

# Metode i perspektive smanjenja mikroplastike u okolišu

---

Jelak, Lorena

Master's thesis / Diplomski rad

2024

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:257131>

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

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



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





**Sveučilište  
Sjever**

Diplomski rad br. 70/ARZO/2024

**METODE I PERSPEKTIVE SMANJENJA  
MIKROPLASTIKE U OKOLIŠU**

**Lorena Jelak, 0336041938**

Koprivnica, rujan 2024. godine

# Prijava diplomskog rada

## Definiranje teme diplomskog rada i povjerenstva

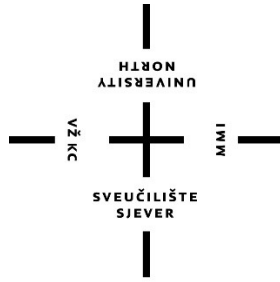
|                             |  |              |                                  |
|-----------------------------|--|--------------|----------------------------------|
| ODJEL                       | Odjel za ambalažu, recikliranje i zaštitu okoliša                        |              |                                  |
| STUDIJ                      | diplomski sveučilišni studij Ambalaža, recikliranje i zaštita okoliša    |              |                                  |
| PRISTUPNIK                  | Lorena Jelak   | MATIČNI BROJ | 0336041938                       |
| DATUM                       | 15.07.2024.  | KOLEGIJ      | Ambalaža i tehnologija pakiranja |
| NASLOV RADA                 | Metode i perspektive smanjenja mikroplastike u okolišu                   |              |                                  |
| NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU | Methods and perspectives of reducing of microplastics in the environment |              |                                  |
| MENTOR                      | dr.sc. Božo Smoljan  | ZVANJE       | redoviti profesor u tr. zv.      |
| ČLANOVI POVJERENSTVA        | 1. izv. prof. dr. sc. Dean Valdec - predsjednik                          |              |                                  |
|                             | 2. Izv. prof. dr. sc. Krunoslav Hajdek - član                            |              |                                  |
|                             | 3. Prof. dr. sc. Božo Smoljan - mentor                                   |              |                                  |
|                             | 4. Izv. prof. dr. sc. Bojan Šarkanj - zamjenski član                     |              |                                  |
|                             | 5.   |              |                                  |

2024

MMI

## Zadatak diplomskog rada

|                |   |                |  |
|----------------|---|----------------|--|
| BROJ           | 70/ARZO/2024  |                |  |
| OPIS           | <p>Velik porast proizvodnje i primjene plastike uzrokom je zagađenja prirode prekomjernim nagomilavanjem plastike u svim sastavnicama okoliša, uz veliku otpornost plastike na biološku i kemijsku razgradnju. Posebnu opasnost predstavlja gomilanje tzv. mikroplastike. U okolišu se u dugotrajnom procesu degradacije plastike, nakupljaju ogromne količine čestica plastike izrazito malih dimenzija.</p> <p>U radu je potrebno proanalizirati uzroke stvaranja mikroplastike i moguće načine smanjenja mikroplastike u okolišu. Potrebno je opisati polimerne materijale, zatim je potrebno proanalizirati rizike stvaranja mikroplastike, utjecaj mikroplastike na promjene u prirodi. Prije ostalog, potrebno je proanalizirati utjecaj mikroplastike na biljni i životinjski svijet, kao i utjecaj mikroplastike na zdravlje ljudi.</p> <p>U radu treba prikazati moguća rješenja u smanjivanju mikroplastike u okolišu, posebno treba prikazati preventivne metode zamjene rizične plastike, materijalima koji ne stvaraju mikroplastiku. Posebnu pozornost treba posvetiti legislativi i naporima Europske unije u pogledu smanjenja prekomjernog akumuliranja mikroplastike u okolišu.</p> |                |  |
| ZADATAK URUČEN | 02.09.2024.   | POTPIS MENTORA |  |



**Sveučilište  
Sjever**

**Diplomski sveučilišni studij Ambalaža, recikliranje i zaštita okoliša**

**Diplomski rad br. 70/ARZO/2024**

**METODE I PERSPEKTIVE SMANJENJA  
MIKROPLASTIKE U OKOLIŠU**

**Studentica:** Lorena Jelak, 0336041938

**Mentor:** prof. dr. sc. Božo Smoljan

Koprivnica, rujan 2024. godine

## **ZAHVALA**

Ovim putem se zahvaljujem svim profesorima na Sveučilištu Sjever, na odjelu Ambalaže, recikliranja i zaštite okoliša, za kvalitetna predavanja, dostupne materijale i nova znanja koja su prenosili svojim studentima na nastavi. Omogućili su mi da steknem nove kompetencije u području studiranja i postanem kompetentnija na tržištu rada, no i otvorili mi nove mogućnosti za obrazovanje.

Posebno se zahvaljujem prof. dr. sc. Boži Smoljanu koji me je vodio kroz proces obrazovanja i pristao biti moj mentor diplomskog rada, davao mi dragocjene savjete i potaknuo me na istraživanje novih, dosad vrlo malo istraženih područja.

Za kraj, najveće hvala cijeloj mojoj obitelji, mojoj boljoj polovici i mojoj ružici, svim mojim dragim prijateljima i kolegama na velikoj motivaciji i podršci tijekom cijelog studija.

## **SAŽETAK:**

*Plastika je praktički postala neizostavan materijal u svim industrijama današnjice. Utjecaj različitih materijala imao je presudnu ulogu za razvoj u povijesti pa su tri povijesna razdoblja nazvana prema materijalima: kameno doba, brončano doba i željezno doba. Utjecaj polimernih materijala danas je tako velik da se moderno doba zbog korištenja polimera naziva polimerno doba. Plastika je materijal koji je sastavljen od polimera, mogu mu se dodati aditivi ili druge tvari. Koristi se za proizvodnju različitih proizvoda, ima široku primjenu i važnu ulogu u proizvodnji predmeta koji se koriste svakodnevno. Velik rast proizvodnje plastike uzrok je zagađenja okoliša jer plastika ima sposobnost akumuliranja u različitim medijima u okolišu i otporna je na biološku i kemijsku razgradnju. U okoliš dospijevaju male čestice plastike koje su nazvane mikroplastika. Mikroplastikom se zovu čvrste, polimerne čestice, s dodanim aditivima, netopljive u vodi, čije su dimenzije od 1  $\mu\text{m}$  do 5 mm. Usprkos provedenim istraživanjima o utjecaju mikroplastike na okoliš i zdravlje, relativno je nepoznato kakvi su dugoročni učinci mikroplastike na čovjekovo zdravlje, ali zna se o negativnim utjecajima mikroplastike na okoliš i zdravlje organizama. U ovom diplomskom radu bio je cilj odrediti moguće načine smanjenja mikroplastike u okolišu. Kroz rad su analizirane spoznaje o polimerima, mikroplastici, utjecaju mikroplastike na okoliš, utjecaju mikroplastike na biljni i životinjski svijet i o utjecaju mikroplastike na zdravlje ljudi. U radu su objašnjene mogućnosti smanjenja mikroplastike u okolišu, zamjene za materijale koji stvaraju mikroplastiku i očekivanja u pogledu smanjenja mikroplastike u okolišu. U Europskoj uniji na snazi su zakoni koji određuju da se smanji korištenje mikroplastike i prema kojima bi se trebala smanjiti količina mikroplastike u okolišu. Predviđa se da će se u bližoj budućnosti morati početi koristiti zamjene za plastične materijale i mikroplastiku koja se dodaje u proizvode da bi se smanjio rizik prisutnosti mikroplastike u okolišu za zdravlje okoliša, biljnog i životinjskog svijeta i čovjekovo zdravlje.*

*Ključne riječi: polimeri, plastika, mikroplastika, zdravlje, okoliš, budućnost mikroplastike, zamjene za mikroplastiku*

## **ABSTRACT:**

*Plastics has practically become an indispensable material in all industries today. The influence of different materials played a crucial role in development in history, so three historical periods are named after the materials: the Stone Age, the Bronze Age and the Iron Age. The influence of polymer materials is so great today that the modern age is called the polymer age due to the use of polymers. Plastic is a material that is composed of polymers, additives or other substances can be added to it. It is used for the production of various products, has a wide application and plays an important role in the production of objects that are used every day. The large growth of plastic production is the cause of environmental pollution because plastic has the ability to accumulate in various media in the environment and is resistant to biological and chemical decomposition. Small plastic particles called microplastics reach the environment. Microplastics are solid, polymer particles, with added additives, insoluble in water, whose dimensions range from 1  $\mu\text{m}$  to 5 mm. Despite the research conducted on the impact of microplastics on the environment and health, the long-term effects of microplastics on human health are relatively unknown, but the negative effects of microplastics on the environment and the health of organisms are known. The goal of this thesis was to determine possible ways to reduce microplastics in the environment. The work analyzed knowledge about polymers, microplastics, the impact of microplastics on the environment, the impact of microplastics on flora and fauna, and the impact of microplastics on human health. The paper explains the possibilities of reducing microplastics in the environment, substitutes for materials that create microplastics and expectations regarding the reduction of microplastics in the environment. In the European Union, there are laws in force that determine to reduce the use of microplastics and according to which the amount of microplastics in the environment should be reduced. It is predicted that in the near future, substitutes for plastic materials and microplastics added to products will have to be used to reduce the risk of the presence of microplastics in the environment for the health of the environment, flora and fauna and human health.*

*Keywords: polymers, plastics, microplastics, health, environment, future of microplastics, substitutes for microplastics*

## **POPIS KORIŠTENIH KRATICA:**

**ABS** – akrilnitril butadienstiren

**CN** – celuloid

**EU** – Europska unija

**MP** – mikroplastika

**NP** – nanoplastika

**PA** – poliamid

**PC** – polikarbonat

**PE** – polietilen

**PETP** – polietilentereftalat

**PMMA** – polimetilmetakrilat

**POM** – polioksimetilen

**PP** – polipropilen

**PS** – polistiren

**PTFE** – politetrafluoretilen

**PUT** – poliuretan

**PVC** – polivinilklorid

**RH** – Republika Hrvatska

**SAN** – stirenakrilnitril



# SADRŽAJ

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 1.     | UVOD.....   | 1  |
| 2.     | MIKROPLASTIKA OPĆENITO.....   | 3  |
| 2.1.   | Općenito o polimerima.....  | 3  |
| 2.2.   | Plastika i podjele plastike.....  | 5  |
| 2.3.   | Svojstva polimera.....  | 8  |
| 2.4.   | Raširenost korištenja plastike.....   | 10 |
| 2.5.   | Mikroplastika.....  | 11 |
| 2.5.1. | Definicije i klasifikacija mikroplastike.....                                   | 12 |
| 2.5.2. | Zakoni i uredbe za regulaciju plastike i mikroplastike.....                     | 14 |
| 2.5.3. | Prisutnost mikroplastike u okolišu i živim organizmima.....                     | 15 |
| 2.5.4. | Negativan utjecaj mikroplastike na čovjekovo zdravlje.....                      | 17 |
| 3.     | PLASTIKA OD KOJE SE STVARA MIKROPLASTIKA.....                                   | 20 |
| 3.1.   | Izvori mikroplastike.....   | 20 |
| 3.2.   | Vrste polimera od kojih nastaje mikroplastika.....                              | 21 |
| 3.2.1. | Polietilen.....   | 22 |
| 3.2.2. | Polipropilen.....   | 23 |
| 3.2.3. | Polivinil klorid.....   | 23 |
| 3.2.4. | Polistiren.....   | 24 |
| 3.2.5. | Poliuretan.....   | 25 |
| 3.2.6. | Polietilen tereftalat.....  | 26 |
| 3.3.   | Metode analize mikroplastike.....   | 26 |
| 4.     | ZAMJENA ZA MATERIJALE KOJI STVARAJU MIKROPLASTIKU.....                          | 29 |
| 4.1.   | Biopolimeri.....  | 29 |
| 4.2.   | Korištenje prirodnih vlakana u proizvodnji odjeće i izbjegavanje brze mode..... | 30 |
| 4.3.   | Zamjena plastične ambalaže drugim ambalažnim materijalima.....                  | 33 |
| 4.4.   | Europski primjeri smanjenja korištenja plastike.....                            | 37 |
| 5.     | PERSPEKTIVE I MOGUĆNOSTI SMANJENJA MIKROPLASTIKE.....                           | 40 |
| 5.1.   | Trenutni problemi povezani s mikroplastikom i hitna rješenja.....               | 40 |
| 5.2.   | Budućnost mikroplastike.....  | 41 |
| 6.     | ZAKLJUČAK.....  | 43 |
| 7.     | LITERATURA.....   | 45 |
| 8.     | SLIKE.....  | 49 |
| 9.     | TABLICE.....  | 50 |



## 1. UVOD

Javljanje plastike izazvalo je pravu revoluciju u svim industrijama, olakšalo je proizvodnju različitih proizvoda i imalo je utjecaj na sve što je potrebno modernom čovjeku. Otkriće polimera i razvoj industrije polimera uzrokovalo je takvu revoluciju da se moderno doba može nazvati polimerno doba. Polimeri se puno koriste i još nije pronađena zamjena kojom bi se zamijenili svi polimerni materijali. Primjena polimera imala je pozitivan utjecaj na standard i kvalitetu života, a zbog otkrića polimera razvijale su se različite industrije i tehnologije u kojima je došlo do boljih i kvalitetnijih usluga i predmeta.

Usprkos pozitivnim učincima korištenja plastike, višestruk rast proizvodnje plastike doveo je do nepoželjnih učinaka na okoliš. Sve raširenije korištenje plastike u čovjekovim svakodnevnim aktivnostima uzrokuje jako velike probleme u okolišu, negativno utječe na biljni svijet i životinjski svijet i uzrokuje zagađenje kopnene i morske površine planeta Zemlje. Plastični polimeri poput polipropilena (PP), polietilena (PE), poli(etilen-tereftalata) (PET), polistirena (PS), poliuretana (PUR), poli(vinil-klorida) (PVC) i polikarbonata (PC) odgovorni su za sve veće zagađenje okoliša i probleme u očuvanju prirodnih ekosustava.

Uz zagađenje okoliša vidljivom plastikom, otkriveno je zagađenje okoliša mikroplastikom koje je izazvalo nova istraživanja jer još nije potpuno jasno kakve sve učinke mikroplastika ima na okoliš, biljni i životinjski svijet i čovjekovo zdravlje. Mikroplastika su materijali napravljeni od čvrstih čestica koje sadrže polimer, u koje mogu biti dodani aditivi ili druge tvari. U klasifikaciji mikroplastike prema veličini, čestice su podijeljene na nanočestice (1 – 100 nm), sub-mikronske čestice (100 nm – 1 μm), malu mikroplastiku (1 – 100 μm), veliku mikroplastiku (100 μm – 5 mm), mezoplastiku (5 mm – 2,5 cm) i makroplastiku (> 2,5 cm). Čestice mikroplastike su prema definiciji čestice u veličini od 1 μm do 5 mm.

Mikroplastika u okoliš dopijeva kao primarna mikroplastika koja je dio različitih proizvoda kojima se dodaju namjerno proizvedene mikro čestice plastike ili kao sekundarna mikroplastika sastavljena od mikro čestica plastike koje nisu namjerno proizvedene nego su nastale spontanom razgradnjom većih plastičnih predmeta. Mikroplastika je prepoznata kao globalni problem pa je Europska Komisija u Službenom listu Europske unije (EU) donijela

Uredbu kojom propisuje zakonske regulative o mikroplastici, zabranjuje stavljanje proizvoda na tržište ako imaju u sebi mikroplastiku i druge oblike smanjenja mikroplastike u okolišu.

U ovom diplomskom radu bio je cilj odrediti moguće načine smanjenja mikroplastike u okolišu. Diplomski rad obuhvaća šest poglavlja (Uvod, Mikroplastika općenito, Plastika od koje se stvara mikroplastika, Zamjena za materijale koji stvaraju mikroplastiku, Perspektive i mogućnosti smanjenja mikroplastike, Zaključak).

Metode koje su korištene u radu jesu metoda analize, metoda sinteze, metoda komparacije i metoda kompilacije, a korištena je literatura navedena u poglavlju Literatura na hrvatskom i engleskom jeziku. Kroz rad su analizirane spoznaje o polimerima, mikroplastici, utjecaju mikroplastike na okoliš, utjecaju mikroplastike na biljni i životinjski svijet i o utjecaju mikroplastike na zdravlje ljudi. U radu su objašnjene mogućnosti smanjenja mikroplastike u okolišu, zamjene za materijale koji stvaraju mikroplastiku i očekivanja u pogledu smanjenja mikroplastike u okolišu. Ujedno su istražena predviđanja o mogućim smanjenjima korištenja plastike te smanjenju mikroplastike prisutne u okolišu.

