

# Usporedna naliza procesa proizvodnje i uporabe konvecionalne i razgradive plastike

---

**Bilić, Minja Adriana**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2019**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Istrian University of applied sciences / Istarsko veleučilište - Università Istriana di scienze applicate**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:212:467215>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-19**



*Repository / Repozitorij:*

[Digital repository of Istrian University of applied sciences](#)



image not found or type unknown

ISTARSKO VELEUČILIŠTE  
PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ

MINJA ADRIANA BILIĆ

**USPOREDNA ANALIZA PROCESA PROIZVODNJE I OPORABE  
KONVENCIONALNE I BIORAZGRADIVE PLASTIKE**

ZAVRŠNI RAD

PULA, 2019.

ISTARSKO VELEUČILIŠTE  
PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ

**USPOREDNA ANALIZA PROCESA PROIZVODNJE I OPORABE  
KONVENCIONALNE I BIORAZGRADIVE PLASTIKE**

ZAVRŠNI RAD

Predmet: Ekologija

Mentor: dr. sc. Goran Zgrablić

Studentica: Minja Adriana Bilić

Pula, srpanj 2019.

## **Izjava o samostalnosti izrade završnoga rada**

Izjavljujem da sam završni rad na temu „USPOREDNA ANALIZA PROCESA PROIZVODNJE I OPORABE KONVENCIONALNE I BIORAZGRADIVE PLASTIKE“ samostalno izradila, uz pomoć mentora dr. sc. Gorana Zgrablića koristeći navedenu literaturu i znanje stečeno tijekom studija. Završni rad pisan je u duhu hrvatskoga jezika.

Studentica: Minja Adriana Bilić

Potpis: \_\_\_\_\_

## Sažetak

U ovome radu polazi se od toga da je proizvodnja bioplastike kao alternativa proizvodnji konvencionalne plastike dobro rješenje u cilju očuvanja okoliša i održive proizvodnje. Na temelju takvoga polazišta usporedila se proizvodnja konvencionalne plastike s proizvodnjom bioplastike te su se naveli potencijali razvoja industrije bioplastike, odnosno biotemeljene plastike.

Iako proizvodnja bioplastike nosi sa sobom ekonomske probleme i potencijalno štetan utjecaj na okoliš i podrazumijeva konkurenciju u proizvodnji hrane za ljude, razvoj novih trendova u tehnologiji bioplastike predstavlja zasigurno potencijal i jedno od rješenja u smanjenu štetnih posljedica koje plastika i plastični otpad imaju na okoliš.

## Abstract

This paper starts from the fact that production of bioplastics as an alternative to traditional plastic production is a good solution for environmental conservation and sustainable production. Based on such a starting point, the production of traditional plastics with bioplastics production was compared and the potential for the development of bioplastics or bioproduced plastics was mentioned.

Although production of bioplastics carries economic problems and potentially harmful environmental impacts and implies competition in food production for humans, the development of new trends in bioplastics technology certainly has a potential and shows one of the solutions to reducing the adverse effects of plastics and plastic waste on the environment.

## Sadržaj

1. UVOD.....	3
1.1. Predmet istraživanja.....	3
1.2. Cilj i svrha rada .....	4
1.3. Hipoteza rada .....	4
1.4. Metode rada.....	4
1.5. Struktura rada .....	4
2. TEMELJNA SVOJSTVA PLASTIKE.....	5
2.1. Polipropilen .....	5
2.2. Polietilen.....	6
2.3. Polivinil-klorid.....	7
2.4. Plastični aditivi.....	9
3. PLASTIČNI OTPAD U OKOLIŠU .....	9
3.1. Utjecaj plastičnoga otpada na svjetske oceane .....	11
3.2. Zagađenje plastikom u Republici Hrvatskoj .....	13
4. RAZGRADIVA PLASTIKA .....	15
4.1. Biorazgradiva plastika iz obnovljivih izvora.....	16
4.2. Biorazgradiva plastika iz fosilnih izvora.....	17
4.3. Oksorazgradiva plastika.....	17
4.4. Bioosnovana plastika.....	17
5. POTENCIJAL PROIZVODNJE I PRERADE BIOPLASTIKE .....	18
5.1. Proizvodnja bioplastike kao konkurencija proizvodnji hrane .....	21
5.2. Upravljanje otpadom, mogućnosti uporabe bioplastike te utjecaj na okoliš .....	23
5.3. Moguća rješenja za smanjenje štetnog utjecaja plastike .....	26
6. ZAKLJUČAK.....	28
7. LITERATURA.....	29
8. POPIS SLIKA I GRAFIKONA .....	30

# 1. UVOD

Zahvaljujući svestranosti i efikasnosti uporabe, plastika je danas ključni i najčešće korišteni materijal u svim sektorima proizvodnje te je glavni materijal koji se koristi za pakiranje proizvoda, u građevinarstvu, u transportu pa i u medicini. Možemo reći da je plastika postala nezamjenjiva u našim životima, a potražnja za njom raste, kako u Europi, tako i u ostatku svijeta. Podatci govore da se većina plastike ipak upotrebljava za pakiranje proizvoda, odnosno za ambalažu, a zatim za ostale potrebe.

Dominacija plastike od početka 20. st. neprestano raste, a smatra se da je praktički polovica svega što je ikad napravljeno od plastike proizvedeno u posljednjih 15 godina, što je dovelo do posljedica i zabrinutosti za okoliš. Naime, plastika je, kao i benzin, derivat sirove nafte. Nakon odbacivanja, ona se sporo razgrađuje jer njezin sastav čine velike molekule, dakle njezina kemijska struktura čini ju otpornom na mnoge prirodne procese. Nitko zapravo ne zna koliko tona nerecikliranoga plastičnog otpada završava u oceanu, posljednjem slivniku na Zemlji. U međuvremenu, plastika je svake godine ubila na milijune morskih životinja, a neposredno je utjecala i na ljude. Plastika se razbija na komadiće koji su toliko sitni da se jedva vide. Tako je skovan naziv mikroplastika, plastika koja se masovno akumulira u moru i na taj način dospjeva u praktički svaki živi organizam.

## 1.1. Predmet istraživanja

Predmet istraživanja ovoga rada jest biorazgradiva plastika, odnosno plastika koja se može u prirodi razgraditi i pritome ne ostaviti štetan utjecaj na okoliš. Budući da recikliranje plastike nije dostatno rješenje kako bi se smanjio problem zagađenja, pristupa se izradi plastičnih materijala koji su biorazgradivi. Na taj bi se način mogla smanjiti količina plastičnoga otpada proizvedenoga od konvencionalne plastike, što predstavlja najveći problem suvremene zaštite okoliša.

## **1.2. Cilj i svrha rada**

Cilj rada jest skrenuti pozornost na jedan od najrelevantnijih problema današnjice, a to je zagađenost okoliša plastičnim otpadom. Svrha rada je pokazati potencijal proizvodnje biorazgradive plastike koja je bolja alternativa konvencionalnoj plastici.

## **1.3. Hipoteza rada**

Za rješavanje globalnoga ekološkog problema s kojim se danas susrećemo, potrebno je pristupiti izradi materijala koji su manje štetni za okoliš te koji se razgrađuju u prirodi. Jednako je tako nužno voditi se sustavima vrijednosti koji omogućuju održivi razvoj, uspostavljanje ravnoteže između čovjeka i prirode i osiguravanja sigurnoga i zdravog okoliša za čovjeka i za ostala živa bića.

## **1.4. Metode rada**

U ovome radu koristit će se ponajviše metode deskripcije te analize i sinteze. Usto, prikazat će se i neka istraživanja kao metoda dokazivanja te metoda kompilacije i komparacije, kako bi se što preciznije i vjerodostojnije prikazao predmet rada.

## **1.5. Struktura rada**

U prvome poglavlju objasnit će se kakav je materijal plastika te koja su njezina temeljna svojstva. U drugome poglavlju skrenut će se pozornost na količinu plastičnoga otpada u okolišu, kako na globalnoj razini tako i u Republici Hrvatskoj. U trećemu i četvrtom poglavlju analizirat će se biorazgradiva plastika i potencijal proizvodnje takve plastike. Posljednje poglavlje rezervirano je za zaključak, odnosno sintezu rada te opravdanje hipoteze s početka rada.



