

# Zbrinjavanje i uporaba plastične ambalaže

---

Ilić, Lucija

Master's thesis / Diplomski rad

2023

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:120107>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-17**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





# Sveučilište Sjever

Diplomski rad br. 50/ARZO/2023.

## ZBRINJAVANJE I OPORABA PLASTIČNE AMBALAŽE

Lucija Ilić, 0313020774



**Odjel za ambalažu, recikliranje i zaštitu okoliša**

**Diplomski rad br. 50/ARZO/2023.**

## **ZBRINJAVANJE I OPORABA PLASTIČNE AMBALAŽE**

**Student**

Lucija Ilić, 0313020774

**Mentor**

Izv. prof. dr. sc. Krunoslav Hajdek

Koprivnica, rujan 2023. 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	Lucija Ilić	MATIČNI BROJ	0313020774
DATUM	02.03.2023.	KOLEGIJ	Metodologija znanstveno istraživačkog rada
NASLOV RADA	Zbrinjavanje i uporaba plastične ambalaže		
NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	Disposal and recovery of plastic packaging		
MENTOR	dr.sc. Krunoslav Hajdek	ZVANJE	Izvanredni profesor
ČLANOVI POVJERENSTVA	1. izv.prof.dr.sc. Dean Valdec - predsjednik		
	2. izv.prof.dr.sc. Bojan Šarkanj - član		
	3. izv.prof.dr.sc. Krunoslav Hajdek -mentor		
	4. prof.dr.sc. Božo Smoljan - zamjenski član		
	5.		

## Zadatak diplomskog rada

BROJ	50/ARZO/2023
OPIS	Plastična ambalaža je dio naše svakodnevnice odnosno, stvar koja se upotrebljava u svim životnim i gospodarskim područjima od trgovine, autoindustrije, brodogradnje, farmacije, poljoprivrede itd. Sve većim porastom stanovništva proizvodnja plastične ambalaže se povećava i prvenstveno nam služi za upotrebu, čuvanje i transport sirovina i gotovih proizvoda. Nakon upotrebe proizvoda ostaje ambalaža koju je potrebno zbrinuti na odgovarajući način kako bi nastala minimalna šteta za okoliš, uz što manji ekonomski trošak. Cilj diplomskog rada je opisati plastičnu ambalažu, klasifikaciju plastike te njezine procese i načine zbrinjavanja i uporabe.
	U radu je potrebno: Opisati teorijski dio vezan uz plastičnu ambalažu općenito, te navesti klasifikaciju plastike Objasniti načine predobrade plastike za recikliranje Navesti i opisati procese i postupke zbrinjavanja i uporabe plastične ambalaže Provesti istraživanje određenog poduzeća koje se bavi zbrinjavanjem plastične ambalaže, te prikazati dobivene rezultate i na temelju toga napisati zaključak

ZADATAK URUČEN 2.3.2023. POTPIS MENTORA



## **PREDGOVOR**

Zahvaljujem se Izv.prof.dr.sc. Krunoslavu Hajdeku što je pristao biti moj mentor, te na pružanoj pomoći i razumijevanju. Također, zahvaljujem se zaposlenicima poduzeća Lotus d. o. o. koji su izdvojili svoje vrijeme kako bi mi omogućili uvid u poslovanje poduzeća i dali potrebne informacije u pisanju diplomskog rada. Isto tako, zahvaljujem se svojoj užoj obitelji na pružanoj podršci tijekom mog studiranja.

## SAŽETAK

U današnje vrijeme riječi poput računalo, utičnica, prekidač, punjač, mobitel, PET ambalaža su jedan mali dio stvari i uređaja izrađenih od plastičnih materijala i vrsta plastike. Često puta možemo čuti kako u nekom automobilu škripi plastika i da je tvrda i jeftina, dok je kod nekih boljih marki mekša i elastična. To nam govori da se može proizvesti više vrsta plastike različite kvalitete zavisno za koju se namjenu koristi. Danas plastika ima veoma široku primjenu u svim djelatnostima, ali zbog te masovne upotrebe postaje globalni problem u smislu zbrinjavanja. Zbog dugotrajne razgradnje odbačenu plastiku treba zbrinuti na adekvatan način, propisan određenim pravilima i normama koje će najmanje štetiti ljudima i okolini. Ovaj diplomski rad daje uvid u vrste plastike i sve postupke predobrade za recikliranje koji se sastoje od prikupljanja, sortiranja i daljnjih postupaka zbrinjavanja i oporabe. Jednu od takvih firmi sam posjetila kako bi se osobno uvjerila i vidjela pogone i strojeve gdje se više vrsta plastike obrađuje za daljnju upotrebu.

**Ključne riječi:** ambalaža, plastika, recikliranje, zbrinjavanje

## **SUMMARY**

Nowadays, words like computer, socket, switch, charger, mobile phone, PET packaging are a small part of things and devices made of plastic materials and types of plastic. We can often hear how the plastic in a car squeaks and that it is hard and cheap, while in some better brands it is softer and elastic. This tells us that several types of plastic of different quality can be produced depending on the purpose for which it is used. Today, plastic is widely used in all industries, but because of this mass use, it is becoming a global problem in terms of disposal. Due to the long-term decomposition, discarded plastic should be disposed of in an adequate manner, prescribed by certain rules and norms that will cause the least harm to people and the environment. This thesis gives an insight into the types of plastics and all pre-processing procedures for recycling, which consist of collection, sorting and further disposal and recovery procedures. I visited one of these companies in order to see for myself and see the facilities and machines where several types of plastic are processed for further use.

**Keywords:** packaging, plastic, recycling, disposal

## **POPIS KORIŠTENIH KRATICA**

**PE** polietilen

**PP** polipropilen

**PS** polistiren

**PS-E** ekspandirani polistiren

**PVC** polivinil klorid

**PET** polietilen-tereftalat

**SPI** Society of the Plastics Industry/ Udruženje za plastičnu industriju

**PE-HD** polietilen visoke gustoće

**PE-LD** polietilen niske gustoće

**BPA** bisfenol A

**PLA** polilaktična kiselina

**PE-C** klorirani polietilen

**TPA** tereftalatna kiselina

**EG** etilenglikol



# SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. PLASTIČNA AMBALAŽA .....	2
3. VRSTE PLASTIKE .....	4
3.1 Polietilen tereftalat (PET).....	4
3.2. Polietilen visoke gustoće (HDPE).....	5
3.3 Polivinil klorid (PVC) .....	5
3.4 Polietilen niske gustoće (LDPE) .....	6
3.5. Polipropilen (PP).....	6
3.6 Polistiren (PS) .....	7
3.7. Ostale kategorije plastičnih materijala .....	7
4. PREDOBRAĐA PLASTIKE ZA RECIKLIRANJE .....	8
4.1 Prikupljanje i razdvajanje plastike .....	8
4.1.1 Tehnologije razdvajanja .....	9
4.2 Pranje.....	12
4.3. Usitnjavanje.....	13
5. TEHNOLOŠKI PROCES OBRADBE PET BOCA .....	17
5.1. Tehnološki opis rada linije za regranulacije PET-a .....	18
6. ZBRINJAVANJE I RECIKLAŽA PLASTIKE .....	21
6.1 Mehaničko recikliranje.....	22
6.2. Kemijsko recikliranje .....	26
6.2.1. Hidroliza.....	27
6.2.2. Hidriranje .....	27
6.2.3. Rasplinjavanje .....	28
6.2.4. Piroliza .....	28
7. OPORABA PLASTIČNE AMBALAŽE .....	30

