.prof.dr.sc. ANITA PTIČEK SIROČIĆ

KOMENTOR:

izv.prof.dr.sc. NIKOLA SAKAČ

NEPOSREDNI VODITELJ

dr.sc. DRAGANA DOGANČIĆ

VARAŽDIN, 2019.

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom

MIKROPLASTIKA – NEVIDLJIVA PRIJETNJA ZDRAVLJU I OKOLIŠU

(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. Anite Ptiček Siročić** i komentorstvom **izv. prof. dr. sc. Nikole Sakača.**

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, 19.6. 2019.

ANA-MARIA RADOVAN
(Ime i prezime)



(Vlastoručni potpis)

SAŽETAK

Posljedica nezaustavljivog rasta proizvodnje plastike i neadekvatnog odlaganja otpada je onečišćenje plastikom koje postaje globalni izazov. Velike su količine odbačene plastike u okolišu pod direktnim utjecajem biotičkih i abiotičkih faktora zbog kojih dolazi do usitnjavanja čestica i nastajanja sitnih čestica plastike, odnosno mikroplastike. Mikroplastika je brzorastući onečišćivač koji, zbog svoje sveprisutnosti u okolišu i u čovjekom neposrednom okruženju, izaziva veliku zabrinutost javnosti, ali i privlači pažnju znanstvenika u otkrivanju štetnih utjecaja na zdravlje i okoliš. Male dimenzije čestica stvaraju poteškoće pri detekciji, identifikaciji, a posebice pri uklanjanju mikroplastike iz okoliša. Zbog toksičnih efekata, potrebno je smanjiti odlaganje plastike u okoliš te razviti ili poboljšati već postojeće metode te provesti zakonsku regulativu kojima bi se smanjilo ispuštanje mikroplastike u okoliš.

Ključne riječi: okoliš, mikroplastika, bioakumulacija, toksičnost

SADRŽAJ

1 UVOD 1

2 OPĆI DIO 3

2.1 Plastika 3
2.2 Mikroplastika 6
2.3 Prisutnost mikroplastike u okolišu 10
2.3.1 Mikroplastika u vodi 11
2.3.2 Mikroplastika u tlu 12
2.3.3 Mikroplastika u zraku 14
2.3.4 Mikroplastika u hrani 14
2.4 Utjecaj mikroplastike na životinje 14
2.5 Utjecaj na ljudsko zdravlje 19
2.6 Analitičke metode određivanja i uklanjanje mikroplastike 20
2.6.1 Uzorkovanje mikroplastike 20
2.6.2 Detekcija i identifikacija mikroplastike 23
2.6.3 Uklanjanje mikroplastike 27
2.6.4 Biodegradacija 30
2.7 Sustav gospodarenja plastičnim otpadom 31

3 ZAKLJUČAK 35

4 LITERATURA 36

Popis slika 42
Popis tablica 43

1 UVOD

Polimerni materijali našli su svoje mjesto u svakodnevnim aktivnostima ljudi, unaprijedivši kvalitetu i standard života. Zbog sve veće potražnje, a samim time i proizvodnje polimera, današnje doba naziva se polimerno doba te se smatra da će polimerni materijali biti „željezo i čelik“ 21. stoljeća [1]. Sve veća upotreba plastičnih proizvoda dovodi do stvaranja velikih količina čvrstog plastičnog otpada koji se ne može uključiti u prirodne kružne tokove razgradnje, odnosno ne dolazi do biorazgradnje. Velike količine plastičnog otpada potrebno je zbrinuti na „što učinkovitiji i za okoliš manje štetan način“ [2]. No, zbog nesavjesnog postupanja s otpadom i loše infrastrukture gospodarenja otpadom, plastika često završi gdje joj nije mjesto - u okolišu. Najveća mana plastike je spor proces razgradnje zbog čega se sve više akumulira u okolišu što je čini najuočljivijom vrstom otpada u okolišu, a ogromne količine plastičnog otpada, koje stvaraju sve veće probleme u okolišu, uzrokuju negativno mišljenje o plastici [3, 4]. Otpadnu plastiku je moguće naći diljem svijeta te je onečišćenje plastikom postalo globalni problem. Međutim, ukoliko se pravilno gospodari otpadnom plastikom, njezin štetan utjecaj može se svesti na minimum.

Posljedica lošeg gospodarenja otpadnom plastikom je nastajanje sitnih plastičnih čestica, odnosno čestica mikroplastike koje su teško vidljive golim okom, imaju štetna svojstva te postaju prijetnja okolišu i zdravlju ljudi. Mikroplastika je brzorastući onečišćivač, a zbog mikroskopske veličine čestica (< 5 mm) teško ju je povezati s izvorom onečišćenja, kao i ukloniti iz okoliša budući da prolazi kroz većinu filtara. Mikroplastika se nalazi u svim sastavnicama okoliša, uključujući tlo, zrak i površinske slojeve u morskim i slatkovodnim sustavima te u pitkoj vodi. U okruženju čovjeka može se pronaći plastika i produkti nastali abrazijom plastike, usitnjavanjem plastičnog otpada, odbačeni/izgubljeni predmeti iz ribolova i mikroplastična tekstilna vlakna kao i sitni komadići plastike izravno ispušteni iz tvornica. Velike količine mikroplastike dolaze u okoliš iz uređaja za pročišćavanje vode i iz sustava za odvodnju oborinskih voda. Iako onečišćenje plastikom utječe na sve sastavnice okoliša, najviše je istražen morski okoliš kod kojeg brojne ribe, ptice i beskralježnjaci

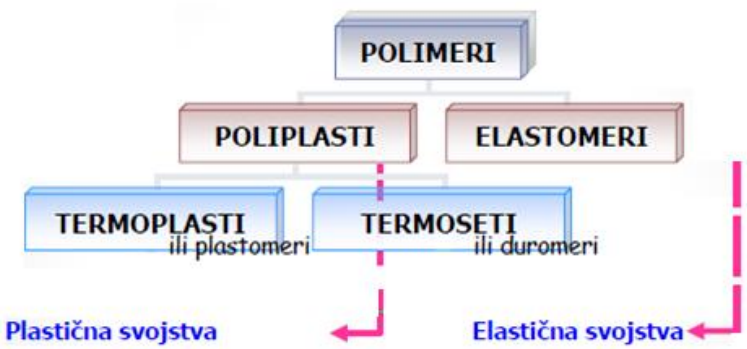
gutaju makro- i mikroplastiku [5, 6]. Mikroplastika sadrži brojne štetne kemikalije, kao što su primjerice dioksini, furani, policiklički aromatski ugljikovodici (PAU) te teški metali koji ulaze u hranidbeni lanac i akumuliraju se u tkivima organizama i imaju negativan učinak na organizam. Upravo zbog malih veličina čestica organizmi je lako unose putem ishrane i disanjem, nakon čega dolazi do bioakumulacije i kruženja mikroplastike u hranidbenim lancima[5]. Kako se čovjek nalazi na samom vrhu hranidbenog lanca potrebno je detaljno istražiti utjecaj mikroplastike na ljudski organizam i na vrijeme spriječiti veće posljedice na zdravlje čovjeka. Postojeće metode detekcije, identifikacije i uklanjanja mikroplastike iz okoliša nemaju dovoljan učinak te ih je potrebno dodatno istražiti. Također, još uvijek ne postoje zakonske regulative kojima bi se ograničilo ispuštanje mikroplastike u okoliš[6]. Cilj ovog rada bio je opisati izvore mikroplastike i njezino pojavljivanje u okolišu, štetan utjecaj na živi svijet te načine detekcije, identifikacije i uklanjanja mikroplastike iz okoliša.

2 OPĆI DIO

2.1 Plastika

Pojam plastika obuhvaća različite vrste sintetskih polimernih spojeva. Riječ polimer složenica je dviju riječi grčkog podrijetla: „poli“ što znači mnogo i „meros“ što znači dio, a prvi put je spomenuta 1833. godine kada je švedski kemičar Jöns Jakob Berzelius tako nazvao spojeve koji se sastoje od slijeda istovrsnih jedinica, odnosno mera. Postoje dvije vrste polimera, a to su prirodni ili biopolimeri koji nastaju biosintezom u živim organizmima (primjerice škrob, celuloza, bjelančevine) te sintetski proizvedeni polimeri. Sintetski polimeri mogu biti anorganskog i organskog podrijetla, a dobivaju se procesom polimerizacije nakon čega se dodatkom punila, pigmenata, stabilizatora, antioksidansa i usporivača gorenja prerađuju u materijale. Za proizvodnju plastičnih materijala koristi se 5 do 6 % nafte kao osnovne sirovine iz neobnovljivih izvora. Plastični materijali postali su važni i sveprisutni u gospodarstvu zbog lake zamjene za prirodne materijale i sirovine, niske cijene prerade te dobrih svojstava kao što su mala masa, različite mogućnosti prerade s ciljanim svojstvima, izdržljivost i mala energija potrebna za proizvodnju plastičnih proizvoda [1].

Polimeri se dijele u dvije skupine, a to su poliplasti i elastomeri dok se poliplasti dijele na termoplaste/plastomere i termosete/duromere (Slika 1). Poliplasti imaju plastična svojstva, a elastomeri poprimaju elastična svojstva. Plastomeri se zagrijavanjem omekšaju ili rastale, a hlađenjem očvrsnu tako da ne promijene svojstva dok se elastomeri odlikuju savitljivošću pri sobnoj temperaturi, a duromeri se ne mogu preoblikovati zagrijavanjem i lako se lome [7].

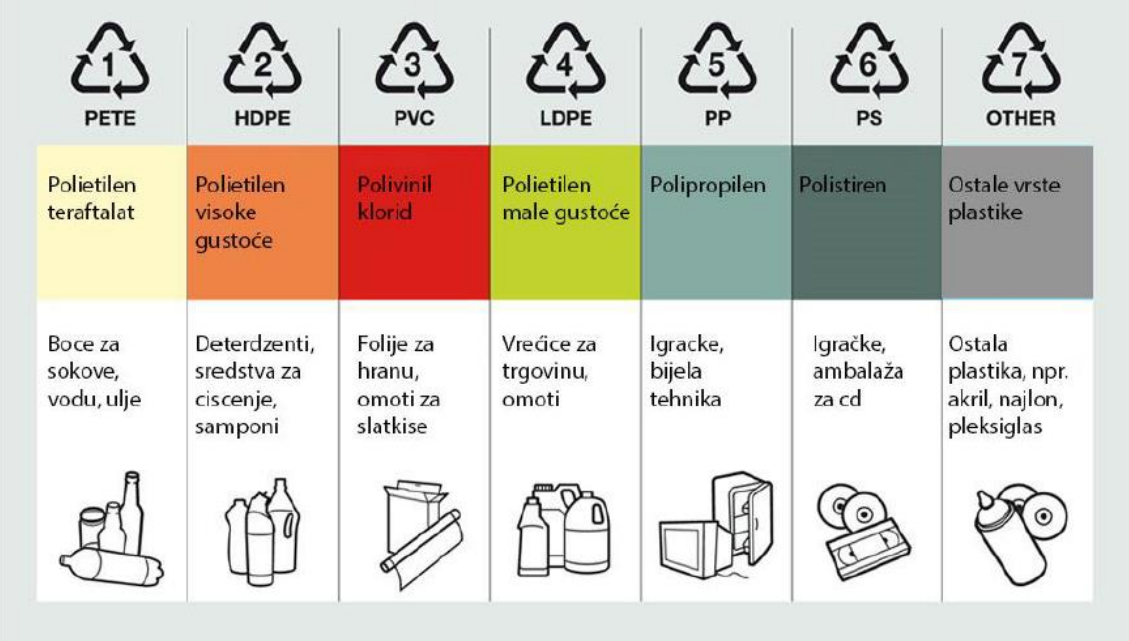


Slika 1. Prikaz podjele polimera [7]

Svojstva polimera ovise o strukturi polimernih molekula (lanaca) i kemijskom sastavu, a neka od njih su:

1) kemijska: degradacija, topljivost, gorivost, barijerna svojstva
2) mehanička: čvrstoća, istezanje, tvrdoća
3) fizička: temperatura taljenja, gustoća, viskoznost
4) optička: transparentnost
5) električna vodljivost

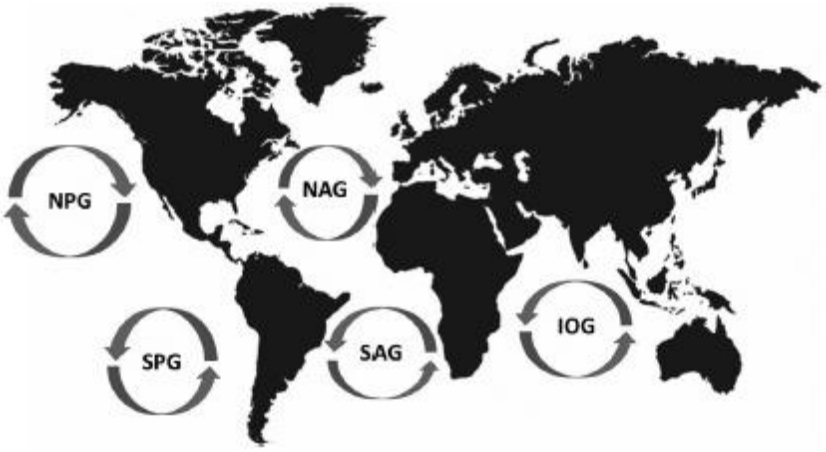
Polimerni materijali dijele se na: poli(etilen-tereftalat) (PET), polietilen (PE), polietilen visoke gustoće (HDPE), polietilen niske gustoće (LDPE), polivinil-klorid (PVC), polipropilen (PP), polistiren (PS), najlon (PA), celulozni acetat (CA) i ostalo. Slika 2 prikazuje pojedine vrste polimernih materijala s njihovim simbolima i najčešćom upotrebom. Mogu se koristiti u područjima transporta, građevinarstva, medicine i elektronike te za pakiranje proizvoda (ambalaža)[3]. Također, mnogi oblici tehničkog napretka, npr. u zrakoplovstvu, automobilskoj industriji, elektrotehnici, komunikacijskim tehnologijama i slično, bili bi nezamislivi bez ciljane upotrebe plastičnih materijala.