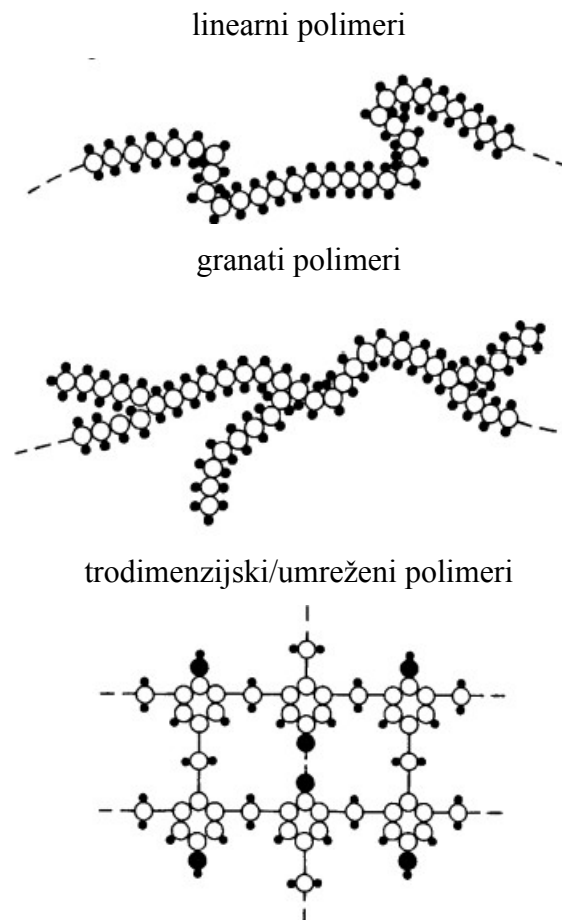
## 2. MIKROPLASTIKA OPĆENITO

Najvažnija razdoblja u povijesti dobivala su nazive prema materijalima koji su u njima otkriveni. U povijesti čovječanstva tri razdoblja nazvana su prema materijalima: kameno doba, brončano doba i željezno doba. Materijali koji su najvažniji u modernom razdoblju povijesti su plastika, keramika i čelik. Polimeri su se kao sintetski materijali razvijali prema predlošku prirodne gume – prirodnog kaučuka. Prirodni kaučuk služio je kao predložak za razvoj sintetskih polimera. Davne 1839. godine je prirodna guma prvi put vulkanizirana i od nje se dobio visoko elastični materijal, 1870. godine je proizveden komercijalni celuloid, 1892. godine je proizvedeno prvo tekstilno vlakno (rayon – modificirana celuloza), a 1910. godine je prvi puta potpuno sintetiziran polimer (fenol). Nakon toga je 1920. godine počeo jak razvoj gumarske industrije, 1930. godine razvoj polimerske industrije i 1950. je uslijedio snažan razvoj sintetskih polimera i industrije sintetskih polimera. Polimerni materijali imaju značajnu ulogu u svakodnevnom životu, imaju široku primjenu i za otkrića u području polimera dodijeljeno je nekoliko Nobelovih nagrada. U današnje vrijeme prisutan je stalan rast potrošnje polimera pa se današnje doba zove polimerno doba, a stručnjaci predviđaju da su polimerni materijali „željezo“ i „čelik“ 21. stoljeća [1]. U ovom poglavlju riječ je o polimernim materijalima, svojstvima polimernih materijala i mikroplastici iz različitih perspektiva.

### 2.1. Općenito o polimerima

Riječ polimer došla je iz grčkog jezika u kojemu poli znači mnogo i meros znači dio. Riječ polimer osmislio je švedski kemičar Jöns Jakob Berzelius u 1833. godini [1]. Polimeri su visokomolekulni spojevi koji se sastoje od velikog broja skupina atoma koje su povezane kemijskim vezama. Polimeri su *kondenzirani sustavi makromolekula što znači da postoje u čvrstom i kapljevitom stanju, i ne mogu postojati u plinovitom agregatnom stanju* [2]. Polimeri su *makromolekularni organski spojevi koji nastaju nizanjem molekula osnovnih tvari – monomera – u makromolekule s vrlo velikim brojem atoma (do 1000 i više)* [3]. Svi polimeri nastaju kroz stvaranje kemijskih veza između monomera, relativno malih molekula,

kojima se formiraju vrlo velike molekule, polimeri. Sintetski polimeri dijele se prema oblicima makromolekula na linearne polimere, granate polimere i trodimenzijske/umrežene polimere [4]. *Razlikujemo prirodne ili biopolimere i sintetske polimere, prvi nastaju biosintezom u živim organizmima, a drugi nastaju sintezom niskomolekulskih tvari pri čemu nastaju makromolekule* [1]. Molekularne strukture polimera prikazane su na Slici 1. Molekularne strukture polimera.



Slika 1. Molekularne strukture polimera

Izvor: Harper, C, A, Petrie, E, M. Plastic Materials and Processes. Wiley-Interscience, New Jersey; 2003., str. 19.

Polimeri se mogu svrstati u prirodne polimere, modificirane polimere i sintetske polimere. Najvažniji prirodni polimer je celuloza, važni su svila, prirodni kaučuk, vuna i prirodne smole, kazein, masna ulja i silikati. Modificirani prirodni polimeri su derivati celuloze, derivati prirodnog kaučuka i derivati kazeina. Sintetski polimeri su nastali kemijskim reakcijama iz monomera koji se dobivaju iz ugljena, nafte ili zemnog plina [5].

## 2.2. Plastika i podjele plastike

Plastika je *materijal koji se sastoji od polimera kojemu se mogu dodati aditivi ili druge tvari i koji može funkcionirati kao glavna strukturna komponenta konačnih proizvoda, uz iznimku prirodnih polimera koji nisu kemijski modificirani* [6].

Najjednostavnije objašnjenje plastike je da je plastika organski polimer koji se izvorno nalazi u obliku smole ili se nalazi u nekom obliku koji je dobiven iz izvorne polimerizirane smole. Polimerizirana smola može biti u obliku tekuće smole ili i pastozne smole, a može se nalaziti u formiranim oblicima (listovi ili veće mase). Poznat je velik broj temeljnih plastičnih materijala i popis plastičnih materijala se svakodnevno povećava na što utječu metode obrade plastičnih materijala. Prisutno je toliko plastičnih materijala i procesa njihove obrade, kao i načina miješanja plastičnih materijala, da je razumijevanje plastičnih materijala otežano [4]. Plastične mase (plastika) su vrste umjetnih tvari u kojima su glavni sastojci polimeri [3]. Trgovački naziv plastika koristi se za poliplaste, za koje je ponekad korišten naziv plastične mase [5].

U literaturi se plastika razvrstava prema različitim kriterijima. Kraut dijeli plastiku prema karakterističnim svojstvima u tri skupine [3]:

- I. termoplaste
- II. elaste
- III. duroplaste

Termoplasti su umjetni polimeri s međusobno fizikalno vezanim makromolekulama, a u stanju su viskoznih tekućina. Ako im je temperatura jednaka temperaturi okoliša, onda su tvrdi, a ako se zagrijavaju, onda omekšaju, ali omekšavanje je povratno (opet se stvrdnu kada se ohlade). Laki su za zagrijavanje i preoblikovanje, obično su topivi u posebnim organskim otapalima, otpad nastao od termoplasta može se lako regenerirati i opet iskoristiti. Termoplasti se dalje dijele na amorfne termoplaste i djelomično kristalinične termoplaste [3]. Tablica 1. prikazuje podjelu termoplasta.

## PODJELA TERMOPLASTA

| AMORFNI TERMOPLASTI              | DJELOMIČNO KRISTALINIČNI TERMOPLASTI    |
|----------------------------------|---|
| polivinilklorid – PVC            | polietilen – PE                         |
| polistiren – PS                  | polipropilen – PP                       |
| akrilnitril butadienstiren – ABS | stirenakrilnitril – SAN                 |
| polimetilmetakrilat – PMMA       | polioksimetilen – POM                   |
| polikarbonat – PC                | politetrafluoretilen – PTFE             |
| CELULOID - CN                    | poliamid – PA                           |
|                                  | polietilentereftalat (poliester) – PETP |

Tablica 1. Podjela termoplasta

Izvor: Kraut, B. Strojarski priručnik. Tehnička knjiga, Zagreb; 1987., str. 473.

Elasti su umjetne tvari dobivene od polimera, makromolekule su im međusobno labavo povezane. Dobivaju se iz termoplasta postupkom vulkanizacije, amorfni su, kada se nalaze na temperaturi okoliša, meko su gumeno elastični. Kod najmanjih napreznja izazivaju se velika elastična produljenja. Elasti su [3]:

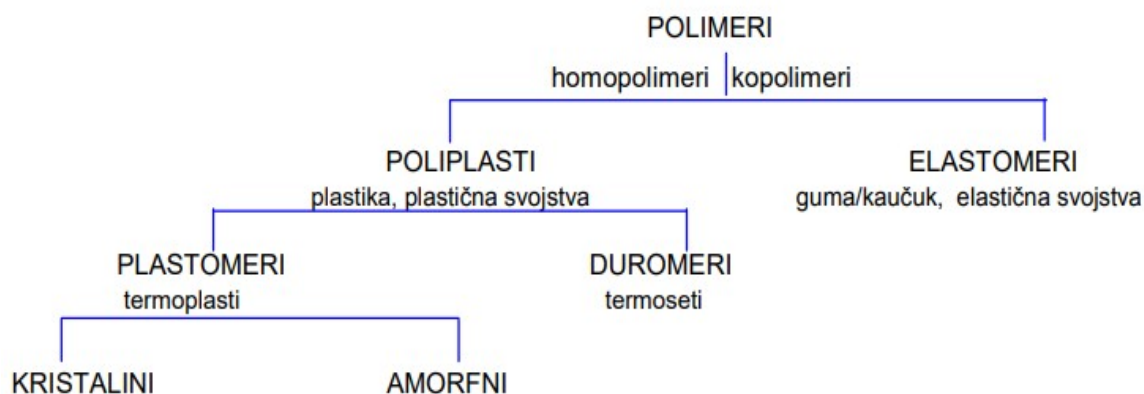
- prirodni kaučuk
- poliuretanski kaučuk
- stirenbutadienski kaučuk
- butadienski kaučuk
- butilni kaučuk
- akrilnitrilbutadienski kaučuk
- silikonski kaučuk i drugi elasti.

Duroplasti su umjetne tvari dobivene od polimera, makromolekule su im vezane kemijski mrežom. Veza između njihovih makromolekula je nepovratni proces. Duroplasti su uvijek amorfni, topljenje i zavarivanje duroplasta je teško. Duroplasti su [3]:



- fenolna smola
- uratna smola
- melaminska smola
- poliesterska smola i drugi duroplasti.

Hrnjak-Murgić dijeli polimere kao što je prikazano na Slici 2. Podjela polimera.



Slika 2. Podjela polimera

Izvor: Hrnjak-Murgić, Z. Gospodarenje polimernim otpadom. Sveučilište u Zagrebu, Zagreb; 2016., str.

48.

Poliplasti se dijele na [2]:

- I. plastomere
- II. duromere
- III. elastomere
- IV. elastoplastomere

Plastomeri su poliplasti koji se zagrijavanjem omekšaju, a hlađenjem postaju čvrsti. Zagrijavanje i hlađenje može se ponavljati neograničeni broj puta, ali ako kod zagrijavanja dođe do kemijskih reakcija koje izazovu djelomičnu promjenu strukture, onda se ciklus zagrijavanja i hlađenja više ne može ponavljati. Plastomerne makromolekule imaju linearnu strukturu, a molekule mogu biti povezane sa samo nekoliko poprečnih veza. Mehanička svojstva plastomera se poboljšaju ukoliko se neki makromolekularni lanci isprepletu zapletanjem. Mjesta na kojima se makromolekulni lanci isprepletu nisu kemijski povezana pa se zbog gibanja molekula pomiču i kližu [2].

Duromeri se kod zagrijavanja neće omekšati. Njihova struktura je umrežena, nastala kovalentnim povezivanjem polimernih lanaca, a svojstva polimera određena su brojem

poprečnih veza. Obično su duromeri tvrdi polimeri, a tvrdi su zbog nedovoljne gibljivosti molekula. Tvrdoća je svojstvo zbog kojeg ih se koristi kao konstrukcijski materijal [2].

Elastomeri su prirodni i sintetički kaučuk, silikoni i poliuretani koji su na sobnoj temperaturi jako elastični. Kod sobne temperature mogu se istegnuti najmanje dvostruko od svoje izvorne duljine i nakon što vanjska sila prestane djelovati vratit će se na svoju izvornu duljinu. Makromolekule u elastomerima su slične oprugama, imaju klupčaste strukture koje podliježu istezanju [2].

Elastoplastomeri su vrsta poliplasta koji kod sobne temperature imaju svojstva elastomera, a kod viših temperatura imaju svojstva plastomera [2].

### **2.3. Svojstva polimera**







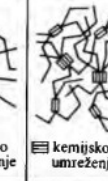
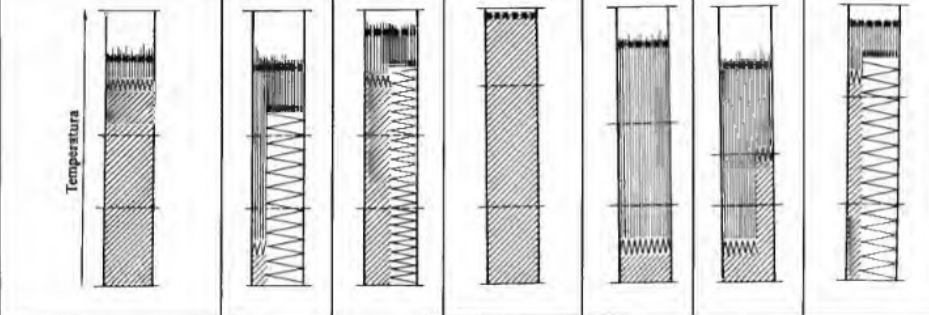
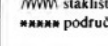


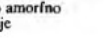

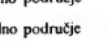

Molekula polimera sastoji se od monomera (molekula) koji određuju stupanj polimerizacije polimera. Svojstva polimera mijenjaju se s porastom stupnja polimerizacije. Tri su glavna postupka kojima se dobivaju polimeri [3]:

- I. Polimerizacija – organska kemijska reakcija u kojoj se spajaju jednaki ili različiti nezasićeni spojevi s malenim molekulama u makromolekularne tvari, a kod reakcije ne nastaju nusprodukti
- II. Polikondenzacija – kemijska reakcija u kojoj se osnovne tvari koje imaju malene molekule spajaju u makromolekule, a kod reakcije nastaju nusprodukti
- III. Poliadicija – organska kemijska reakcija u kojoj se spojevi koje imaju malene molekule spajaju u makromolekularne tvari, a kod reakcije ne nastaju nusprodukti

Polimeri imaju različita svojstva o kojima ovisi područje njihove primjene. Polimeri mogu imati kemijska, fizikalna, mehanička, optička i električna svojstva. Kemijska svojstva definiraju kemijsku postojanost polimera. O kemijskim svojstvima ovisi je li polimer postojan kod povišenih temperatura, gori li, je li topiv, je li postojan kod izlaganja različitim agensima: kiselinama, lužinama, organskim otapalima, kisiku, ozonu... Ako polimer nema kemijska svojstva koja ga čine postojanim na neki utjecaj, materijal će degradirati i posljedica degradacije će biti gubitak svojstava polimera [1].

Polimeri imaju fizička svojstva: gustoću, temperaturu taljenja, viskoznost. Najčešće imaju nisku gustoću i lagani su. Mehanička svojstva polimera se vide u mjerenju deformacije polimera kod naprežanja: čvrstost, tvrdost, elastičnost, žilavost, postojanost na habanje, zamor materijala... Čvrstoća polimera govori koliko je polimer jak. Neki polimeri su kristalni što znači da imaju se lako lome i da pucaju kao staklo, imaju visoku tvrdoću i visoku čvrstoću i malo su elastični. Elastični polimeri imaju nisku čvrstoću, nisku tvrdoću i visoko su elastični [1].

Polimerima se svojstva određuju postupkom karakterizacije. Karakterizacijom polimera određuje se kvaliteta polimera i područje upotrebe pojedinačnog polimera. U karakterizaciji polimera opisuje se polimer i kemijski sastav polimernog lanca, opisuje se strukturna građa polimernog lanca, veličina i raspodjela molekulskih masa u polimeru, amorfnost i kristalnost polimera i opisuje se morfologija polimera. Za postupak karakterizacije polimera koriste se različite metode i tehnike, a koristi se pripremljen uzorak polimera u otopini [1]. Polimeri imaju svojstva nabrojana u Tablici 2. Najvažnija svojstva polimera.

|  | PLASTOMERI   |   |  | DUROMERI   | ELASTOMERI  |   | VLAKNA  |
|--|--|---|--|--|---|---|---|
|  | amorfni  |   | kristalasti  |  | rahlo umrežena  |   |   |
| Građa makromolekule  | linearna   | granata   | linearna   | prostorno umrežena   | rahlo umrežena  |   | linearna  |
| Shematski prikaz strukture                                       |   |  |   |   |                                   |  |  |
| Strukturna sredenost   | amorfna  |   | djelomice kristalna, izotropna   | amorfna  | amorfna do slabo sredena  |   | djelomice kristalna, anizotropna  |
| Termomehanička svojstva  |    |   |  |  |   |   |   |
|  |  stakliste<br> područje razgradnje |   |  talište<br> gibljivo amorfno područje |  staklasto, ne gibljivo amorfno područje<br> kristalno područje |  temperaturno područje primjene |   |   |
| Mehaničko ponašanje materijala u temperaturnom području primjene | staklasti, ukrućeni  |   | plastični  | elastični  | tvrdi, ukrućeni   | viskoelastični, gumasti   | žilavi  |
| Primjeri   | PS, tvrdi PVC, PVDC, PPO, PPS, PSU, poliakrilati, PMMA, PAN, SAN, ABS  |   | PE, PP, POM, PB  | polifluoretileni, PA, PC, PETP   | nezasićeni poliesteri, aminoplasti, PF, EP, PI  | polibutadien, polikloropren, SBR, EPDM  | PUR, meki PVC, PA, poliesteri, poliakrilati   |

Tablica 2. Najvažnija svojstva polimera

Izvor: Polimerni materijali. Tehnička enciklopedija. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 1963–1997. <https://tehnicka.lzmk.hr/>

Uporabna svojstva polimera umanjuju se postupkom degradacije polimera. Degradacija polimera je pojam u širem i užem smislu. U najširem smislu je degradacija polimera proces koji se događa na molekularnoj i nadmolekularnoj strukturi. U užem smislu degradacija je kemijski proces u kojemu se mijenja konfiguracija makromolekule. Oblik degradacije u užem smislu je depolimerizacija u kojoj se smanjuje prosječna masa molekule polimera, a depolimerizacija se u nekim slučajevima koristi da se olakša prerada polimera ili primjena polimera u različite svrhe. Do degradacije polimera dolazi zbog djelovanja topline, mehaničkih naprezanja, elektromagnetskih zračenja, električnih polja, utjecaja kisika i agresivnih kemikalija, bioloških i drugih faktora [7].