## 2. TEMELJNA SVOJSTVA PLASTIKE

Plastika je jeftin, lagan, čvrst i izdržljiv materijal, otporan na koroziju, s visokim toplinskim i električnim izolacijskim svojstvima. Prva potpuno sintetička plastika bila je bakelit, a izumio ju je u New Yorku 1907. godine Leo Baekeland, koji je ujedno i prvi upotrijebio izraz plastika. Mnogi kemičari doprinijeli su znanosti o plastici, uključujući dobitnika Nobelove nagrade Hermanna Staudingera, oca polimerne kemije i Hermana Marka, koji je poznat kao otac fizike polimera, pojma koji se često koristi kao sinonim za plastiku (Teegarden, 2004). Polimeri su velike molekule od dijelova koji se ponavljaju (monomera) povezanih u dugačke lance. Raznolikost polimera i raznovrsnost njihovih svojstava koriste se za izradu širokoga spektra proizvoda koji donose medicinski i tehnološki napredak, uštedu energije i brojne druge društvene koristi.

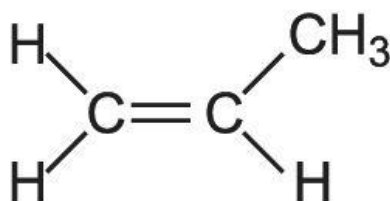
Većina plastike sadrži organske polimere. Velika većina tih polimera formira se iz lanaca ugljikovih atoma, "čistih" ili uz dodatak kisika, dušika ili sumpora. Lanci sadrže mnogo ponovljenih jedinica, formiranih od monomera. Svaki lanac polimera imaće nekoliko tisuća ponavljajućih jedinica. Kako bi se prilagodila svojstva plastike, različite molekulske skupine dodane su izvornoj plastici. Ove privjesne jedinice obično su "obješene" na monomere, prije nego što su sami monomeri međusobno povezani kako bi tvorili lanac polimera. Struktura tih bočnih lanaca utječe na svojstva polimera. Molekularna struktura ponavljajuće jedinice može se fino podesiti da utječe na specifična svojstva polimera (Teegarden, 2004).

### 2.1. Polipropilen

Polipropilen (PP) je plastomerni materijal koji se sastoji od makromolekula u kojima su metilne skupine duž linearnih lanaca najčešće jednako sterički orijentirane pa se lako stvaraju spiralne, vijčane konformacije, što pogoduje nastajanju kristalne građe, visokog tališta (170 °C) i dobrih mehaničkih svojstava. Otkrio ga je 1954. godine Giulio Natta, a komercijalna proizvodnja počela je 1957. godine.

Polipropilen je po svojstvima sličan polietilenu visoke gustoće, ali je veće tvrdoće, vlačne čvrstoće i toplinske postojanosti. Najviše se prerađuje injekcijskim prešanjem i

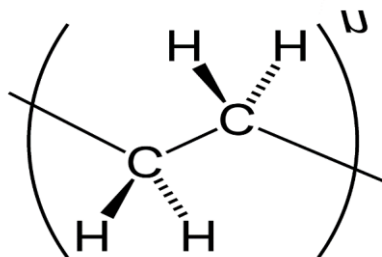
ekstrudiranjem, odnosno izvlačenjem u vrlo čvrsta polipropilenska vlakna. Osim za vlakna, rabi se pretežito kao konstrukcijski materijal za strojne dijelove te za izradbu spremnika, posuda, boca koje se mogu sterilizirati, ploča, cijevi za korozivne tvari, prozirnih folija i sl., a kao tekstilno vlakno posebice za mrežaste izrađevine i užad. Jedan je od rijetkih polimernih materijala koji se lako prevlači metalnim slojem (Andrady i Neil, 2009.).



Slika 1: Kemijska formula za polipropilen

## 2.2. Polietilen

Polietilen je plastomerni materijal s najvećom proizvodnjom i primjenom. Pripravljen je već 1933. zagrijavanjem etilena pri visoku tlaku i visokoj temperaturi, a to su učinili Reginald Gibson i Eric Fawcett, dva istraživačka kemičara u laboratoriju *ICI* *Winnington* u Velikoj Britaniji.



Slika 2: Kemijska formula za polietilen

Jednostavna linearna struktura u izduženim konformacijama omogućuje njegovu laku kristalizaciju pa se polietilen morfološki sastoji od kristalnih i amorfnih područja, a o njihovu udjelu ovise i mehanička svojstva. Međutim, makromolekule polietilena nisu

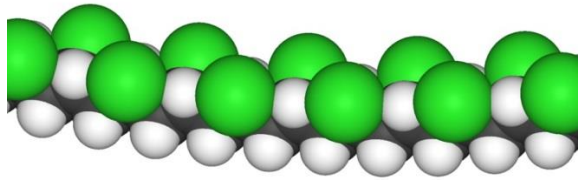
potpuno linearne, već sadrže i bočne skupine koje pridonose njihovoj granatosti i tako smanjuju stupanj kristalnosti, tj. gustoću polietilena. Na temelju molekularne građe i svojstava, polietilen se kao konstrukcijski materijal dijeli u nekoliko vrsta, od kojih su najvažnije polietilen niske gustoće (PE-LD), linearni polietilen niske gustoće (PE-LLD) i polietilen visoke gustoće (PE-HD).

Polietilen je žilav, voskasta izgleda, nepotpune prozirnosti i velikoga modula elastičnosti. Općenito je otporan prema vodi i većini kemikalija, na sobnoj temperaturi netopljiv u otapalima. S povećanjem gustoće povećavaju se i modul elastičnosti, prekidna čvrstoća, krutost, tvrdoća i kemijska postojanost, a smanjuje se udarna žilavost i propusnost za plinove. Proizvodi se *visokotlačnim postupkom* (radikalnom polimerizacijom), uz tlak 1500 do 3000 bara i temperaturu oko 200 °C, ili *niskotlačnim postupkom* (koordinativnom polimerizacijom), uz tlak do 100 bara i temperaturu 60 do 180 °C. Visokotlačnim postupkom dobiva se polietilen veće granatosti i zato manje kristalnosti i manje gustoće (PE-LD), a niskotlačnim nastaje polietilen manje granatosti i zato veće kristalnosti i veće gustoće (PE-HD).

Najviše se primjenjuje za izradbu folija koje izravno služe kao ambalažni materijal za prehrambene, farmaceutske, tekstilne i druge proizvode (od jednostavnih ručnih vrećica do tzv. skupljajuće folije koja nakon razvlačenja i zagrijavanja čvrsto obuhvati omotani predmet i poprimi njegov oblik). Polietilen služi i za izradbu različitih kutija i posuda za kućanstvo, vreća, velikih industrijskih spremnika, unutrašnjih obloga teretnih brodova, vodovodnih i dr. cijevi, za izolaciju električnih kablova, impregnaciju tekstilnih vlakana i papira, kao polietilensko vlakno itd. (Teegarden, 2004.).

### **2.3. Polivinil-klorid**

Polivinil-klorid ili PVC plastomerni je materijal koji se dobiva radikalnom polimerizacijom vinil-klorida, najčešće u vodenoj suspenziji, ali i u krutom obliku, emulziji i otopini, pri 50 do 70 °C. On je treći najčešće korišteni materijal (nakon polipropilena i polietilena).



**Slika 3: Trodimenzionalni prikaz polivinil-klorid lanca**

Svojstva PVC-a mogu se mijenjati ugradnjom drugih monomera tijekom polimerizacije, npr. vinil-acetata ili viniliden-klorida, a i dodatkom mnogobrojnih stabilizatora, omekšavala (plastifikatora) i punila. Tako je poznato više od stotinu modifikacija PVC-a u širokome rasponu svojstava, od tvrdoga i žilavoga do mekanoga i elastomernoga materijala, među kojima su kruti i savitljivi polivinil-klorid dvije temeljne vrste. Zahvaljujući širokoj primjeni potrošnja mu stalno raste.

Kruti polivinil klorid proziran je, tvrd, žilav i teško preradljiv materijal, vrlo postojan na utjecaj atmosferilija i kemikalija, dobrih dielektričnih svojstava. Međutim, izrazito je krt, što se otklanja kopolimerizacijom, npr. s vinil-acetatom, a potom miješanjem s drugim polimerima, npr. poliakrilatima. Savitljivi polivinil-klorid sadrži 20 do 30% omekšavala (najčešće estera dikarboksilnih kiselina, npr. dioktil-ftalata) i lako se prerađuje. S povećanjem udjela omekšavala smanjuju se prekidna čvrstoća, modul elastičnosti i staklište, a povećava se prekidno istezanje i udarna žilavost te poboljšavaju ukupna mehanička svojstva pri nižim temperaturama.