7.1. Energetska uporaba .....	30
7.2. Spaljivanje .....	31
8. SUSTAV ZBRINJAVANJA POLIMERNOG OTPADA U REPUBLICI HRVATSKOJ .....	32
<b>9. SUSTAV GOSPODARENJA PLASTIČNIM KOMUNALNIM OTPADOM TVRTKE LOTUS 91. D.O.O .....</b>	<b>33</b>
9.1. Opis tehnološkog procesa u pogonu Jalkovec.....	33
9.2. Opis tehnološkog procesa u pogonu Ludbreg .....	37
10. ZAKLJUČAK .....	42
11. LITERATURA .....	43

## 1. UVOD

Jedan od najvažnijih izuma 20. stoljeća prema mišljenju mnogih stručnjaka smatraju se organski sintetski plastični materijali pod skupnim imenom plastika. Oni su velikim dijelom zamijenili materijale kao što su papir, staklo, metali i drvo, te su omogućili i razvoj proizvoda koji su obilježili suvremenu civilizaciju. Ovdje možemo navesti suvremenu medicinu, elektroniku, automobile, računala, poljoprivredu, graditeljstvo, suvremenu ambalažu i dr. [1].

S obzirom na porast stanovništva, te sve većom potrošnjom plastičnih materijala dolazi i do sve većeg porasta količina plastične ambalaže, odnosno otpada kojeg je potrebno adekvatno zbrinuti na odgovarajući način kako bi nastala minimalna šteta za okoliš, uz što manji ekonomski trošak [2].

Dobra prevencija zbrinjavanja plastične ambalaže je metoda smanjenja stvaranja otpada, odnosno smanjenje potrebnih kapaciteta za odlaganje plastičnog otpada. Kako bi se plastična ambalaža učinkovito zbrinula potrebno je prikupljanje i sortiranje ambalaže na samom mjestu nastanka, a to su najvećim dijelom kućanstva. Recikliranje plastične ambalaže jedna je od najpoželjnijih metoda, pa se u današnje vrijeme u velikim količinama recikliraju staklo, papir, metali, polimerni materijali i sl. dok se odlaganje smatra nepoželjnim te ekološki neprihvatljivim. Još jedna metoda koja je sve više zastupljena, a smatra se veoma ekonomičnom i isplativom jest materijalna i energetska oporaba [2].

## 2. PLASTIČNA AMBALAŽA

Kao što je gore spomenuto, plastika se smatra sintetičkim materijalom koja služi za izradu raznih proizvoda i može uspješno zamijeniti sirovine i prirodne materijale. Zbog svojih kvaliteta kao što je niska cijena, mala težina, te jednostavna prerada, plastika je postala nužna u modernom svijetu. Smatra se da je plastika čvrsta poput čelika, prozirna poput stakla, elastična poput gume i tvrda poput stijene. Najvažnije sirovine, odnosno neobnovljivi izvori energije koje se koriste za proizvodnju plastike su nafta, ugljen i zemni plin. Kao jedan od glavnih problema što se tiče plastike jest dugi vremenski period razgradnje koji može potrajati između 100 i 1000 godina [3].

Godišnja proizvodnja plastičnih masa se kreće oko 100 milijuna tona, od čega nešto više od jedne četvrtine troši Europa. Pet najčešćih vrsta plastike čini gotovo 8% ukupne proizvodnje.

Ovdje se nalaze podaci za Zapadnu Europu:

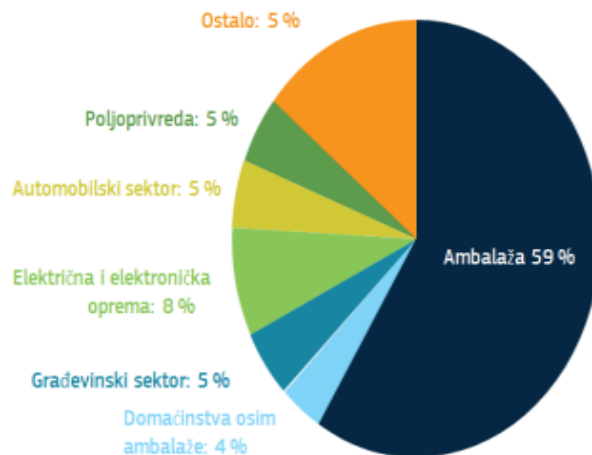
- Polietilen niske gustoće (PE-LD) 22.4%
- Polivinil klorid (PVC) 21.7%
- Polipropilen (PP) 12.1%
- Polietilen visoke gustoće (PE-HD) 12.0%
- Polistiren (PS) 9.9%

Za ambalažu se troši najveći dio plastike (38%), građevinarstvo (16%), automobilska industrija (10%), poljoprivreda (4%) i niz drugih namjena, uključujući igračke (32%), kućanske proizvode, namještaj, elektronika itd. Plastika ima različit rok uporabe, manje od godinu dana (31%) do više od deset godina (41%), a 28% koristi se između jedne do deset godina. Već više od deset, pa i do pedeset godina, pojedine vrste plastike, poput PVC-a, koriste se u omjerima od 60 do 80% [4].

---

## STVARANJE PLASTIČNOG OTPADA U EU-u 2015.

---



**Slika 1.** Stvaranje plastičnog otpada u Europskoj Uniji [5]

Godišnje se u Europskoj uniji proizvede približno 26 milijuna tona plastičnog otpada. Oko 30% prikupljenog materijala se reciklira, oko 31% se odlaže, a 39% se spaljuje odnosno energetske koristi. Iz slike je vidljivo da ambalažni otpad čini većinu plastičnog otpada.

Plastika koja je reciklirana iznosi oko 7% cjelokupne potražnje za plastikom u Europi. Niske cijene robe i nepovoljan položaj na tržištu plastičnih materijala rezultirali su slabom profitabilnošću u reciklažnoj industriji, zbog čega se stopa recikliranja gotovo ne poboljšava. Dodatno, izračunato je da proizvodnja i spaljivanje plastike rezultira godišnjom emisijom od oko 400 milijuna tona ugljičnog dioksida, što utječe na stvaranje kiselih kiša i efekt staklenika. Povećano recikliranje plastičnih proizvoda smanjilo bi ovisnost o izgaranju fosilnih goriva, što bi smanjilo potrebu za energijom i količinu CO<sub>2</sub> u atmosferi [5].

### **3. VRSTE PLASTIKE**

Udruženje za plastičnu industriju je klasificiralo različite vrste plastike kako bi potrošači i proizvođači lakše uočavali razlike kod sortiranja i recikliranja. Na svaki plastični proizvod proizvođači postavljaju SPI kod ili broj, koji je najčešće izliven u dno. U nastavku slijedi opis svake vrste plastike [6].

#### **3.1 Polietilen tereftalat (PET)**

Polietilen tereftalat smatra se vrstom plastike koja se najčešće koristi, te je namijenjena za jednokratnu upotrebu. Zbog opasnosti od bakterijske kontaminacije, ne savjetuje se višekratna uporaba polietilen tereftalata. Ova vrsta plastike povremeno upija okuse i mirise hrane i pića koji su u njemu pohranjeni. Predmeti od PET-a vrlo se jednostavno recikliraju, te se dobivaju novi materijali od kojih nastaju nove boce ili poliesterska vlakna. Svakodnevni kućni proizvodi kao što su boce za piće, staklenke za lijekove, užad, odjeća i vlakna tepiha izrađeni su od PET plastike [7].