## 2.4. Raširenost korištenja plastike

Polimeri se u svakodnevnom životu danas puno koriste i više ih se ne može potpuno zamijeniti. Primjena polimera povećala je standard i kvalitetu života, imaju direktnu primjenu i koriste se kao materijali koji su doprinijeli razvoju drugih grana industrije. Zahvaljujući polimerima razvijala se informatička tehnologija u kojoj su se koristili kao nanomaterijali, razvijala se i unaprijedila kvaliteta građevinske industrije, unaprijeđeno je pakiranje hrane, u medicini su polimerni materijali poboljšali kvalitetu usluga, a u sportu su pomaknuli granice ljudskih sposobnosti [1].

Polimeri se koriste u proizvodnji odjeće koja se izrađuje od sintetskih ili prirodnih polimera prerađenih u vlakna. Koriste se kod izrade tenisica. Sportska oprema proizvodi se od polimera: teniska loptica sastoji se od slojeva polimera, loptice za golf, košarkaške lopte, reketi za tenis i trenirke u sastavu sadrže polimere [1].

Korištenje plastike neizostavno je u čovjekovim svakodnevnim aktivnostima, ali sveprisutnost plastike i stalno korištenje plastike uzrokuju jako velike probleme u okolišu, uključujući zagađenje mora i kopna i negativan utjecaj na životinjski svijet i biljni svijet. Otpad koji nastaje zbog prevelikog korištenja plastike je negativan za cijeli ekosustav, ali dolaze novi izazovi zbog plastičnih materijala koji se ne mogu vidjeti golim okom pa su obuhvaćeni zajedničkim nazivom mikroplastika (MP) [8]. Polimeri imaju različite mogućnosti primjene u svakodnevnom životu, a vide se na Slici 3.



Slika 3. Različite mogućnosti primjene polimera u svakodnevnom životu

Izvor: Hrnjak-Murgjić, Z. Gospodarenje polimernim otpadom. Sveučilište u Zagrebu, Zagreb; 2016., str.

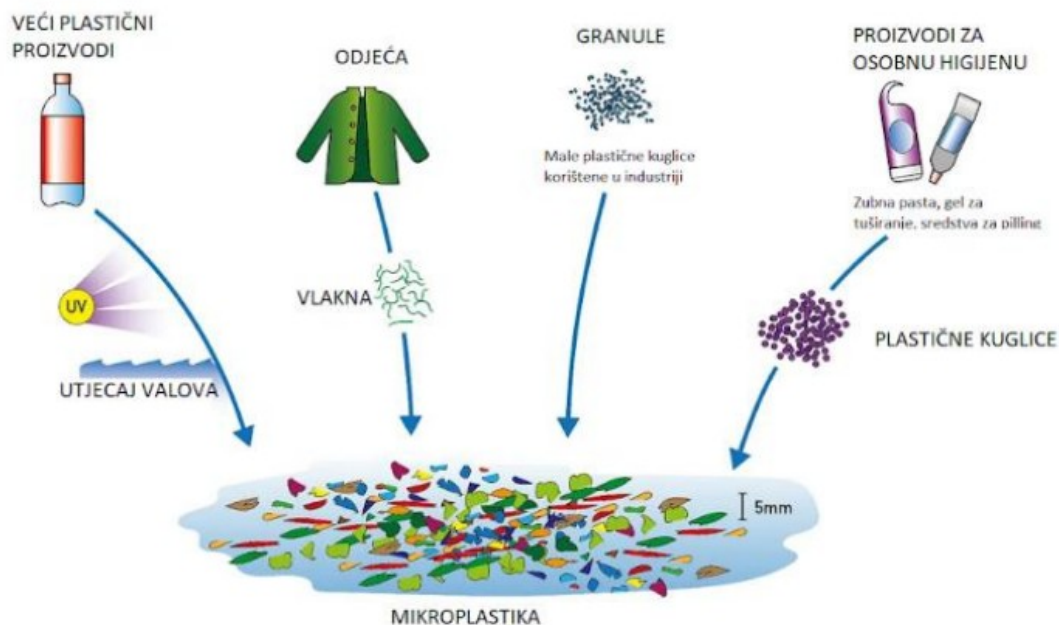
## 2.5. Mikroplastika

Svjetska proizvodnja plastike narasla je s dva milijuna tona koliko se proizvodilo 1950. godine na 300 milijuna tona koliko se proizvodilo u 2018. godini. Velik rast proizvodnje plastike doveo je do visoke razine zagađenja okoliša zbog toga što plastika ima sposobnost akumuliranja u različitim medijima u okolišu i otporna je na biološku i kemijsku razgradnju. Najvažniji izvori onečišćenja plastikom u okolišu su plastični polimeri poput polipropilena (PP), polietilena (PE), poli(etilen-tereftalata) (PET), polistirena (PS), poliuretana (PUR), poli(vinil-klorida) (PVC) i polikarbonata (PC) [9].

Plastika se od 1950-ih godina počela intenzivno koristiti u proizvodnji različitih korisnih proizvoda. Plastični materijali imaju jedan velik problem, a to je što je proces njihove razgradnje jako spor. Za razgradnju plastičnog komadića velikog samo 1 mm potrebno je stotinjak godina. Mali komadići plastike koji se mogu pronaći u okolišu zovu se mikroplastika. Mikroplastika su plastični komadići manji od 5 mm [10]. MP ima velik potencijal zagađivanja pa izaziva zabrinutost znanstvenika u cijelom svijetu jer je stalno prisutna u različitim dijelovima okoliša, u tlu, zraku, vodi, sedimentu i biotu [9].

### 2.5.1. Definicije i klasifikacija mikroplastike

*MP su čvrste, polimerne čestice, s dodanim aditivima, netopljive u vodi dimenzija od 1  $\mu$ m do 5 mm [8]. Mikroplastika je bilo koja sintetička čvrsta čestica ili polimerna matrica, pravilnog ili nepravilnog oblika i veličine u rasponu od 1  $\mu$ m do 5 mm, primarnog ili sekundarnog proizvodnog podrijetla, koja je netopiva u vodi [11]. Mikroplastika u okoliš dospjeva iz različitih izvora. Izvori mikroplastike u okolišu prikazani su na Slici 4. Izvori mikroplastike.*



Slika 4. Izvori mikroplastike

Izvor: Where do microplastics come from? <https://encounteredu.com/multimedia/images/sources-of-microplastics>

MP se dijeli na primarnu MP koja se odnosi na namjerno proizvedene mikro čestice plastike i sekundarnu MP koja se odnosi na mikro čestice plastike koje nisu namjerno proizvedene nego su nastale kroz spontanu razgradnju većih plastičnih komada [8]. Primarna MP se može pronaći u proizvodima za osobnu njegu, u obliku mikrokuglica, u obliku plastičnih vlakana u sintetičkom tekstilu ili u obliku plastičnih peleta kakvih ima u industrijskoj proizvodnji. Primarna MP izravno ulazi u prirodne ekosustave iz svojih izvora, a sekundarna MP nastaje kada se zbog utjecaja prirode i vremena veće čestice polimernih materijala raspadnu. Primarna MP ulazi u okoliš u svojem izvornom obliku, sekundarna MP nastaje zbog trošenja i raspadanja veće plastike u manje čestice direktno u okolišu [9]. Sekundarna mikroplastika u morskome okolišu često nastaje tako da veći predmeti od plastike (boce...) postanu krhki pod djelovanjem UV zraka i zbog djelovanja valova se razbiju [12]. Primarna mikroplastika u kozmetičkim proizvodima može biti u obliku malih zrnca, kako se vidi na Slici 5. Primarna mikroplastika iz kozmetičkih proizvoda.



Slika 5. Primarna mikroplastika iz kozmetičkih proizvoda

Izvor: Guerranti, C, Martellini, T, Perra, G, Scopetani, C, Cincinelli, A. Microplastics in cosmetics: Environmental issues and needs for global bans. *Environmental Toxicology and Pharmacology*. 2019; 68:75-79. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2019.03.007>

Većina MP u okolišu nastala je zbog nekontroliranih procesa razgradnje većih plastičnih komada, kao sekundarna mikroplastika. Primarna mikroplastika koja dolazi iz kozmetičkih proizvoda i proizvoda za osobnu njegu predstavlja manji dio MP koja zagađuje okoliš, njezin utjecaj nije zanemariv. Zato, a i zbog toga jer se taj dio MP može jednostavno smanjiti, potrebne su zabrane korištenja MP u kozmetičkim proizvodima i proizvodima za osobnu higijenu (zrnca u gelovima za tuširanje...) [13].

MP se klasificira prema veličini čestica. Temeljem klasifikacije MP prema veličini čestica, MP su oblici plastike koji se odnose na [8]:

- I. nanočestice (1 – 100 nm)
- II. sub-mikronske čestice (100 nm – 1  $\mu$ m)
- III. malu mikroplastiku (1 – 100  $\mu$ m)
- IV. veliku mikroplastiku (100  $\mu$ m – 5 mm)
- V. mezoplastiku (5 mm – 2,5 cm)
- VI. makroplastiku (> 2,5 cm)

Čestice MP koje su manje od 5  $\mu$ m teško je precizno izmjeriti klasičnim svjetlosnim mikroskopima pa se određuju drugim metodama. Nanoplastika (NP) su sve čestice MP koje su manje od 1  $\mu$ m [11].

Prema obliku čestica MP, MP se dijeli na [9]:

- I. vlakna



- II. fragmente
- III. pelete
- IV. filmove

Vlakna su najopasniji oblik mikroplastike jer imaju toksično djelovanje kod nižih doza čestica nego drugi oblici čestica MP i njihova prisutnost zabilježena je u različitim prehrambenim proizvodima [9].

### **2.5.2. Zakoni i uredbe za regulaciju plastike i mikroplastike**

Ciljevi odvojenog sakupljanja plastičnih proizvoda za jednokratnu upotrebu koji se smiju (ali ograničeno) stavljati na tržište su da se jednokratni plastični proizvodi koji su u godini stavljeni na tržište moraju zbog recikliranja prikupiti u postotku od: *77% mase udjela proizvoda stavljenih na tržište u godini dana, do 2025. godine i 90% mase udjela proizvoda stavljenih na tržište u godini dana, do 2029. godine* [14].

Zakone i uredbe za regulacije plastike i mikroplastike Hrvatska je uskladila sa zakonima Europske unije. Direktiva (EU) 2019/904 Europskog parlamenta i Vijeća od 5. lipnja 2019. o smanjenju utjecaja određenih plastičnih proizvoda na okoliš ograničila je i zabranila korištenje proizvoda za jednokratnu upotrebu u državama članicama EU. Popis plastičnih proizvoda za jednokratnu upotrebu koji se ne smiju koristiti u članicama EU sastoji se najvažnijim dijelom od [15]:

- štapića za uši
- pribora za jelo (vilice, noževi, žlice, štapići za jelo), tanjura i slamki
- štapića za miješanje napitaka i štapića za balone
- spremnika za hranu i piće te čaša od ekspaniranog polistirena za čuvanje hrane

Ni mikroplastika nije izbjegla podleći strogim zakonima Europske unije. Europska Komisija u Službenom listu Europske unije (EU) donijela je Uredbu kojom propisuje zakonske regulative o mikroplastici jer je došlo do zabrinutosti koju izaziva *sveprisutnost sitnih fragmenata sintetičkih ili kemijski modificiranih prirodnih polimera, koji su netopljivi u vodi, vrlo se sporo raspadaju i mogu ih lako progutati živi organizmi* [16]. MP je prepoznata kao velik problem zbog negativnih utjecaja na zdravlje ljudi, okoliša i organizama

čime je opravdano donošenje Uredbe koja je stupila na snagu 17.10.2023. godine i potpuno je obvezujuća i izravno se primjenjuje u svim zemljama članicama EU [17].

U Uredbi je navedeno da se ograničava ili zabranjuje stavljanje na tržište proizvode koji sadrže namjerno dodane mikročestice sintetičkih polimera. Mikročestice sintetičkih polimera dodaju se u mnoge proizvode za svakodnevnu primjenu, stoga je propisano ograničenje/zabrana široka te je Uredba detaljno propisala pravila za pojedinačne grupe proizvoda. Da se smanji nepotrebno opozivanje/povlačenje proizvoda s tržišta i nepotrebno novo gomilanje otpada nastalog od opozvanih proizvoda, proizvodi koji su stavljeni na tržište prije datuma stupanja Uredbe na snagu, 17.10.2023. godine, ne treba opozvati s tržišta [17]. Inicijative država koje se provode da se smanji plastični otpad i mikroplastika u okolišu postoje, ali nisu dovoljne [6].

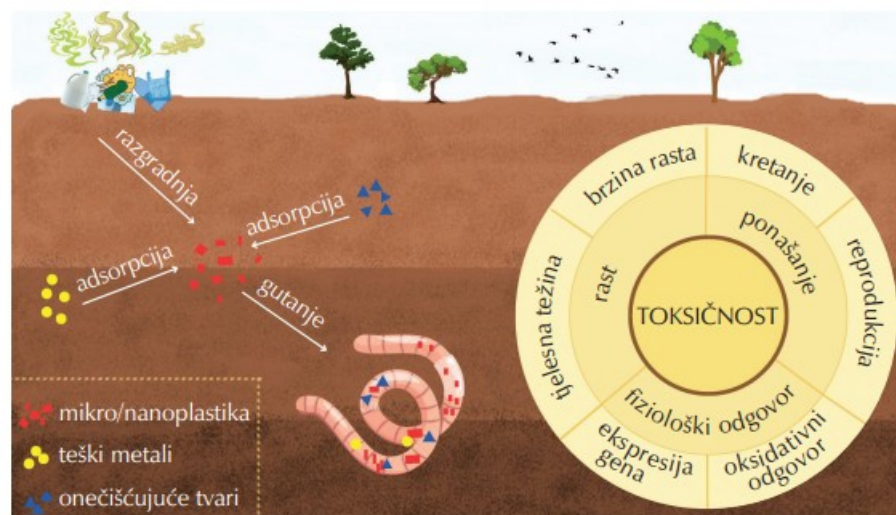
### **2.5.3. Prisutnost mikroplastike u okolišu i živim organizmima**

Mikroplastika se danas može naći u svim ekosustavima. MP u morskom ekosustavu je često prisutna, a od 70-ih godina prošlog stoljeća u morima i oceanima ima sve više plastike zbog raspoloživosti plastičnih materijala, niskih cijena i jednostavnog korištenja [18]. Mala veličina mikroplastike uzrokuje njezinu laku prenosivost čineći ju prisutnom posvuda [10]. MP koja je prisutna u vodenim ekosustavima može imati negativne posljedice na hranjenje, rast, reprodukciju i opstanak organizama koji obitavaju u vodi [11].

Čestice MP više gustoće tonu i nakupljaju se na dnu mora i oceana, a čestice MP niže gustoće plutaju po površini vode. Zbog male dimenzije MP je pogodna za gutanje različitim morskim organizmima. Zabilježena je smrt različitih morskih organizama nastala zbog gustanja MP (riba, rakova, ptica, kornjača...) [19].

Nedavno je prepoznato da MP i NP predstavljaju ekološku prijetnju ekosustavima tla, a u tlo ulaze različitim čovjekovim djelovanjima u čemu prednjači poljoprivredna proizvodnja. Primjer je tehnologija malčiranja plastičnom folijom koja ima široku primjenu u poljoprivredi zbog toga što jako povećava prinose poljoprivrednih usjeva. Zbog malčiranja plastičnom folijom velike količine plastike ostaju u tlu i u njemu se nakupljaju. Nakupljena plastika u tlu može se razgraditi u MP i NP [20].

Dokazana je prisutnost mikroplastike u različitim živim organizmima. MP koja se nalazi u tlu prenosi se s jednog mjesta na drugo zbog djelovanja životinja koje ju progutaju i prenose s jednog mjesta na drugo. Gujavice i oblići obitavaju u tlu, hrane se organskim tvarima i putuju tlom. Izravno progutaju MP i NP i generiraju sekundarne plastike koje transportiraju tlom. MP i NP su ekotoksične za gujavice i obliće koji su najzastupljenije životinje u tlu i čija je uloga u tlu bitna jer svojim djelovanjem poboljšavaju fizičke, kemijske i biološke karakteristike tla. Gujavice odražavaju zastupljenost MP i NP u tlu zbog čega su dobar kandidat za promatranja u kojima se analiziraju njihove karakteristike: brzina rasta, promjena tjelesne težine, kretanje, reprodukcija, oksidativni odgovor i ekspresija gena [20]. Slika 6. prikazuje prijenos i utjecaj mikroplastike i nanoplastike na gujavice.



Slika 6. Prijenos i utjecaj MP i NP na gujavice

Izvor: Čemerika E, Knežević A, Milički D, Miloloža M. Procjena ekotoksičnosti mikroplastike i nanoplastike na gujavice (kolutičavci, Annelida) i obliće (Nematoda) u tlu. *Kemija u industriji*. 2024;73(7-8):303-312. <https://doi.org/10.15255/KUI.2023.042>, str. 305.