Polivinil-klorid najčešće se prerađuje ekstrudiranjem i kalandriranjem te injekcijskim prešanjem, puhanjem i vakuumskim oblikovanjem. Ima mnogostruku primjenu, ponajprije u građevinarstvu za izradbu prozorskih okvira, oluka, roleta, tapeta, podnoga linoleuma, odvodnih cjevovoda, boca, ambalaže za lijekove i kozmetiku, a zbog male propusnosti za vlagu i plinove rabi se u obliku folija za pakiranje živežnih namirnica. Dobrih je električnih izolacijskih svojstava pa u elektroindustriji služi za izradbu kućišta, a najviše za izolaciju električnih kablova. Pjenasti polivinil-klorid rabi se u proizvodnji umjetne kože, presvlaka za namještaj i vozila, u izradbi putnih torbi itd. (Andrady i Neil, 2009.).

## **2.4. Plastični aditivi**

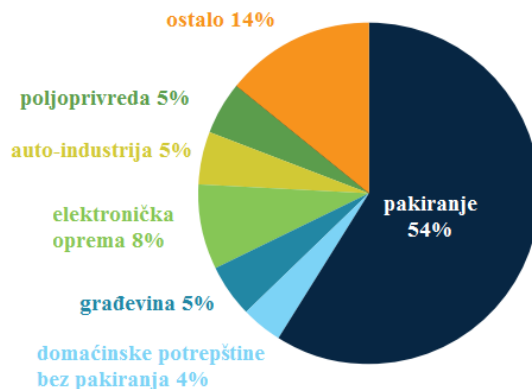
Plastika se rijetko koristi sama po sebi. Najčešće su plastični spojevi pomiješani s drugim materijalima koji se nazivaju aditivi kako bi se poboljšala učinkovitost. Oni mogu uključivati anorganska punila (npr. ugljik ili silicijev dioksid) za učvršćivanje plastičnoga materijala, termičke stabilizatore koji omogućuju obradu plastike na visokim temperaturama, plastifikatore koji čine materijal savitljivim i fleksibilnim, usporivačima vatre koji sprečavaju paljenje te UV stabilizatore kako bi se spriječilo oštećenje izloženo sunčevoj svjetlosti. Boje, sredstva za matiranje, sredstva za zamućivanje i aditivi za sjaj mogu se također upotrijebiti za poboljšanje izgleda plastičnoga proizvoda. Aditivi su često najskuplja komponenta materijala pa se stoga redovito pri primjeni aditiva nastoji koristiti minimalna količina potrebna za postizanje određene razine učinkovitosti. Aditivi su pomiješani s polimerom ili spojeni u materijal koji se prerađuje u konačni proizvod.

U većini zemalja uporaba aditiva strogo se kontrolira, osobito u kontaktu s hranom, lijekovima i igračkama. Njihova se uporaba neovisno nadzire od strane pojedinih državnih tijela kako bi se osiguralo da su zdravlje i sigurnost potrošača zaštićeni od izlaganja bilo kakvom dodatku koji bi mogao prijeći iz plastike na zapakirani proizvod (Thompson, Moore i dr., 2009.).

## **3. PLASTIČNI OTPAD U OKOLIŠU**

Plastika je otkrivena potkraj 19. st., a danas imamo posla s 8,3 milijarde tona te supstance, od čega je više od 6,3 milijarde tona postalo otpad. Od tog otpada, čak 5,7 milijardi tona nikada nije reciklirano. Ovi podatci su zastrašujući, ali ako razmislimo kako tolika količina plastičnoga otpada dopijeva u okoliš, zasigurno će se krivac pronaći u plastici za jednokratnu uporabu. Naime, otprilike 40% od više od 406 milijuna tona plastike, koliko se proizvede svake godine, za jednokratnu je uporabu, odnosno za bacanje. Veći dio toga upotrebljava se za pakiranje, s namjenom da se odbaci ubrzo nakon kupnje. Zato nije nikakvo čudo što je okoliš ugrožen jer je porast proizvodnje plastike uvelike nadmašio naše mogućnosti za uklanjanjem otpada.

Grafikon 1: Plastični otpad u EU (Izvor: European Commission, 2018)



Skupina znanstvenika objavila je 2013. godine novi pristup jednokratnoj uporabi plastičnoga posuđa. U časopisu *Nature* izjavili su da jednokratnu plastiku ne bi trebalo smatrati olakšicom za kućanstva, nego rizičnim materijalom. Posljednjih godina porast proizvodnje najviše je uzrokovan proširenom uporabom jednokratne plastične ambalaže u zemljama u razvoju u Aziji, gdje sustav zbrinjavanja otpada ili nije dovoljno razvijen ili ga uopće nema. Pritom su Kina, Indonezija, Filipini, Vijetnam i Šri Lanka najveći proizvođači nerekiciranoga plastičnog otpada na svijetu. Problem nastaje, naravno, onoga trenutka kada odbačena plastika završi u okolišu. Tako primjerice plastična vrećica, čiji je „radni vijek“ otprilike 15 minuta, završava na tlu negdje u okolišu, a zbog kemijske strukture materijala od kojega je ta plastična vrećica proizvedena, razgradnja će trajati i do nekoliko stoljeća. Međutim, koliko je problem zagađenja okoliša plastikom velik, saznajemo tek kada promotrimo što se sve događa nakon što se plastika nađe u okolišu. Većina zapravo završi u oceanu. Između 4,8 i 12,7 milijuna tona svake se godine izruči samo iz priobalnih područja. Međutim, najveći dio nije bačen s brodova, nego je nemarno bačen na tlo ili u neku rijeku. Zatim to vjetar otpuše ili rijeka odnese u more. Jedan dio plastike ubit će morske vrste tako što će se zaplesti i zadaviti plastičnim predmetima, ali veliki dio posljedica nije uopće vidljiv (Earle, 2018.).

### 3.1. Utjecaj plastičnoga otpada na svjetske oceane

Plastični se otpad može naći u svim oceanima od Arktika do Antarktike, od površine do morskoga dna. Rijeke su pritom glavni putevi kojima plastično smeće stiže u oceane, a čak 15 od 20 najzagađenijih rijeka na svijetu nalazi se u Aziji. Struje koje se u smjeru kazaljke na satu vrtlože oko sjevernoga dijela Tihog oceana nakupljaju otpatke i gomilaju ih u arhipelage plutajućega smeća veličine milijun četvornih kilometara. Plastika se gomila i na plažama udaljenih otoka južnoga dijela Tihog oceana kao što je otok Henderson, više od 5000 kilometara udaljen od naseljenih središta.

Zanimljivo je spomenuti projekt američke internet platforme *Axios*<sup>1</sup> u kojemu je umjetnik Steve McPherson prikupljao plastične predmete koje je more izbacilo na obale Engleske. McPherson je te predmete pretvorio u prekrasne dijelove umjetničkoga djela, suočavajući tako publiku s podrijetlom tih objekata i problemom zagađenja okoliša plastikom. Cilj je bio potaknuti na razmišljanje o konzumerskim navikama i stilu života koji su nas doveli do ekološkog problema toliko velikih razmjera. Počevši prikupljati plastiku iz oceana još kao dijete, McPherson je nakon nekog vremena došao do zastrašujućih činjenica vidjevši što se sve nalazi u oceanu. Tu su između ostaloga i dijelovi proteza, umjetni nokti, *Lego* kockice, dijelovi dječjih igračaka poput udova lutaka, dijelovi kompjuterskih tipkovnica, zatim šiljila za olovke i plastične žličice. Dio onoga što potiče McPhersonovu umjetnost jest činjenica koliko je plastika sveprožimajuća. Smatra da ljudi ne razumiju dubinu problema zagađenosti plastikom i problema vlastite uporabe plastike jer smo doslovno zasićeni plastikom.<sup>2</sup>

---

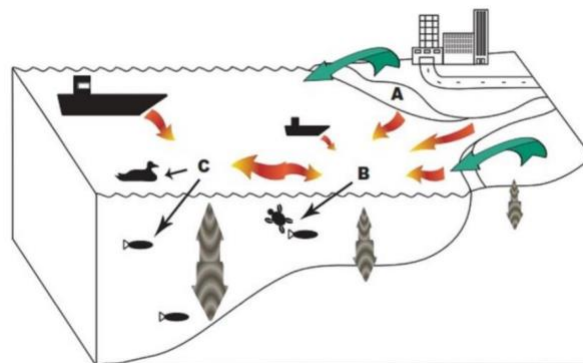
<sup>1</sup> <https://www.axios.com/>

<sup>2</sup> <https://www.axios.com/ocean-trash-plastic-art-64a1c6fa-d2f8-4a4a-84a7-795d26607fe0.html>



Slika 4: Plastični objekti nađeni na engleskoj obali, 1994. - 2019. Fotografija: Steve McPherson

Na prikazu koji slijedi može se vidjeti što se događa kada plastika jednom uđe u ocean. Zelene strelice prikazuju krhotine otpuhane vjetrom, sive strelice prikazuju vertikalno kretanje kroz vodu sve do morskoga dna. Crne strelice upućuju na to da živa bića gutaju plastiku i čestice plastike te se zapliću u nju, a crvene strelice prikazuju kako se plastični otpad širi vodom. Vidljivo je da plastika koja je izravno ispuštena iz naselja utječe najprije na obalni pojas gdje se taloži (A), a zatim djeluje na organizme koji žive u vodi. Posredno ima utjecaj i na ptice te druge životinje koje se hrane ribama i drugim organizmima (C).