Slika 2. Prikaz najznačajnih vrsta polimernih materijala, njihovi simboli i upotreba [8]

Globalna proizvodnja plastike je u 2015. godini iznosila 322 milijuna tona, a pretpostavlja se da će se u narednih 20 godina udvostručiti. Svake godine nastane 25,8 milijuna tona plastičnog otpada u Europi, pri čemu se samo 30% otpada prikupi za recikliranje. Nadalje, od 5 do 13 milijuna tona plastike završi u oceanima dok ta brojka u EU iznosi od 150 000 do 500 000 tona, a procjenjuje se da plastika čini preko 80% morskog otpada koji se prenosi morskim strujama na velike udaljenosti, posebice na kopno, razgrađuje se u mikroplastiku ili stvara gusta područja morskog otpada zatočena u oceanskim vrtlozima. Samo u EU svake godine se ispusti od 75 000 do 300 000 tona mikroplastike u okoliš putem fragmentacije većih komada plastičnog otpada, ali se i znatne količine unose izravno, čime je otežano praćenje količina plastičnog otpada [9]. Otpadna plastika čini 22,9% komunalnog otpada, a 95% ukupno proizvedenih polimernih materijala čini sedam materijala: poli(etilen-tereftalat) (PET), polietilen niske gustoće (LDPE), linearni polietilen niske gustoće (LLDPE), polietilen visoke gustoće (HDPE), poli(vinil-klorid) (PVC), polipropilen (PP) i polistiren (PS) [2, 10].

Otpadna plastika može se pronaći u otvorenim morima, na obali, na najudaljenijim otocima, a čak i duboko u moru. Plutajuća plastika se u oceanima kreće vertikalno i horizontalno. Horizontalno kretanje je uzrokovano kretnjama vode koje diktiraju morske struje i vrtlozi. U oceanima postoje velike i stalne morske struje između kojih nastaju vrtlozi te kad se plutajuća plastika nađe unutar njih uglavnom tamo i ostaje. Postoji 5 takvih vrtloga (Slika 3): dva su u Atlantskom oceanu, dva u Tihom i jedan je u Indijskom oceanu [11].



Slika 3. Smještaj vrtloga u kojima se nalaze velike količine otpadne plastike, NPG (engl. North Pacific Gyre) – sjeverno-pacifički vrtlog, SPG (engl. South Pacific Gyre) – južno-pacifički vrtlog, NAG (engl. North Atlantic Gyre) – sjeverno-atlantski vrtlog, SAG (engl. South Atlantic Gyre) – južno-atlantski vrtlog, IOG (engl. Indian Ocean Gyre) – indijsko-oceanski vrtlog [11]

2.2 Mikroplastika

Čestice plastike promjera manjeg od 5 mm prvi su put spomenute 1972. kada su povezane s mogućim opasnostima i potencijalnim posljedicama. Također, tada je spomenut i unos sitnih čestica putem hrane od strane mnogih životinja, adsorpcija postojanih organskih onečišćivala (POPs) i teških metala te kolonizacija tih čestica mikroorganizmima – stvaranje biofilma [12]. Nadalje, sitne čestice plastike su najčešće onečišćivalo kopnenih i vodenih ekosustava, a visoke koncentracije uočene su 2004. godine u uzorcima morskih planktona koji su skupljani od 1960. godine između Aberdeena i Shetlandskog otočja te

između otoka SuleSkerry i Islanda [13]. Već su tada takve sitne čestice predstavljene kao opasnost za okoliš i zdravlje ljudi, a danas zauzimaju prvo mjesto najvećih potencijalnih prijetnji.

U prirodnom okolišu mogu se naći plastične čestice različitih veličina, stoga se plastika dijeli na makroplastiku (čestice dimenzija većih od 2,5 cm), mezoplastiku (čestica dimenzija između 2,5 cm i 5 mm), mikroplastiku i nanoplastiku [14]. Kao gornja granica dimenzija čestica mikroplastike najčešće se uzima 5 mm, a donja granica još uvijek nije određena [5]. Europska komisija definira dimenzije čestica mikroplastike između 5 mm i 100 nm, dok se veličina čestica nanoplastike kreće između 1 i 100 nm [15].

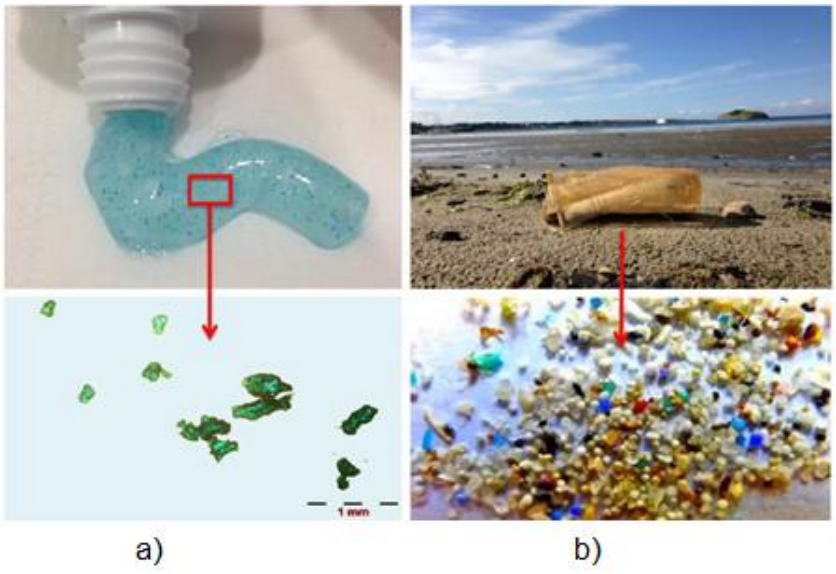
Prema tipu mikroplastike postoje primarna i sekundarna. Primarna mikroplastika u okoliš izlazi direktno iz tvornica, prilikom proizvodnje plastičnih produkata (Slika 4). Plastika se prvotno proizvodi u obliku granula koje se kasnije dodatno mogu obrađivati ili ostaju u izvornim oblicima i koriste se u kozmetičkim proizvodima kao abrazivna sredstva (služe za uklanjanje površinskog odumrlog sloja kože, tzv. „peeling“), a dodaju se u: paste za zube jer ne oštećuju caklinu, u dekorativnu kozmetiku, u proizvode za čišćenje domaćinstva i sredstva za pjeskarenje te tonere (Slika 5) [16]. Čestice koje se dodaju u kozmetičke proizvode različitog su oblika, veličine i sastava ovisno o zahtjevima proizvođača.



Slika 4. Plastični peleti [5]

Sekundarna mikroplastika nastaje usitnjavanjem ili degradacijom većih komada otpadne plastike u okolišu, abrazijom automobilskih guma, trošenjem brodske opreme i ribolovnog alata te ispuštanjem mikrovlakana prilikom pranja rublja (Slika 5). Plastični otpad je u prirodi izložen vanjskim utjecajima: sunčevo zračenje, kemikalije, vjetar i slično koji uzrokuju usitnjavanje, degradaciju, površinske modifikacije, promjenu gustoće i veličine čestica [17]. Degradacija je kemijska promjena u kojoj dolazi do smanjenja prosječne molekularne mase polimera (veći lanci se raspadaju na manje) i na taj način dolazi do narušavanja mehaničkih svojstava. Plastični materijali koji su više puta degradirani postaju krhki i počnu se raspadati u praškaste fragmente. Takvi fragmenti također mogu proći proces degradacije te dolazi do dodatnog usitnjavanja plastičnih materijala. Prema uzročnicima degradacije postoje [18]:

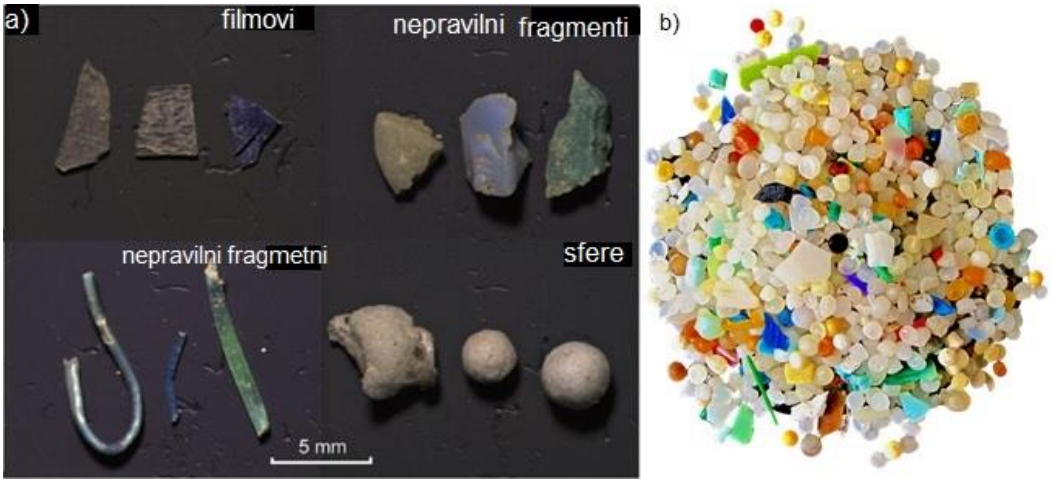
1) biodegradacija – degradacija pomoću organizama
2) fotodegradacija – degradacija uzrokovana svjetlom: UVA i UVB zrake
3) termalna – degradacija pri visokim temperaturama
4) termooksidativna – sporo oksidativno raspadanje pri umjerenim temperaturama
5) hidroliza – reakcija s vodom



Slika 5. a) mikroplastika dodana u paste za zube, b) mikroplastika nastala degradacijom plastičnog otpada [5]

Kemijska i fizikalna svojstva usitnjenih čestica se ne mijenjaju već ostaju ista kao i kod ishodišnog materijala. Prema tome, mikroplastika ima dug životni vijek kao i plastika, a sastav mikroplastike isti je kao i kod plastičnog otpada: PET, LDPE, LLDPE, HDPE, PVC, PP i PS [11]. Najčešće spomenute vrste plastike od kojih su izgrađene čestice mikroplastike su PE (92%), PP i PS [11].

Nadalje, mikroplastika se u okolišu može naći u različitim oblicima kao što su sfere, peleti, nepravilni fragmenti i vlakna, a najviše su zastupljena vlakna, zatim granule i filmovi/tanke prevlake [5]. Čestice mikroplastike mogu se pojaviti u različitim bojama kao što su: crvena, bijela, prozirna, plava, zelena, crna, ljubičasta, žuta i smeđa (Slika 6) [19].