#### 2.5.4. Negativan utjecaj mikroplastike na čovjekovo zdravlje

Prosječna osoba godišnje proguta ili udahne od 74 000 do 120 000 čestica MP. Osobe koje piju vodu samo iz plastičnih boca, cijeli preporučeni dnevni unos vode, godišnje unesu još dodatnih 90 000 čestica MP. Najveća količina MP proguta se pijenjem vode u bocama jer prosječno litra vode u boci sadrži 94 čestice MP [11]. Za čovjeka se najvažniji izvor mikroplastike nalazi u hrani koju jede [10]. U Tablici 3. navedene su kategorije hrane i pića u

kojima su znanstvenici dokazali prisutnost MP, oblik prisutne MP, područje proizvodnje hrane, sastav polimera, veličina čestica MP i sadržaj MP.

|               | Kategorija hrane i pića  | Područje proizvodnje | Oblik MP                                  | Sastav polimera  | Veličina čestica  | Sadržaj MP                      |
|---------------|--|----------------------|---|--|---|---------------------------------|
| HRANA IZ MORA | komercijalno važne vrste ribe (australska haringa, losos, sardina i dr.) | Australija           | vlakna, fragmenti, film                   | PE, PP, polimerne mješavine akrilat, najlon, boja, PES, poli-vinil | 38 $\mu\text{m}$ ->1 mm   | 0,96 $\pm$ 0,08 MP/ribi         |
|               | indijski bijeli škampi   | Indija               | vlakna, fragmenti, listovi                | PA, PES, PE, PP  | 157- 2785 $\mu\text{m}$   | 0,04 $\pm$ 0,07 MP/g mt         |
|               | zlatni inćun   | Indija               | vlakna, filmovi, fragmenti, peleti, trake | PE, PP, PA, PES, PS  | < 100 -> 1000 MM  | 6,78 $\pm$ 2,73 MP/ribi         |
|               | komercijalne morske alge nori  | Kina                 | vlakna, fragmenti, filmovi, peleti        | PES, rajon, PP, PA, celofan  | 0,11 – 4,97 mm  | 1,8 $\pm$ 0,7 MP/g              |
| HRANA         | piletina i puretina (pakirano u PS posude)                               | Francuska            | čestice, vlakna                           | ekstrudirani PS  | 300 – 450 $\mu\text{m}$   | 4,0 – 18,7 MP/kg                |
|               | konzervirana riba (skuša i tuna)   | Iran                 | vlakna, fragmenti, filmovi                | PET, PS, PP, PS-PP, PS-PET, PVC, PE-LD                             | vlakna 100 – 8000 $\mu\text{m}$ , fragmenti 10 – 1100 $\mu\text{m}$ , filmovi 70 - 1000 $\mu\text{m}$ | 1,28 $\pm$ 0,04 MP/g            |
|               | nekuhana riža  | Australija           | NN/NR                                     | PE, PP, PET  | NN  | 67 $\pm$ 26 $\mu\text{g/g}$ st  |
|               | instant riža   | Australija           | NN/NR                                     | PE, PP, PET  | NN  | 283 $\pm$ 50 $\mu\text{g/g}$ st |
|               | kuhinjska sol  | Afrika               | mikrovlakna, čestice                      | polivinil-acetat, PP, PE   | 3,3 – 4460 $\mu\text{m}$  | 38,42 $\pm$ 24,62 MP/kg         |
|               | ocat   | Iran                 | fragmenti, vlakna                         | PE, PE-HD  | 1 -500 $\mu\text{m}$ (većinom)  | 51,35 $\pm$ 20,73 MP/L          |
|               | mlijeko  | Meksiko              | vlakna, fragmenti                         | polietersulfon, polisulfon   | 0,1 – 5 mm  | 6,5 $\pm$ 2,3 MP/L              |
| PIĆA          | bijelo vino  | Italija              | NN/NR                                     | PE   | 7 – 475 $\mu\text{m}$   | 2563 – 5857 pretpostavka MP/L   |
|               | voda iz slavine  | Hong Kong            | vlakna, filmovi                           | NN   | 50 – 4830 $\mu\text{m}$   | 2,181 $\pm$ 0,165 MP/L          |
|               | ledeni čaj   | Meksiko              | vlakna                                    | PE, PEA  | < 1 mm  | 11 $\pm$ 5,26 MP/napitku        |
|               | bezalkoholna pića  | Meksiko              | vlakna                                    | akrilonitril-butadien-stiren                                       | 0,1 – 3 mm  | 40 $\pm$ 24,53 MP/napitku       |
|               | energetski   | Meksiko              | vlakna                                    | PA, PEA  | < 1 mm  | 14 $\pm$ 5,79                   |

|  |         |         |                      |              |                  |                           |
|--|---------|---------|----------------------|--------------|------------------|---------------------------|
|  | napitci |         |                      |              |                  | MP/napitku                |
|  | pivo    | Meksiko | vlakna,<br>fragmenti | PA, PEA, PET | < 1 mm – 2<br>mm | 152 ± 50,97<br>MP/napitku |
| KRATICE: NN, nije navedeno; PE, polietilen; PE-HD, polietilen visoke gustoće; PE-LD, polietilen niske gustoće; PP, polipropilen; PES, poliester; PA, poliamid; PS, polistiren; PET, poli(etilen-tereftalat); PVC, poli(vinil-klorid); PEA, poli(esteramid); MP, mikroplastika; mt, mokra težina; st, suha tvar |         |         |                      |              |                  |                           |

Tablica 3. Javljanje vrsta mikroplastike u hrani i piću

Izvor: Bogdanović T, Petričević S, Listeš I, Pleadin J. Pojavnost mikroplastike u prehrambenom lancu i njen utjecaj na ljudsko zdravlje. MESO: Prvi hrvatski časopis o mesu. 2022;24.(1.):50-62.

<https://doi.org/10.31727/m.24.1.2>. str. 54. i 55.

Prema tablici, istraživanja su potvrdila prisutnost različitih količina čestica mikroplastike u različitim vrstama hrane i pića u različitim dijelovima svijeta. Čestice MP prisutne su u morskim proizvodima, piletini i puretini, riži, kuhinjskoj soli, mlijeku, bijelom vinu, ledenom čaju, bezalkoholnim napitcima, pivu, energetskim napitcima, ali pronađene su i u vodi iz slavine [9].

Prema istraživanjima, MP se može naći u hrani i piću. Utvrđena je prisutnost MP u različitim kategorijama hrane i pića. Voda u bocama, koju konzumiraju ljudi u razvijenim zemljama i zemljama u razvoju, misleći da si tako osiguravaju unos vode pogodne za zdravlje, u velikom postotku analiziranih uzoraka sadržavala je mikroplastiku. Ljudi, misleći da je voda u bocama zdravija za njih od vodovodne vode, piju tu vodu. MP se u vodama u boci može pronaći ako dolazi iz same boce, a ako se boca koristi više puta, u vodu se može ispustiti veća količina čestica MP. Prozirne plastične boce za vodu proizvode se iz polimera i ako su izložene sunčevoj svjetlosti mogu se fragmentirati jer plastika izložena suncu postaje lomljiva i lakše se pretvara u MP [8].

Mikroplastika u čovjekov organizam ulazi gutanjem (hrane i pića) i apsorpcijom kroz kožu. Mikroplastika se nalazi u osnovnoj čovjekovoj hrani i u vodi kao osnovnom piću. Voće i povrće sadrže mikroplastiku koju dobivaju iz kontaminiranog tla, a čovjek jedući kontaminirano voće i povrće uzima mikroplastiku [10].

Čovjek jedenjem i pijenjem kontaminirane hrane i pića unosi čestice MP u svoje tijelo, a čestice MP pronađene analiziranjem čovjekove stolice dokazale su da čovjek nenamjerno guta MP [8]. U stolici su najčešće nađene čestice koje tvore polietilen i polipropilen s rasponom veličine od 50 do 500 mm [10]. Trenutno je relativno nepoznato kakvi su dugoročni učinci MP na čovjekovo zdravlje [9]. Podatci o utjecaju MP na živi svijet mogu se koristiti da bi se procijenio utjecaj MP na zdravlje čovjeka jer još nije poznata razina štetnosti MP za ljude [8].

Hitno treba provesti istraživanja koja se bave utjecajem mikroplastike na čovjekovo zdravlje jer izloženost sitnim česticama mikroplastike može imati potencijalno brojne štetne učinke na čovjekovo zdravlje. Dosadašnja istraživanja dovela su do nekih spoznaja koje potvrđuju negativan utjecaj MP na zdravlje. Konzumacija MP dovodi do gastrointestinalnih problema (upala probavnog trakta, zatvor, sindrom iritabilnog crijeva, promjene u propusnosti crijeva, poremećaji crijevne mikrobiote). Mikroplastika nakupljena u probavnom sustavu može uzrokovati začepljenje i fizičku iritaciju. Provedena istraživanja sugeriraju da bi mikroplastika mogla izazivati štetu u probavnom sustavu. U stolici osoba oboljelih od upalnih bolesti crijeva pronađene su veće koncentracije mikroplastike nego u stolici zdravih osoba što pokazuje da je mikroplastika možda povezana s upalnim bolestima crijeva [21].

Mikroplastika može sadržavati kemikalije i spojeve koji uzrokuju probleme s endokrinim sustavom pa može biti uzrok hormonalne neravnoteže, poremećaja spolne funkcije, problema kod čovjekovog razvoja i očuvanja zdravlja. Mikroplastika kod čovjeka može izazvati oksidativni stres zbog kojega dolazi do narušavanja antioksidativne ravnoteže u tijelu. Rezultat može biti oštećenje staničnih komponenti (lipida, proteina i DNK) i razvoj bolesti. Udisanje MP prisutne u zraku može imati posljedice za zdravlje dišnog sustava, a izloženost česticama MP može izazvati kardiovaskularne probleme [21].

### **3. PLASTIKA OD KOJE SE STVARA MIKROPLASTIKA**

Plastika se koristi u proizvodnji svega. Svaka industrija, od građevinske, farmaceutske, prehrambene, modne do industrije ljepote, sve djelatnosti, od prometa, ugostiteljstva, pružanja kozmetičkih i drugih osobnih usluga, sve čime se ljudi danas bave, sve je na neki način povezano s plastikom. Većinom se ne koriste dostupni materijali koji zamjenjuju plastične materijale, osim ako je to propisano i određeno pa se više ne smije

koristiti plastika, što je slučaj s plastikom za jednokratnu upotrebu koja se više ne smije koristiti pa se koriste predmeti za jednokratnu upotrebu od drva ili nekog drugog materijala. Raširenost plastike uzrok je što postoji tako puno mikroplastike. U ovome poglavlju riječ je o izvorima mikroplastike, vrstama polimera od kojih nastaje mikroplastika (polietilenu, polipropilenu, polivinil kloridu, polistirenu, poliuretanu i polietilen tereftalatu) i metodama analize mikroplastike koje se koriste da se odredi prisutnost MP u okolišu i njezine karakteristike.

### **3.1. Izvori mikroplastike**

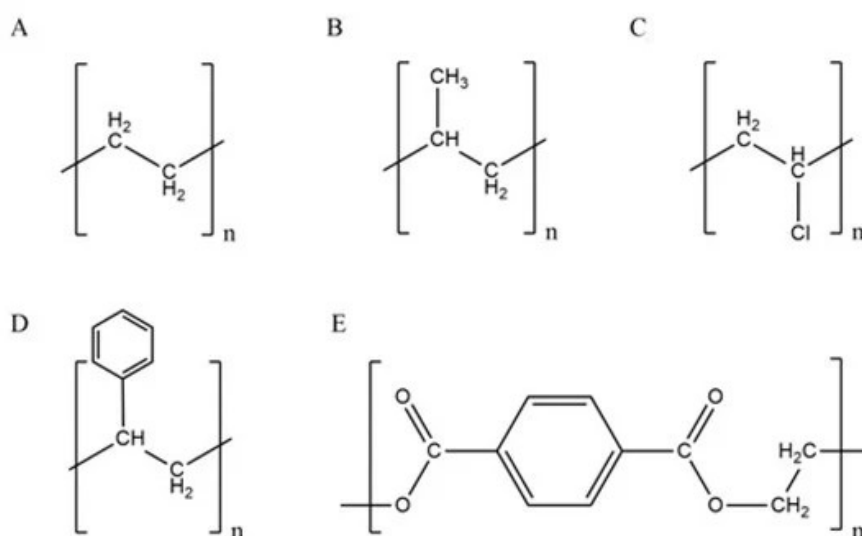
Mikroplastika u prirodu dolazi iz dva izvora. Primarni izvori mikroplastike su izvori u kojima je mikroplastika proizvedena namjerno, to su namjerno proizvedene čestice MP: kuglice MP i čestice MP koja se koristi u industriji, u vlaknima, u prašcima, u deterdžentima, kozmetičkoj industriji i sličnim izvorima. Sekundarni izvori mikroplastike su drugi izvori u kojima MP nastaje degradacijom plastike [18]. MP u okoliš dolazi čovjekovim aktivnostima: kada se otapa poljoprivredna polietilenska folija, sušenjem odjeće, abrazijom guma za automobile, gnojivima koja su kontaminirana muljem iz kanalizacije, smećem koje dolazi s brodova, erozijom vjetrom, iz otpadnih voda, sustavima odvodnje, površinskim vodama i radom rijeka [9].

Automobilске gume su izvor MP u okolišu jer imaju aditive, polimerna vlakna, metalna vlakna, sintetska ljepljiva i prirodna ljepljiva. Svake se godine u Sjedinjenim Američkim Državama iz automobilskih guma izluči 1,8 milijuna tona komadića guma. Komadići izlučenih automobilskih guma mogu ulaziti u sustav kanalizacije i kroz kanalizaciju u sustave otpadnih voda pa se stvaraju dodatne količine MP. Procjene su da se mikroplastika koja je izlučena iz automobilskih guma i pristigla u morski okoliš količinom može usporediti s MP koja je prenesena u morski okoliš s kopna [8].

MP u okoliš dolazi zbog tekstilne industrije i pranja tekstilnih predmeta. Tekstil u okoliš ispušta vlakna za koja se procjenjuje da su odgovorna za 35% mikroplastike u oceanima, a kroz pranje šest kg odjeće od sintetike ispusti se i 700.000 vlakana, a pranjem jednog komada odjeće može se u vodu ispustiti 1.900 vlakana [8].

### 3.2. Vrste polimera od kojih nastaje mikroplastika

Polimerni materijali su tvari kojima je osnova polimer, no jako rijetko su napravljeni samo od polimera u izvornom obliku, češće im se dodaju materijali koji poboljšavaju svojstva. Za preradu polimernih materijala koriste se različite metode, kombinira ih se s drugim polimernim materijalima ili ostalim vrstama materijala [5]. Najčešće proizvođene vrste plastika u svijetu su polietilen (PE), polipropilen (PP), polivinil klorid (PVC), polistiren (PS), poliuretan (PUR) i polietilen tereftalat (PET) [6]. Kemijska struktura najčešće proizvođenih vrsta plastike prikazana je na Slici 7.



Slika 7. Kemijska struktura najčešće proizvođenih vrsta plastike

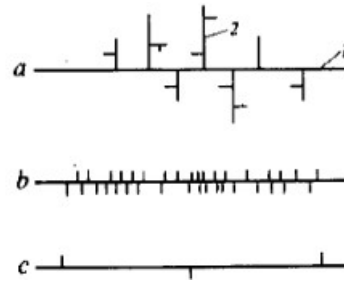
Izvor: Miloloža, M, Kučić Grgić, D, Bolanča, T, Ukić, Š, Cvetnić, M, Ocelić Bulatović, V, Dionysios, D,D, Kušić, H. Ecotoxicological Assessment of Microplastics in Freshwater Sources - A Review, Water. 2021; 56(13). <https://doi.org/10.3390/w13010056>

#### 3.2.1. Polietilen

Polietilen (PE) je vrsta plastomera koja se najviše proizvodi i ima najviše mogućnosti primjene. Nastao je 1933. godine zbog zagrijavanja etilena na visokoj temperaturi i pri visokom tlaku. Ima jednostavnu linearnu strukturu izduženih konformacija čime je kristalizacija laka, morfološki je sastavljen od kristalnih i amfornih područja, a ovisno o udjelu kristalnih i amfornih područja ovise mehanička svojstva PE. PE makromolekule nisu sasvim linearne jer se u njima nalaze bočne skupine čime je granatiji i ima manji stupanj



kristalnosti ili gustoće [22]. PE se proizvodi postupcima polimerizacije etilena pri visokom ili niskom tlaku. Odabirom procesa proizvodnje, tlaka, temperature i katalizatora utječe se na svojstva PE koji će se proizvesti što je razlog zbog kojeg PE ima toliko široko područje primjene [5]. Slika 8. prikazuje razliku između razgranatosti polietilenskih makromolekula kod PE različite gustoće.



- a – polietilen niske gustoće
- b – polietilen niske gustoće (linearni)
- c – polietilen visoke gustoće
- 1 – glavni lanac makromolekule
- 2 – bočni lanci makromolekule

Slika 8. Razgranatost PE makromolekula

Izvor: Polimerni materijali. Tehnička enciklopedija. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 1963–1997. <https://tehnicka.lzmk.hr/>

PE se kao materijal za izradu predmeta prema molekularnoj građi i svojstvima dijeli na nekoliko vrsta od kojih su istaknuti [22]:

- I. polietilen niske gustoće (kratica mu je PE-LD, gustoća mu je od 0,910 do 0,925 g/cm<sup>3</sup>, temperatura na kojoj omekšava je od 85 do 87 °C)
- II. linearni polietilen niske gustoće (kratica mu je PE-LLD, gustoća mu je od 0,926 do 0,940 g/cm<sup>3</sup>)
- III. polietilen visoke gustoće (kratica mu je PE-HD, gustoća mu je od 0,941 do 0,960 g/cm<sup>3</sup>, temperatura na kojoj omekšava je 127 °C)

Polietilen ima dobra mehanička svojstva, kemijsku postojanost, nepropusan je za vodu i relativno je povoljan čime je stekao titulu popularnog tehničkog materijala sa širokim područjem primjene. Proizvode se različite i brojne komercijalne vrste PE koje su različite po strukturi, vrsti i količini dodataka. Od PE niske gustoće najviše se proizvode folije, kutije i posude za pakiranje i drugi proizvodi za različita područja primjene, od PE visoke gustoće

proizvode se veće posude za kućanstva i industriju, ambalažne boce i posude, benzinski rezervoari i drugi proizvodi za različita područja primjene [5].