Slika 5: Shematski prikaz ulaska plastičnog otpada u more i utjecaja na okoliš (Isangedighi i Obot, 2017.)



Znanstvenici su zapravo otkrili samo jedan posto plastike od količine za koju su očekivali da pluta po morskoj površini, a ostatak je nestao. Pretpostavka je da je mogući razlog tome taj da se plastika razgrađuje na sitne dijelove pa su najveći dio plastike posve sićušna zrnca.

U akademskome članku iz 2004. godine Richard C. Thompson skovao je naziv mikroplastika, misleći na sićušne komade koji se masovno akumuliraju u svjetskim oceanima. Thompson i njegovi studenti proveli su istraživanje koje je pokazalo da valovi i sunce razbijaju plastiku na sitne dijelove. Osim toga, u laboratorijskim pokusima promatrali su amfipode vrste *Orchestia gammarellus*, sićušne ljuskare slične škampima, uobičajene u europskim priobalnim vodama, kako proždiru plastične vrećice i ustanovili da jednu vrećicu mogu razgraditi na 1,75 milijuna mikroskopskih komadića. Plastične komadiće zatim ili ispljunu ili izbace s izmetom. Tako se mikroplastika nalazi posvuda u moru, od sedimenta na najdubljem morskom dnu pa do plovećih ledenih santi na Arktiku. U različitim vrstama riba koje su uhvaćene u zaljevu *Plymouth* na sjeveroistočnoj obali SAD-a pronađena je mikroplastika (Earle, 2018.). To je otkriće dospjelo na naslovnice novina diljem svijeta, što ne čudi jer je posve razumljivo kako ta mikroplastika može završiti i u tijelima drugih životinjskih vrsta koje se ne nalaze u moru, a tako i u ljudskim tijelima.

### **3.2. Zagađenje plastikom u Republici Hrvatskoj**

Problem plastičnoga otpada ne zaobilazi ni Republiku Hrvatsku koja se suočava s velikom količinom plastičnoga otpada kao dijela miješanog otpada uslijed slabo organiziranog sortiranja. Iako se sortira plastični otpad tzv. PET ambalaže, to nije ni približno dovoljno za rješenje problema zagađenja plastikom. Prema podacima udruge proizvođača plastike *Plastic Europe*, Hrvatska reciklira tek nešto između četvrtine i petine plastike, a nekoliko postotaka plastike energetski koristi. Istina, Hrvatska tek rubno sudjeluje u upotrebi plastike u Europi, ali više od 75% njezine plastike završi u smeću (HINA, 2018).

S obzirom na povezanost Jadranskoga mora i Mediterana, posebno je za Hrvatsku važno što se velike količine otpada talože u Mediteranskome moru koje time postaje jedno

od najzagađenijih mora svijeta. Sredozemno more jedno je od najistraženijih pomorskih regija na svijetu, ali podatci o morskome otpadu još su nepotpuni za regiju, zbog čega se procjene koje se odnose na masu ili količinu plastike razlikuju. Zemlje koje ispuštaju većinu plastike u Sredozemno more su Turska (144 tone na dan), Španjolska (126), Italija (90), Egipat (77) i Francuska (66). Plastično zagađenje može utjecati na ključne gospodarske sektore na Mediteranu, posebno na ribarstvo i turizam. Procjenjuje se da će morski otpad godišnje koštati ribarsku flotu EU-a 61,7 milijuna eura zbog smanjenja ulova ribe, oštećenja plovila ili smanjene potražnje morskih plodova zbog zabrinutosti u pogledu kvalitete ribe. Onečišćene plaže također mogu obeshrabriti posjetitelje, što dovodi do smanjenja broja radnih mjesta i prihoda te povećanih troškova za čišćenje plaža i luka. Grad Nica primjerice svake godine troši oko 2 milijuna eura kako bi osigurao da plaže ostanu čiste (WWF Report, 2018).

Zahvaljujući morskim strujama otpad u Jadran dolazi s Mediterana preko Grčke i Albanije. Pri tome veći problem ipak predstavlja otpad koji je upravo u tim zemljama proizveden. Ovo pitanje često se pojavljuje u hrvatskim medijima. Prvenstveno je pritome riječ o otpadu koji dolazi iz Albanije posredstvom morskih struja, ali isto tako i djelovanjem valova tijekom snažnoga juga. Međutim, značajan dio otpada odbacuje se i u samoj Hrvatskoj. Prema podacima HINE iz 2018. godine pronađeno je 6,3 milijarde tona plastike u otpadu, a predviđa se da će je 2050. godine biti dvostruko više. „Zelena akcija“ pak upozorava da se u Hrvatskoj godišnje proizvede oko 200 milijuna plastičnih vrećica, od čega se zbog visokih troškova tek oko jedan posto reciklira. Tako možemo zaključiti da se najveći problem nalazi u veoma slaboj organizaciji sortiranja otpada i reciklaže. Iako postoje postrojenja za reciklažu, ona nisu nimalo zadovoljavajuća za količinu plastičnoga otpada koji Hrvatska proizvodi. Ovdje se ponovno javlja pitanje proizvodnje jednokratnih plastičnih predmeta, koji će od 2021. godine biti zabranjeni u EU-u pa tako i u Hrvatskoj, što možemo smatrati prvim korakom u borbi s plastičnim zagađenjem okoliša u Europi.

## 4. RAZGRADIVA PLASTIKA

Kao što je u radu objašnjeno, konvencionalna plastika sintetički je materijal dobiven iz derivata nafte, koji je veoma izdržljiv i štetan za okoliš. Riješiti se plastike jednom kada je proizvedena, veoma je teško. Spaljivanje plastičnoga otpada oslobađa toksične spojeve kao što je dioksin, za kojeg je dokazano da uzrokuje mnoge bolesti, a između ostaloga i rak. Prikupljanje i recikliranje plastike pak, iznimno je zahtjevan i dugotrajan proces jer postoji mnogo različitih vrsta plastike koje zahtijevaju različite procese prerade. Kada bismo upotrebljavali samo malu količinu plastike, ne bismo se suočavali s ekološkim problemima s kojima se suočavamo, međutim, danas se praktički gušimo u plastici i stanje je alarmantno. Osim štetnoga utjecaja na prirodu, postoji i ekonomski problem u vezi s proizvodnjom tradicionalne plastike. Naime, većina plastike proizvodi se od nafte, od izvora koji je neobnovljiv i postaje sve skuplji. Zato možemo zaključiti da današnja proizvodnja plastike nikako nije u skladu s konceptom održivoga razvoja. Zbog svega navedenoga, pristupa se razvijanju alternativnih materijala koji bi bili ekološki prihvatljiviji i u skladu s konceptom održivoga razvoja. Ovdje govorimo o biorazgradivoj plastici, odnosno o bioplastici. Budući da je potrebno reći ponešto o samome nazivlju i pojmovima u vezi s ovim materijalima, objasniti ćemo detaljnije o čemu se radi.

Ponajprije je potrebno objasniti što znači sami pojam razgradnje. Kako R. Cho (2017) objašnjava, sva je plastika razgradiva, čak i tradicionalna plastika, ali samo zato što se može razbiti na sitne fragmente ili prah, ne znači da će se materijali ikada vratiti prirodi. Međutim, neki dodatci tradicionalnoj plastici ubrzavaju razgradnju. Fotorazgradiva plastika primjerice lakše se raspadne na suncu, a oksorazgradiva plastika brže se raspada kada je izložena toplini i svjetlu. Biorazgradiva plastika pak, može se potpuno razgraditi u vodu, ugljični dioksid i kompost, ali pod utjecajem mikroorganizama i u pogodnim uvjetima. Dakle, pojam biorazgradivo podrazumijeva da se razgradnja događa u tjednima ili mjesecima. Bioplastika koja se ne razgrađuje tako brzo, naziva se ponekad i izdrživa plastika, a neki materijali proizvedeni od biomase koji se ne mogu jednostavno razgraditi, smatraju se nerazgradivima, dok će se kompostabilna plastika razgraditi u kompost. Mikroorganizmi će je razgraditi na ugljični dioksid, vodu, anorganske spojeve i biomasu istom brzinom kao i ostale organske materijale u kompostnome otpadu, ne ostavljajući

toksični ostatak. Prema tome, klasifikacija bioplastike može biti sljedeća: postoji plastika na bioosnovi, koja naglasak stavlja na izvor materijala, ugljikove gradivne blokove, a ne na ponašanje nakon vijeka trajanja proizvoda te zatim biorazgradiva plastika koja naglasak stavlja na ponašanje nakon vijeka trajanja proizvoda. Kao što je već objašnjeno, plastika na bioosnovi ne mora nužno biti i biorazgradiva (Pilipović, 2015).