PET je plastomerni linearni poliester izrađen od etilen glikola i tereftalne kiseline s izvanrednim mehaničkim svojstvima, prilično visokim talištem i stupnjem kristalnosti te kemijskom i toplinskom stabilnošću. Uglavnom se koristi za stvaranje jakih vlakana i monofilamenata, ali se također koristi za izradu filmova, folija i strukturnih plastomera [7].

PET se prerađuje injekcijskim prešanjem (pri temperaturi 260 do 290°C i pritisku ubrizgavanja 120 do 200 N/mm<sup>2</sup>) i ekstrudiranjem, te se toplo oblikuje. Koristi se u proizvodnji proizvoda koji zahtijevaju nisku potrošnju, nisko trenje, visoku dimenzionalnu stabilnost, primjenu na povišenim temperaturama (105 do 170°) i nisku propusnost plina. Kao rezultat toga, rabi se u izradi komponenti elektrotehnike, dijelova strojeva, pumpi za vodu, zupčanika i ležajeva, prozirne ambalaže za hranu, kozmetiku i lijekove [8].

Glavni nedostatak PET-a su njegovi izazovni zahtjevi za obradu uzrokovani relativno sporom kristalizacijom iz taljevine, što zahtijeva održavanje temperature obrade unutar strogih granica.

S obzirom na namjenu PET proizvoda i izuzetno rigorozne zahtjeve koje ti proizvodi moraju ispunjavati, preradom nastaju razmjerno znatne količine tehnološkog otpada. To čini uporabu ovog materijala zanimljivim i vitalnim, posebno u svjetlu nedavnog naglog rasta proizvodnje PET boca [8].

### **3.2. Polietilen visoke gustoće (HDPE)**

Polietilen (PE) se smatra najjednostavnijim ugljikovodikom, a također i jednim od najpopularnijih polimera današnjice. Na temelju svojstava i molekularne strukture polietilen možemo podijeliti na polietilen visoke gustoće (HD PE) i polietilen niske gustoće (LD PE). Proizvodi se polimerizacijom etilena  $\text{CH}_2\text{-CH}_2$  [8].

Proizvodi izrađeni od polietilena visoke gustoće iznimno su pouzdani i nije dokazano da se iz njih prenose kemikalije u hranu ili pića. Materijali izrađeni od HDPE obično se recikliraju. Pokazuje veću trajnost na učinak otapala kao i na propusnost para i plinova. Mnogo je jači i izdržljiviji od PET-a. Također, relativno je tvrd i otporan na udarce te se može izložiti temperaturama do 120 °C bez oštećenja. Motorno ulje spremnici za mlijeko, deterdženti, šamponi, boce sapuna i kante za smeće su među predmetima izrađenim od ove plastike [9].

### **3.3 Polivinil klorid (PVC)**

PVC poli(vinil klorid) pripada grupi sintetičkih polimera s vrlo širokim rasponom upotrebe. Izdržljiv je materijal s jakom otpornošću na atmosferilije, koroziju i kemikalije [10].

PVC dolazi u dvije različite osnovne varijante: čvrsti i fleksibilni. Zbog svoje žilavosti, prozirnosti i teškoće u obradi, kruti PVC je materijal koji je vrlo otporan na djelovanje kemikalija, vremenskih uvjeta i vlage. Također ima izvrsna električna svojstva i slabo gori. Drugi fleksibilni PVC koji se lako prerađuje i sadrži 20 do 30 % plastifikatora ima lošija mehanička svojstva te je manje otporan na utjecaje topline i okoline.

Mnoge uobičajene tehnike obrade plastomera, uključujući ekstruziju, kalandriranje, injekcijsko prešanje, puhanje, izravno prešanje i toplo oblikovanje, lako se koriste za obradu poli(vinil klorida). Temperatura obrade kreće se od 140 do 190°C, ali se polimer prethodno mora osušiti.

PVC se primarno koristi kao konstrukcijski materijal u graditeljstvu, zatim za izradu cijevi i ambalaže, električne izolacije, zaštitnih premaza i umjetne kože. Budući da ne plastificirani, kruti PVC ima nisku zapaljivost i posebno je otporan na utjecaje atmosferilija, može se koristiti za vanjske građevinske komponente uključujući okvire prozora, oplata, rolete, podne obloge, žljebove i krovove. PVC se koristi na različite načine za izradu ambalaže, a za ovu svrhu služi čvrsti i fleksibilni film od kojeg se izrađuju prevlake za limene posude i papir, toplo oblikovane posude, kutije, spremnici. PVC filmovi imaju široku primjenu za pakiranje hrane zbog niske propusnosti vlage i plinova [8].

### 3.4 Polietilen niske gustoće (LDPE)

Polietilen niske gustoće se najviše koristi kao pokrovni film te folija za pakiranje ambalaže. Ima najjednostavniju strukturu od svih vrsta plastike, što je čini jednostavnom i jeftinom za proizvodnju [9]. Za proizvodnju filmova različite namjene koristi se najveća proizvedena količina LDPE (industrija, građevinarstvo, poljoprivreda, kućanstva, trgovine itd.) Također služi kao izolacijski materijal za električne kabele, proizvodnju cijevi, te za izradu filmova za ambalažu [8].

### 3.5. Polipropilen (PP)

Polipropilen se smatra jednim od najlakših polimernih materijala. Niska žilavost polipropilena, osobito na nižim temperaturama možemo navesti kao nedostatak. Veoma je otporan prema djelovanju organskih otapala, anorganskih kemikalija, vode i maziva. No, podložan je termičkoj degradaciji, posebno na visokim temperaturama kojima je izložen tijekom obrade, zbog nepostojanosti na jake oksidanse [11]. Injekcijsko prešanje i ekstruzija su dvije metode koje se najčešće koriste za prerađivanje polipropilena. Polipropilen se najčešće ekstruzijom prerađuje u poluproizvode, uključujući folije, ploče, filmove, vrpce, sintetička vlakna i cijevi. Budući da su prozirne i fiziološki sigurne, filmovi i folije se koriste kao ambalaža, posebice za pakiranje hrane. Polipropilen se koristi za izradu plastičnih čepova za boce, posuda za margarin, proizvodnju kutija za ručak, posuda za jogurt, laboratorijske opreme, jednokratnih pelena i drugih predmeta [8].



**Slika 2.** Polipropilenski čep [8]



### **3.6 Polistiren (PS)**

Stiren se polimerizira kako bi nastao polistiren, plastomer linearnih makromolekula. Izrađuje se kao pjenasti materijal, kao što je ekstrudirani polistiren ili ekspanzirani polistiren (PS-E) [12]. Unatoč slaboj provedbi, dolazi do recikliranja polistirena. Nije preporučljivo zagrijavati hranu u posudama od polistirena jer to može uzrokovati oslobađanje opasnog stirena, osobito u mikrovalnoj pećnici. To je vrlo jeftina smola po jedinici težine i jednostavna za izradu te se iz ovih razloga može naći posvuda: od čaša za piće, izolacije, materijala za pakiranje do kutija za jaja i jednokratnog posuđa. Primjenu polistirena bi trebalo pokušati sniziti ili nadomjestiti polipropilenom.