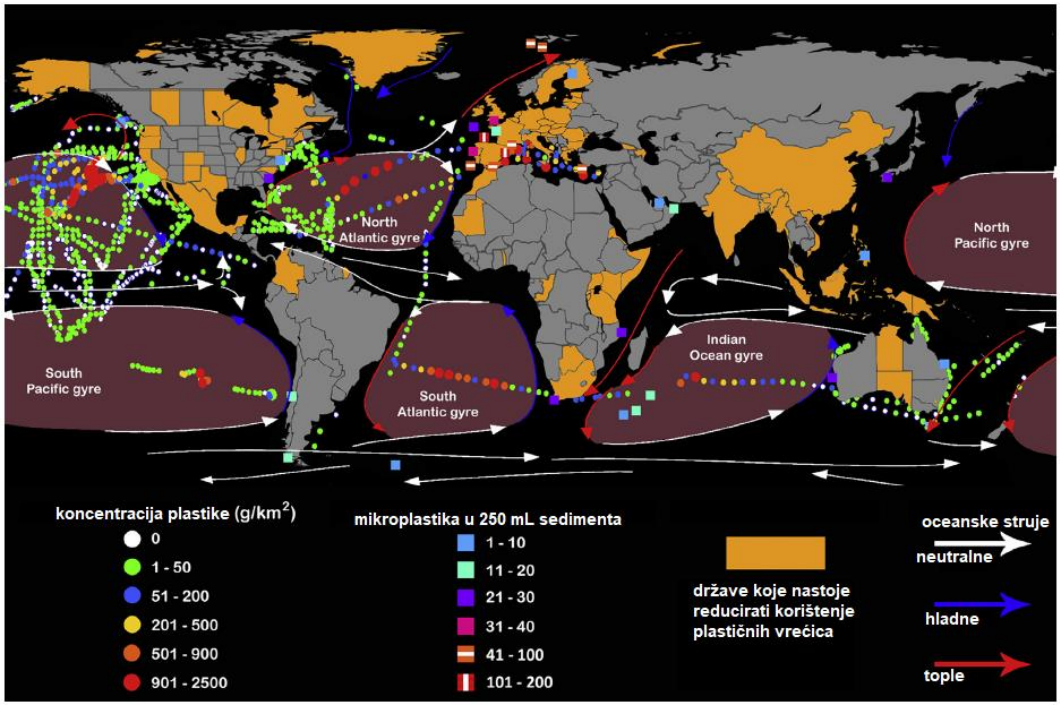
Slika 6. a) različiti oblici mikroplastike, b) mikroplastika u različitim bojama [20]

Mikroplastika ima hidrofobna svojstva zbog kojih se na nju lako vežu različita organska onečišćivala i teški metali. Površina mikroplastike postaje pogodna za adsorpciju zbog stvorenog biofilma i zbog svoje male površine (povećanjem aktivne dodirne površine mikroplastike pospješuje se adsorpcija). Foto-oksidativnim trošenjem nastaju skupine koje sadrže kisik i povećavaju polaritet polimera što doprinosi adsorpciji štetnih spojeva. Mikroplastika služi kao vektor štetnim supstancama koje u krajnjem slučaju ulaze u hranidbene lance. Istraživanja su dokazala da jačina adsorpcije ovisi o veličini i boji plastičnih čestica te sastavu plastičnog materijala; HDPE, LDPE i PP akumuliraju veće količine organskih spojeva od PET-a ili PVC-a. Neki od štetnih spojeva koji se

nalaze na mikroplastici su: poliklorirani bifenili (PCB), diklor-difenil-trikloretan (DDT), nanofenoli (NP), policiklički aromatski ugljikovodici (PAU), dioksini, furani, olovo, kadmij, arsen, formaldehid, titan dioksid, kobaltov (II) diacetat, triklosan i slično. Štoviše, na PE i PP česticama sakupljenim s kalifornijskih i havajskih plaža adsorbirano je 500-6200 ng g^{-1} PAU-a i 27-980 ng g^{-1} PCB-a [21].

2.3 Prisutnost mikroplastike u okolišu

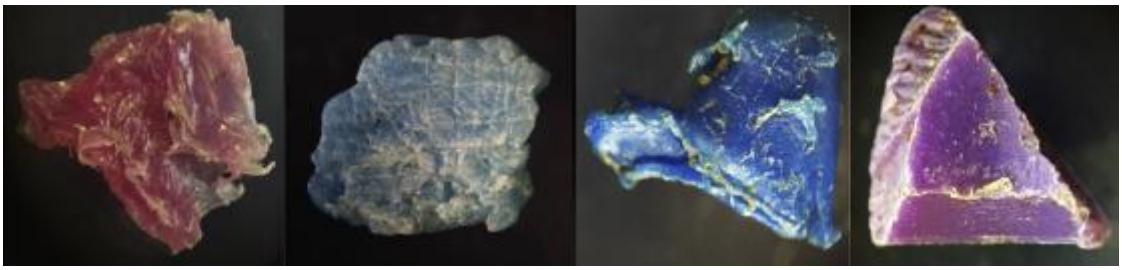
Mikroplastika je sveprisutna i nalazi se diljem Zemlje: u oceanima, na obalama i u unutrašnjosti (Slika 7). Donesena vjetrom iz različitih izvora, mikroplastika sedimentira na tlo, odakle lako putuje tlom i završava u vodonosnicima te u krajnjem slučaju onečišćuje vodu za piće. Put mikroplastike u okolišu je međusobno povezan sa sve tri sastavnice i u svakoj od njih se pronalaze štetni utjecaji [11]. Međutim, najveći problem predstavlja organizmima koji prebivaju u vodenim sustavima.



Slika 7. Globalne količine plastike u površinskim vodama, sedimentima i morskom okolišu [21]

2.3.1 Mikroplastika u vodi

U vodenim ekosustavima mikroplastika se nalazi u svim dijelovima stupca vode (Slika 8). Zbog svoje strukture polimeri imaju specifičnu gustoću (0,9-2,3 g cm^{-3}) koja je manja od gustoće vode (1,02 do 1,03 g cm^{-3}) što dovodi do plutanja plastike i mikroplastike na površini vode [21]. Međutim, na površini mikroplastike mogu kolonizirati organizmi (npr. alge) i povećati težinu čestica, odnosno promijeniti gustoću, a samim time smanjiti uzgon što omogućuje potapanje. Fragmentacija ne utječe na gustoću čestica jer se njome ne mijenja kemijski sastav. Nadalje, koncentracija mikroplastike u oceanima ovisi o periodu u kojem je uzorkovana – na primjer: ako su obalni vjetrovi niski, koncentracija je veća [5]. Voda koja struji manjom brzinom ima nižu energiju i plastika koja je gušća od svoje okoline će se sedimentirati. U područjima bržeg strujanja vode, plastika se lakše nosi i resuspendira. Nadalje, područja nižeg saliniteta pokazuju povećanje plastičnog taloženja kao rezultat povećanja gustoće plastike [11]. U konačnici, kao zbroj djelovanja obalnih vjetrova, kolonizacije čestica mikroplastike i utjecaja uzgona, točna raspodjela mikroplastike u vodenom stupcu još uvijek je nepoznata [15].



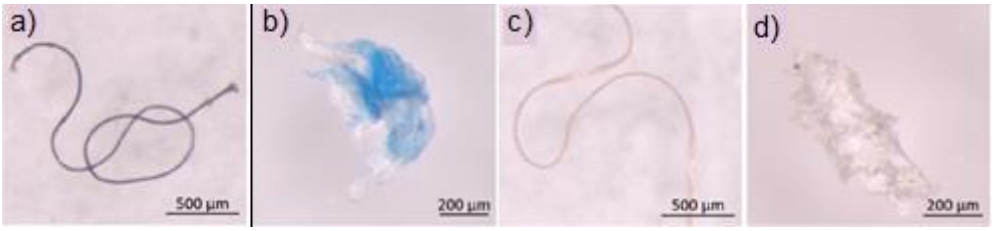
Slika 8. Sekundarna mikroplastika iz uzorka vode [21]

Mikroplastika iz kozmetičkih proizvoda, proizvoda za čišćenje, lijekova, a najvećim dijelom iz perilica za rublje koje ispuštaju mikrovlakna, završava u otpadnim komunalnim vodama [5]. Mikrovlakna (Slika 9) dolaze iz sintetičkih tkanina od kojih se proizvodi velik dio odjeće, a procjenjuje se da se tijekom pranja ispusti 1900 sintetskih mikrovlakna [11].



Slika 9. Mikrovlakno nađeno u želucu velike rakovice (*Maja squinado*) [11]

Nadalje, zbog mikroskopskih veličina čestice prolaze kroz filtre na UPOV-ima te one direktnim ispuštanjem obrađene vode ili korištenjem otpadnog mulja završavaju u rijekama ili tlu, odakle putuju u ostale sastavnice okoliša. Prema istraživanjima, kroz UPOV dnevno prolazi od 50 tisuća do 15 milijuna čestica mikroplastike (Slika 10) [16].



Slika 10. Tipični oblici mikroplastike pronađeni na UPOV-u:
a) poliester, b) polietilen, c) poliamid, d) polipropilen [22]

2.3.2 Mikroplastika u tlu

Mikroplastika može dospjeti na plažu pomoću vjetra, izravnim odbacivanjem plastičnog otpada i ispuštanjem iz UPOV-a (

Slika **11.**). Velike količine mikroplastike nalaze se u estuarijima koji se nalaze u blizini industrijskih postrojenja gdje dolazi do miješanja slatkovodnih i morskih voda, a u jednim i drugim vodama ima velikih količina mikroplastike. Primjerice, koncentracija mikroplastike u suhom sedimentu u Veneciji kreće se između 672

i 2175 čestica mikroplastike kg^{-1}, pri čemu su veće koncentracije nađene u blizini kopna. Nadalje, broj čestica pronađen u sedimentima na portugalskoj obali iznosi 2420 m^{-2} (što odgovara 326 g m^{-2}), dok druge studije pokazuju od 2 čestice m^{-2} (Australija) sve do 31 čestice m^{-2} (Portugal i Ujedinjeno Kraljevstvo) [5,11].



Slika 11. Plaža onečišćena mikroplastikom [23]

Čestice koje se nađu na plaži podvrgnute su visokim temperaturama, čestice tamnije boje privlače još više Sunčevog zračenja te površine pješčanih plaža zajedno s takvim česticama mogu doseći temperaturu do 40 °C tijekom ljeta. Također, povišenjem temperature za samo 10 °C, brzina degradacije može se udvostručiti [18].

Sljedeći izvor mikroplastike u tlu je poljoprivreda; mikroplastika može biti ispuštena uslijed degradacije direktno iz stakleničkih materijala i folija te iz otpadnog mulja, vode za navodnjavanje i biokrutina [19, 24]. Plastika koja je slučajno završila u komunalnom otpadu namijenjenom kompostiranju, ponekad nije uočena i uklonjena pa takav kompost sadržava velike komade plastike i fragmentiranu mikroplastiku. Ukoliko se takav kompost koristi kao gnojivo, na tlo se unose velike količine mikroplastike koje se dalje infiltriraju kroz tlo [11].

2.3.3 Mikroplastika u zraku

Neki od izvora mikroplastike koja kruži zrakom su: sintetička tkanina (odjeća, automobilska sjedala, itd.), trošenje guma, gradska prašina, građevinski materijali, emisije iz industrije, promet te mulj zaostao na UPOV-u. Raspršenje mikroplastike u zraku ovisi o: vertikalnom gradijentu koncentracije onečišćivala (više koncentracije su na nižim visinama), brzini vjetra (veća brzina vjetra uzrokuje bolje raspršenje mikroplastike), smjeru vjetra, precipitaciji i temperaturi (niže temperature povećavaju nukleaciju i kondenzaciju što dovodi do smanjenja koncentracije) [25].