### 3.2.2. Polipropilen

Polipropilen (PP) je plastomer koji ima linearne makromolekule, s pravilnim rasporedom metilnih skupina u lancu. Metilne skupine u lancu uvijek su na svakom drugom ugljikovu atomu [5]. Najčešće su metilne skupine makromolekula u PP uz duž linearnih lanaca sterički orijentirane pa imaju izotaktnu konfiguraciju što je razlog lakog stvaranja spiralnih, vijčanih konformacija koje su pogodne za nastajanje kristalne građe, visoko talište na 170 °C i uzrok su dobrih mehaničkih svojstava [23]. PP je među najlakšim polimernim materijalima, gustoća mu je od 0,90 do 0,91 g/cm<sup>3</sup>. Zbog visokog tališta može se koristiti u širokom temperaturnom području, stabilan je prema djelovanju vode, maziva i organskih otapala [5].

PP ima različita područja primjene. Koristi se stotinjak komercijalnih vrsta PP, za proizvodnju mnoštva različitih proizvoda, neki su mali i precizno izrađeni, drugi su veliki predmeti, proizvode se poluproizvodi, ambalaža [5]. *Osim za vlakna, rabi se pretežito kao konstrukcijski materijal za strojne dijelove te za izradbu spremnika, posuda, boca koje se mogu sterilizirati, ploča, cijevi za korozivne tvari, prozirnih folija i sl., a kao tekstilno vlakno posebice za mrežaste izrađevine i užad* [23].

### 3.2.3. Polivinil klorid

Polivinil klorid (PVC) je ime kojim se imenuje skupina plastomera koji imaju makromolekule s ponavljajućim jedinicama [5]. PVC je plastomerni materijal koji nastaje radikalskom polimerizacijom vinil-klorida, obično u vodenoj suspenziji, no katkad i u otopini, masi i emulziji [24].

PVC je bez mirisa i okusa i blijedožute boje. Teško je upaljiv, vodu ne upija, ima dobra električna svojstva. Polimerizacijom nastaje prah, a daljnjim proizvodnim postupcima iz praha se proizvode tvrdi ili kruti i meki ili fleksibilni PVC. PVC je lagan za preradu [5]. To je materijal kojemu se mogu mijenjati svojstva ako mu se u procesu polimerizacije ugrade

drugi monomeri, stabilizatori, plastifikatori ili punila. Na tržištu se nalazi stotinjak vrsta PVC-a koji imaju različita svojstva, neki su tvrdi i žilavi, neki mekani i elastomerni. Dvije najvažnije vrste PVC-a su kruti i savitljivi PVC. Stalno se povećava potrošnja PVC-a [24].

PVC se koristi za građevinsku industriju, proizvodnju ambalaže i cijevi, za proizvodnju zaštitnih prevlaka i električnu izolaciju. Iz njega se izrađuju okviri za prozore, rolete, krovovi, žlijebovi, a filmovi od PVC-a se koriste za pakiranje živežnih namirnica. Lagano se prerađuje u pjenasti materijal (skaj) koji se koristi kao umjetna koža [5].

### 3.2.4. Polistiren

Polistiren (PS) je plastomer s dobrim svojstvima i niskom cijenom. Proizvodi se industrijskim postupkom lančane polimerizacije stirena uz slobodne radikale. Produkt industrijskog postupka je polistiren ataktične konfiguracije koji se lako prerađuje. *Polimerizacijom čistog stirena nastaje polistiren kao homopolimer, kojemu se prema potrebi dodaju antistatici, svjetlosni stabilizatori, bojila i pigmenti, sredstva protiv gorenja i sl.* [5]. PS je materijal koji je na visokom mjestu u poretku svjetske potrošnje plastomera zbog niske cijene i lake prerade. Više je vrsta često korištenog PS, a najvažnije su obični polistiren, žilavi polistiren i pjenasti polistiren i još neke vrste [25].

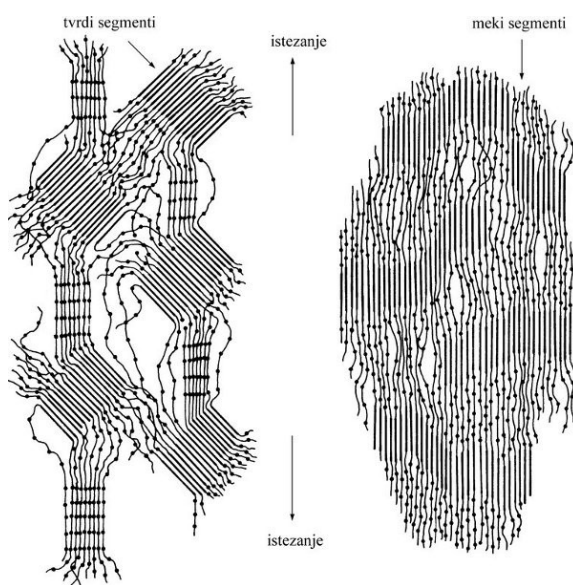
PS se može lagano prerađivati, predmeti napravljeni od PS mogu se kasnije obraditi mehanički, toplinski, spajanjem i proizvode se u svim nijansama boja. Najviše se koristi za proizvodnju ambalaže u prehrambenoj, kemijskoj i farmaceutskoj industriji, u proizvodnji dijelova aparata i uređaja, u proizvodnji igrački i kućanskih potrepština [5]. Vrste PS koje su nabrojane u nastavku imaju sljedeće primjene [25]:

- I. Obični i žilavi polistiren – izrađivanje dijelova različitih uređaja, hladnjaka, aparata, potrepština za kućanstva, ambalaža
- II. Pjenasti polistiren – stiropor, izrađivanje izolacije u građevini, pakiranje robe koja je osjetljiva na udarce, izrada dijelova čamaca, plovaka
- III. Stiren (akrilonitrilni kopolimer) – dijelovi i kućišta aparata, instrumenata, za školski i uredski pribor, medicinski, kozmetički pribor

- IV. Akrlonitril/butadien/stirenski terpolimer – kao konstrukcijski materijal u različite svrhe, armature aparata, kućišta, cijevi, unutarnje obloge vozila i plovila, kao zamjena za upotrebu drvenih ili metalnih materijala

### 3.2.5. Poliuretan

Poliuretani (PUR) su brojna skupina sintetskih polimera koji u glavnim lancima makromolekula imaju karakteristične uretanske skupine. Poliuretani imaju linearne, granate ili umrežene makromolekule i polazišna sirovina može im biti neki od brojnih različitih spojeva. Zbog tih obilježja poliuretana, proizvode se različite vrste poliuretana koje krasi različita svojstva. Poliuretani mogu biti kompaktni, pjenasti, savitljivi, kruti, elastični, hrapavi, meki i imati druga obilježja [5]. Na Slici 9. prikazana je struktura PUR bez opterećenja i kod izdužene deformacije uzrokovane opterećenjem.



Slika 9. Struktura poliuretana bez opterećenja i kod izdužene deformacije

Izvor: Poliuretan. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2013. – 2024. <https://www.enciklopedija.hr/clanak/poliuretan>

Poliuretani koji imaju različita svojstva i strukture koriste se na različite načine. Najvažniji PE je poliuretanska pjena. Poliuretanska pjena ima primjenu u zvučnoj i toplinskoj izolaciji, koristi se u proizvodnji madraca i namještaja [26].

### **3.2.6. Polietilen tereftalat**

Polietilen-tereftalat (PET) je plastomer iz skupine aromatskih poliestera. Nema boju, proziran je, tvrd, kristalast, ima visoko talište, površina mu je sjajna, nepropusan je za plinove i pare, postojan je prema atmosferskim prilikama [27]. Ima jako dobra mehanička svojstva, visoku otpornost na različite čimbenike iz okoliša, ne sadrži štetne niskomolekularne tvari pa je često primjenjivan u industriji hrane i pića [28].

PET se svake godine sve više koristi. Koristi se kao sintetsko vlakno, za konstruiranje u području elektrotehnike i elektronike, kao materijal za proizvodnju folija i filmova, sve češće u proizvodnji ambalaže za hranu [27]. PET je popularan za proizvodnju boca i ambalaže zbog svoje visoke prozirnosti i sličnog izgleda sa staklom [28].

### **3.3. Metode analize mikroplastike**

U okolišu varira prisutnost MP različitog kemijskog sastava, veličine, gustoće i oblika čestica. Ova su svojstva važan faktor koji ima utjecaj na sudbinu, ponašanje i prijenos MP u okolišu [29]. Do danas nisu određene standardizirane metode za analiziranje MP zbog čega različite grupe istraživača koriste različite korake u metodama analize MP. Prvi korak u analiziranju MP je odabir reprezentativnog uzorka za analizu. Uzorci ili matrice u kojima bi mogla biti MP su voda, tkivo, tlo, sediment, mulj otpadnih voda i zrak. Pripremanje uzorka ovisno je o tome odakle se uzima uzorak (iz vode, tkiva, tla, sedimenta, mulja otpadnih voda ili zraka) i može biti jako jednostavno uzorkovanje kakvo je kod uzorkovanja pitke vode ili može biti jako složena procedura [8].

U analiziranju MP koriste se različite metode koje promatraju MP iz različitih perspektiva. Nijedna metoda koja se danas koristi za analiziranje MP nije sveobuhvatna što je ograničenje svake od metoda pa je preporuka koristiti dvije ili nekoliko metoda za analizu MP da se dobije potpuni uvid u svojstva MP [29]. Od metoda koje se koriste za analiziranje uzoraka MP, u idućem dijelu rada objašnjene su metode analize mikroplastike kroz vizualnu identifikaciju putem svjetlosnog mikroskopa, metoda analize MP putem skenirajućeg elektronskog mikroskopa, Fourierova transformacijska infracrvena (FTIR) spektroskopija i Ramanova spektroskopija.

Metoda analize MP kroz vizualnu identifikaciju putem svjetlosnog mikroskopa je dobra metoda kojom se analiziraju fizička svojstva MP (boja, oblik, veličina i površinska struktura analiziranog uzorka MP). Važnost vizualne identifikacije putem svjetlosnog mikroskopa je u tome što se kroz nju odvajaju čestice MP od čestica od drugih materijala slične veličine i izgleda te što se kroz nju određuje broj čestica MP. Pregledom čestica golim okom, bez korištenja mikroskopa, mogle bi se identificirati veće čestice, ali manje čestice se ne vide golim okom pa se koriste mikroskopi. Prednosti vizualne analize su jednostavnost, ekonomičnost i *in situ*<sup>1</sup> provedba u kratkom roku. Nedostatak vizualne analize je odsutnost informacija o kemijskom sastavu mikročestica [29].

Osim svjetlosnih mikroskopa, mogu se koristiti druge vrste mikroskopa. Skenirajući elektronski mikroskopi koriste se od 60-ih godina 20. st. Imaju prednosti nad drugim vrstama mikroskopa i brzo su postali alat koji se koristi u brojnim znanstvenim i tehnološkim operacijama [30]. Metoda analize MP putem skenirajućeg elektronskog mikroskopa (scanning electron microscope – SEM), SEM metoda, je metoda analiziranja MP u kojoj se određuju veličina, oblik, promjene površine MP te hrapavost MP. SEM metoda koristi se i kod određivanja da li se formirao bakterijski biofilm na površini MP. Za analizu SEM metodom, uzorak MP treba biti u čvrstom stanju, neradioaktivan, nemagnetni, ne smije biti vlažan, mora biti stabilnog sastava i obrađen u viskom vakuumu [29]. Skenirajući elektronski mikroskop skenira površinu uzorka spremnog za ispitivanje pomoću precizno fokusiranog snopa elektrona. Snop elektrona koji se koristi za ispitivanje izbija elektrone sadržane u kemijskom sastavu uzorka. *Energije proizašlih elektrona iz uzorka skupljaju se i mjere specijalnim detektorima i uz pomoć mikroprocesora stvara se pseudotrodimenzionalna slika i valnih duljina elektrona jedinstven za element koji se nalazi uzorku* [30]. SEM metoda omogućuje precizniju identifikaciju MP [29].

Fourierova transformacijska infracrvena (FTIR) spektroskopija je metoda analiziranja MP koja može identificirati polimere i razlikovati MP u uzorku od drugih tvari prisutnih u uzorku. FTIR spektroskopija identificira čestice u najmanjoj veličini od 10  $\mu\text{m}$ , manje ne može identificirati. Ramanova spektroskopija kao i FTIR spektroskopija identificira polimere i razlikuje MP u uzorku od drugih tvari. U odnosu na FTIR spektroskopiju ima neke prednosti. Može prepoznati manje čestice nego FTIR spektroskopija, u najmanjoj veličini do

---

<sup>1</sup> *In situ* istraživanje je promatranje čestice mikroplastike u zatečenom, nepromijenjenom stanju, na mjestu na kojem su čestice mikroplastike pronađene.

1  $\mu\text{m}$ . Ramanova spektroskopija može se provoditi u vodenim i vlažnim uzorcima jer metoda nije osjetljiva na vodu [8].

Analiziranje MP različitim metodama daje potpuniji rezultat od analiziranja samo jednom metodom analize [29]. Idealni rezultati analize MP u nekakvom uzorku sadrže kvalitativne i kvantitativne informacije [8]. Treba koristiti dvije ili više metoda, najviše kod praćenja bioaktivnosti mikroplastike. Kod praćenja bioaktivnosti mikroplastike korisnije je koristiti metode koje mogu otkriti promjene u strukturi mikroplastike nego mikroskopske tehnike kojima se vide samo promjene površine i morfologije u česticama mikroplastike [29].

U zadnjih nekoliko godina tehnologije analize mikroplastike su se poboljšale, ali praktična primjena metoda analize MP ima nedostataka. Korištenje samo jedne metode može dati nepotpune informacije, a s obzirom na to da MP može biti različitih veličina čestica, različitih oblika i rasprostranjena na različitim mjestima te da je osjetljiva na vanjske čimbenike, teško ju je odvojiti iz okoliša i podvrgnuti analizi. Nedostaje jedinstvena i učinkovita metoda izdvajanja mikroplastike iz kompleksne matrice što je izazov za učinkovitu provedbu analize MP i točnost dobivenih rezultata. U bližoj budućnosti treba razvijati brže, povoljnije, točne i praktične metode kojima će se uzorkovati i analizirati MP [8].

#### **4. ZAMJENA ZA MATERIJALE KOJI STVARAJU MIKROPLASTIKU**

Plastični materijali koji su izvor mikroplastike koriste se u različite svrhe i velik dio industrijske proizvodnje danas je skoro pa nezamisliv bez korištenja polimera. U nekim industrijama još ne postoji način zamjene polimera drugim materijalima, no u nekima bi se

polimeri mogli primjereno zamijeniti drugim materijalima. U ovom poglavlju riječ je o mogućnostima zamjena materijala koji stvaraju mikroplastiku.

#### **4.1. Biopolimeri**

Biopolimeri se koriste u različitim područjima (medicini, prehrambenoj i kemijskoj industriji) [31]. U upotrebi su već dugo, ali nekada se o njima govori kao o modernim novim materijalima. Danas su popularni jer su bioplastika (i imaju prefiks bio-), a određene vrste biopolimera koriste se već dugo godina. Modificirani kaučuk prvi je biopolimer. *Prema spoznajama istraživača s Massachusetts Institute of Technology, drevni su stanovnici Srednje Amerike proizvodili gumu od lateksa oko 3 500 godina prije modernog pronalaska vulkaniziranja te su pravili različite smjese za različite primjene* [32].

Sok drva kaučukovca je lateks, u Europi korišten u 18. stoljeću, Thomas Hancock je 1819. napravio stroj koji se koristio za plastificiranje kaučuka, a na kraju 19. st. su se iz tvrde gume proizvodile umjetne riblje kosti koje su nosili muškarci i žene u ovratnicima muških košulja i u ženskim steznicima. Kazeinska smola ili kazein koristi se od davnina, a zapise o korištenju ostavio je bavarski benediktinac Wolfgang Seidel (1492. – 1562.). Od davnina su poznati i drugi biopolimeri koji su se uobičajeno koristili prije otkrića polimernih materijala [32].

Među biopolimerima koji se dobivaju iz prirodnih izvora zanimljivi su polisaharidi jer imaju nisku cijenu, sveprisutni su u prirodnim živim organizmima i imaju svojstva biorazgradivosti, biokompatibilnosti, netoksičnosti, obnovljivosti i raspoloživosti. U osnovnim polisaharidima najvažniji i najzastupljeniji morski polimeri su hitin i njegov najvažniji derivat hitozan. Hitin je prema zastupljenosti drugi najzastupljeniji polisaharid, prvi je celuloza, a kemijskom strukturom celuloza i hitin su vrlo slični. Hitin je primarna sirovina korištena u proizvodnji hitozana koji se koristi u različitim industrijama. Pročišćeni hitin i derivati hitina mogu se koristiti u različitim industrijama – prehrambenoj industriji, poljoprivredi, biomedicini, kozmetičkoj industriji, tekstilnoj industriji i ostalim sektorima. Pripremanje i primjenjivanje hitina još nije ostvarilo svoj puni potencijal pa se očekuje da će se u budućnosti osmisliti i novi načini primjene pa će primjena hitina doseći svoj puni potencijal [31].



Biopolimeri su biorazgradiva i održiva alternativa tradicionalnoj plastici, ali je njihovo korištenje minimalno, najviše zbog neučinkovitosti novih tehnologija i visokih troškova proizvodnje biopolimera. Neki znanstvenici smatraju da je upitno je li upotreba biopolimera ekološki poželjna jer se neki oblici biopolimera ne biorazgrađuju lakše od konvencionalne plastike ili zato što se za njihovo proizvođenje mora koristiti resurse koji bi se inače koristili za proizvodnju hrane. Znanstvenici trebaju razviti interes za traženje učinkovitih metodologija kojima bi uklonili i smanjili MP u okolišu, a biopolimeri bi tu mogli imati važnu ulogu i pozitivan utjecaj na smanjenje MP [19].

#### 4.2. Korištenje prirodnih vlakana u proizvodnji odjeće i izbjegavanje brze mode

Brza moda je stalna proizvodnja jeftinih tekstilnih predmeta koji se brzo odbacuju [33]. U konceptu brze mode proizvode se proizvodi loše kvalitete po niskim cijenama koji su dostupni potrošačima, a nerijetko kopiraju modne dizajnere čije si odjevne predmete prosječan potrošač ne može priuštiti [34].