### **3.7. Ostale kategorije plastičnih materijala**

Pod ostale plastične materijale možemo navesti polikarbonat i polilaktid. Ovakvu vrstu plastike je poprilično teže reciklirati. Ova skupina obuhvaća svu plastiku koja ne spada u prethodno navedene kategorije i predstavlja vrlo raznoliku skupinu za koju ne postoje sveobuhvatne smjernice za recikliranje. Prema raznim studijama koja su provedena na laboratorijskim životinjama jedna od vrsta plastike koja spada u ostale kategorije BPA (bisfenol A), a koja se obično upotrebljava u proizvodnji plastičnih posuda i često kod izradbe bočica za dječju hranu može oponašati učinke ženskog spolnog hormona estrogena u tijelu te ometati rast i rad reproduktivnog sustava. Zbog toga se ne savjetuje zagrijavanje hrane i pića u bočicama za djecu. U ostale kategorije plastičnih materijala spada i PLA (polimer mliječne kiseline) biorazgradiva plastika koja nastaje fermentacijom škroba iz obnovljivih izvora ili biomase [13].

 1 PET	 2 HDPE	 3 PVC	 4 LDPE	 5 PP	 6 PS	 7 OTHER
POLYETHYLENE TEREPHTHALATE	HIGH-DENSITY POLYETHYLENE	POLYVINYL CHLORIDE	LOW-DENSITY POLYETHYLENE	POLYPROPYLENE	POLYSTYRENE	OTHER
WATER BOTTLES; JARS; CAPS	SHAMPOO BOTTLES; GROCEY BAGS	CLEANING PRODUCTS; SHEETINGS	BREAD BAGS; PLASTIC FILMS	YOGURT CUPS; STRAWS; HANGERS	TAKE-AWAY AND HARD PACKAGING; TOYS	BABY BOTTLES; NYLON; CDS
						

**Slika 3.** Prikaz klasifikacije plastike [14]

## 4. PREDOBRAĐA PLASTIKE ZA RECIKLIRANJE

Plastična ambalaža se prije recikliranja mora prethodno obraditi, odnosno proći postupak pred obrade što uključuje prikupljanje, sortiranje, usitnjavanje i pranje. Preporuča se prikupljanje same plastike na mjestu nastanka, ako je moguće odvojeno, jer je to zbrinjavanje znatno jednostavnije i jeftinije. Prikupljanjem nekvalitetne ambalaže može doći do pojačanog onečišćenja koja se više nije u mogućnosti efikasno zbrinuti odnosno reciklirati. Kao jedan od primjera možemo navesti PET boce, budući da se sakupljaju samo boce od pića, mlijeka i vode. Primjerice kada je PET kontaminiran uljem, nije održivo sakupljati i reciklirati boce PET ulja skupa jer ostaje više masnih kiselina, koje ometaju proces recikliranja te ugrožavaju svojstva recikliranog materijala [14].

### 4.1 Prikupljanje i razdvajanje plastike

Učinkovitim gospodarenju otpadom prethodi dobro organizirano sakupljanje, koje je najbolje obaviti na kućnom pragu ili bilo kojem izvoru nastanka. U sedamdesetim godinama razvila se svijest da se otpad može iskoristiti kao sirovina i energija te se razvilo intenzivnije prikupljanje. Smanjenje stvaranja otpada u početnoj proizvodnji te njegovo vraćanje u proizvodni proces ispostavilo se ekonomski profitabilnim te je rezultiralo značajnim smanjenjem troškova proizvodnje. Činjenica da se većina komponenti polimernih materijala međusobno ne može

miješati, zbog različitih vrsta materijala od plastike te se zbog toga razdvajanje smatra temeljem recikliranja plastike. Žute posude ili spremnici služe za odvojeno prikupljanje plastične ambalaže [15].

Odvojena PET ambalaža skuplja se u propisanim spremnicima koji su smješteni na javnim površinama. Kao i kod PS-a i PVC-a, PE folije i boce odvajaju se jedne od drugih i sakupljaju u reciklažnim dvorištima. Označavanje proizvoda od raznih vrsta plastike uspostavljeno je kako bi se pojednostavilo njihovo odvajanje i recikliranje, a oznake su određene u normi ISO14000. Brojevi i simboli od jedan do šest koriste se za identifikaciju plastičnih ambalažnih proizvoda, a broj sedam označava sve ostale vrste. Plastika koja je prerađena najčešće se upotrebljava prilikom izrade istih proizvoda kao i kod primarne proizvodnje [16].

#### **4.1.1 Tehnologije razdvajanja**

Odvajanje otpadnih plastičnih materijala ključna je komponenta recikliranja polimernog otpada. Zbog raznih vrsta plastičnih materijala koji se upotrebljavaju te zbog činjenice da oni nisu međusobno kompatibilni važno je razdvajanje koje je jedna od ključnih stavki u tom procesu. Za mnoge plastične proizvode koji su mehanički, termički ili kemijski povezani, također je potrebno odvajanje. Na trošak recikliranja utječe tržišna vrijednost sirovina i recikliranih materijala kao i kvaliteta sortiranog proizvoda. Odvajanje je moguće obaviti ručno ili automatski korištenjem računala.

Automatizirano razdvajanje podrazumijeva korištenje različitih vrsta senzora za prepoznavanje otpadnih plastičnih materijala. Tehnike razdvajanja upotrebljavaju raznolika svojstva polimernih materijala koje se uočavaju tijekom razvrstavanja, poput flotacijskog taloženja- koja odvaja polimere na temelju gustoće, i napredne automatizirane tehnologije «osjeti/odvoji» koja odvaja polimere na temelju nekoliko drugih svojstava. One se temelje na mnogim karakteristikama plastičnih materijala, uključujući njihove kemijske, optičke, električne ili fizikalne karakteristike. Veći dio fizikalnih procesa temelji se na specifičnim svojstvima polimera, kao što su gustoća ili hidrofobnost, ili na svojstvo polimera koje se mijenjaju s temperaturom, kao što je talište ili točka miješanja ili kemijska svojstva, kao što je sadržaj klora ili topljivost polimera. Tehnika komercijalnog odvajanja mora biti brza, pouzdana, pristupačna i prilagodljiva kako bi se nosila s različitim vrstama kontaminacije [14, 17].

Ručno odvajanje je pojam koji se temelji na sistemu vizualnog prepoznavanja broja otisnutog na ambalaži te na temelju različitih obojenja i nijansi. Na taj se način PVC boce s otisnutim brojevima vizualno razlikuju od PET boca na više načina, uključujući plavičastu nijansu,

izražen horizontalni "polumjesec" na dnu boce kada se stisne, te bjelkasta područja prilikom drobljenja. Ručno odvajanje se pospješuje pri drugačijim uvjetima osvjetljenja. PVC i PET boce mogu se jasnije razlikovati pod UV svjetlom. Sustav Kissspotlight koristi jeftinu, prilagođenu raspršenu rasvjetu za odvajanje PVC-a od PET-a, PS-a, PETG-a od PET-a i PVC-a pomoću polu automatiziranog sustava za sortiranje. Operater odvaja kontaminirane polimere od tekuće vrpce stavljanjem posebnih polariziranih naočala. PET je pod ovim svjetlom veoma sjajan, gotovo užaren, a PVC izgleda tamnoplavo. Kako bi se poboljšala kvaliteta proizvoda (za recikliranje PET-a), metoda se koristi za oporabu materijala [18].