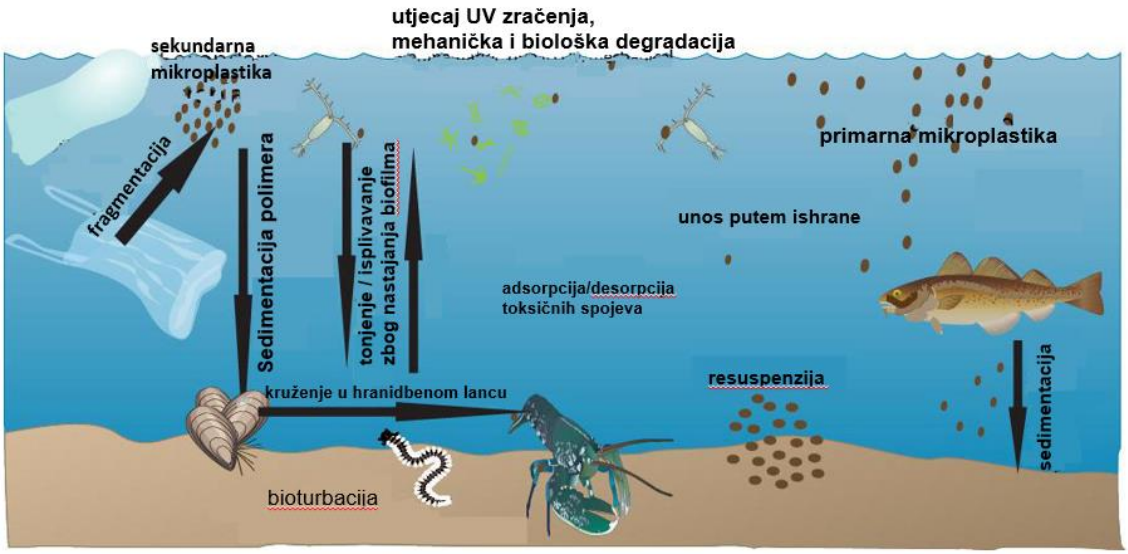
2.3.4 Mikroplastika u hrani

Značajne količine mikroplastike nalaze se u vodenim vrstama koje su namijenjene za ljudsku prehranu čime mikroplastika putem hranidbenog lanca može završiti u ljudskom organizmu. Mikroplastika se nalazi u različitim prehrambenim proizvodima i napitcima: morskim plodovima, pivi, medu, šećeru, soli i vodi za piće [26]. Putem morske soli unosi se 1000 čestica mikroplastike po osobi. Prema istraživanju Orb Media na uzorcima vode iz slavine diljem svijeta, izneseni su podaci da je velik udio vode za piće onečišćen mikroplastikom, a količina mikroplastike unesena po osobi svake godine iznosi 4000 čestica. Također, čestice mikroplastike pronađene su i u flaširanoj vodi za piće, u plastičnim i u staklenim bocama [6, 11].

2.4 Utjecaj mikroplastike na životinje

Postoji više puteva unosa mikroplastike u organizam: kontakt s onečišćenim sedimentima, disanjem ili unosom hrane. Mikroplastika može biti unesena direktno ili putem plijena koji je već kontaminiran mikroplastikom, odnosno kruženjem u hranidbenom lancu. Povećanjem količine mikroplastike u okolišu,

sve više organizama je ugroženo od unosa i mogućeg štetnog utjecaja (Slika 12.) [11]. Mikroplastika može kružiti hranidbenim lancem od plijena do predatora, ali ne dolazi do akumulacije u predatoru već napušta organizam [27].



Slika 12. Putevi i biološka interakcija mikroplastike u morskom okolišu [5]

Mikroplastika unesena disanjem može se zadržati u respiratornom sustavu. Izlaganje takvim česticama može utjecati na zdravlje i funkcioniranje organizma ili će čestice ostati inertne sve dok organizam ne ugine, a zatim se plastika opet vraća u okoliš [5].

Životinje mogu unijeti mikroplastiku na bilo koji način ishrane, a zajedno s njom unose štetne kemikalije koje su vezane na nju. Životinje slučajno i neselektivno zamjenjuju hranu s mikroplastikom te na taj način unose velike količine mikroplastike koje mogu biti smrtonosne, odnosno mikroplastika se nakuplja u crijevima, uzrokuje lažnu zasićenost i dolazi do smanjenja apetita, a samim time i hranjenja. Nakupljena plastika može u probavnom sustavu adsorbirati hranjive tvari koje su potrebne organizmu za normalno funkcioniranje (Slika 13). Na primjer, ptice unose mikroplastiku ishranom, pogotovo plastiku koja pluta (koja je često makro veličine) jer je zamjenjuju s ribljim jajima [5].



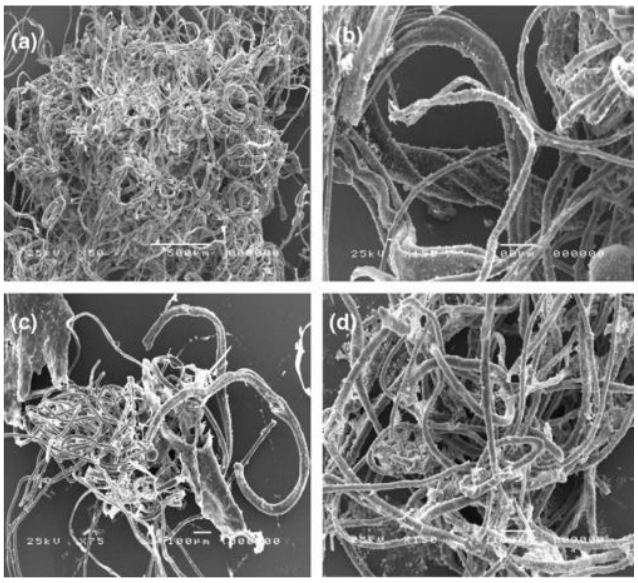
Slika 13. a) unesena plastika u probavnom traktu uginulog albatrosa, b) ženka alabtrosa hrani potomka hranom koja sadrži velike količine plastike [28]

Kako je 88% oceanske površine kontaminirano, velik broj morskih organizama (Tablica 1) je svakodnevno u kontaktu s mikroplastikom. Zbog malih veličina čestica olakšan je unos mikroplastike od strane organizama koji filtriraju morsku vodu (dagnje, kozice), planktona, kitova, morskih riba i slično. Kolonizirana mikroplastika postaje privlačnija kao hrana organizmima koji se hrane planktonima. Nadalje, sedimenti sadrže velike količine mikroplastike pa su ugroženi i bentoski organizmi koji najviše nakupljaju vlaknaste i izdužene oblike mikroplastike [5].

Tablica 1. Vrsta polimera u morskim organizmima, veličina i koncentracija polimera te učinak na organizme [5]

Organizam	Vrsta	Vrsta polimera	Veličina [μm]	Koncentracija	Učinak
Morski jež	*T. gratilla*	PE	10-40	1, 10, 100 i 30 čestica mL^{-1}	-
Mnogočetinaš	*A. marina*	PVC	prašina	0-5% težine sedimenta	Subletalno
Mnogočetinaš	*A. marina*	PS	400-1.300	0-7,4% težine sedimenta	Subletalno
Plava dagnja	*M. edulis*	PS	3 i 9,6	15.000 pojedinačnih sfera	Subletalno
Kozice	*S. balanoides*	kaučuk	-	1 g L^{-1}	Subletalno
Obična pjeskulja	*A. marina*	kaučuk	-	1 g L^{-1}	Nema podataka
Rak	*C. maenas*	PS	8-10	$4,0*10^3$ mikrosfera L^{-1}	Nema podataka
Plava dagnja	*M. edulis*	HD-PE	0-80	2,5 g vlakna	Subletalno

Školjkaši mogu profiltrirati 2 litre morske vode dnevno pri čemu u njihovom organizmu zaostaje 0,36 $\pm$ čestica mikroplastike g^{-1} (mokre težine, Slika 14) dok u rakovima zaostaje od 1 do 30 čestica mikroplastike. U probavnom traktu riba prosječno završi između 1 i 7,2 čestica mikroplastike [5].



Slika 14. Mikrofotografija plastike u organizmu škampa [5]

Plave dagnje (*M. edulis*) mogu unijeti PE čestice u škrge i probavni trakt gdje čestice izazivaju upalu i destabiliziraju membranu lizosoma [11]. Također, mikroplastika iz probavnog sustava prelazi u optok krvi gdje može ostati dug period te se akumulira u tkivu (čestice veličine 0-80 μm) [5].

Ukoliko je japanska kamenica (*Crassostrea gigas*) izložena PS (dimenzije sferičnih čestica 2-6 μm) dolazi do promjena u prehrani i smanjenja broja spolnih stanica [29].

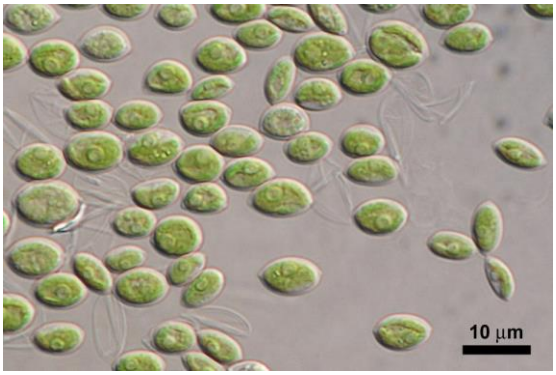
Riba zebrica može unijeti PS u škrge, crijeva i jetru. Histopatološkim pregledom jetre ribe zebrice dokazana je upala i nakupljanje lipida, povećana je razina superoksida dismutaze i katalitička aktivnost te je izmijenjen metabolizam lipida i energije [11].

Kitovi usani filtriraju morsku vodu. S obzirom na dug životni vijek i visoke koncentracije masti, veća je mogućnost akumuliranja postojanih organskih spojeva, ali i mikroplastike u tkivu [5].

Još jedna životinja u nizu koja je izložena štetnom utjecaju mikroplastike je polarni medvjed koji kao sudionik prehrambenog lanca unosi značajne količine

mikroplastike. U tkivu polarnog medvjeda izmjerene su visoke koncentracije bromiranih usporivača gorenja koji se inače nalaze u plastičnim materijalima [5].

Alge obrastaju plastični otpad koji završava u moru pa takav otpad pod utjecajem morskih struja prenosi vrste na mjesta gdje ih izvorno nema [3]. Kemikalije koje su adsorbirane na mikroplastiku mogu imati toksičan efekt, a čestice nanoplastike su dovoljno malih dimenzija i prolaze kroz stanične stijenke i membrane te smanjuju rast populacije i koncentraciju klorofila, što je istraživano kod zelene alge, *Scenedesmus obliquus* (Slika 15) [5].



Slika 15. Alga *Scenedesmus obliquus* [30]

2.5 Utjecaj na ljudsko zdravlje

Mogućnost unosa mikroplastike kod ljudi je ishranom i disanjem. Konzumiranjem školjkaša, čovjek može unijeti u organizam do 11000 čestica mikroplastike [5]. Kako je plastika postala sastavni dio života ljudi, mogućnost unosa mikroplastike putem hrane manja je u usporedbi s unošenjem čestice putem odjeće, pakiranja/ambalaže, građevinskih materijala i kuhinjskih aparata [26]. Unesene čestice mikroplastike mogu sedimentirati u respiratornim organima te izazvati intersticijske bolesti pluća, kronični bronhitis i oksidativni stres. Ukoliko se mikroplastika unosi dulji period, moguća je promjena kromosoma, neplodnost, pretilost i u krajnjem slučaju pojava tumora [31]. Štetni spojevi koji se dodaju plastici kako bi joj se poboljšala svojstva (npr. ftalati,

bisfenol A) oštećuju živčani sustav, uzrokuju endokrine poremećaje, oštećenja testisa i imuniteta, imaju kancerogen utjecaj na jetru i bubrege te dolazi do poremećaja u ponašanju poput hiperaktivnosti i agresivnosti [25]. Čestice nanoplastike se nakon unosa u organizam raspodjeljuju u razna tkiva (testisi, jetra, krv, škrge i crijeva). Nanočestice mogu prijeći krvno-moždanu barijeru, visoko-selektivnu propusnu barijeru neophodnu za neuronsko funkcioniranje i ključnu za održavanje potrebne homeostaze i zaštitu mozga od toksina [32]. Kako bi se nadopunile informacije o utjecaju mikroplastike na čovjeka, potrebno je provesti dodatna istraživanja [33].

2.6 Analitičke metode određivanja i uklanjanje mikroplastike

2.6.1 Uzorkovanje mikroplastike

Kako mikroplastika i nanoplastika imaju različita fizikalno-kemijska svojstva (boja, gustoća), validacija i standardizacija analitičkih metoda su ograničene zbog nedostatka referentnih metoda i materijala te kalibracije [16].Također, uzorkovanje i analiza čestica mikroplastike otežani su zbog različitih veličina, oblika, boje, kemijskog sastava i adsorpcije/desorpcije toksičnih tvari, ali i zbog njezine sveprisutnosti, odnosno i u najčišćim laboratorijskim uvjetima moguće je pronaći čestice mikroplastike [5, 15].