Odjeća se proizvodi od tekstilnih vlakana koja su prema definiciji izduljene (nitnaste) tvari koje se koriste za proizvodnju tekstilnih proizvoda. Vlakna se dijele na prirodna i umjetna vlakna [35]. Prirodna vlakna nastala su iz prirodnih izvora, dobivaju se od biljaka ili životinja, a umjetna vlakna nastala su na različite načine. U Tablici 4. nabrojane su vrste vlakana i primjeri za svaku vrstu vlakana.

| Prirodna vlakna                              |   | Umjetna vlakna   |
|--|---|--|
| Biljna vlakna                                | Životinjska vlakna  | Vlakna nastala od celuloze i proteina (acetat, bakro, modal, viskoza, liocel...) |
| Iz sjemenki i plodova (pamuk, kokos, kapok), | Od kukaca (dudov svilac – svila), vuna (runo životinja), od dlake (ljame, | Vlakna izrađena od sintetičkih linearnih makromolekula (akrilna ili              |

|   |  |  |
|---|--|--|
| dijelova stabljike (lan, ruta...), od lišća (sisal, abaka...) | deve, alpake, angorskog kunića, kašmirske koze...) | poliamidna vlakna, najlonska vlakna, poliester, polipropilen, poliuretan...) |
|   |  | Elastomerna vlakna (elastan i elastodien)                                    |

Tablica 4. Vrste vlakana u modnoj industriji

Izvor: Fuk B. Tekstil i veza s onečišćenjem okoliša mikroplastikom. Sigurnost. 2020;62(2):191-195.

<https://hrcak.srce.hr/240710>

Prirodna vlakna nastaju preradom dijelova biljaka (sjemenki, plodova, dijelova i lišća) ili od životinja, a umjetna vlakna nastaju spajanjem celuloze i proteina, iz sintetičkih linearnih makromolekula ili od elastomera.

Sintetička vlakna povoljnija su od prirodnih vlakana pa se sve veći postotak odjeće izrađuje iz sintetičkih materijala kojima se dodaju boje i dodatci čineći ih privlačnim kupcima [35]. Brza moda koristi velike količine poliesterskih vlakana koja se dobivaju iz neobnovljivih izvora. Korištenje velikih količina poliesteru u konceptu brze mode je problem za okoliš jer *proizvodnja poliesteru i drugih sintetičkih materijala zahtijeva goleme količine energije i sirove nafte, a pritom se tijekom proizvodnje poliesteru ispušta niz opasnih emisija poput kiselih plinova (uključujući vodikov klorid), što zasigurno može dovesti do ozbiljnih zdravstvenih problema* [34].

U pranju odjeće oslobađaju se tekstilna vlakna. Najveći broj vlakana oslobađa se kod prvog pranja odjeće, u kasnijim pranjima oslobađa se manje vlakana, ali otpadaju šljokice i drugi detalji s odjeće koji će se zajedno s otpadnim vodama odbaciti u okoliš. Prirodna vlakna su manje štetna za okoliš jer se razgrađuju u kraćem roku, a sintetička vlakna će se razgrađivati desetljećima i stoljećima [35]. Pranje sintetičke odjeće je problem koji uzrokuje nakupljanje više od pola milijuna tona mikroplastike na dnu oceana u svakoj godini [33]. Izbjegavanje brze mode rješenje je za smanjivanje MP koja nastaje u tekstilnoj industriji i pranjem odjeće. Brza moda stekla je veliku popularnost pa potrošači imaju važnu ulogu u smanjenju popularnosti koncepta brze mode.

Kao suprotnost trendu brze mode pojavio se trend spore mode. Spora moda nema masovnu proizvodnju, proizvodi odjevne predmete klasičnog dizajna, zastupa tradiciju u proizvodnji odjeće, podupire zanatsku proizvodnju odjeće. U modnom svijetu javlja se težnja za stvaranje što manje otpada ili da se kod proizvodnje odjeće ne stvara nikakav otpad pa se javljaju nova rješenja održive mode [36]:

- I. recikliranje odjeće
- II. second hand i vintage odjeća
- III. upcycling moda
- IV. zero waste moda

Recikliranje odjeće je ponovno korištenje odjeće kao odjevnog predmeta ili za drugu namjenu. Rezultat recikliranja odjeće je potpuno sprečavanje otpada od odbačenog tekstila. Modni brendovi počeli su s inicijativama privlačenja kupaca i poticanja da donesu svoju staru odjeću da se reciklira. Second hand odjeća je rabljena odjeća, a vintage odjeća je rabljena odjeća iz nekih drugih vremena. U prošlosti je rabljena odjeća označavala siromaštvo, a u 70-im godinama prošlog stoljeća popularizirali su ju pripadnici supkultura koji su se htjeli svojim jedinstvenim izričajem istaknuti iz mase. Upcycling moda je korištenje tkanine od stare odjeće za kreiranje novih odjevnih predmeta. Reciklirani tekstil sve je popularniji od Londonskog tjedna mode na kojemu su se predstavili modni brendovi Nin Castle i Clare Farre. Zero waste moda je pokret u modnom dizajnu koji promiče ideju iskorištavanja cijele površine tekstila za stvaranje odjevnog predmeta, bez odbacivanja nepotrebnih viškova [36]. Na Slici 10. pokazan je primjer upcycling metode koja se vidi na zvonolikim hlačama izrađenima iz bavarske suknje. Dobio se novi odjevni predmet za koji nije trebalo iskoristiti nova vlakna i stvoriti nove čestice MP.



Slika 10. Upcycling metoda kod izrade zvonolikih hlača od bavarske suknje

Izvor: Karin, F, Šabarić, I, Domović, D. Smjernice za održivu modu u dizajnu odjeće – koncept spore mode. RIM. (2019): 396-401. <https://www.croris.hr/crosbi/publikacija/prilog-skup/681200>

Zaključno, tekstilna industrija je jedan od najvećih proizvođača MP i otpada općenito jer se zbog trenda brze mode proizvode nekvalitetni odjevni predmeti koji se kratko nose i brzo odbacuju. Pranje odjeće koje se događa pri proizvodnji odjeće i prije nošenja odjeće odbacuje velike količine MP u otpadne vode koje onda dospiju u okoliš. Postoje bar dva

rješenja problema stvaranja velikih količina MP u tekstilnoj industriji. Prvo rješenje je korištenje što više prirodnih vlakana u proizvodnji odjeće koja su i kvalitetnija od umjetnih vlakana, drugo rješenje je izbjegavanje brze mode i prihvaćanje rješenja održive mode (recikliranje odjeće, second hand i vintage odjeća, upcycling moda, zero waste moda).

#### 4.3. Zamjena plastične ambalaže drugim ambalažnim materijalima

Svi proizvodi koji se troše u kućanstvima, industrijama i uslužnim sektorima uglavnom su pakirani u prodajnu, skupnu i transportnu ambalažu. Ambalaža koja se stavlja na tržište vrlo brzo postaje otpadna ambalaža, a *zbog specifične funkcije ambalaže i kratkog životnog vijeka, količina ambalažnog otpada nastalog u državi članici može se smatrati jednakom količini jednokratne ambalaže stavljene na tržište u istoj godini u toj državi članici* [37]. Ambalaža koja se stavlja na tržište proizvodi se iz različitih ambalažnih materijala. U Tablici 5. nalazi se prikaz proizvedene, izvezene i uvezene jednokratne ambalaže i ponovno uporabljive ambalaže predane obrađivaču u 2022. godini prema materijalima od kojih je ambalaža napravljena.

| Ambalažni materijal                 | Proizvedena i stavljena na tržište RH (t) | Izvezena (t) | Uvezena i stavljena na tržište RH (t) | UKUPNO ambalaža stavljena na tržište RH (t) | Ponovno uporabljiva (višekratna) ambalaža predana obrađivaču (t) | UKUPNO nastala otpadna ambalaža (t) |
|-------------------------------------|---|--------------|---------------------------------------|---|--|-------------------------------------|
| Staklo                              | 38.356                                    | 309          | 39.828                                | 77.874                                      | 3.244  | 81.118                              |
| Polimeri                            | 35.363                                    | 111          | 33.808                                | 69.060                                      | 0  | 69.060                              |
| Papir/karton                        | 31.529                                    | 316          | 74.279                                | 105.491                                     | 165  | 105.656                             |
| Višeslojna (kompozitna) ambalaža    | 8.788                                     | 8            | 4.763                                 | 13.543                                      | 0  | 13.543                              |
| Drvo                                | 8.174                                     | 109          | 20.340                                | 28.404                                      | 161  | 28.564                              |
| Tekstil                             | 17  | 0            | 163                                   | 181   | 0  | 181                                 |
| Aluminij                            | 2.490                                     | 29           | 5.486                                 | 7.947                                       | 0  | 7.947                               |
| Željezo                             | 2.491                                     | 15           | 6.421                                 | 8.896                                       | 1  | 8.898                               |
| Ambalaža onečišćena opasnim tvarima | 809                                       | 0            | 1.123                                 | 1.932                                       | 0  | 1.932                               |
| UKUPNO:                             | 128.017                                   | 899          | 186.210                               | 313.328                                     | 3.571  | 316.899                             |

Tablica 5. Proizvedena, izvezena i uvezena jednokratna ambalaža i ponovno uporabljiva ambalaža predana obrađivaču u 2022. godini

Izvor: Izvješće o ambalaži i otpadnoj ambalaži za Republiku Hrvatsku u 2022. godini.

[https://www.haop.hr/sites/default/files/uploads/dokumenti/021\\_otpad/Izvjesca/Izvjec%C5%A1%C4%87e%20o%20ambala%C5%BEi%20i%20otpadnoj%20ambala%C5%BEi%20za%20Republiku%20Hrvatsku%20u%202022\\_WEB.pdf](https://www.haop.hr/sites/default/files/uploads/dokumenti/021_otpad/Izvjesca/Izvjec%C5%A1%C4%87e%20o%20ambala%C5%BEi%20i%20otpadnoj%20ambala%C5%BEi%20za%20Republiku%20Hrvatsku%20u%202022_WEB.pdf), str. 7.

U Hrvatskoj je u 2022. godini nastalo 316.899 tona otpadne ambalaže napravljene od stakla, polimera, papira i kartona, višeslojnih materijala, drva, tekstila, aluminija, željeza i drugih materijala onečišćenih opasnim tvarima. Najviše je potrošene jednokratne ambalaže bilo od papira i kartona (36%), stakla (26%) i polimera (23%). Potrošnja ambalaže u Hrvatskoj od 2015. do 2022. godine raste, osim u 2020. godini kada je zbog epidemije virusom COVID-19 stala [37]. Tablica 6. prikazuje kretanje prikupljene otpadne ambalaže u Hrvatskoj napravljene od kartona i papira, stakla, aluminija, željeznih metala, metala, polimera, drva i drugih materijala od 2015. do 2022. godine.

| Vrsta ambalaže (MATERIJAL) | 2015.   | 2016.   | 2017.   | 2018.   | 2019.   | 2020.   | 2021.   | 2022.   |
|----------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Karton/papir               | 76.663  | 84.574  | 92.573  | 99.147  | 104.217 | 94.766  | 103.008 | 114.178 |
| Staklo                     | 53.335  | 54.821  | 66.150  | 67.954  | 81.780  | 60.272  | 69.115  | 81.248  |
| Aluminij                   | 4.710*  | 4.568*  | 5.182*  | 5.512*  | 5.959   | 6.469   | 7.831   | 8.814   |
| Željezni metali            | 6.156*  | 5.970*  | 6.773*  | 7.205*  | 8.146   | 8.637   | 9.584   | 9.620   |
| Metali ukupno              | 10.866  | 10.538  | 11.955  | 12.717  | 14.105  | 15.106  | 17.415  | 18.434  |
| Polimeri                   | 51.959  | 54.744  | 60.582  | 64.364  | 68.167  | 65.830  | 70.748  | 74.279  |
| Drvo                       | 22.563  | 24.623  | 28.097  | 29.805  | 30.087  | 31.191  | 31.244  | 28.578  |
| Ostalo                     | 148     | 129     | 4.321   | 3.176   | 2.743   | 69      | 99      | 182     |
| UKUPNA AMBALAŽA            | 215.534 | 229.431 | 263.678 | 277.163 | 301.099 | 267.234 | 291.630 | 316.899 |

Tablica 6. Kretanje prikupljene otpadne ambalaže prema materijalima od 2015. do 2022. godine

Izvor: Izvješće o ambalaži i otpadnoj ambalaži za Republiku Hrvatsku u 2022. godini.

[https://www.haop.hr/sites/default/files/uploads/dokumenti/021\\_otpad/Izvjesca/Izvjec%C5%A1%C4%87e%20o%20ambala%C5%BEi%20i%20otpadnoj%20ambala%C5%BEi%20za%20Republiku%20Hrvatsku%20u%202022\\_WEB.pdf](https://www.haop.hr/sites/default/files/uploads/dokumenti/021_otpad/Izvjesca/Izvjec%C5%A1%C4%87e%20o%20ambala%C5%BEi%20i%20otpadnoj%20ambala%C5%BEi%20za%20Republiku%20Hrvatsku%20u%202022_WEB.pdf), str. 8.

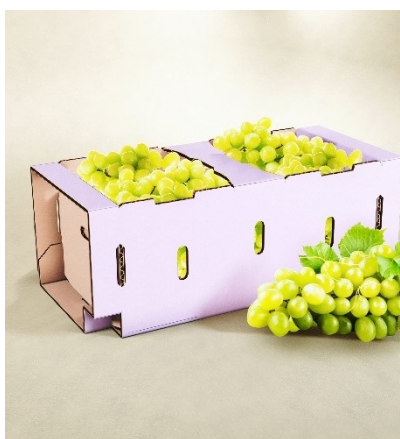
Od 2015. godine do 2022. godine raste količina prikupljene otpadne ambalaže napravljene od polimera. U 2015. godini prikupljeno je 51.959 tona otpadne ambalaže proizvedene iz polimernih materijala, a u 2022. godini 74.279 tona otpadne ambalaže proizvedene iz polimernih materijala. Rast količine prikupljene polimerne ambalaže je stalan, osim u 2020. godini kada je došlo do blagog pada količine prikupljene polimerne otpadne ambalaže [37]. Polimernim otpadom i otpadom polimernom ambalažom svako društvo treba učinkovito gospodariti. U Hrvatskoj se od 1.1.2006. godine razvrstava i prikuplja PET

ambalaža. Ispostavilo se da je razvrstavanje i prikupljanje PET ambalaže učinkovito jer se prikupi većina PET ambalaže [38].

Dio polimerne ambalaže može se zamijeniti drugim materijalima, a postoje različite opcije zamjene. U prošlosti se mlijeko punilo u staklene boce, a protekom vremena, ustalila se praksa pakiranja mlijeka u plastične boce. Povratak na navike iz prošlosti može biti i dobra praksa jer staklene boce izrađuju se od pijeska, staklo je materijal koji se lako reciklira i staklene boce ne sadrže kemikalije koje mogu prelaziti u mlijeko. Jednokratne plastične vrećice ljudi često koriste jer zaborave da mogu odabrati korištenje platnenih vrećica koje su ekološki prihvatljive, mogu se prati i koristiti više puta. Velika količina plastičnih vrećica pronalazi svoj put do mora i oceana gdje svake godine ubiju milijune životinja [39].

Mliječni protein može se koristiti za stvaranje biorazgradive plastike za proizvodnju ambalaže, koja bi se mogla koristiti kao izolacijski materijal i za proizvodnju drugih predmeta. Kazein, glavni mliječni protein, pretvara se u biorazgradiv materijal svojstvima sličan polistirenu. Uz dodatak silikatne gline (natrijevog montmorilonita) manje je osjetljiv na pucanje, a dobiven materijal potpuno se razgrađuje. U vinskoj industriji nastaje otpad nakon prešanja grožđa, trop grožđa. Talijanska tvrtka dosjetila se da iskoristi trop grožđa za proizvodnju sintetičke kože koja može zamijeniti kožu i tkaninu za proizvodnju odjeće [39].

Za različite vrste ambalaže koristi se zamjena od valovitog kartona koja je alternativno rješenje usklađeno s trendovima u području zaštite okoliša i održive ambalaže [40]. Slika 11. prikazuje primjere zamjena za plastičnu ambalažu od valovitog kartona.



Slika 11. Zamjene za plastičnu ambalažu od valovitog kartona

Izvor: Zamjena za plastičnu ambalažu. <https://www.dunapack-packaging.com/hr/proizvodi/zamjena-za-plasticnu-ambalazu/>

Zamjena plastične ambalaže drugim ambalažnim materijalima ima ulogu u očuvanju čovjekova zdravlja. Ukoliko se uvažavaju znanstveni dokazi o štetnom utjecaju MP na čovjekovo zdravlje, zna se da se treba što više koristiti alternativne materijale u proizvodnji ambalaže za hranu. Umjesto plastike, u proizvodnji ambalaže za hranu preporučljivo je koristiti prirodne lipide i polisaharide i bioplastične materijale na bazi bjelančevina koji u hranu neće oslobađati štetne tvari s negativnim utjecajem na zdravlje [9].

#### 4.4. Europski primjeri smanjenja korištenja plastike

Europska unija provodi borbu protiv onečišćenja plastikom, a zemlje članice EU inovativnim projektima sudjeluju u smanjenju zagađenja plastikom. Austrijska mljekarska tvrtka Berglandmilch surađuje s Greenpeace Austrija, a iz njihove suradnje nastala je 2020. godine punjiva staklena boca za mlijeko. Boca kapaciteta 1 litre proizvedena je da se smanji nepotreban plastični ambalažni otpad koji nastaje u mlječnoj industriji [41]. Danas proizvodi različite mliječne proizvode u staklenoj ambalaži, u različitim veličinama. Uvođenjem staklene ambalaže za mliječne proizvode impresionirali su dio potrošača koji je počeo piti mlijeko zbog oduševljenja novim okusom mlijeka [42]. Slika 12. prikazuje Berglandmilch mliječne proizvode u staklenoj ambalaži.