### **a) Metode razdvajanja na osnovi različite gustoće**

Za ovu separaciju koriste se hidrocikloni i flotacijski taložnici. Hidrociklon je uređaj koji služi za odvajanje ili "rezanje" čvrstih čestica u tekućini po veličini i gustoći [19]. Većina polimera ima djelomično jednaku ili veoma sličnu gustoću što se može navesti kao nedostatak. Na primjer, rasponi gustoće PE i PP mogu se podudarati, čineći odvajanje hidrociklona nemogućim za ove polimere. PVC i PET se ne mogu odvojiti flotacijom, sedimentacijom ili hidrociklonskom tehnologijom iz istog razloga. Ove tehnike imaju dodatne nedostatke kada se radi o plastici s punilima, bojama i sredstvima za pojačavanje jer ti dodaci mijenjaju gustoću polimera.

### **b) Metode flotacijskog taloženja – mokra separacija**

Temelji se na odabiru fluida koji je posrednik između materijala koji se planiraju odvajati.

Klasični fluidi su:

- Voda – razdvaja poliolefine od drugih polimera npr. PVC i PET
- Voda/metanol – razvrstava polimere koji imaju manju gustoću od poliolefina
- NaCl, ZnCl<sub>2</sub> otopine – za polimere koji imaju veću gustoću od 1 gcm<sup>-3</sup>

Tehnika odvajanja ima nedostatke, uključujući izlazne tokove polimera niske čistoće i sporu, zahtjevnu kontrolu. Za odvajanje plastičnog mljevenca (plastične pahulje) koristi se zakon gravitacije, a te se čestice polako talože. Da bi se postiglo dobro razdvajanje potrebno je dugo vrijeme zadržavanja što snižava protok i poskupljuje djelotvornost procesa. Velike količine vode i veliki spremnici potrebni su za razdvajanje plastične smjese. Oblik pahulja i veličina također mogu imati utjecaj na odvajanje. Tokom recikliranja PVC filma upotrebljavaju se modificirane tehnike flotacijskog taloženja za odvajanje PVC-a od ostalih polimera. Još jedan

od nedostataka ove metode odvajanja je zahtjev za regeneracijom kontaminirane vode nakon procesa te su izlazni polimeri veoma niske čistoće [14].

### **c) Molekularna separacija**

Omogućava da se polimeri mogu otopiti u otopinama na određenoj temperaturi kako bi se olakšalo molekularno odvajanje, što omogućuje odvajanje zasebnih komponenti. Tijekom postupka na određenoj temperaturi otapa se samo jedna vrsta polimera. Sljedeći polimer se zatim rastali podizanjem temperature, i tako dalje. Ova tehnika omogućuje odvajanje do šest različitih polimera u laboratorijskim uvjetima. Za odvajanje višeslojne plastike koja se koristi u određenim vrstama boca i ambalaže (tijelo i dno boce od različitih polimera) tehnika molekularnog odvajanja je posebno fleksibilna. Olovo, staklo, kadmij i titan koji se koriste kao stabilizatori, pigmenti i učvršćivači, također se mogu odvojiti pomoću tehnike molekularnog sortiranja [20].

### **d) Suho odvajanje**

Pomoću tehnike suhog odvajanja moguće je ukloniti grub materijal kao što je staklo iz teško-membranske plastike ili metalni fragmenti. Odvajanje se vrši uz pomoć oscilirajuće transportne trake i zraka. Zbog nazočnosti degradirane hrane i masnoća koji se lijepe na plastiku, reciklirani materijal može imati neugodan miris (smrad). Ovaj proces odvaja ostatke hrane uspješnije od mokrog postupka [14].

### **e) Centrifugalno odvajanje**

Centrifugalna separacija znači odvajanje tvari različite specifične težine pomoću centrifugalne sile. Može se koristiti za recikliranje plastike u raznim industrijama, uključujući odvajanje miješane plastike i folije, recikliranje plastičnih vlakana, obradu PET pahuljica, čestica medicinske plastike, vlakana tepiha, čestica proizvodnog otpada itd.

Pomiješana plastika, koja se inače preša u bale kada stigne na lokaciju za reciklažu, smanjuje se na veličinu čestica od 15 mm, miješa s tekućinom za odvajanje (obično vodom) u spremniku za miješanje, a zatim pumpa u centrifugu. Centrifuga je djelomično napunjena tekućinom za odvajanje, koja zbog velike brzine vrtnje stvara tekući prsten. Plastika se dovodi aksijalno u centrifugu kao suspenzija i udara o površinu okretnog tekućeg prstena. Ovdje intenzivna turbulencija rezultira deaglomeracijom pojedinačnih plastičnih čestica i uvelike ih oslobađa od prljanjuće prljavštine [14].

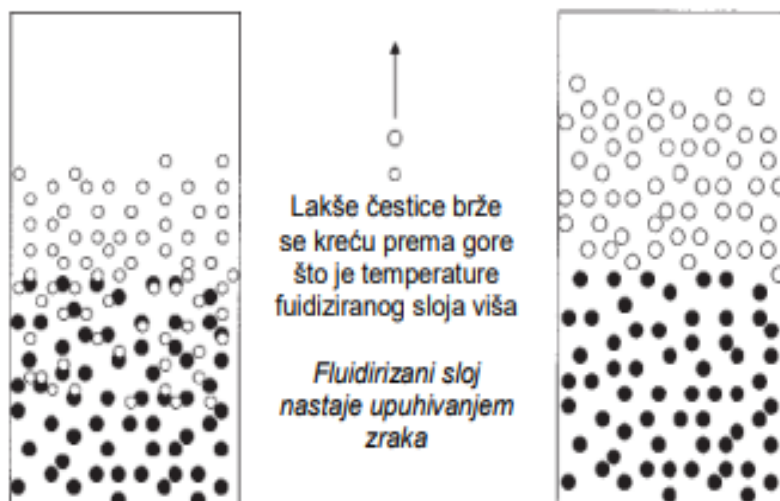
Svi mjehurići zraka koji se zalijepe za površinu čestica uklanjaju se centrifugalnom silom, što je posebno važno s obzirom na pretežno hidrofobni materijal. Sve čestice gustoće veće od gustoće tekućine tjeraju se radijalno prema van prema zdjeli centrifuge, dok lakše komponente plutaju prema gore prema unutra. To se događa u vrlo kratkom vremenu i uz visoku selektivnost u centrifugalnom polju koje stvara sile preko 1000 puta veće nego u konvencionalnim procesima. Prednosti ovakvog sustava su jednostavan rad, mala potražnja za energijom i visoka dostupnost. Kao nedostatak možemo navesti previsoku cijenu sustava od 1,6 milijuna US\$ [21].



**Slika 4.** Centrifugalni stroj za recikliranje plastike [21]

#### **4.2 Pranje**

Osim uklanjanja bilo kakvih preostalih prljavština iz upotrebe, pranje također služi za odvajanje polimera na temelju različitih gustoća.