Analiza mikroplastike započinje uzorkovanjem, a kako bi se dobio reprezentativan uzorak potrebno je pratiti zahtjeve pravilnog uzorkovanja, primjerice za transport i skladištenje uzorka koristiti staklene boce. Postoje različite vrste uzorkovanja ovisno o mediju u kojem se mikroplastika nalazi [21]:

1) U površinskim vodama moguće je koristiti planktonsku mrežu(engl. „*manta trawl*“) i Neustonov katamaran koji služe za horizontalno uzorkovanje (Slika 16). „Manta trawl“ radi na principu kočarenja te na

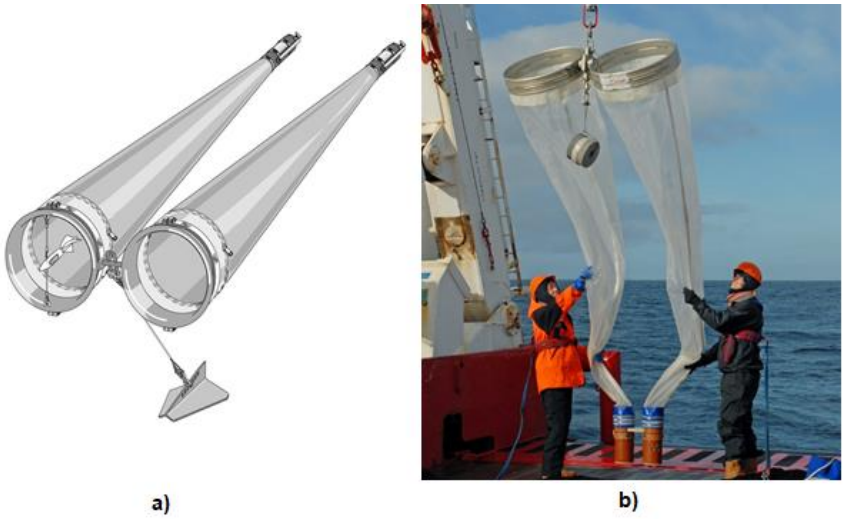
svakoj strani ima strukture nalik na krila, dok Neustonov katamaran ima vodilice sa svake strane mreže, koje im omogućuju stabilnost i plutanje na površini vode. Veličine otvora mreže koja se koristi za uzorkovanje mikroplastike su u rasponu od 53 μm do 3 mm. Nadalje, ovaj princip uzorkovanja se koristi najčešće zbog pretpostavke da se 95 % mikroplastike nalazi 15 cm ispod površine vode.



Slika 16. a) prikaz plankotnske mreže, "manta trawl", b) Neustonov katamaran [34, 35]

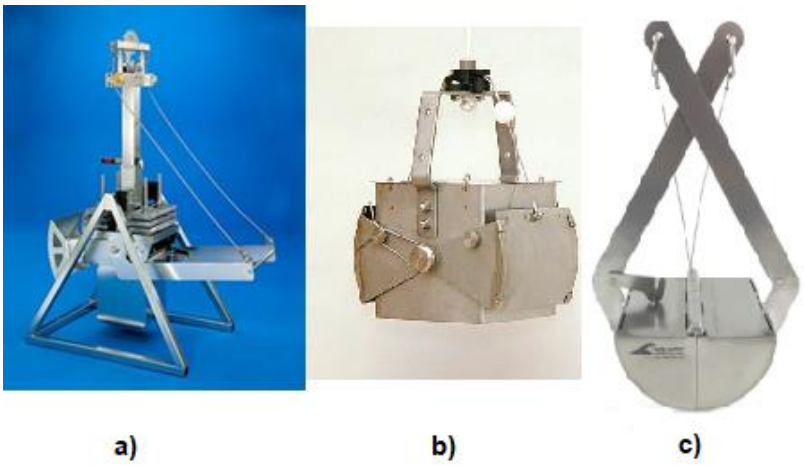
2) Mikroplastika se kroz cijeli stupac vode može uzorkovati horizontalno i vertikalno. Za horizontalno uzorkovanje koriste se planktonske mreže (engl. „*bongo net*“, Slika 17), čiji je promjer otvora oko 500 μm. Ova vrsta mreže se sastoji od para kružnih aluminijskih okvira povezanih na središnju osovinu na koji su priključeni mjerač protoka i najlonske planktonske mreže. Mreža se spusti na odabranu dubinu koja je često neposredno iznad dna te se vuče na toj dubini zadanom brzinom u određenom vremenskom periodu. S druge strane, kako bi se mikroplastika uzorkovala vertikalno, mreža se spusti na određenu dubinu i povlači prema površini. Također, mikroplastika se u vodenom stupcu

vertikalno može uzorkovati otvaranjem i zatvaranjem mreže na određenim dubinama.



Slika 17. a) shematski prikaz planktonske mreže, b) prikaz korištenja planktonske mreže [36, 37]

3) Ovisno o vrsti sedimenta uzorci s dna mora skupljaju se pomoću uzorkivača engl. *„box corer“*, Ekmanovih hvataljki i Van Veen hvataljki (Slika 18). Prilikom uzorkovanja s hvataljkama dolazi do poremećenosti uzorka i stoga su hvataljke najprikladnije za površinska ili skupna uzorkovanja. Nasuprot tome, „*box corer*“ daje manje količine uzorka i omogućuje istraživanje taloženja mikroplastike tijekom vremena. Nadalje, „box corer“ se koristi za uzorkovanje od 1000 do 3500 m dubine, a površina uzorkovanja je relativno mala i iznosi 25 cm^2.



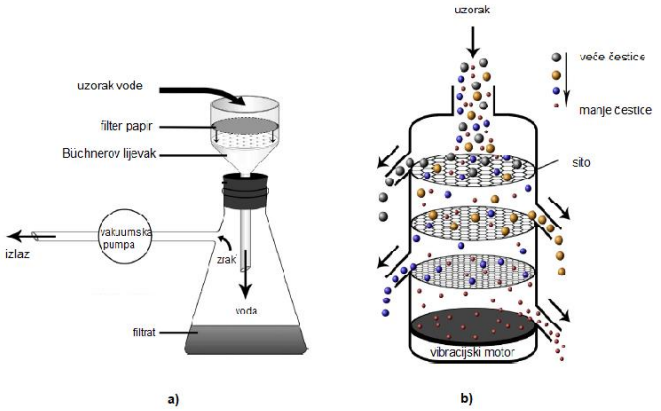
Slika 18. a) uzorkivač „box corer“, b) Ekmanova hvataljka, c) Van Venn hvataljka [38, 39, 40]

Kopneni površinski uzorci skupljaju se pomoću željeznih žlica ili neplastičnih lopata sa pet lokacija koje su udaljene 5 m do dubine 5 cm, zatim se uzorkovani materijal propušta kroz sito veličine otvora 1 mm, a zaostali materijal na situ se propušta kroz drugo sito veličine otvora 5 mm te se sakupljeni materijal sprema u odgovarajuće označen aluminijski spremnik i šalje u laboratorij na analizu. Nakon uzorkovanja, mikroplastiku je potrebno odvojiti od sedimenta, a to je moguće razdvajanjem na temelju razlike u gustoći pomoću otopine veće gustoće: NaCl (1,2 g cm^{-3}), $ZnCl_2$ (1,5-1,7 g cm^{-3}), $CaCl_2$ (1,5 g cm^{-3}), NaI (1,6-1,8 g cm^{-3}) i slično.

2.6.2 Detekcija i identifikacija mikroplastike

Kako bi se čestice mikroplastike odvojile od uzorka vode moguće je provesti filtraciju ili prosijavanje. Filtracija je fizikalna metoda kod koje dolazi do razdvajanja krutih tvari od tekućine pomoću filter papira čije veličine pora iznose 1-2 μm. Prilikom prosijavanja sito fizički zaustavlja mikroplastiku i omogućuje prolazak vode iz uzorka. Nadalje, koriste se sita različitih otvora na kojima se zaustavljaju čestice mikroplastike ovisno o veličini čestica, a njihov prolazak omogućuju vibracije motora (Slika 19). Također, moguće je koristiti postupak elutriacije u kojem se čestice razdvajaju na temelju veličine, oblika i gustoće

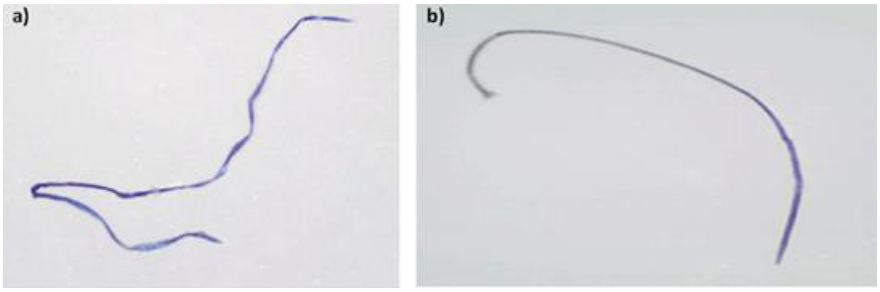
pomoću struje plina ili tekućine koja teče u smjeru suprotnom od smjera sedimentacije. Ova tehnika je uspješna pri razdvajanju PVC čestica i vlakna pri čemu se otopina natrijeva jodida koristi za razdvajanje na temelju gustoće [21].



Slika 19. Smanjivanje uzroka: a) filtriranje, b) prosijavanjem [21]

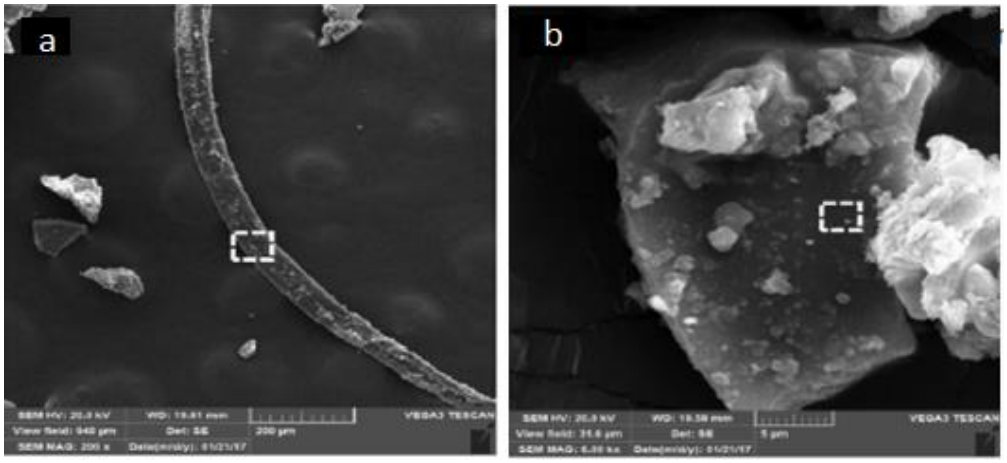
Nakon smanjivanja uzorka slijedi detekcija koja se temelji na fizičkim karakteristikama kao što su veličina, oblik, tekstura i boja. Vizualna detekcija može se izvesti pregledom uzorka golim okom pri čemu se uočavaju čestice veličine 5-1 mm ili korištenjem optičkog mikroskopa kojim se mogu uočiti čestice veličine 1 mm – 1 μm koje se zatim odvajaju pomoću pincete. Nakon detekcije slijedi vizualno sortiranje i kategoriziranje mikroplastike, a daljnja identifikacija se provodi pomoću spektroskopskih tehnika kao što su FT-IR (engl. *Fourier-transform infrared spectroscopy*) i Raman spektroskopija te pirolitičko plinska kromatografija sa spektrometrijom masa (Py-GC-MS) koje omogućuju utvrđivanje vrste plastike. Primjerice, ponekad je teško vizualno razlikovati plastiku od drugih materijala te se čestice mikroplastike manje od 10 μm mogu zamijeniti s prirodnim krhotinama celuloze i drva, celofana i svile, ili s pepelom od ugljena, staklom i pijeskom [15]. Slika 20 prikazuje usporedbu mikroskopske snimke pamučnog i poliakrilnog vlakna. Vlakna su iste boje i sličnih dimenzija, a kako bi se razlikovala potrebno je napraviti FT-IR analizu [41]. Nadalje, sama identifikacija mikroplastike može biti otežana zbog zamjene sa organskom materijom, a kako bi se to spriječilo potrebno je razgraditi organsku materiju što se postiže enzimskim katalitičkim reakcijama pomoću

vodikova peroksida, otopine vodikova peroksida i sumporne kiseline ili vodikova peroksida uz prisustvo željezo (II) iona (Fentonov reagens) [16].