Slika 12. Berglandmilch staklena ambalaža za mlijeko i mliječne proizvode

Izvor: Berglandmilch. <https://www.vetropack.com/en/products-services/success-stories/berglanmilch-success-story/>

U Danskoj je 2016. godine otvoren prvi supermarket u kojemu se prodaju proizvodi bez ambalaže - LØS market. Proizvodi u supermarketu nisu pakirani u jednokartnu plastičnu ambalažu, a kupci kod dolaska u kupnju moraju ponijeti svoju višekratnu ambalažu, posuditi besplatnu ambalažu u trgovini ili kupiti višekratnu ambalažu. U Estoniji je 2020. godine otvorena trgovina Ilma pood u kojoj se kupuju proizvodi bez jednokratne plastične ambalaže. U Litvi je pokrenuta inicijativa CupCup kao primjer društvenog poduzetništva koje se bavi iznajmljivanjem višekratnih šalica i čaša. Osim festivala koji se održavaju u Litvi, inicijativu su podržali festivali iz Latvije i Estonije [41].

Njemački grad Freiburg je 2017. godine krenuo s programom višekratnih šalica za kavu da bi se smanjio otpad koji nastaje korištenjem jednokratnih šalica za kavu za van. Šalice ili čaše Freiburgcup rade se od plastike otporne na visoke temperature i prikladne za pranje u perilici posuđa. Prodaju se za 1 euro i mogu se koristiti do 400 puta prije vraćanja na jedno od prodajnih mjesta gdje će se kupcu koji donese korištenu šalicu vratiti naknada koju je platio za njezino korištenje. Kafić ili trgovina u koju je vraćena šalica oprat će i dezinficirati šalicu i opet ju staviti u prodaju [41].

U Hrvatskoj su se isto javile određene zanimljive inicijative za smanjenje korištenja plastike i tvrtke koje proizvode zamjene za plastiku. DM je u hrvatskoj pokrenuo projekt eko punionica u kojemu se deterdženti za pranje rublja i posuđa marke Planet pure mogu puniti u višekratne boce napravljene od održivih sirovina ili 100% reciklirane plastike. Boce se kod prvog punjenja kupuju u DM prodavaonicama, a za svako novo punjenje koriste se iste boce. [43]. Na Slici 13. prikazana je DM eko punionica.





### Slika 13. DM eko punionica

Izvor: DM eko punionica. <https://www.dm.hr/tvrtka/drustvena-odgovornost/ekoloska-osvijestenost/osvijesteni-izbor-proizvoda/dm-eko-punionice-1003626>

Neke od malih tvrtki u Hrvatskoj prepoznale su važnost pronalaska zamjena za jednokratnu plastiku i osmislile proizvode koji su zamjena za plastične proizvode. Sana delikatese d.o.o. je tvrtka koja proizvodi Sana Wisefood jestive Cool slamke. Slamke su jestive, sastoje se od vlakana jabuka i pšenice, biorazgradive su, čuvaju okoliš, nemaju okus i ne mijenjaju okus napitka uz koji se poslužuju [44]. Sana Wisefood jestive Cool slamke prikazuju se na Slici 14.



Slika 14. Sana Wisefood jestive Cool slamke

Izvor: Sana Cool slamke. <https://sana-delikatese.hr/product/sana-cool-slamke/?lang=en>

Slamke su veganske, ne sadrže proizvode životinjskog podrijetla, izdrže do 60 minuta u hladnim pićima i do 20 minuta u toplim napitcima, u proizvodnji nisu korišteni proizvodi koji negativno utječu na čovjeka ili okoliš. Sana delikatese proizvodi i žličice, zdjelice i šalice u dvije veličine koje su slične kao slamke, mogu se pojesti, napravljene su od biorazgradivih materijala, veganske su i ne štete [44].

## **5. PERSPEKTIVE I MOGUĆNOSTI SMANJENJA MIKROPLASTIKE**

U prethodnom poglavlju nabrojane su i objašnjene neke vrste materijala koje bi mogle zamijeniti polimerne materijale koji su odgovorni za nastajanje velikog dijela mikroplastike. Postoje različite mogućnosti zamjene polimernih materijala u različitim industrijama, ali polimeri se još nisu zamijenili u brojnim industrijama jer imaju mnoge prednosti nad drugim vrstama materijala. S obzirom na to da se polimerni materijali koriste više nego bilo kada prije u povijesti, problem stvaranja mikroplastike i dospijevanja MP u okoliš tek će se morati riješiti. U ovom poglavlju govori se o trenutnim problemima povezanim s mikroplastikom, potrebom za uvođenjem hitnih rješenja i predviđa se o budućnosti MP.

### **5.1. Trenutni problemi povezani s mikroplastikom i hitna rješenja**

Mikroplastika se teško uklanja iz okoliša, životinje je konzumiraju jer je zamijene za hranu, a ljudi konzumiraju životinje koje su konzumirale mikroplastiku. Plastika otežava kretanje i razvoj životinja ako im se omota oko tijela, može sadržavati opasne kemikalije koje stvaraju daljnje probleme, a prisutna je u svim dijelovima okoliša i svijeta [6]. Ljudi su, premda toga nisu svjesni, izloženi visokim razinama onečišćenja mikroplastikom. Visoke razine onečišćenja mikroplastikom koje se danas mogu izmjeriti znak su da treba posvetiti više vremena i resursa problemu mikroplastike. Puno je neizvjesnosti i istraživačkih praznina, a trenutna razina znanja nije dovoljna za rješavanje problema mikroplastike [19].

Još se ne zna kako spriječiti širenje mikroplastike, a sustavi za obradu otpadnih i pitkih voda zapravo su jedini način da se smanjeni širenje mikroplastike, a istraživanja su pokazala da su ti sustavi nedostatni [19]. Premda među znanstvenicima vlada sve veći interes za MP i njezinu prisutnost u okolišu, istraživanja koja su do sada provedena pretežito su provedena na životinjama (miševima, štakorima i vodenim organizmima) i *in vitro* na staničnim kulturama [11].

Onečišćenje morskih ekosustava mikroplastikom ozbiljan je problem koji poziva na hitno djelovanje. MP prijete morskim životinjama i biljkama, čovjekovom zdravlju i rizik je za svjetsko gospodarstvo koje se često oslanja na turizam. Onečišćenja MP uzrok su smanjenja ribljih populacija, degradacija plaža i oštećenja grebena što uzrokuje ekonomske gubitke i smanjuje područja s uvjetima povoljnima za život [18]. *Potrebna je stoga sveobuhvatna akcija, promjena načina korištenja plastike, nadzor plastike od njezine proizvodnje pa do konačnog zbrinjavanja, i to na svim razinama (lokalnoj, nacionalnoj, regionalnoj i globalnoj)* [6].

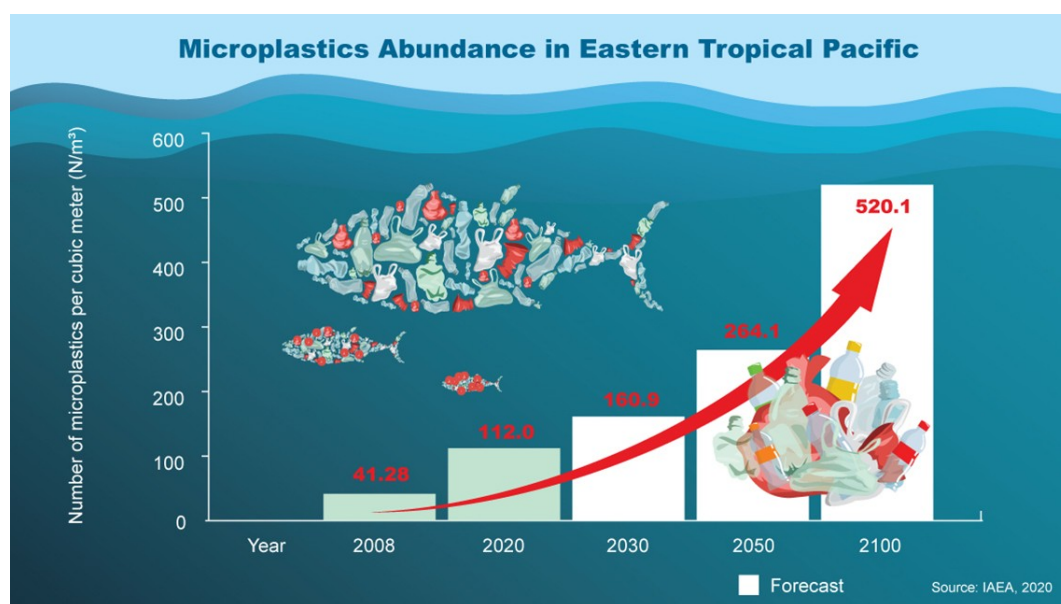
Za smanjenje MP treba primijeniti višestruki pristup sastavljen od [18]:

- I. smanjenja proizvodnje plastike za jednokratno korištenje
- II. smanjenja potrošnje plastike za jednokratno korištenje
- III. poboljšanja sustava gospodarenja otpadom
- IV. promoviranja održivih alternativa
- V. obrazovanje široke javnosti o posljedicama onečišćenja mikroplastikom
- VI. poticanje individualne odgovornosti
- VII. stroži propisi
- VIII. usvajanje održivih praksi

U Europskoj uniji javilo se znanje o važnosti hitnih rješenja kojima bi se smanjila količina MP u okolišu. Od država članica EU traži se smanjenje ambalažnog otpada, a najviše plastičnog ambalažnog otpada. Otpad se mora smanjiti za 5% do 2030. godine, za 10% do 2035. godine i za 15% do 2040. godine. Od 2030. godine zabranit će se neke vrste jednokratne plastične ambalaže: neće se smjeti koristiti plastična ambalaža za neobrađeno svježe voće i povrće, za namirnice i pića koja se konzumiraju u restoranima i kafićima, ambalaža za pojedinačna pakiranja (vrhnje, začini, šećer...), putna pakiranja koja se koriste za pakiranja kozmetičkih proizvoda i vrlo lagane plastične vrećice [45].

## 5.2. Budućnost mikroplastike

Mikroplastika se jako teško uklanja iz okoliša, a još uvijek nije provedeno dovoljno istraživanja o učincima mikroplastike na zdravlje ljudi [6]. Pogled na do sada dobivene rezultate istraživanja dokazuje da je potrebno provesti intenzivnija istraživanja o utjecaju MP na prehrambeni lanac i zdravlje ljudi [9]. Predviđanja su da će u budućnosti u morima i oceanima biti još više mikroplastike, dokazuje to primjer istočnog tropskog Pacifika [46]. Slika 15. prikazuje predviđanja o rastu količine mikroplastike u istočnom tropskom Pacifiku.



Slika 15. Predviđanja o rastu mikroplastike u istočnom tropskom Pacifiku

Izvor: World Oceans Day 2020: New IAEA Research Records Dramatic Increase in Microplastic Pollution in Eastern Tropical Pacific Ocean. <https://www.iaea.org/newscenter/news/world-oceans-day-2020-new-iaea-research-records-dramatic-increase-in-microplastic-pollution-in-eastern-tropical-pacific-ocean>

Količina mikroplastike u regiji istočnog tropskog Pacifika mogla bi narasti deset puta više u 2100. godini nego što je bila u 2008. godini ako se hitno ne poduzmu mjere za smanjenje količine mikroplastike u okolišu [46]. Europska komisija bori se protiv mikroplastike u državama članicama EU strogim propisima kojima zabranjuje stavljanje proizvoda na tržište ako sadrže čestice namjerno dodane MP. Propisana su i prijelazna razdoblja nakon kojih se proizvodi s namjerno dodanom MP više neće smjeti stavljati na tržište. Sve stroge mjere u EU trebale bi imati rezultata, ali borba protiv MP nije samo

europska borba nego se svijet treba globalno ujediniti i provoditi mjere da se smanje razine MP.

## 6. ZAKLJUČAK

Potrošnja plastike u stalnom je rastu, a moderno doba se zbog važnosti plastičnih materijala, kao nekada kameno, bakreno ili željezno doba, zove polimerno doba. Najčešće vrste plastika su polietilen (PE), polipropilen (PP), polivinil klorid (PVC), polistiren (PS), poliuretani (PUR) i polietilen tereftalat (PET). Od njih se izrađuju sve vrste proizvoda i koriste se u svim industrijama. Polimerni materijali u moderno doba imaju jako velik raspon primjene i ne postoji područje industrije u kojemu se ne koriste, ako ne kao materijali za proizvodnju, onda se koriste kao materijali za pakiranje. O problemu plastičnog otpada i nuspajavama otpadne plastike za zdravlje biljnog i životinjskog svijeta, okoliša i čovjeka govori se dugo godina, ali u posljednjih desetak godina počelo se govoriti o pojmu mikroplastike, štetnosti mikroplastike i važnosti smanjenja štetne mikroplastike.

Prema klasifikaciji MP temeljem veličine čestica postoje nanočestice (1 – 100 nm), sub-mikronske čestice (100 nm – 1 µm), mala mikroplastika (1 – 100 µm), velika mikroplastika (100 µm – 5 mm), mezoplastika (5 mm – 2,5 cm) i makroplastika (> 2,5 cm). Mikroplastika su mali komadići plastike u rasponu veličine od 1 µm do 5 mm. U okoliš dolazi iz primarnog ili sekundarnog podrijetla. Primarna mikroplastika je proizvedena namjerno, a dodavanje mikročestica plastike u različite proizvode ograničila je Komisija Europske unije Uredbom Komisije (EU) 2023/2055 od 25. rujna 2023. o izmjeni Priloga XVII. Uredbi (EZ) br. 1907/2006 Europskog parlamenta i Vijeća o registraciji, evaluaciji, autorizaciji i ograničavanju kemikalija (REACH) u pogledu mikročestica sintetičkih polimera. Uredbom se određuje kada se MP koja nastaje jer se proizvedeni sitni fragmenti sintetičkih ili kemijski modificiranih prirodnih polimera namjerno dodaju u proizvode mora

prestati proizvoditi i dodavati u proizvode i kada se proizvodi koji sadrže namjerno dodanu MP moraju prestati proizvoditi i prodavati. Sekundarni izvori mikroplastike su svi drugi izvori u kojima MP nastaje degradacijom plastike. Bezbroj je sekundarnih izvoda MP, to su sve čovjekove djelatnosti i sve industrije.

MP je sve veći problem jer je se sve više plasira u okoliš, a vrlo je teško ukloniti mikroplastiku iz okoliša. Teško uklanjanje jedan je od problema s mikroplastikom, a problem je i analiziranje MP prisutne u okolišu jer još ne postoji jedinstvena metoda analize MP. Mikroplastika je relativna novost, a svijest o njoj još nije dovoljno jaka.

Dokazani su različiti štetni utjecaji MP na okoliš, biljni i životinjski svijet, ali se ne zna dovoljno o štetnim učincima MP na čovjekovo zdravlje. Dokazano je da čovjek u svojem organizmu unosi MP jer je u uzorcima čovjekove stolice pronađena MP. Detektirana je prisutnost MP u različitoj hrani i piću.

O mikroplastici se premalo govori, problem mikroplastike nije dovoljno proučavan u znanstvenim istraživanjima, a zakoni kojima bi se u nacionalnom zakonodavnom sustavu reguliralo stvaranje mikroplastike nisu dovoljno razrađeni i preuzeti su direktno iz zakonodavstva Europske unije. Na nacionalnoj razini tema mikroplastike nije dovoljno zastupljena, a u sektoru turizma, jednoj od najvažnijih gospodarskih grana RH, nisu poduzete sve potrebne mjere da se smanji proizvodnja plastičnog otpada i da se smanji nastajanje mikroplastike.

Uskoro će se morati poduzeti stroge mjere kojima će se regulirati stvaranje plastičnog otpada, ali rješenje nije jednostavno i ne može se donijeti preko noći. U svim gospodarskim djelatnostima i u privatnim kućanstvima moraju se poduzimati hitne mjere prevencije stvaranja mikroplastike koje uključuju nekorištenje proizvoda kojima je dodana mikroplastika, izbjegavanje korištenja jednokratne plastike, pronalaženje zamjena za plastične proizvode i ambalažu. Do smanjenja mikroplastike u okolišu može doći samo ukoliko svi, pravne i fizičke osobe, na svim razinama, krenu raditi na smanjenju stvaranja plastičnog otpada.





### IZJAVA O AUTORSTVU

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

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

Student/ica:

(upisati ime i prezime)

Lorena Jelak

(vlastoručni potpis)

Sukladno članku 58., 59. i 61. Zakona o visokom obrazovanju i znanstvenoj djelatnosti završne/diplomske/specijalističke radove sveučilišta su dužna objaviti u roku od 30 dana od dana obrane na nacionalnom repozitoriju odnosno repozitoriju visokog učilišta.

Sukladno članku 111. Zakona o autorskom pravu i srodnim pravima student se ne može protiviti da se njegov završni rad stvoren na bilo kojem studiju na visokom učilištu učini dostupnim javnosti na odgovarajućoj javnoj mrežnoj bazi sveučilišne knjižnice, knjižnice sastavnice sveučilišta, knjižnice veleučilišta ili visoke škole i/ili na javnoj mrežnoj bazi završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice, sukladno zakonu kojim se uređuje umjetnička djelatnost i visoko obrazovanje.