#### **4.1. Biorazgradiva plastika iz obnovljivih izvora**

Glavne vrste biorazgradivih polimera su:

- polimljična kiselina (polilaktid ili PLA)
- termoplastični škrob (TPS)
- poli(etilen-furanoat) (PEF)
- poliesteri mikrobiološkoga podrijetla ili polihidroksialkanoati (PHA)
- celulozni esteri, regenerirana celuloza
- drvo i drugi prirodni materijali.

Najpoznatije vrste biorazgradive plastike su:

##### **1. Polilaktid (PLA)**

Polilaktid ili polimljična kiselina proizvodi se polikondenzacijom mliječne kiseline. Mliječna kiselina pak proizvodi se iz kukuruznoga škroba metodom bakterijske fermentacije. PLA se koristi za izradu brizgane ambalaže, plastificiranoga papira i ekstrudirane trajne i termooblikovane folije.

##### **2. Polimerni kompoziti koji sadržavaju škrob**

Polimerni kompoziti koji sadržavaju škrob upotrebljavaju se za proizvodnju elastičnih i izdrživih folija, pladnjeva, posuđa, pjenastih punila i ambalaža za transport, trajne ambalaže oblikovane brizganjem te za premaze za papir i karton.

##### **3. Polihidroksialkanoati (PHA)**

Polihidroksialkanoati su velika skupina kopolimera različitih svojstava koje lako možemo prilagoditi promjenom kemijskoga sastava kopolimera. Za proizvodnju se koristi laktoza iz sirutke, glicerol i škrob, a za razgradnju se koriste kemijska sredstva ili enzimi. Proizvodi napravljeni od PHA razgradljivi su u mikrobiološkome okolišu.

## **4.2. Biorazgradiva plastika iz fosilnih izvora**

Kao što je već rečeno, plastika načinjena od fosilnih izvora (nafte, ugljena, plina) može se također razgraditi. Primjeri biorazgradivih polimera iz fosilnih izvora su:

- sintetički alifatski poliesteri: polikaprolakton (PCL), poli(butilen-sukcinat) (PBS)
- poli(etilen-tereftalat sukcinat) (PETS)
- poli(vinil-alkohol) (PVOH).

## **4.3. Oksorazgradiva plastika**

Oksorazgradiva plastika je poliolefinska plastika kojoj je dodana određena količina soli metala koji potiču razgradnju plastike do mikrofragmenata. Dodatak aditiva omogućava fragmentaciju plastike, ali mineralizacija u slučaju oksorazgradive plastike nije dokazana. Dijelovi plastike i metala ostaju u okolišu, ali nisu vidljivi. Za taj proces potreban je kisik i povišena temperatura. Aditivi koji se koriste su soli teških metala, kao olovo i kobalt. Ova je plastika dostupna na tržištu i često je reklamirana kao biorazgradiva plastika, što nije potpuno opravdano.

## **4.4. Bioosnovana plastika**

Bioosnovana plastika je plastika u kojoj je jedan dio ugljika u makromolekularnoj masi iz obnovljivih izvora. Primjer bioplastike je tzv. „zeleni polietilen“ koji se dobiva polimerizacijom etilena prethodno dobivenoga fermentacijom organskih materijala. Postoji više različitih „zelenih polietilena“ veće ili manje gustoće (Tepeš, 2016).

## 5. POTENCIJAL PROIZVODNJE I PRERADE BIOPLASTIKE

U posljednjih nekoliko godina svijest o potrebi tzv. “eko-proizvoda” raste te zbog toga i tržište i proizvodnja bioplastike doživljava veliki rast. Jedan od ciljeva je i taj da se sve više okrenemo obnovljivim izvorima energije i riješimo ovisnosti o neobnovljivim izvorima.

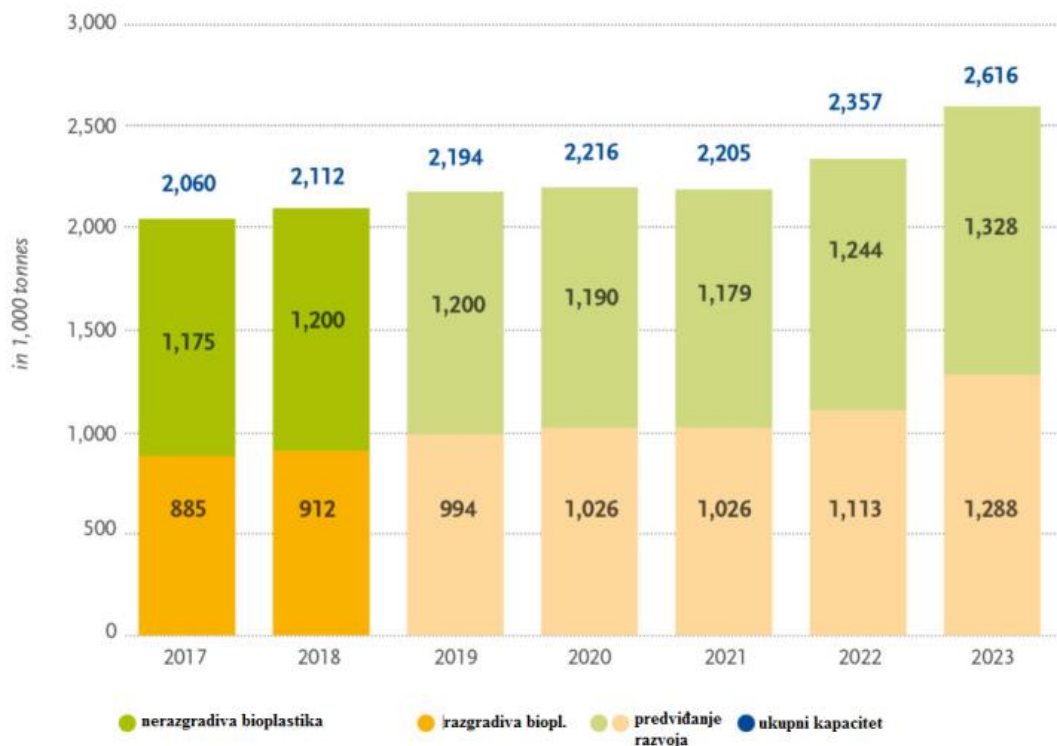
Danas se bioplastika uglavnom proizvodi od sirovina na bazi agroindustrije, odnosno biljaka koje su bogate ugljikohidratima, kao što su kukuruz ili šećerna trska. U isto vrijeme, industrija bioplastike ulaže u istraživanje i razvoj kako bi diversificirala dostupnost biogene sirovine za proizvodnju bioplastike. Industrija posebno nastoji dalje razvijati tehnologije fermentacije koje omogućuju korištenje izvora ligno-celuloznih sirovina, primjerice neprehrambenih usjeva, ali i poljoprivrednih otpadnih materijala (Ißbrücker, 2018).

Biološka, biorazgradiva plastika, uključujući biotemeljen PE (polietilen) i biotemeljen PET (polietilentereftalat), kao i biotemeljen PA (poliamid), trenutno čine oko 50% (1 milijun tona) globalnih kapaciteta za proizvodnju bioplastike. Predviđa se da će proizvodnja bioPET-a nastaviti rasti jer se u Europi planiraju novi kapaciteti u narednim godinama. Međutim, namjere povećanja proizvodnih kapaciteta za bioPET nisu ostvarene po stopi predviđenoj za prethodne godine. Umjesto toga, fokus je preusmjeren na razvoj PEF-a (polietilenfuranoata), novog polimera, za koji se očekuje da će ući na tržište 2023. godine. PEF je usporediv s PET-om, ali je potpuno biobaziran i ima superiorna barijerna i toplinska svojstva, čineći ga idealnim materijalom za boce pića. Očekuje se da će 2023. godine polipropilen na biološkoj osnovi ući na tržište u komercijalnome mjerilu s velikim potencijalom rasta (European Bioplastics, 2018).