Slika 20. Usporedba snimke napravljene pomoću optičkog mikroskopa: a) pamučno vlakno, b) poliakrilno vlakno [41]

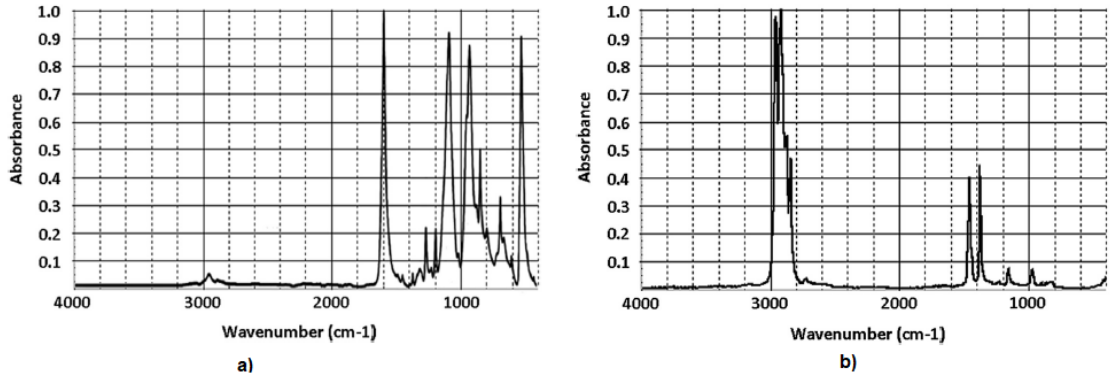
Uz optički mikroskop moguće je koristiti skenirajući elektronski mikroskop (SEM) pomoću kojeg se analiziraju fizikalna svojstva mikroplastike, veličine čestica i specifične dimenzije površinskih značajki, kao i površinska morfologija (Slika 21), a ujedno može pomoću pri razlikovanju plastičnih predmeta od neplastičnih. Međutim, metoda je skupa i zahtijeva određeno vrijeme za pripremu uzorka [21].



Slika 21. SEM fotografije: a) mikrovlakno duljine 2 mm, b) fragment mikroplastike promjera 30 μm [41]

Spektrometrijske tehnike pružaju informacije o kemijskom sastavu i strukturi tvari na temelju odjeljivanja, dokazivanje i mjerenja energijskih promjena u atomskim jezgrama, atomskom elektronskom omotaču ili u molekulama nakon

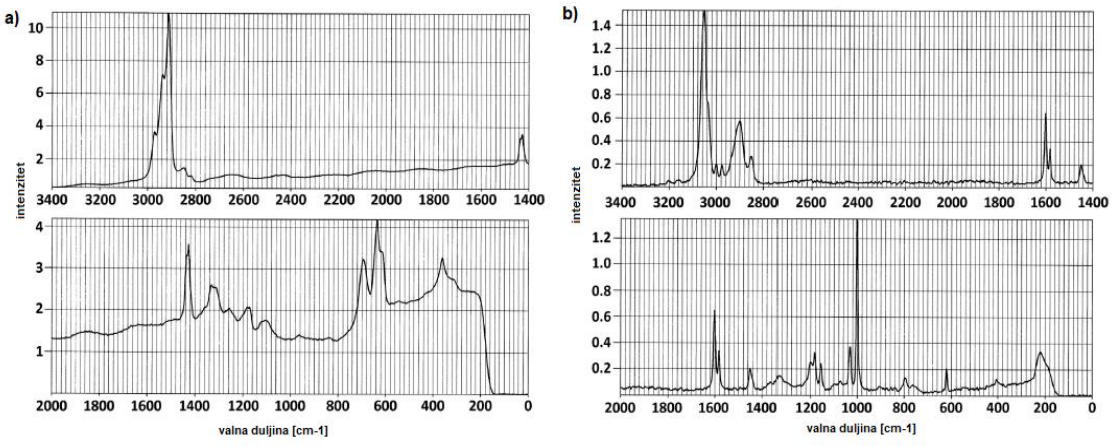
njihove interakcije s energijom koja može biti toplinska, električna, energija elektromagnetskog zračenja, energija zračenja čestica i slično. Spektrometrija u infracrvenom (IR) području daje informacije o funkcionalnim skupinama molekula koje apsorbiraju dio spektra IR zračenja. Postoje dva područja: područje skupinskih frekvencija, u kojem frekvencije apsorpcijske vrpce pojedinih funkcionalnih skupina ne ovise o okolini te područje otiska prstiju, u kojem apsorpcijske vrste ovise o okolini. Upravo zbog apsorpcije u području otiska prstiju ne postoje dvije molekule s istim IR spektrom (Slika 22). U modernim IR spektrometrima kao izvor zračenja se koristi Michelsonov interferometar, a signal se obrađuje Fourierovim transformacijama (FT-IR) te je FT-IR tehnika pouzdana, a samim time i najraširenija tehnika pri identifikaciji plastike [42].



Slika 22. Usporedba FT-IR spektara) PET, b) PS [41]

Spektrometrija raspršenja ili Ramanova spektrometrija se temelji na neelastičnom srazu fotona iz lasera s molekulama. Nakon što se otopina izloži monokromatskom zračenju, dio zračenja prolazi kroz uzorak bez međudjelovanja, dio se elektronskim prijelazima apsorbira i reemitira kao fluorescencija, dok se jedan mali dio zračenja raspršuje u svim smjerovima na molekulama u vodi. Analizom zračenja opaža se zračenje različitih frekvencija od upadnog zračenja, tzv. Ramanovo raspršenje. Energija raspršenog zračenja može biti niža od energije fotona pobudnog zračenja ili dolazi do pojačanja energije fotona. Dobivene razlike u valnim duljinama između upadnog i raspršenog zračenja odgovaraju IR području spektra elektromagnetskog

zračenja (Slika 23) [42]. Uspoređujući s FT-IR spektrometrijom kod koje je moguće identificirati čestice veličine iznad 10-20 μm, prednost Raman spektrometrije je mogućnost identifikacije čestica veličine ispod 1 μm, bolja rezolucija i šira spektralna pokrivenost [21].



Slika 23. Raman spektar: a) PVC, b) PS [21]

Py-GC-MS je destruktivna tehnika pomoću koje je moguće identificirati polimere analizirajući njihove proizvode toplinske razgradnje. Posebne pripreme uzorka nisu potrebne jer se uzorak čvrstog polimera izravno ispituje te su potrebne vrlo male količina uzorka koje iznose 5-200 μg. Također, uz identifikaciju plastike, moguće je identificirati adsorbirane organske štetne kemijske spojeve [21].

2.6.3 Uklanjanje mikroplastike

Jedna od mogućih metoda uklanjanja mikroplastike iz okoliša je skupljanje planktonskom mrežom. Posljedica takvog uklanjanja je istodobno uklanjanje planktona i ostalih mikroorganizama što dovodi do poremećaja u ekosustavu [5].

Mikrovlakna koja izlaze iz perilica rublja mogu se sakupiti prije nego otpadna voda izađe. Vreće za odjeću, kao što su Guppyfriend (Slika 24), dopuštaju prolazak detergenta, a zadržavaju mikrovlakna [43]. Druga moguća metoda skupljanja mikrovlakna iz perilica je korištenje Cora Ball-a (Slika 25), lopte koja

je napravljena po uzoru na filtriranje koralja. Razgranate ruke lopte hvataju čestice i uklanjaju ih iz ciklusa pranja [44].



Slika 24. Guppyfriend - vreća za odjeću [43]



Slika 25. Cora Ball lopta za uklanjanje mikroplastike [45]

Kako bi se smanjilo ispuštanje mikroplastike iz UPOV-a potrebno je koristiti pješčane filtre, flokulaciju/koagulaciju, ultrafiltraciju te membranske bioreaktore (MBR) [16]. Koagulacija je fizikalno-kemijski postupak obrade otpadne vode. Dodavanjem kemijskih reagensa u vodu sitne raspršene (dispergirane) čestice prelaze u aglomerate, odnosno ioni unesenih kemijskih reagensa reagiraju s električki nabijenim koloidima kojima se poništava električni naboj i omogućava stvaranje većih čestica. Prvenstveno se pomoću koagulacije uklanjaju koloidne čestice koje stvaraju zamućenje u vodi. Nakon koagulacije čestice se uklanjaju sedimentacijom, flotacijom zrakom ili filtracijom [46]. Flokulacija/koagulacija je fizikalno-kemijski proces uklanjanja koloidno raspršenih čestica anorganskog ili organskog podrijetla. Prilikom ovog procesa u vodu se dodaje sredstvo za flokulaciju (npr. aktivna „silika“ SiO_2), a miješanjem se raspršene čestice spajaju u veće pahuljice koje se talože uslijed povećanja gustoće. Kod membranskih

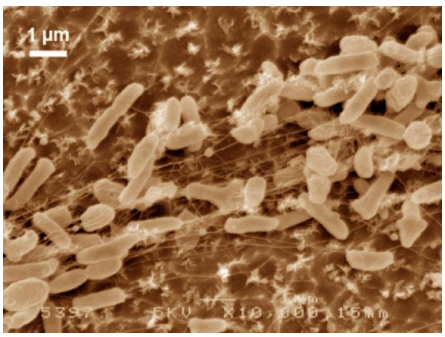
procesa čestice se izdvajaju uz pomoć selektivne propusnosti membrane. Odvajanje se temelji na razlikama u tlakovima, koncentracijama i električnoj napetosti. Jedan od membranskih procesa koji se koristi u pročišćavanju otpadnih voda je ultrafiltracija pri kojoj sila hidrostatskog tlaka potiskuje tekućinu kroz polupropusnu membranu. Membrane koje se koriste imaju veličinu pora od 2 nm do 104 nm, a na bazi su prirodnih (celuloza) i sintetskih (PVC, teflon) makromolekularnih tvari. Proces je moguće ubrzati razlikom tlakova što se postiže vakuumom ili djelovanjem vanjskog tlaka na otopinu koja se filtrira [47]. CMT (engl. *crossflow membrane technology*) se koristi za uklanjanje bakterija, pesticida, suspendiranih čestica i boje iz otpadnih voda te se također može koristiti i za uklanjanje mikroplastike iz otpadnih voda. CMT je fizička barijera mikroplastici i dopušta prolaz samo čistoj vodi. Ovaj princip pročišćavanja se još uvijek razvija i optimizira [48]. Membranski bioreaktor kombinira konvencionalnu biološku obradu uz pomoć aktivnog ugljena i membransko-separacijske tehnologije. Na taj način se dobiva nov tehnološki proces koji je održiv, isplativ, fleksibilan i pouzdan. Onečišćena voda se propušta kroz biološki reaktor gdje prolazi kroz membranu koja najčešće ima oblik cjevčica ili listova veličine promjera 1 μm – 2 μm, veličine pora u granicama 10^{-7} μm. Voda kroz membranu prolazi kao rezultat razlike tlakova u hidrostatskom tlaku od 0,1 bar do 2,0 bar, odnosno unutar membrana se stvara podtlak, a samo stvaranje podtlaka je u potpunosti automatizirano [47]. Mikroplastika dalje završava u otpadnom mulju čije pročišćavanje i saniranje još nije riješeno, a tehnologije pročišćavanja otpadnih voda potrebno je dodatno istražiti i poboljšati [6].

Nadalje, polietilen (PE) koji je glavna komponenta mikroplastike može se iz vode za piće izdvojiti pomoću koagulacijskih i ultrafiltracijskih procesa. Kod koagulacije se koriste koagulanti bazirani na Fe (često se koristi $FeCl_3$) zbog manje gustoće u usporedbi s Al koagulantima. Također, na uklanjanje PE utječu ionska jakost otopine, prirodna organska tvar i turbiditet. Anionski PAM (poliakrilamid) ima veliku ulogu u uklanjanju PE zbog suprotnog naboja kojeg ima flokulant na bazi željeza pod neutralnim uvjetima [4]. Nadalje, moguće su koagulacije/flokulacije pomoću $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ i $AlCl_3 \cdot 6H_2O$. Ukoliko se koristi $FeCl_3 \cdot 6H_2O$, kod pH 8 i koncentraciji koagulanta od 2,0 mmol/L, moguće je

ukloniti 17±2% PE. S druge strane, kod korištenja $AlCl_3 \cdot 6H_2O$, pri pH 7 i koncentraciji koagulanta 15 mmol/L, moguće je ukloniti 37±3% PE. Međutim takva koncntracija koagulanta odgovara 405 mg/L Al, što su velike koncentracije koje je potrebno smanjiti zbog daljnjeg štetnog utjecaja. Ali se smanjenjem koncentracije, smanjuje i učinkovitost. Čestice je moguće ukloniti ultrafiltracijom pomoću polivinil-fluoridne membrane koja ima promjer pora 30 nm pri čemu prethodna koagulacija pospješuje filtraciju [6].