**Slika 5.** Shematski prikaz odvajanja i pranja mljevenih čestica dvaju polimera [22]

Pranje ne samo da eliminira nečistoće od upotrebe već se njime odstranjuju i ljepljiva. Ako se ljepljiva tope u vodi, reciklaža je znatno jednostavnija. Treba naglasiti da je primarna komponenta svih ljepljiva polimer, koji se obično teško otapa. Naljepnice se također skidaju nakon pranja, bez obzira jesu li papirnate ili plastične (PE, PVC), jer sadrže "tintu" i pigmente koji bi mogli imati teške metale. Pigmenti u boji mogu se nanijeti na sam polimer ili na komponente proizvoda poput čepova i naljepnica, što može dodatno kontaminirati polimer. Osim toga, važno je usitniti otpadnu plastiku kako bi bila lakša za transport (manji volumen) te praktičnija za punjenje postrojenja za recikliranje. Uz sve druge vrste recikliranja, uključujući kemijsko i spaljivanje, usitnjavanje otpadne plastike preduvjet je za mehaničko recikliranje [22].

### 4.3. Usitnjavanje

Mehaničke metode usitnjavanja su:

- a) mrvljenje i granuliranje,
- b) zgušćivanje i zbijanje,
- c) mljevenje u prah

Procesom usitnjavanja smanjuje se volumen plastike na manje čestice. Uklanjanje drugih materijala sa proizvoda omogućeno je postupkom usitnjavanja otpadne plastike. Da bi se plastika odvojila od drugog materijala, kompozitni materijal se prvo mora dobro usitniti dok ne postigne tu veličinu (usitnjavanje uzrokuje odvajanje). Zatim, korištenjem protoka zraka ili "zračnih" stolova i načela različite gustoće i oblika čestica, može se postići njihovo odvajanje.

Lakše čestice će lebdjeti na takvom "zračnom stolu" dok će teže čestice ostati ležati na stolu i biti nošene pokretnom trakom dalje. Ovom se tehnikom termoplasti mogu odvojiti od gume ili metala [14, 23].

#### **a) Filtriranje taljevine**

Nekolicina naprednijih mehaničkih postupaka recikliranja filtrira taljevinu kako bi se eliminirale čestice onečišćenja te kako bi se poboljšala kvaliteta recikliranog materijala. Bitan za kvalitetu izlaznog materijala, sustav filtracije taljevine uklanja neplastične čestice iz reciklirane plastike kao što su papir, drvo, pijesak, staklo ili komadi aluminija. Za postizanje visokokvalitetnog peleta na kraju procesa recikliranja potrebno je odabrati pravu tehnologiju filtracije na temelju ulaznih materijala [24].

#### **b) Mrvljenje - strojem za mrvljenje**

Otpadna plastika može se usitniti pomoću velikog broja različitih strojeva. Njihov operativni sustav temelji se na kretanju dvaju ili četiri suprotno rotirajućih valjaka koji mogu rezati kada rade sinkronizirano ili nesinkronizirano.



**Slika 6.** Stroj za mljevenje [14]



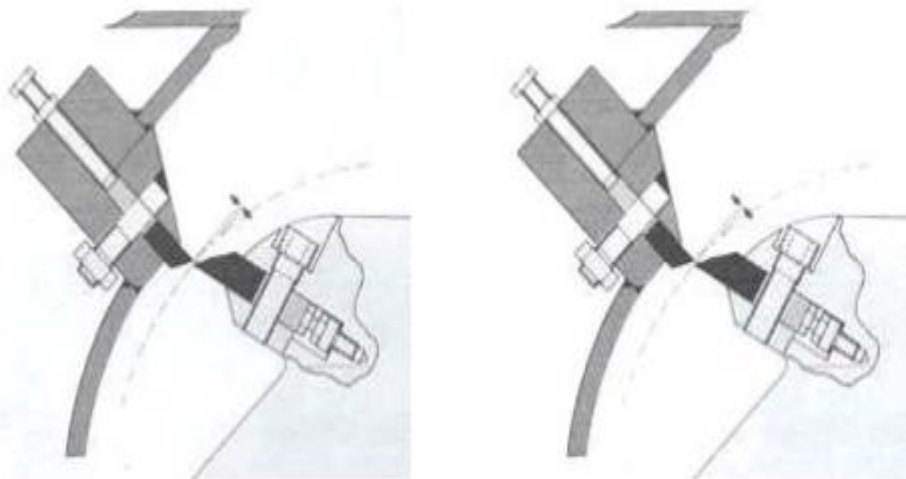
Na ovakvom principu usitnjavaju se ploče (plahte), filmovi, kablovi i ostali šuplji proizvodi. Nakon procesa usitnjavanja nastaju čestice plastike veličine otprilike 50 mm ili manje.

Veličina samljevene otpadne plastike zavisi o:

- obliku, prirodi plastičnog materijala i gustoći
- njegovoj širini, o broju zuba za rezanje na valjcima, o karakteristikama stroja za usitnjavanje
- izmjeni površine za prosijavanje [14].

### c) Rotirajući nož – rezač (granulator)

Jedan je od vrsta strojeva koji se najčešće koristi u sektoru recikliranja za usitnjavanje otpadne plastike. Također je poznat kao nož-mlin ili sjekač granulator kojeg predstavljaju višestruki rotirajući noževi. Smanjeni razmak između noževa rezultira manjim veličinama čestica plastičnog usitnjenog materijala te smanjuje troškove usitnjavanja. Prosječni razmak između noževa je 0,3 do 0,4 milimetara no može biti i veći. Ovaj stroj je primjeren za usitnjenje svih tipova filmova i plahti [25].



Slika 7. Rotirajući nož [25]

### d) Laminatni separator i rezač

Polimerni laminati, odnosno slijepljeni višeslojni filmovi koji se upotrebljavaju u farmaceutskim proizvodima za tablete, tube paste za zube itd., mogu se odvojiti usitnjavanjem.

Usitnjavanje polimernih laminata daleko je manje praktično od metode mehaničkog odvajanja na sastavne dijelove. Prilično je teško odvojiti usitnjeni polimerni laminat u pojedinačne dijelove. Kroz ovaj proces dolazi do odvajanja kao rezultat centrifugalne sile (velika brzina zbog vrtnje). Ovakva metoda je razvijena na temelju različitog ponašanja drugačijeg materijala izloženog akceleraciji. Zbog utjecaja centrifugalne sile, različite komponente nakon obrade u akceleratoru prolaze kroz promjenjivu morfologiju (oblik). Aluminijska folija, na primjer, može se uviti u predmet koji postaje okrugli; PE se ljušti u ljuskice; PVC u kocke, PS npr. u čips. Budući da različite komponente sadrže različitu gustoću i oblik, njihovo se odvajanje postiže pomoću protoka zraka i odvajanja na temelju oblika. Za ovu separaciju polimernog laminata prvo se vrši pravilno usitnjavanje, a zatim slijedi separacija u akceleratoru. Austrijska tvrtka Muther, Result Technology AG prva je razvila ovu metodu [14].