Predviđanja su da će se u sljedećih nekoliko godina povećati proizvodnja bioplastike na globalnoj razini. Inovativni biopolimeri kao što su PLA (polilaktična kiselina) i PHA (polihidroksialkanoati) bit će vodeći. PHA su važna polimerna skupina koja se razvija već neko vrijeme i koja ulazi na tržište u većim komercijalnim razmjerima, a proizvodni kapaciteti učetverostručit će se u sljedećih nekoliko godina. Ovi poliesteri bazirani su na organskim sirovinama, biorazgradivi su i imaju široku lepezu fizičkih i mehaničkih svojstava. Proizvodni kapaciteti PLA-a udvostručit će se do 2023. godine.

PLA je vrlo svestran materijal koji ima izvrsna izolacijska svojstva. Visokoučinkovita PLA plastika idealna je zamjena za više vrsta konvencionalnih plastičnih proizvoda na bazi fosila, kao što su PS (polistiren) i PP (polipropilen). Ipak, kao što je vidljivo na grafikonu u nastavku, problem predstavlja činjenica da će i dalje dominantna biti biološki nerazgradiva bioplastika. Iz godine u godinu povećavat će se proizvodnja bioplastike, no udio biorazgradive plastike i dalje iznosi tek oko polovice ukupne proizvodnje plastike.

**Grafikon 2: Potencijal razvoja bioplastike (Izvor: European Bioplastics, 2018)**



Postoji povećan interes za korištenje obnovljivih izvora za pripremu alternativnih materijala za konvencionalne plastike na bazi nafte koji bi kombinirali obnovljivost i biorazgradivost s funkcionalnošću. Nekoliko je zanimljivih primjera alternativnome pristupu izrade bioplastike koji su vrijedni spomena:

- FullCycleBioplastics u Kaliforniji proizvodi bioplastiku iz organskoga otpada kao što je otpad od hrane, biljni ostatci kao što su stabljike i nejestivi listovi, vrtni otpad i nerekicirani papir ili karton. Koristi se za izradu vrećica, ambalaže, pribora za jelo i sl. Njihova bioplastika je biorazgradiva u obliku kompostiranja u zemlji, razgradiva je u moru

(što znači da, ako završi u oceanu, može poslužiti kao riblja ili bakterijska hrana) i nema toksičnih učinaka. Ukoliko se proizvod sakupi ranije, može ga se koristiti za novu izradu plastike.

- Tvrtna Renmatix sa sjedištem u Pennsylvaniji koristi drvenu biomasu i ostatke usjeva umjesto skupih usjeva za hranu. Njihova tehnologija razdvaja šećere iz biomase koristeći vodu i toplinu umjesto kiselina, otapala ili enzima u relativno čistom, brzom i jeftinom postupku. I šećeri i materijali iz biomase zatim se koriste kao građevni blokovi za bioplastiku i druge bioproizvode.
- Na državnome sveučilištu u Michiganu znanstvenici pokušavaju smanjiti troškove proizvodnje bioplastike korištenjem cijanobakterija, također poznatih kao plavo-zelene alge, koje koriste fotosintezu sunčevom svjetlošću za proizvodnju kemijskih spojeva. Ovi znanstvenici genetski modificiraju cijanobakterije kako bi stalno izlučivale šećer koji prirodno proizvode. Bakterije koje proizvode plastiku tada konzumiraju šećer proizveden od cijanobakterija, koji se može ponovno upotrijebiti.
- Centar za održive tehnologije na Sveučilištu *Bath* u Engleskoj izrađuje polikarbonat od šećera i ugljičnoga dioksida za uporabu u bocama, lećama i premazima za telefone i DVD-ove. Tradicionalna polikarbonatna plastika izrađena je pomoću BPA (zabranjena za uporabu u bocicama za bebe) i toksičnoga kemijskog fosgena. Istraživači u *Bathu* pronašli su jeftiniji i sigurniji način dodavanja ugljičnoga dioksida šećerima na sobnoj temperaturi. Bakterije u tlu mogu razgraditi bioplastiku u ugljični dioksid i šećer.
- Jedna meksička kompanija pretvara koštice avokada u potpuno biorazgradivu plastiku. Scott Mungía je kemijski inženjer, motiviran za rješavanje problema zagađenja plastikom. Nakon godina istraživanja došao je do načina da iz koštice avokada dobije biopolimer koji se onda može oblikovati. Većinu svog proizvoda izvozi u SAD, Kanadu, Costa Ricu, Kolumbiju i Peru, a manji dio prodaje u vlastitoj zemlji.

Što se proizvodnje bioplastike i bioplastičnih proizvoda u Hrvatskoj tiče, vrijedno je spomenuti *Ecowelt* ambalažu tvrtke *Welplast*. Tvrtna je jedna od prvih u Hrvatskoj koja već duži niz godina posjeduje tehnologiju za recikliranje polimernih materijala. *Welplast* slijedeći praksu zaštite i očuvanja okoliša i prihvaćajući kriterije održivog razvoja, razvila je paletu ekološki prihvatljivih proizvoda, zaštićenog naziva *EcoWelt*. Naglasak je stavljen na biorazgradivost i kompostiranje. To znači da se ambalaža dobiva procesom



ekstrudiranja BASF-ove sirovine, a BASF je vodeći proizvođač sintetske stopostotne biorazgradive i kompostirajuće plastike temeljene isključivo na bio-osnovi. Također, ambalažni proizvodi u potpunosti udovoljavaju zahtjevima norme koja utvrđuje kriterije biorazgradivosti i kompostiranja, te kvalitetu komposta, a usklađeno s Europskom Direktivom o ambalaži i ambalažnom otpadu.<sup>3</sup>

Još jedna hrvatska tvrtka koju treba spomenuti jest *EcoCortec*. Poduzeće koje se naziva „prvom hrvatskom tvornicom bioplastike“<sup>4</sup>. Kako se može doznati, njihov glavni proizvod je ambalaža, a predstavljaju inovativnog proizvođača i dobavljača ambalažnog materijala. Reklamiraju svoju biorazgradivu ambalažu koju nazivaju ambalažom budućnosti. Njihova tehnologija, kako tvrde, predstavlja u potpunosti biorazgradive filmove i folije napravljene od obnovljivih izvora. Iako i na njihovoj internetskoj stranici stoji da istraživanja pokazuju da bi 63% kupaca radije kupilo proizvod pakiran u ekološki prihvatljivu, biorazgradivu ambalažu u odnosu na tradicionalnu, u razgovoru s direktoricom *EcoCorteca* saznalo se da nažalost ipak većina njihovih kupaca bira ambalažu od tradicionalne plastike jer im je cijena ambalaže od bioplastike neprihvatljiva. Naime, direktorica tvrdi da tvrtka ne bi isplativo poslovala da proizvodi samo bioplastičnu ambalažu.

## 5.1. Proizvodnja bioplastike kao konkurencija proizvodnji hrane

Prema procjeni koju je objavio *European Bioplastics* krajem prošle godine, površina zemljišta korištena za uzgoj biomase za proizvodnju bioplastike u 2017. godini iznosila je 0,016% globalne poljoprivredne površine, od čega se 97% koristi za uzgoj hrane i hrane za životinje. Čak i uz predviđene visoke stope rasta industrije bioplastike u narednim godinama, udio korištenja zemljišta tek će se neznatno povećati na 0.021% poljoprivredne površine do 2022. godine.

Kao što je vidljivo na slici koja slijedi, obradive površine koje se koriste za proizvodnju bioplastike i dalje su zanemarive u usporedbi s obradivim površinama korištenima za druge svrhe. Ipak treba imati na umu kako je prioritet osiguranje dovoljne

---

<sup>3</sup> <https://www.weltplast.com/proizvodi.html>

<sup>4</sup> <http://www.ecocortec.hr/products.php>

količine hrane za stanovništvo. Uslijed stalnog povećanja broja stanovništva na planeti, problem hrane postaje nažalost sve važnije pitanje i stoga je iskorištavanje obradivih površina za uzgoj bioplastike stavljeno u drugi plan. Prikazani dijagram također jasno pokazuje da ne postoji konkurencija između uporabe biomase za proizvodnju bioplastike i uporabe biomase za hranu i hranu za životinje.



Slika 6: Procjena upotrebe zemljišta za proizvodnju bioplastike (Izvor: European Bioplastics, 2018)

Postoje različiti načini za osiguranje dostatne količine biomase za proizvodnju hrane, hrane za životinje i materijala (uključujući bioplastiku) kako bi se uspješno razvijala proizvodnja hrane koja će zadovoljiti potrebe globalnoga stanovništva, ali i kako bi se mogla povećati proizvodnja bioplastike i drugih komercijalnih materijala organskoga podrijetla. To uključuje:

- širenje baze sirovina: industrija bioplastike trenutno radi uglavnom s agrosirovinama. Međutim, nekoliko projekata već istražuje korištenje biljnih ostataka ili druge ligno-celulozne sirovine
- povećanje prinosa: poboljšanje učinkovitosti industrijske konverzije sirovina u materijale, na primjer korištenjem naprednih ili posebno prilagođenih mikroorganizama i optimiziranih fizičkih i kemijskih procesa koji bi povećali ukupnu dostupnost resursa

- korištenje neobrađene zemlje u proizvodnji: još uvijek ima mnogo obradivoga zemljišta u različitim geografskim regijama neiskorištenog u poljoprivrednoj proizvodnji, čak i u zemljama EU-a, koji bi se mogli koristiti u budućnosti.