2.6.4 Biodegradacija

Mikroplastika je u okolišu izložena utjecaju biotičkih i abiotičkih mehanizmima degradacije. Biotička degradacija, odnosno biodegradacija, odvija se pomoću mikroorganizama koji pomoću enzima razgrađuju polimere u ugljikov dioksid, metan, vodu, anorganske komponente ili biomasu. Na primjer, bakterija *Ideonella sakaiensis* (Slika 26) koja koristi PET kao glavni izvor energije i ugljika. Kada se uzgaja na PET-u soj bakterija proizvodi dva enzima koji mogu hidrolizirati PET i reakcijski intermedijer, mono(2-hidroksietil) tereftalatnu kiselinu. Uz prisustvo enzima, PET se razgrađuje na monomerne jedinice: tereftalatna kiselina i etilen-glikol [49].



Slika 26. *Ideonella sakaiensis* [50]

PE mogu razgraditi *Brevibacillus* spp. i *Bacillus* spp., HDPE degradiraju *Arthrobacter* sp. i *Pseudomonas* sp. Vrste koje su istaknute pri biodegradaciji su: *Pseduomonas, Streptomyces, Corynbacterium, Arthrobacter, Micrococcus i Rhodococcus*[51]. Gljivice *Zalerion maritimum* mogu razgraditi PE, a kako se prirodno pojavljuju u morskim ekosustavima, vidi se veliki potencijal ove gljivice

u budućnosti bioremedijacije i smanjenja plastičnog otpada. Biodegradacija pomoću navedenih mikroorganizama ovisi o kemijskim i fizikalnim svojstvima polimera te okolišnim uvjetima kao što su UV, temperatura, vlažnost i prisutnost kemikalija [52].

2.7 Sustav gospodarenja plastičnim otpadom

Plastika se proizvodi iz neobnovljivih izvora energija kojih ima sve manje, a eksploatacijom tih energenata dolazi do ispuštanja štetnih spojeva u okoliš. Stoga, plastika je previše vrijedna da bi se bacila te je potrebno pravilno gospodariti polimernim otpadom [53]. U proces gospodarenja polimernim otpadom spadaju sakupljanje, uskladištenje, obrađivanje prije odlaganja, recikliranje, prijevoz otpada te zbrinjavanje i saniranje odlagališta [2]. Postoje tri mogućnosti zbrinjavanja polimernog otpada, a to su mehanička reciklaža, kemijska reciklaža i energetska oporaba [53].

Europska komisija je 2015. godine donijela akcijski plan EU-a za kružno gospodarstvo u kojem je plastika prioritet i obvezla se „izraditi strategiju za suočavanje s izazovima koje plastika predstavlja u cijelom vrijednosnom lancu i uzimajući u obzir njezin cijeli životni ciklus“. Do 2030. cilj je osigurati mogućnosti recikliranja za svu plastičnu ambalažu. Komisija je postavila temelje za gospodarstvo u području plastike, pri čemu se „dizajnom i proizvodnjom plastike i plastičnih proizvoda u potpunosti poštuju potrebe za ponovnom upotrebom, popravkom i recikliranjem te se razvijaju i promiču održiviji materijali“. Prema strategiji, do 2030. morali bi se ispuniti sljedeći zahtjevi [9]:

- Plastični proizvodi moraju omogućiti veću trajnost, ponovnu upotrebu i recikliranje visoke kvalitete. Sva plastika stavljena na tržište mora biti ponovno upotrebljiva ili se mora reciklirati na troškovno učinkovit način.

- Odvojeno prikupljanje mora dostići visoku razinu. Kapacitet za recikliranje se mora proširiti i osuvremeniti, odnosno povećati za 4 puta, a time se može otvoriti do 200 000 novih radnih mjesta. Reciklirana plastika mora postati vrjednija sirovina za industriju.
- Mora se uspostaviti tržište za recikliranu i inovativnu plastiku s jasnim perspektivama za rast.
- Povećanim recikliranjem plastike smanjiti ovisnost Europe o uvozu fosilnih goriva i smanjiti emisije CO_2.
- Građani moraju postati svjesniji potrebe izbjegavanja stvaranja otpada i na taj način se mora smanjiti udio ispuštenog plastičnog otpada u okolišu, posebice morskog otpada.
- Potrebno je razviti inovativna rješenja kojima bi se spriječilo ispuštanje mikroplastike u mora, a njezin izvor, rute kretanje i učinci na zdravlje ljudi moraju biti bolje proučeni (to se može omogućiti suradnjom industrije i javnih tijela).
- Potrebno je smanjiti količinu upotrebe proizvoda od jednokratne plastike koji se rijetko recikliraju. To su mali ambalažni proizvodi, vrećice, čaše za jednokratnu upotrebu, poklopci, slamke i pribor za jelo.
- Potrebno je napraviti bolji dizajn plastične ambalaže pomoću kojeg se može dostići višu razinu recikliranja.
- Uvesti alternativne vrste sirovina (plastika na biološkoj osnovi, plastika proizvedena iz ugljikova dioksida ili metana) koje imaju ista svojstva kao i tradicionalna plastika s manjim štetnim utjecajem na okoliš. Pri uvođenju plastike s biorazgradivim svojstvima potrebno je jasno označiti ili obilježiti za potrošače te prikupljati i obraditi taj otpad na odgovarajući način.
- Kao prepreka mogu djelovati kemijski sastav reciklirane plastika, slučajna kontaminacija ili nedostatak informacija o mogućem prisustvu kemikalija. To može izazvati zabrinutost što rezultira smanjenjem potražnje reciklirane plastike. Komisija radi na povezanosti politika u vezi s kemikalijama, otpadom i proizvodima i ta pitanja se namjeravaju riješiti (posebice ako je u pitanju ambalaža hrane).

Neki od poduzetih koraka EU [9]:

- Države članice moraju donijeti mjere za smanjenje potrošnje plastičnih vrećica
- Pratiti i smanjiti količine morskog otpada
- Zakonodavnim prijedlogom revizije Direktive o vodi za piće promicat će se pristup vodi iz slavine i na taj način smanjiti upotreba ambalaže za flaširanu vodu
- EU financira mjere za prikupljanje plastike koja pluta oceanima i inovativne tehnologije za prikupljanje te podupire više stope recikliranja

Potrebno je uvoditi biorazgradive materijale i biobazirane polimere iz obnovljivih izvora kao što su škrob, celuloza, lignin i bioetanol, ali i takvi materijali zahtijevaju određene uvjete i mikroorganizme za razgradnju [16]. Kontrola primarne i sekundarne plastike je još uvijek nedovoljno razvijena ili su mnoge metode tek u razvoju (u prvim godinama implementacije) te još nema dovoljno podataka koji bi potvrdili njihovu učinkovitost [11]. Plastika koja je označena kao biorazgradiva nije nužno prikladna kompostiranju u domaćinstvu. Potrošači moraju dobiti jasne i točne informacije i mora se osigurati da se biorazgradiva plastika ne predstavlja kao rješenje za problem bacanja otpada u okoliš. Potrebno je objasniti razliku između plastike koja se može kompostirati i biorazgradive plastike i sa svakom od njih posebno rukovati nakon upotrebe. Europska komisija bi trebala predložiti usklađena pravila za utvrđivanje i označavanje plastike koja se može kompostirati i biorazgradive plastike [9].

Mikroplastika se dodaje brojnim kategorijama proizvoda, raspršuje se tijekom proizvodnje, prijevoza i upotrebe plastičnih peleta i nastaje upotrebom proizvoda kao što su gume, boje i sintetička odjeća. U nekoliko država članica EU razmatraju se ili planiraju zabrane namjernog dodavanja mikroplastike [9]. Prema podacima iz 2015. količine proizvedenog otpada (komunalnog i proizvodnog) iznosile su 3,6 milijuna tona, od čega se na plastiku odnosilo 22,9 % komunalnog otpada. Prema Strategiji kružnog gospodarstva, do 2030.

godine, RH mora postići > 65 % odvajanja za reciklabilne tvari, > 75 % odvajanja za ambalažni otpad, uvesti „naknade“ za odlaganje i spaljivanje [10].

U Hrvatskoj još uvijek ne postoji zakonska regulativa o dozvoljenim ispuštanjima mikroplastike kao ni maksimalna dopuštena koncentracija mikroplastike u pitkim vodama [6].

3 ZAKLJUČAK

Mikroplastika je pojam koji obuhvaća čestice plastike promjera manjeg od 5 mm. Postoje dva tipa mikroplastike: primarna mikroplastika koja u okolišu završava direktnim ispuštanjem iz industrija ili iz kućanskih proizvoda (plastični peleti koji se dodaju kao abrazivna sredstva) te sekundarna mikroplastika koja nastaje degradacijom plastičnog otpada završenog u okolišu. Čestice mikroplastike su različitih oblika i boja, a zbog malih dimenzija čestica, životinje ju unose putem ishrane i disanja. Mikroplastika je pronađena u vodi, tlu i zraku, a sve više je ima u proizvodima koji su namijenjeni ljudskoj prehrani. U živim organizmima mikroplastika i posebice vezani toksični spojevi imaju štetan utjecaj: smanjeno hranjenje, akumulacija spojeva u tkivu, oksidativni stres, smanjen rast populacije, endokrini poremećaji, oštećenja živčanog sustava i slično.

Mikroplastika ima različita svojstva, a njezine male dimenzije stvaraju poteškoće pri uzorkovanju, analiziranju i uklanjanja istih iz okoliša. Moguće metode uklanjanja mikroplastike uključuju uklanjanje mikroplastike pomoću planktonskih mreža dovoljno malih dimenzija otvora na principu kočarenja, korištenja proizvoda za sprječavanje ispuštanja mikroplastike u otpadne komunalne vode te pročišćavanje otpadnih voda korištenjem primjerice membranskih bioreaktora i ultrafiltracije.

Potrebno je uvesti zakonsku regulativu u vezi s ispuštanjem mikroplastike u okoliš, odnosno zabraniti namjeran unos plastičnih peleta u proizvode i donijeti odluku o maksimalnim dopuštenim koncentracijama. Kako su vode, tlo i zrak svjetsko dobro i zajednička baština potrebna je međunarodna suradnja u rješavanju plastične problematike. Potrebno je spriječiti moguće posljedice za buduće generacije zbog degradacije morskih ekosustava, a i opasnosti za zdravlje ljudi. Potrebno je osvijestiti se, promijeniti navike i smanjiti nastale količine otpada, a ukoliko je to nemoguće, potrebno je pravilno gospodariti otpadom. Malim koracima, moguće je napraviti veliku dobrobit za okoliš.

4 LITERATURA

1. Hrnjak Z. Gospodarenje polimernim otpadom. U Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije; str. 35–97.

2. Ptiček Siročić A. Recikliranje i zbrinjavanje otpada. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije; 2015.

3. Rujnić-Sokele M. Plastični otpad – globalni ekološki problem. Polimeri. 2015.;36:1–2.

4. Ma B, Xue W, Ding Y, Hu C, Liu H, Qu J. Removal characteristics of microplastics by Fe-based coagulants during drinking water treatment. J Environ Sci (China) [Internet]. 2019.;78:267–75. Dostupno na: https://doi.org/10.1016/j.jes.2018.10.006

5. Nerland IL, Halsband C, Allan I, Thomas K V. Microplastics in marine environments: Occurrence, distribution and effects. 2014.

6. Novotna K, Cermakova L, Pivokonska L, Cajthaml T, Pivokonsky M. Microplastics in drinking water treatment – Current knowledge and research needs. Sci Total Environ [Internet]. 2019.;667:730–40. Dostupno na: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004896971930943X

7. Krehula LK. Polimeri i polimerizacijski procesi [Internet]. Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Sveučilište u Zagrebu; [citirano 10. svibanj 2019.]. Dostupno na: https://www.fkit.unizg.hr/_download/repository/1_predavanje%5B1%5D.pdf

8. Mandžukić I. Utjecaj plastike na okoliš. Studij politehnike, Sveučilište u Rijeci; 2018.

9. Europska strategija za plastiku u kružnom gospodarstvu [Internet]. Strasbourg; 2018 [citirano 10. svibanj 2019.]. Dostupno na: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/?uri=CELEX%3A52018DC0028

10. Ministarstvo zaštite okoliša i energetike. Gospodarenje otpadom u RH [Internet]. [citirano 10. svibanj 2019.]. Dostupno na: https://lifeprogramhrvatska.hr/wp-content/uploads/2017/03/Okoliš-i-učinkovito-iskorištavanje-resursa-Otpad.pdf

11. Welden N. Microplastics: Emerging Contaminants Requiring Multilevel Management [Internet]. 2. izd. Waste. Elsevier Inc.; 2019. 405–424 str. Dostupno na: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128150603000219

12. Carpenter EJ, Anderson SJ, Harvey GR, Miklas HP, Peck BB. Polystyrene Spherules in Coastal Waters. Science (80-) [Internet]. 17. studeni 1972.;178(4062):749–50. Dostupno na: http://www.sciencemag.org/cgi/doi/10.1126/science.178.4062.749

13. Thompson RC. Lost at Sea: Where Is All the Plastic? Science (80-) [Internet]. 07. svibanj 2004.;304(5672):838–838. Dostupno na: http://www.sciencemag.org/cgi/doi/10.1126/science.1094559

14. Eriksen M, Lebreton LCM, Carson HS, Thiel M, Moore CJ, Borerro JC, i ostali. Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea. PLoS One. 2014.;9(12):1–15.