### ➤ **Mljevenje u prah**

Čisti (homogeni) plastični otpad, poput PVC-a ili polietilena ultra visoke molekularne težine melje se u prah. Dobiveni prah se usitnjava i zatim odmah preša u nove ploče ili folije. Karakteristike praškastog materijala su:

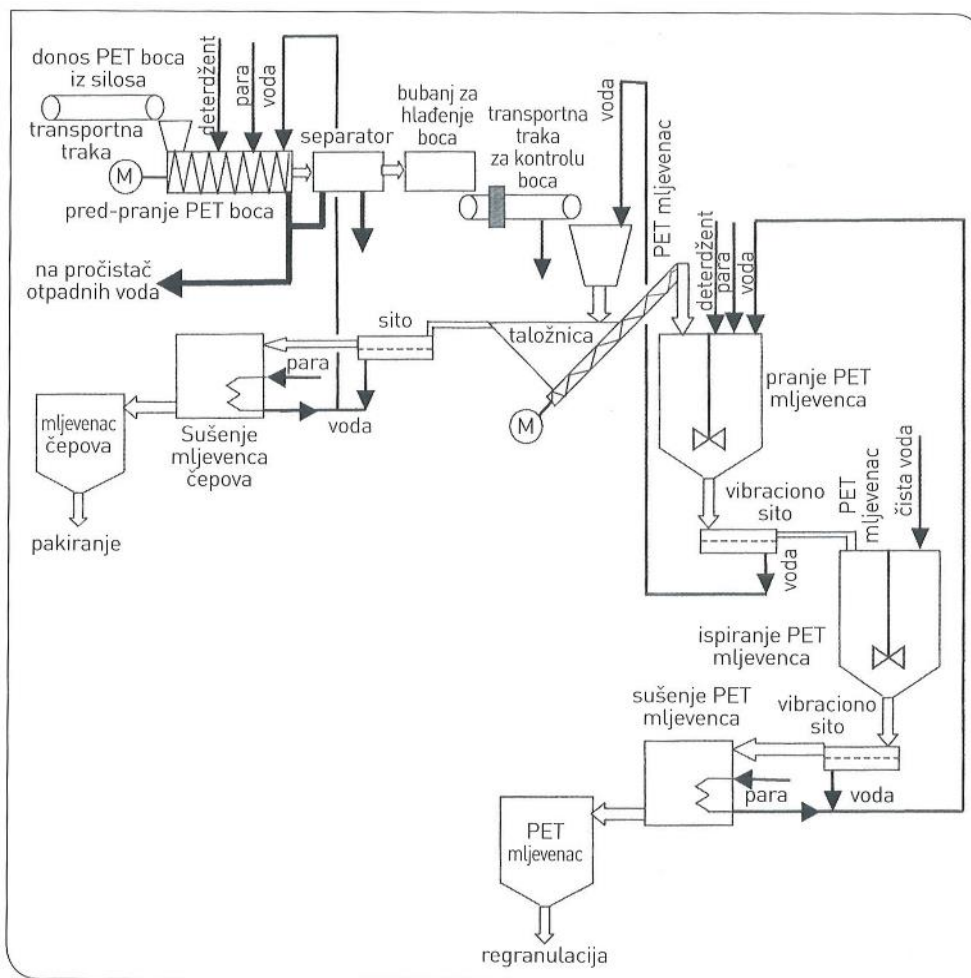
- dobra taljivost
- homogen sastav
- uska podjela veličine čestica
- visoka „balk“ gustoća

Polimeri osjetljivi na toplinu melju se u mlinovima za mljevenje praha kao što su mlinovi s iglama i mlinovi s diskovima (pin-mill i disk-mill ) kako bi se dobile čestice veličine manje od 50 µm. Ovi su mlinovi savršeni za polimere poput krutog i fleksibilnog PVC-a, poliolefina, poliamida, poliestera i poliuretana. Kada se standardne metode ne mogu koristiti za uklanjanje kontaminanata iz polimera, mljevenje u prah je djelotvorna metoda. Kao nedostatak ove metode može se navesti smanjena efikasnost mljevenja zbog toga jer se mlin može veoma zagrijati, te dolazi do topljenja praha i zadržavanja na rubovima noževa [14].

## 5. TEHNOLOŠKI PROCES OBRADE PET BOCA

Perforator koji se nalazi ispod limenih silosa transportira sortirane otpadne PET boce do ulaznog lijevka linije gdje se peru i melju. Pokretna traka prenosi perforirane otpadne boce do stroja za pretpranje iz ulaznog lijevka, gdje se automatski na ulazu hidraulički potapaju u vodu koja mora biti vruća. Etikete na bocama se odljepljuju zbog turbulentne vruće kupke koja nastaje miješanjem pužem i izravnim upuhivanjem vodene pare. Nakon pretpranja stižu u separator, gdje se odvajaju etikete i prazni voda. Bujanj za hlađenje boca prima boce bez etiketa. Prije ulaska u mlin, boce se provjeravaju vizualno i detektorom metala na pokretnoj traci koja se nalazi iza rashladnog bubnja. Usitnjene PET boce, odnosno mljevenac, PET boca i čepova transportiraju se iz mlina u taložnik. Usitnjeni PET sjeda na dnu taložnika, jer ima veću specifičnu težinu od vode, te se pužnim transporterom transportira u spremnik na temeljito pranje. Pošto su čepovi izrađeni od polietilena ili polipropilena, imaju nižu specifičnu težinu od vode. Kao rezultat toga, isplivaju na vrh, a nakon toga se izlijevaju s vodom u vibrirajuće sito, gdje se mljevenac čepova cijedi iz vode, te se stavlja u silose [20].

Samljeveni PET se stavlja na sito kako bi se ocijedila voda nakon pranja. Nakon toga odlazi u posudu za ispiranje. Samljeveni materijal se nakon ispiranja odvozi na sito, gdje se ocijedi od vode, suši i stavlja u privremeni silos za regranulaciju.