Poljoprivredni usjevi, koji se odgovorno snabdijevaju i koji se prate, i dalje su glavna opcija za bioplastiku jer su zbog učinkovitosti veoma pogodni u odnosu na neprehrambene usjeve. Štoviše, uporaba nusproizvoda usjeva hrane, koja je često ligno-celulozna sirovina, dodatno bi povećala učinkovitost resursa. Postoje dokazi da industrijska i materijalna uporaba biomase zapravo može poslužiti kao stabilizator cijena hrane, pružajući poljoprivrednicima sigurnije tržište i time dovodeći do održivije proizvodnje. Neovisni sustavi certificiranja treće strane za održive izvore i odgovorne poljoprivredne prakse već postoje i mogu pomoći u uzimanju u obzir društvenih, ekoloških i ekonomskih kriterija te osigurati da su bioplastike korisne inovacije (Urth Path, 2018). S obzirom na regionalni razvoj kapaciteta, Azija ostaje glavno proizvodno središte s više od 50% bioplastike koja se trenutno proizvodi. Trenutno se samo jedna petina proizvodnih kapaciteta nalazi u Europi. Predviđa se da će taj udio porasti do 27% do 2023. godine. Očekivani rast bit će podržan nedavno usvojenim politikama u nekoliko europskih država članica, kao što su Italija i Francuska (European Bioplastics, 2018).

## **5.2. Upravljanje otpadom, mogućnosti uporabe bioplastike te utjecaj na okoliš**

Kao što je već rečeno, nije sva bioplastika u jednakoj mjeri razgradiva i nema sva bioplastika jednak utjecaj na okoliš, međutim razvoj i proizvodnja bioloških plastičnih proizvoda omogućuje ekološki prihvatljiviju alternativu, posebice za ambalažu i predmete za jednokratnu uporabu. Materijali kao što su škrob i celuloza koriste se kao zamjena za izvore fosilnih goriva u proizvodnji plastike. No često se raspravlja o utjecaju proizvodnje takve vrste plastike na okoliš. Ovdje su tema mjerila za očuvanje prirode, kao npr. potrošnja vode, potrošnja energije, krčenje šuma itd.

Iako proizvodnja bioplastike štedi više obnovljive energije od proizvodnje tradicionalne plastike i emitira manje stakleničkih plinova, ona također ima negativan utjecaj na okoliš, kao što je eutrofikacija i zakiseljavanje. Eutrofikacija predstavlja proces starenja vodenih ekosustava, najčešće jezera i bara. U prirodi taj proces traje tisućama

godina dok se pod čovjekovim utjecajem (zbog velikog unošenja različitih otpadnih tvari, kao što su umjetna gnojiva te bioplastika) ubrzava proizvodnja organskih tvari fotosintezom te se time proces skraćuje na samo nekoliko godina. U procesu eutrofikacije vodenih sustava intenzivno rastu alge, smanjuje se količina kisika i postupno izumiru životinjske vrste, a vodeni ekosustavi (obično jezera) mijenjaju boju u tamnozelenu i smeđu. Proizvodnja bioplastike inducira veće potencijale eutrofikacije od proizvodnje tradicionalne plastike. Proizvodnja biomase tijekom industrijske poljoprivredne prakse uzrokuje ispuštanje nitrata i fosfata u vodu, što uzrokuje eutrofikaciju. Eutrofikacija je prijetnja vodnim resursima širom svijeta jer ubija vodene organizme, stvara mrtve zone i uzrokuje štetna cvjetanja algi (Miles, 2018). Usto, proizvodnja bioplastike i drugih biomaterijala povećava oštećenje ozonskoga omotača u stratosferi. To je posljedica emisija dušikova oksida prilikom primjene gnojiva u industrijskome uzgoju biomase. Osim toga, toksičnost povećavaju i pesticidi koji se koriste na usjevima. Vozila za žetvu, primjerice, također ispuštaju ugljični dioksid. Osim svega navedenoga, potrebno je dodati i problem visoke potrošnje vode pri uzgoju biomase, erozije tla, gubitka ugljika u tlu i gubitka biološke raznolikosti.

Proizvodnja većine bioproizvoda ima potrebu za postrojenjima u kojima se postiže veoma visoka temperatura za kompostiranje, a vrlo malo gradova ima infrastrukturu potrebnu za adekvatno pokretanje takvih postrojenja. Zbog toga bioplastika često završi na odlagalištima gdje bez prisustva kisika može osloboditi metan, staklenički plin s 23 puta većim stakleničkim potencijalom od ugljičnoga dioksida. Osim toga, ta bioplastika može kontaminirati već recikliranu plastiku i cijelu infrastrukturu za recikliranje.

Unatoč svemu, proizvodnja bioplastike i dalje je dobar izbor. Ona proizvodi znatno manje emisije stakleničkih plinova. Nema izravnoga povećanja ugljičnoga dioksida kada se razgrađuje jer su biljke koje se proizvode za izradu bioplastičnih materijala prilikom rasta i razvoja apsorbirale približno jednake količine ugljičnoga dioksida. Studija iz 2017. godine utvrdila je da bi prelazak s tradicionalne plastike na bioplastiku baziranu na kukuruznome škrobu mogla smanjiti emisiju stakleničkih plinova u SAD-u za 25%. Studija je također dokazala da ako se tradicionalna plastika proizvodi pomoću obnovljivih izvora energije, emisija stakleničkih plinova smanjuje se za 50 do 75% (Axion inc., 2018).

Ono što je svakako vrijedno spomena jest upravljanje biootpadom. Bioplastika je prikladna za širok raspon opcija na kraju svoga životnog vijeka, uključujući ponovnu uporabu, mehaničko recikliranje, organsko recikliranje i obnovu energije. Veoma veliki dio proizvedene bioplastike može se lako reciklirati. Na taj način bioplastika doprinosi većim kvotama recikliranja u EU i provedbi kružnoga gospodarstva. Nadalje, korištenje biorazgradivih i kompostabilnih plastičnih proizvoda, kao što su biootpadne vrećice, ambalaža za hranu te pribor za jelo, jača industrijsko kompostiranje, odnosno organsko recikliranje i pomaže povećati učinkovitost gospodarenja otpadom. U slučaju da se bioplastika ne može ponovno upotrijebiti ili reciklirati, moguće je koristiti ju u proizvodnji bioenergije. Kao i kod tradicionalne plastike, način na koji se bioplastični otpad ponovno upotrebljava ovisi o vrsti upotrijebljenoga proizvoda, o inherentnim količinama i dostupnim sustavima za ponovnu uporabu. Biorazgradiva plastika smatra se mogućim rješenjem problema ugroženosti okoliša plastičnim otpadom jer se može razgraditi na mikroorganizme bez stvaranja štetnih utjecaja tijekom dekompostacije. Međutim, proces biorazgradnje ovisi o određenim uvjetima u okolini. Proizvodi prikladni za industrijsko kompostiranje prikladni su za uvjete u postrojenju za kompostiranje, ali ne i za one izvan njega, odnosno u prirodi. Zato je neophodno da potrošač i dalje bude svjestan činjenice da bez obzira na vrstu ambalaže i proizvoda, oni moraju biti podvrgnuti odgovarajućim postupcima odlaganja i uporabe. Odlaganje otpada na zajednička odlagališta prepreka je učinkovitoj uporabi resursa. Iako je još uvijek jedna od glavnih opcija u mnogim zemljama u Europi, može se primijetiti kontinuirani napredak prema postepenom ukidanju takvih odlagališta. U 2014. godini oko 31% plastičnoga otpada otišlo je na zajednička odlagališta, 7% manje u odnosu na 2012.<sup>5</sup> Zbog svega navedenog, *European Bioplastics* podržava zabranu odlaganja plastičnoga otpada na zajednička odlagališta, a tako i sve mjere kako bi se povećalo recikliranje i uporaba plastičnoga otpada. Na prikazu koji slijedi može se vidjeti na koji način se plastični otpad i biootpad sortira i dalje obrađuje i reciklira te pretvara u obnovljivu energiju.