15. Rios Mendoza LM, Balcer M. Microplastics in freshwater environments: A review of quantification assessment. TrAC - Trends Anal Chem [Internet]. 2019.;113:402–8. Dostupno na: https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.10.020

16. Pico Y, Alfarhan A, Barcelo D. Nano- and microplastic analysis: Focus on their occurrence in freshwater ecosystems and remediation technologies. TrAC - Trends Anal Chem [Internet]. 2018.; Dostupno na: https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.08.022

17. Jahnke A. WEATHER-MIC-How microplastic weathering changes its transport, fate and toxicity in the marine environment [Internet]. 2018 [citirano 09. svibanj 2019.]. Dostupno na: http://jpi-oceans.eu/weather-mic/about

18. Andrady AL. Microplastics in the marine environment. Mar Pollut Bull [Internet]. kolovoz 2011.;62(8):1596–605. Dostupno na: http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030

19. Zhang S, Wang J, Liu X, Qu F, Wang X, Wang X, i ostali. Microplastics in the environment: A review of analytical methods, distribution, and biological effects. TrAC - Trends Anal Chem. 2019.;111:62–72.

20. Free download Microplastics Ocean Marine ecosystem Plastic pollution - sea png. [Internet]. [citirano 29. svibanj 2019.]. Dostupno na:

https://www.kisspng.com/png-microplastics-ocean-marine-ecosystem-plastic-pollu-2104115/download-png.html

21. Blair Crawford C, Quinn B. Microplastic Pollutants [Internet]. 1st izd. Elsevier; 2017. Dostupno na: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/C20150043155

22. Lares M, Ncibi MC, Sillanpää M, Sillanpää M. Occurrence, identification and removal of microplastic particles and fibers in conventional activated sludge process and advanced MBR technology. Water Res. 2018.;133:236–46.

23. Alamy – Stock Photos, Stock Images & Vectors [Internet]. [citirano 29. svibanj 2019.]. Dostupno na: https://www.alamy.com/

24. Lv W, Zhou W, Lu S, Huang W, Yuan Q, Tian M, i ostali. Microplastic pollution in rice-fish co-culture system: A report of three farmland stations in Shanghai, China. Sci Total Environ [Internet]. 2019.;652:1209–18. Dostupno na: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.321

25. Prata JC. Airborne microplastics: Consequences to human health? Environ Pollut [Internet]. 2018.;234:115–26. Dostupno na: https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.11.043

26. Rist S, Carney Almroth B, Hartmann NB, Karlsson TM. A critical perspective on early communications concerning human health aspects of microplastics. Sci Total Environ [Internet]. 2018.;626:720–6. Dostupno na: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.092

27. Beiras R. EPHEMARE - Ecotoxicological effects of microplastics in marine ecosystems [Internet]. 2019 [citirano 09. svibanj 2019.]. Dostupno na: http://jpi-oceans.eu/ephemare

28. ALBATROSS Our Story — Albatross [Internet]. [citirano 28. svibanj 2019.]. Dostupno na: https://www.albatrossthefilm.com/ourstory/

29. Sussarellu R, Suquet M, Thomas Y, Lambert C, Fabioux C, Pernet MEJ, i ostali. Oyster reproduction is affected by exposure to polystyrene microplastics. Proc Natl Acad Sci [Internet]. 2016.;113(9):2430–5. Dostupno na: http://www.pnas.org/lookup/doi/10.1073/pnas.1519019113

30. Scenedesmus obliquus (Turpin) Kuetzing | CCALA [Internet]. [citirano 30. svibanj 2019.]. Dostupno na: http://ccala.butbn.cas.cz/en/scenedesmus-

obliquus-turpin-kuetzing-1

31. Holmes LA, Turner A, Thompson RC. Adsorption of trace metals to plastic resin pellets in the marine environment. Environ Pollut [Internet]. 2012.;160:42–8. Dostupno na: http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2011.08.052

32. Pinto da Costa J, Reis V, Paço A, Costa M, Duarte AC, Rocha-Santos T. Micro(nano)plastics – Analytical challenges towards risk evaluation. TrAC - Trends Anal Chem [Internet]. 2019.;111:173–84. Dostupno na: https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.12.013

33. Turkheimer E, Waldron M. Microplastics and human health - an urgent problem. Psychol Bull. 126(1):21.

34. The Manta Trawl – eXXpedition [Internet]. [citirano 22. travanj 2019.]. Dostupno na: http://exxpedition.com/the-manta-trawl/

35. Hydro-Bios – Smart sampling! | Smart sampling! since 1960 [Internet]. [citirano 22. travanj 2019.]. Dostupno na: https://www.hydrobios.de/

36. Hydro-Bios – Smart sampling! | Bongo Net [Internet]. [citirano 23. travanj 2019.]. Dostupno na: https://www.hydrobios.de/product/bongo-net-2/

37. Biological sampling gear - British Antarctic Survey [Internet]. [citirano 23. travanj 2019.]. Dostupno na: https://www.bas.ac.uk/polar-operations/sites-and-facilities/facility/rrs-sir-david-attenborough/science-facilities/biosciences-facililties/

38. KC Denmark [Internet]. [citirano 23. travanj 2019.]. Dostupno na: http://www.kc-denmark.dk/products/sediment-samplers/box-corer/box-corer-1000-cm^2.aspx

39. Van Veen grab - Aquatic BioTechnology [Internet]. [citirano 01. lipanj 2019.]. Dostupno na: https://aquaticbiotechnology.com/en/sediment-sampling/van-veen-grab

40. Ekerman grab - Water(-bottom) sampling equipment | Eijkelkamp [Internet]. [citirano 01. lipanj 2019.]. Dostupno na: https://en.eijkelkamp.com/products/sediment-samplers/ekman-grab.html

41. Silva AB, Bastos AS, Justino CIL, da Costa JP, Duarte AC, Rocha-Santos

TAP. Microplastics in the environment: Challenges in analytical chemistry - A review. Anal Chim Acta. 2018.;1017:1–19.

42. Kaštelan-Macan M, Petrović M, Et.al. Analitika okoliša. Udžbenik Sveučilšta u Zagrebu; 2013.

43. GUPPYFRIEND – Washing Bag | STOP! Micro Waste [Internet]. [citirano 22. travanj 2019.]. Dostupno na: https://guppyfriend.com/

44. Cora Ball - The World's First Microfiber Catching Laundry Ball [Internet]. [citirano 22. travanj 2019.]. Dostupno na: https://coraball.com/products/cora-ball

45. Buy 8 and Save! - 8 Pack of Cora Balls [Internet]. [citirano 22. travanj 2019.]. Dostupno na: https://coraball.com/products/buy-8-and-save

46. Briški F. Zaštita okoliša. Zagreb: Element i Sveučilište u Zagrebu; 2016.

47. Tušar B. Pročišćavanje otpadnih voda. Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet; 2009.

48. Brief I. CMT aids removal of microplastics from water streams. Membr Technol. 2019.;2019(1):4–5.

49. Yoshida S, Hiraga K, Takehana T, Taniguchi I, Yamaji H, Maeda Y, i ostali. A bacterium that degrades and assimilates poly(ethylene terephthalate). Supplementary Information. Science [Internet]. 2016.;351(6278):1196–9. Dostupno na: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26965627

50. Prostak S. Ideonella sakaiensis: Newly-Discovered Bacterium Can Break Down, Metabolize Plastic [Internet]. 2016 [citirano 06. veljača 2019.]. Dostupno na: http://www.sci-news.com/biology/ideonella-sakaiensis-bacterium-can-break-down-metabolize-plastic-03693.html

51. Sangeetha Devi R, Ramya R, Kannan K, Robert Antony A, Rajesh Kannan V. Investigation of biodegradation potentials of high density polyethylene degrading marine bacteria isolated from the coastal regions of Tamil Nadu, India. Mar Pollut Bull [Internet]. 2019.;138(July 2018):549–60. Dostupno na: https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.12.001

52. Paço A, Duarte K, da Costa JP, Santos PSM, Pereira R, Pereira ME, i

ostali. Biodegradation of polyethylene microplastics by the marine fungus Zalerion maritimum. Sci Total Environ [Internet]. 2017.;586:10–5. Dostupno na: http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.017

53. Pehnec Pavlović G, Sartorius I. Plastika - previše vrijedna da bi se bacila. 2010.;(01):1–8.

Popis slika

Slika1. Prikaz podjele polimera[7] 4
Slika2. Prikaz najznačajnih vrsta polimernih materijala, njihovi simboli i upotreba[8] 5
Slika 3. Smještaj vrtloga u kojima se nalaze velike količine otpadne plastike, NPG (engl. North Pacific Gyre) – sjeverno-pacifički vrtlog, SPG (engl. South Pacific Gyre) – južno-pacifički vrtlog, NAG (engl. North Atlantic Gyre) – sjeverno-atlantski vrtlog, SAG (engl. South Atlantic Gyre) – južno-atlantski vrtlog, IOG (engl. Indian Ocean Gyre) – indijsko-oceanski vrtlog [11] 6
Slika 4. Plastični peleti [5] 7
Slika 5. a) mikroplastika dodana u paste za zube, b) mikroplastika nastala degradacijom plastičnog otpada [5] 8
Slika 6. a) različiti oblici mikroplastike, b) mikroplastika u različitim bojama [20] 9
Slika 7. Globalne količine plastike u površinskim vodama, sedimentima i morskom okolišu [21] 10
Slika 8. Sekundarna mikroplastika iz uzorka vode [21] 11
Slika 9. Mikrovlakno nađeno u želucu velike rakovice (*Maja squinado*) [11] 12
Slika 10. Tipični oblici mikroplastike pronađeni na UPOV-u: a) poliester, b) polietilen, c) poliamid, d) polipropilen [22] 12
Slika 11. Plaža onečišćena mikroplastikom [23] 13
Slika 12. Putevi i biološka interakcija mikroplastike u morskom okolišu [5] 15
Slika 13. a) unesena plastika u probavnom traktu uginulog albatrosa, b) ženka alabtrosa hrani potomka hranom koja sadrži velike količine plastike [28] 16
Slika 14. Mikrofotografija plastike u organizmu škampa [5] 18
Slika 15. Alga *Scenedesmus obliquus* [30] 19
Slika 16. a) prikaz planktonske mreže, "manta trawl", b) Neustonov katamaran [34,35] 21
Slika 17. a) shematski prikaz planktonske mreže, b) prikaz korištenja planktonske mreže [36, 37] 22
Slika 18. a) uzorkivač „box corer“, b) Ekmanova hvataljka, c) Van Venn hvataljka [38, 39, 40] 23
Slika 19. Smanjivanje uzroka: a) filtriranje, b) prosijavanjem [21] 24
Slika 20. Usporedba snimke napravljene pomoću optičkog mikroskopa: a) pamučno vlakno, b) poliakrilno vlakno [41] 25
Slika 21. SEM fotografije: a) mikrovlakno duljine 2 mm, b) fragment mikroplastike promjera 30 mm [41] ... 25
Slika 22. Usporedba FT-IR spektara) PET, b) PS [41] 26
Slika 23. Raman spektar: a) PVC, b) PS [21] 27
Slika 24. Guppyfriend - vreća za odjeću [43] 28
Slika 25. Cora Ball lopta za uklanjanje mikroplastike [45] 28
Slika 26. *Ideonella sakaiensis*[50] 30

Popis tablica

TABLICA 1. VRSTA POLIMERA U MORSKIM ORGANIZMIMA, VELIČINA I KONCENTRACIJA POLIMERA TE UČINAK NA ORGANIZME [5]..... 17