## 7. LITERATURA

- [1] Hrnjak-Murgić, Z. Gospodarenje polimernim otpadom. Sveučilište u Zagrebu, Zagreb; 2016.
- [2] Kovačić, T. Struktura i svojstva polimera. Kemijsko-tehnološki fakultet, Split; 2010.
- [3] Kraut, B. Strojarski priručnik. Tehnička knjiga, Zagreb; 1987.
- [4] Harper, C, A, Petrie, E, M. Plastic Materials and Processes. Wiley-Interscience, New Jersey; 2003.
- [5] Polimerni materijali. Tehnička enciklopedija. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 1963–1997. <https://tehnicka.lzmk.hr/>
- [6] Činčurak Erceg B. Problemi pravne (ne)reguliranosti (mikro)plastike u morskom i riječnom okolišu. Poredbeno pomorsko pravo. 2022;61(176):135-175. <https://doi.org/10.21857/yl4okf50e9>
- [7] Poligonometrija – polimeri. Tehnička enciklopedija. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 1963–1997. <https://tehnicka.lzmk.hr/>
- [8] Tolić A, Juranović Cindrić I, Selvam T, Mohaček Grošev V, Mikac L, Ivanda M. Izazovi mikroplastike: onečišćivala koji prijete ekosustavu i ljudskom zdravlju. Kemija u industriji. 2024;73(7-8):331-339. <https://doi.org/10.15255/KUI.2023.045>
- [9] Bogdanović T, Petričević S, Listeš I, Pleadin J. Pojavnost mikroplastike u prehrambenom lancu i njen utjecaj na ljudsko zdravlje. MESO: Prvi hrvatski časopis o mesu. 2022;24.(1.):50-62. <https://doi.org/10.31727/m.24.1.2>
- [10] Albazoni, H, J, Salih Al-Haidarey, M, J, Nasir, A, S. A Review of Microplastic Pollution: Harmful Effect on Environment and Animals, Remediation Strategies. J. Ecol. Eng. 2024; 25(2):140-157. <https://doi.org/10.12911/22998993/176802>
- [11] Marceljak Ilić M. Mikroplastika u podzemnim vodama RH – suradnja učenika i speleologa. Speleolog. 2022;70(1):92-103. <https://hrcak.srce.hr/294909>
- [12] Where do microplastics come from? <https://encounteredu.com/multimedia/images/sources-of-microplastics>
- [13] Guerranti, C, Martellini, T, Perra, G, Scopetani, C, Cincinelli, A. Microplastics in cosmetics: Environmental issues and needs for global bans. Environmental Toxicology and Pharmacology. 2019; 68:75-79. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2019.03.007>

- [14] Zakon o gospodarenju otpadom NN 84/21, 142/23. <https://www.zakon.hr/z/2848/Zakon-o-gospodarenju-otpadom>
- [15] Direktiva (EU) 2019/904 Europskog parlamenta i Vijeća od 5. lipnja 2019. o smanjenju utjecaja određenih plastičnih proizvoda na okoliš. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/?uri=CELEX%3A32019L0904>
- [16] Uredba Komisije (EU) 2023/2055 od 25. rujna 2023. o izmjeni Priloga XVII. Uredbi (EZ) br. 1907/2006 Europskog parlamenta i Vijeća o registraciji, evaluaciji, autorizaciji i ograničavanju kemikalija (REACH) u pogledu mikročestica sintetičkih polimera. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023R2055>
- [17] Nove obveze, EU donijela mjere za ograničavanje upotrebe mikroplastike. Ministarstvo zdravstva. <https://zdravstvo.gov.hr/djelokrug-1297/javnozdravstvena-zastita/kemikalije-i-biocidni-pripravci-1357/kemikalije-1785/nove-obveze/5604>
- [18] Labudović K. Onečišćenje mora mikroplastikom. Paragraf. 2023;7(1):59-79. <https://hrcak.srce.hr/306199>
- [19] Magalhães S, Alves L, Medronho B, Romano A, Rasteiro MDG. Microplastics in Ecosystems: From Current Trends to Bio-Based Removal Strategies. *Molecules*. 2020 Aug 30;25(17):3954. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7504772/>
- [20] Čemerika E, Knežević A, Milički D, Miloloža M. Procjena ekotoksičnosti mikroplastike i nanoplastike na gujavice (kolutičavci, Annelida) i oblice (Nematoda) u tlu. *Kemija u industriji*. 2024;73(7-8):303-312. <https://doi.org/10.15255/KUI.2023.042>
- [21] Emenike E, C, Okorie, C, J, Ojeyemi, T, Egbemhenghe, A, Iwuozor, K, A, Saliu, O, D, Okoro, H, K, Adewale George Adeniyi, A, G. From oceans to dinner plates: The impact of microplastics on human health. *Heliyon*. 2023;9. <https://www.cell.com/action/showPdf?pii=S2405-8440%2823%2907648-X>
- [22] Polietilen. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2013. – 2024. <https://www.enciklopedija.hr/clanak/polietilen>
- [23] Polipropilen. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2013. – 2024. <https://www.enciklopedija.hr/clanak/polipropilen>
- [24] Poli(vinil-klorid). Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2013. – 2024. <https://www.enciklopedija.hr/clanak/poli-vinil-klorid>
- [25] Polistiren. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2013. – 2024. <https://www.enciklopedija.hr/clanak/polistiren>
- [26] Poliuretani. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2013. – 2024. <https://www.enciklopedija.hr/clanak/poliuretani>

- [27] Poli(etilen-tereftalat). Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2013. – 2024. <https://www.enciklopedija.hr/clanak/poli-etilen-tereftalat>
- [28] Panowicz, R, Konarzewski, M, Durejko, T, Szala, M, Łazińska, M, Czerwińska, M, Prasula, P. Properties of Polyethylene Terephthalate (PET) after Thermo-Oxidative Aging. *Materials*. 2021; 14(3833): 1-16. <https://doi.org/10.3390/ma1414383>
- [29] Miloloža, M, Kučić Grgić, D, Bolanča, T, Ukić, Š, Cvetnić, M, Očelić Bulatović, V, Dionysios, D,D, Kušić, H. Ecotoxicological Assessment of Microplastics in Freshwater Sources - A Review, *Water*. 2021; 56(13). <https://doi.org/10.3390/w13010056>
- [30] Mršić G, Žugaj S. Analiza GSR čestica upotrebom elektronskog mikroskopa (SEM/EDX). *Policija i sigurnost*. 2007;16(3-4):179-200. <https://hrcak.srce.hr/79261>
- [31] Skendrović D, Terihaj L, Rezić T, Vrsalović Presečki A. Biopolimeri hitin i hitozan – svojstva i priprava. *Kemija u industriji*. 2023;72(1-2):103-112. <https://doi.org/10.15255/KUI.2022.039>
- [32] Španiček Đ. Biopolimeri – novi ili stari materijali?. *Polimeri*. 2012;33(3-4):124-126. <https://hrcak.srce.hr/100393>
- [33] Utjecaj proizvodnje tekstila i tekstilnog otpada na okoliš (infografika). <https://www.europarl.europa.eu/topics/hr/article/20201208STO93327/utjecaj-proizvodnje-tekstila-i-tekstilnog-otpada-na-okolis-infografika>
- [34] Markuz A, Ban D, Pavličić R. Održivi razvoj i brza moda generacije Y. *Zbornik sveučilišta Libertas*. 2023;8(9):113-132. <https://doi.org/10.46672/zsl.8.9.8>
- [35] Fuk B. Tekstil i veza s onečišćenjem okoliša mikroplastikom. *Sigurnost*. 2020;62(2):191-195. <https://hrcak.srce.hr/240710>
- [36] Karin, F, Šabarić, I, Domović, D. Smjernice za održivu modu u dizajnu odjeće – koncept spore mode. *RIM*. (2019): 396-401. <https://www.croris.hr/crosbi/publikacija/prilog-skup/681200>
- [37] Izvješće o ambalaži i otpadnoj ambalaži za Republiku Hrvatsku u 2022. godini. [https://www.haop.hr/sites/default/files/uploads/dokumenti/021\\_otpad/Izvjesca/Izvje%C5%A1%C4%87e%20o%20ambala%C5%BEi%20i%20otpadnoj%20ambala%C5%BEi%20za%20Republiku%20Hrvatsku%20u%202022\\_WEB.pdf](https://www.haop.hr/sites/default/files/uploads/dokumenti/021_otpad/Izvjesca/Izvje%C5%A1%C4%87e%20o%20ambala%C5%BEi%20i%20otpadnoj%20ambala%C5%BEi%20za%20Republiku%20Hrvatsku%20u%202022_WEB.pdf)
- [38] Ptiček Siročić A, Đurina M, Špoljarić E. Oporaba pet ambalaže. *Environmental Engineering - Inženjerstvo okoliša*. 2016;3(1):83-88. <https://hrcak.srce.hr/162342>

- [39] Upoznajte ekološke materijale koji mogu zamijeniti plastiku!  
<https://eco.promopoint.hr/blog/upoznajte-ekoloske-materijale-koji-mogu-zamijeniti-plastiku/>
- [40] Zamjena za plastičnu ambalažu.  
<https://www.dunapack-packaging.com/hr/proizvodi/zamjena-za-plasticnu-ambalazu/>
- [41] Mangodin, F. Najbolje prakse za smanjenje i postpuno ukidanje jednokratne plastike u Europi. 2022; Seas At Risk
- [42] Berglandmilch.  
<https://www.vetropack.com/en/products-services/success-stories/berglandmilch-success-story/>
- [43] DM eko punionica. <https://www.dm.hr/tvrtka/drustvena-odgovornost/ekoloska-osvijestenost/osvijesteni-izbor-proizvoda/dm-eko-punionice-1003626>
- [44] Sana Cool slamke. <https://sana-delikatese.hr/product/sana-cool-slamke/?lang=en>
- [45] Nova pravila EU-a za smanjenje, ponovnu upotrebu i recikliranje ambalaze.  
<https://www.europarl.europa.eu/news/hr/press-room/20240419IPR20589/nova-pravila-eu-a-za-smanjenje-ponovnu-upotrebu-i-recikliranje-ambalaze>
- [46] World Oceans Day 2020: New IAEA Research Records Dramatic Increase in Microplastic Pollution in Eastern Tropical Pacific Ocean.  
<https://www.iaea.org/newscenter/news/world-oceans-day-2020-new-iaea-research-records-dramatic-increase-in-microplastic-pollution-in-eastern-tropical-pacific-ocean>

## 8. SLIKE

|  |    |
|--|----|
| Slika 1. Molekularne strukture polimera.....                                   | 4  |
| Slika 2. Podjela polimera.....   | 7  |
| Slika 3. Različite mogućnosti primjene polimera u svakodnevnom životu.....     | 11 |
| Slika 4. Izvori mikroplastike.....   | 12 |
| Slika 5. Primarna mikroplastika iz kozmetičkih proizvoda.....                  | 13 |
| Slika 6. Prijenos i utjecaj MP i NP na gujavice.....                           | 16 |
| Slika 7. Kemijska struktura najčešće proizvođenih vrsta plastike.....          | 21 |
| Slika 8. Razgranatost PE makromolekula.....                                    | 22 |
| Slika 9. Struktura poliuretana bez opterećenja i kod izdužene deformacije..... | 25 |
| Slika 10. Upcycling metoda kod izrade zvonolikih hlača od bavarske suknje..... | 32 |
| Slika 11. Zamjene za plastičnu ambalažu od valovitog kartona.....              | 36 |
| Slika 12. Berglandmilch staklena ambalaža za mlijeko i mliječne proizvode..... | 37 |
| Slika 13. DM eko punionica.....  | 38 |
| Slika 14. Sana Wisefood jestive Cool slamke.....                               | 39 |
| Slika 15. Predviđanja o rastu mikroplastike u istočnom tropskom Pacifiku.....  | 42 |

## 9. TABLICE

|   |    |
|---|----|
| Tablica 1. Podjela termoplasta.....   | 6  |
| Tablica 2. Najvažnija svojstva polimera.....  | 9  |
| Tablica 3. Javljanje vrsta mikroplastike u hrani i piću.....  | 18 |
| Tablica 4. Vrste vlakana u modnoj industriji.....   | 31 |
| Tablica 5. Proizvedena, izvezena i uvezena jednokratna ambalaža i ponovno uporabljiva ambalaža predana obrađivaču u 2022. godini..... | 34 |
| Tablica 6. Kretanje prikupljene otpadne ambalaže prema materijalima od 2015. do 2022. godine.....                                     | 35 |

# Lorena Jelak

## Metode i perspektive smanjenja mikroplastike u okolišū - Vancouver (1)[1] uređeno.docx

-  Provjera radova za studente
-  Sveučilište Sjever
-  University North

### Document Details

Submission ID

trn:oid::1:2993907500

Submission Date

Aug 30, 2024, 2:32 PM GMT+2

Download Date

Aug 30, 2024, 2:34 PM GMT+2

File Name

Metode\_i\_perspektive\_smanjenja\_mikroplastike\_u\_okolišū\_-\_Vancouver\_1\_1\_uređeno.docx

File Size

5.3 MB

59 Pages

13,178 Words

82,605 Characters




## 16% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

### Filtered from the Report

- Bibliography
- 

### Top Sources

- 15%  Internet sources
  - 5%  Publications
  - 6%  Submitted works (Student Papers)
-



### Top Sources

- 15% Internet sources
- 5% Publications
- 6% Submitted works (Student Papers)

### Top Sources

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

|    |          |                          |    |
|----|----------|--------------------------|----|
| 1  | Internet | hrcak.srce.hr            | 5% |
| 2  | Internet | zir.nsk.hr               | 1% |
| 3  | Internet | www.mdpi.com             | 1% |
| 4  | Internet | eur-lex.europa.eu        | 1% |
| 5  | Internet | repozitorij.unizg.hr     | 1% |
| 6  | Internet | www.enciklopedija.hr     | 1% |
| 7  | Internet | repozitorij.fsb.unizg.hr | 0% |
| 8  | Internet | sabor.hr                 | 0% |
| 9  | Internet | www.fkit.unizg.hr        | 0% |
| 10 | Internet | mf.unze.ba               | 0% |
| 11 | Internet | www.europarl.europa.eu   | 0% |

|    |                |  |    |
|----|----------------|--|----|
| 12 | Publication    | Ema Čemerika, Andrea Knežević, Dora Milički, Martina Miloloža. "Procjena ekotok...   | 0% |
| 13 | Student papers | University of the Aegean   | 0% |
| 14 | Internet       | www.ktf-split.hr   | 0% |
| 15 | Student papers | Fakultet organizacije i informatike-Faculty of Organization and Informatics          | 0% |
| 16 | Internet       | eprints.soton.ac.uk  | 0% |
| 17 | Internet       | www.hbd-sbc.hr   | 0% |
| 18 | Internet       | blog.dnevnik.hr  | 0% |
| 19 | Internet       | repozitorij.svkst.unist.hr   | 0% |
| 20 | Internet       | www.bib.irb.hr   | 0% |
| 21 | Publication    | Ana Tolić, Iva Juranović Cindrić, Tamilselvi Selvam, Vlasta Mohaček Grošev, Lara ... | 0% |
| 22 | Internet       | apps.unizg.hr  | 0% |
| 23 | Internet       | bs.scribd.com  | 0% |
| 24 | Internet       | kruzna-ekonomija.com   | 0% |
| 25 | Publication    | "Microplastics in African and Asian Environments", Springer Science and Business...  | 0% |

|    |                |   |    |
|----|----------------|---|----|
| 26 | Student papers | University of Derby   | 0% |
| 27 | Student papers | University of Sarajevo  | 0% |
| 28 | Internet       | engage.aps.org  | 0% |
| 29 | Internet       | hdl.handle.net  | 0% |
| 30 | Internet       | mapmf.pmfst.unist.hr  | 0% |
| 31 | Internet       | repozitorij.fkit.unizg.hr   | 0% |
| 32 | Student papers | University Computing Centre (SRCE) Croatia  | 0% |
| 33 | Publication    | Woolley, Adam, and Hernan Fuentes. "Using Phase-Changing Sacrificial Materials ..." | 0% |
| 34 | Student papers | Royal Holloway and Bedford New College  | 0% |
| 35 | Internet       | repository.riteh.uniri.hr   | 0% |
| 36 | Internet       | acikerisim.uludag.edu.tr  | 0% |
| 37 | Internet       | repozitorij.simet.unizg.hr  | 0% |
| 38 | Internet       | vdocument.in  | 0% |
| 39 | Internet       | wikizero.com  | 0% |

|    |             |  |    |
|----|-------------|--|----|
| 40 | Internet    | www.jeeng.net  | 0% |
| 41 | Internet    | zdravlje.gov.hr  | 0% |
| 42 | Internet    | 1library.net   | 0% |
| 43 | Internet    | egci.azrri.hr  | 0% |
| 44 | Internet    | sh.wikipedia.org   | 0% |
| 45 | Internet    | www.pravos.unios.hr  | 0% |
| 46 | Publication | M. Mofijur, S.F. Ahmed, S.M. Ashrafur Rahman, SK. Yasir Arafat Siddiki et al. "Sour... | 0% |
| 47 | Internet    | core.ac.uk   | 0% |
| 48 | Internet    | repozitorij.erf.unizg.hr   | 0% |
| 49 | Internet    | repozitorij.fpz.unizg.hr   | 0% |
| 50 | Internet    | repozitorij.pharma.unizg.hr  | 0% |
| 51 | Internet    | www.hrpsor.hr  | 0% |
| 52 | Internet    | www.nacional.hr  | 0% |
| 53 | Internet    | www.whatsinsidescjohnson.com   | 0% |

54

Publication

Klára Cverenkárová, Martina Valachovičová, Tomáš Mackulák, Lukáš Žemlička, Lu... 0%



## Digital Receipt

This receipt acknowledges that Turnitin received your paper. Below you will find the receipt information regarding your submission.

The first page of your submissions is displayed below.

Submission author: Lorena Jelak  
Assignment title: Provjera radova za studente  
Submission title: Metode i perspektive smanjenja mikroplastike u okolišu - Va...  
File name: Metode\_i\_perspektive\_smanjenja\_mikroplastike\_u\_okolišu\_...  
File size: 5.29M  
Page count: 59  
Word count: 13,178  
Character count: 82,605  
Submission date: 30-Aug-2024 02:33PM (UTC+0200)  
Submission ID: 2441193918