---

<sup>5</sup> <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/waste-management/>



**Slika 7: Prikupljanje i prerada otpada**  
(Izvor: <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/waste-management/>)

### 5.3. Moguća rješenja za smanjenje štetnog utjecaja plastike

Plastika je materijal mnogostruke primjene čija proizvodnja i uporaba neprestano rastu. Međutim, ako se trenutni rast potrošnje plastike nastavi istim tempom, prema nekim podacima, na njezinu će proizvodnju otpadati 20% ukupne potrošnje nafte, što će predstavljati 50% globalnih godišnjih emisija ugljika do 2050. godine, a radi se o dozvoljenim emisijama koje su planirane u programu očuvanja klime ispod 2°C porasta prosječne temperature. Kao što je već rečeno, najveći dio plastike proizvodi se iz fosilnih goriva pa se tako za proizvodnju plastike troši oko 6% globalne potrošnje nafte, što je pak ekvivalent potrošnje globalnog zračnog prometa. Jasno je da plastika predstavlja i ekološki i ekonomski problem. Neupitno je da je potrebno promisliti o ekonomskome ciklusu plastike, istražujući mogućnosti nastavka njezinog korištenja uz uživanje svih

prednosti koje ona sa sobom nosi, ali istovremeno umanjujući negativne utjecaje na okoliš, značajno ili pak u potpunosti. Budući da je nerealno očekivati prestanak proizvodnje i uporabe tradicionalne plastike, iz svega navedenoga u ovome radu, nameću se tri moguća rješenja u očuvanju okoliša i održive svjetske ekonomije: iskorištavanje plastike i nakon njezine uporabe, što podrazumijeva i reciklažu, zatim smanjivanje odbacivanja plastike u okoliš te proizvodnja i razvoj bioplastičnih proizvoda. Kako se može doznati, postoji strategija za plastiku u kontekstu Strategije kružnog gospodarstva Europske unije. Ta strategija polazi od toga da je za značajna rješenja potrebno transformirati kompletne sustave. Potrebna je globalna koordinirana akcija pod neovisnim sustavom nadzora. Postojeći sustavi u načinu kako gospodarimo plastikom nastoje se promijeniti uvođenjem kružnoga toka za plastične materijale, promjenom trenda iznimno niskih razina uporabe i reciklaže plastičnih materijala te doprinosom uspostave kružnoga gospodarstva. S ciljem ostvarenja Strategije planira se niz direktiva koje bi trebale definirati uvjete za korištenje jednokratne plastike kao i biorazgradive plastike. Direktivom o infrastrukturi u morskim lukama za prihvat otpada koji nastaje na brodovima, želi se ograničiti morski otpad. Također se nastoji riješiti i problem mikroplastike u okolišu. Potiču se povećana ulaganja u razvoj novih rješenja u gospodarstvu, a ističe se i načelo proširene odgovornosti proizvođača. Ove promjene potencijalno mogu donijeti mnogo izazova za gospodarstvo, a poruka je to i hrvatskome gospodarstvu da se nova rješenja potiču i da mogu predstavljati konkurentsku prednost.<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> <http://ideje.hr/steta-od-plastike-u-okolisu-nadmasuje-profit-svjetske-industrije-plastike-je-li-europska-komisija-nasla-rjesenje/>

## 6. ZAKLJUČAK

Procjenjuje se da otprilike osamnaest milijardi tona plastike godišnje ulazi u oceane. Plastika ubija morske životinje i ugrožava cjelokupnu floru i faunu, ali i ljude. Ljudi konzumiraju ribu iz oceana i rijeka te morsku sol u kojoj se također nalaze mikročestice plastike. Problem zagađenja plastikom globalni je problem koji posljednjih godina postaje sve aktualniji. Sve se češće provode istraživanja o štetnome utjecaju plastike na okoliš pa se povećava interes za pronalaženjem alternativnoga materijala, pri čemu se bioplastika javlja kao potencijalno rješenje.

Bioplastika se može proizvesti pomoću biljnih, životinjskih ili bakterijskih izvora. Određeni materijali od bioplastike su biorazgradivi, što je veoma dobro za buduće očuvanje okoliša. Bioplastika na bazi škroba obično se proizvodi od pšenice, kukuruza, riže, krumpira i ječma. Bioplastika na bazi celuloze obično se proizvode od drveta. Prirodna ulja iz soje, palme i drugih biljaka također su korištena za izradu bioplastike. Druge vrste bioplastike proizvode se uz pomoć bakterija. Genetski modificirani organizmi razvijeni su da povećaju prinos pojedinih bioplastičnih komponenata, a u nekim slučajevima i da proizvedu određene biopolimere. Ukratko, bioplastika dolazi iz širokoga raspona izvora, ali mnoge bioplastike na biljnoj bazi dobivene su iz prehrambenih kultura. Iako je bioplastika veoma dobra alternativa tradicionalnoj plastici, treba napomenuti da je samo dio bioplastike pogodan za zamjenu. To je prije svega biorazgradiva bioplastika.

Uzimajući u obzir neke činjenice, trenutno se proizvodnja bioplastike čini manje ekonomičnom od proizvodnje tradicionalne plastike, međutim raznim vladinim odredbama i mjerama te poticanjem društvene odgovornosti među poduzećima to se može promijeniti. Tako bi se značajan potencijal koji ima bioplastika u budućnosti mogao iskoristiti.



## 7. LITERATURA

1. Andrady, A., i Neil, M., Applications and societal benefits of plastics, Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci, 2009.
2. Andrew Freedman, Special report: Our plastic planet, <https://www.axios.com/axios-deep-dive-global-plastics-crisis-56d0155d-3d95-4f55-8118-1e9cdef7a337.html>
3. Axion inc., Are biodegradable plastics better for the environment?, 2018., <https://axiongroup.co.uk/news/biodegradable-plastics-better-environment/>
4. Cho, R., The Truth About Bioplastics, <https://blogs.ei.columbia.edu/2017/12/13/the-truth-about-bioplastics/>
5. Earle, S., Planet ili plastika?, National Geographic, lipanj 2018.
6. European Bioplastics, New market data: The positive trend for the bioplastics industry remains stable, 2018., <https://www.european-bioplastics.org/new-market-data-the-positive-trend-for-the-bioplastics-industry-remains-stable/>
7. European Comission, European strategy for plastic in circular economy, 2018, <http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/plastics-strategy-brochure.pdf>
8. HINA, Hrvatska na kraju liste: Dok EU zaoštava pravila plastike u moru mi se ne mijenjamo, <https://www.dnevno.hr/vijesti/hrvatska/hrvatska-na-kraju-liste-dok-eu-zaostrava-pravila-plastike-u-moru-mi-se-ne-mijenjamo-1260146/>
9. Isangedighi, I. A., David, G. S., i Obot, I., Plastic Waste in the Aquatic Environment: Impacts and Management, 2017.
10. Ißbrücker, C., How much land do we really need to produce bio-based plastics?, 2018., <https://www.european-bioplastics.org/how-much-land-do-we-really-need-to-produce-bio-based-plastics/>
11. Miles, L., Biodegradable Plastic: Is It REALLY Eco-Friendly?, 2018., <https://treadingmyownpath.com/2018/03/22/biodegradable-plastic-is-it-really-eco-friendly/>
12. Pilipović, J., Novi trendovi u bioplastici, 2015., <https://hrcak.srce.hr/161321>

13. Teegarden, D. M., Polymer Chemistry: Introduction to an Indispensable Science, NSTA Press., New York, 2004.
14. Tepeš, I., Proizvodnja i potencijali poli(etilen-furanoata), Završni rad na fakultetu kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb, 2016.
15. Thompson, R. C., Moore, C. J., Saal, F. S., i Swan, S. H., Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends, Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci, 2009.
16. WWF Report, Out of the plastic trap, Saving the Mediterranean from plastic pollution, Zurich: WWF, 2018.

## 8. POPIS SLIKA I GRAFIKONA

Slika 1: Kemijska formula za polipropilen .....	6
Slika 2: Kemijska formula za polietilen .....	6
Slika 3: Trodimenzionalni prikaz polivinil-klorid lanca .....	8
Slika 4: Plastični objekti nađeni na engleskoj obali, 1994. - 2019. Fotografija: Steve McPherson	12
Slika 5: Shematski prikaz ulaska plastičnog otpada u more i utjecaja na okoliš (Isangedighi i Obot, 2017.).....	12
Slika 6: Procjena upotrebe zemljišta za proizvodnju bioplastike (Izvor: European Bioplastics, 2018).....	22
Slika 7: Prikupljanje i prerada otpada (Izvor: <a href="https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/waste-management/">https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/waste-management/</a> ).....	26
Grafikon 1: Plastični otpad u EU (Izvor: European Comission, 2018) .....	10
Grafikon 2: Potencijal razvoja bioplastike (Izvor: European Bioplastics, 2018).....	19