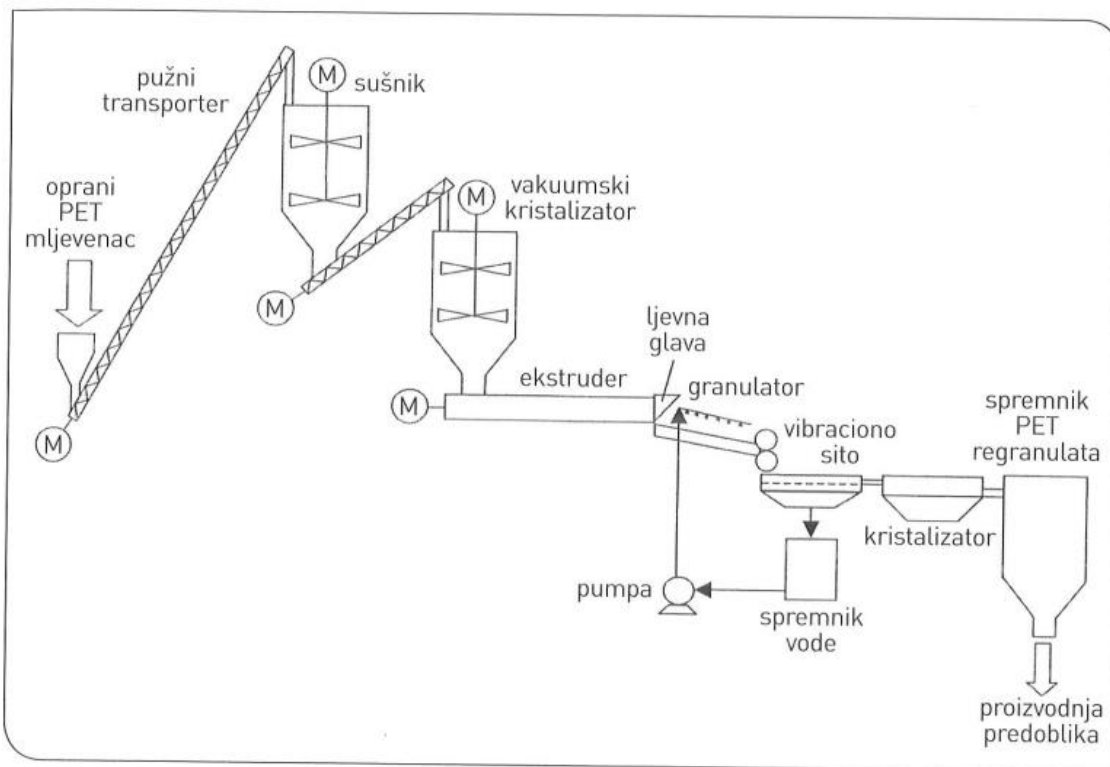


**Slika 8.** Tehnološka shema izvođenja postupka mljevenja i pranja PET-a [20]

### 5.1. Tehnološki opis rada linije za regeneracije PET-a

Viljuškarom se svježe očišćeni mljevenac transportira od linije pranja do prihvatnog lijevka, gdje se odlaže prije nego što se pužnim transporterom kontinuirano ubacuje u sušnik na kontinuirano sušenje. PET mljevenac se kontinuirano usipava u ekstruder, gdje se topi na temperaturi od 280°C, nakon što se drugim pužnim transporterom dovodi u vakuumski kristalizator, gdje povećava svoj intrinzični viskozitet. Otopljeni poliester se isporučuje na ljevnu glavu, te se filtrira automatskim filtrom nakon ekstrudera. Rastaljeni poliester koji se lijeva u rezance pada s ljevne glave na rashladnu ploču, te se hladi vodom. Granulator s rotirajućim nožem prima ohlađene rezance i usitnjava ih na granule.

Nošen vodom PET granulat dolazi do vibrirajućeg sita, gdje se razdvaja od vode i šalje u kristalizator. PET granulat koji je kristaliziran čuva se u spremnicima prije nego što odlazi na liniju proizvodnje predoblika PET boca [20].



**Slika 9.** Tehnološka shema izvođenja postupka izrade regranulata PET ambalaže [20]

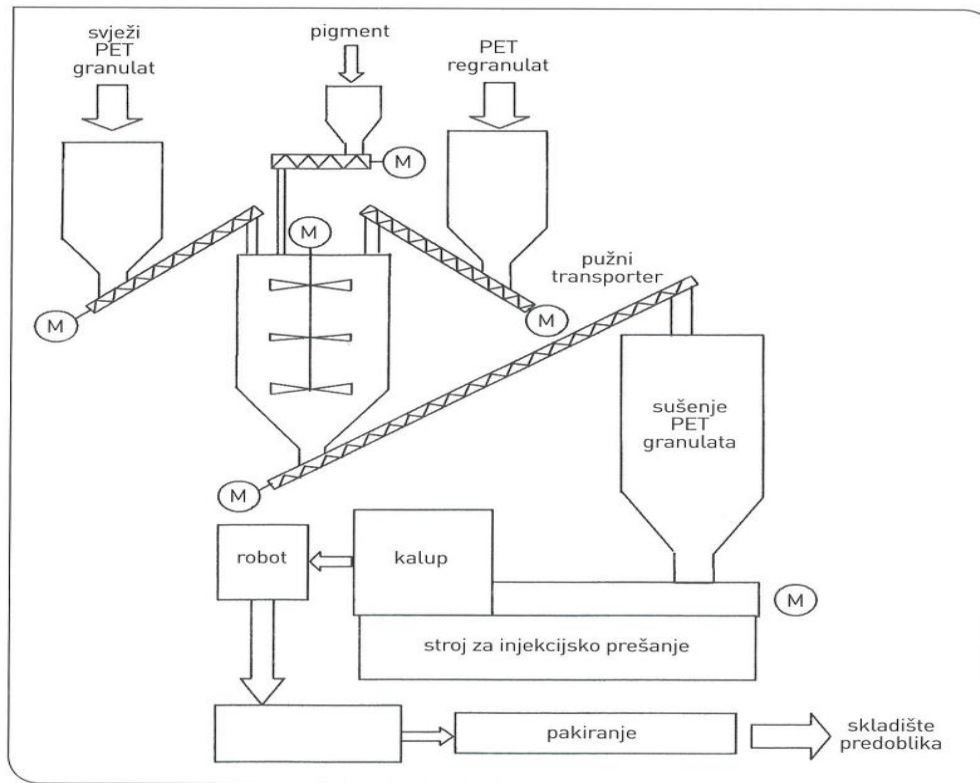
## 5.2. Tehnološki opis odvijanja procesa izrade predoblika

Mosna dizalica nosivosti 1.500 kg transportira svježi PET granulat upakiran u vreće od 1.000 kg do prihvatnog spremnika, gdje se odlaže. Na sličan način, drugi prihvatni lijevak se puni regranulatom koji je u jumbo vrećama dopremljen mostnom dizalicom. Regranulat je reciklirani proizvod koji se dalje koristi za izradu novih plastičnih dijelova [26].

Pužni transporter za doziranje pomiče svježi PET granulat, regranulat i pigment u unaprijed određenom omjeru količine iz prihvatnih lijevka u posudu za miješanje. Omjer brzina doziranja u posudu za miješanje određuje količinu svježeg PET granulata, regranulata i pigmenta.

Smjesa se miješa u posudi za miješanje prije nego što se pužnim transporterom prenese u sušnik granulat. Granulat se suši četiri do šest sati. Osušeni granulat se iz sušnika istiskuje u ekstruder stroja za injekcijsko prešanje, te se topi i homogenizira. Predoblici se stvaraju utiskivanjem homogeniziranog, otopljenog PET-a u sustav kalupa. Kada se kalup otvori, igličasti ventili na strani ubrizgavanja zatvaraju mlaznicu za ubrizgavanje. Ovim ventilima upravlja komprimirani zrak. Za brzo hlađenje ubrizganog otopljenog PET-a u kavitaciji, pokretna strana kalupa se hladi hladnom vodom.

Nakon što je kalup otvoren, temperatura oteska je još uvijek visoka. Nakon otvaranja kalupa, još neohlađene predoblike robot premješta do linije za hlađenje kako bi se izbjegao međusobni kontakt. Predoblici PET boca nakon hlađenja opadaju u kartonske kutije. Kartonske se kutije na paleti nakon pakiranja i označavanja šalju u skladište gotovih proizvoda [20].



**Slika 10.** Tehnološka shema izvođenja postupka izrade predoblika [20]

## 6. ZBRINJAVANJE I RECIKLAŽA PLASTIKE

Reciklaža plastike uključuje proces uporabe otpadne plastike te njegovu preradu u proizvode koji su korisni. Recikliranje može smanjiti ovisnost o odlagalištima, očuvati resurse i zaštititi okoliš od onečišćenja plastikom i emisija stakleničkih plinova. Plastika koja prije nije obrađivana i reciklirana plastika mogu se koristiti u istom industrijskom procesu. Zbog svoje niske gustoće i niske vrijednosti, plastični polimeri zahtijevaju više truda za recikliranje nego drugi materijali. Različiti polimeri imaju tendenciju razdvajanja u faze poput ulja i vode dok se tale i talože u tim slojevima [27].

Mješavine polimera su održive samo u nekoliko primjena jer fazne barijere dovode do strukturne slabosti konačnog proizvoda. Prije nego što se smanji njezina kvaliteta, do stanja gdje više nije upotrebljiva ista plastika može se reciklirati samo dva ili tri puta. Raznolikost materijala otežava i poskupljuje recikliranje, te sama kvaliteta finalnog proizvoda ovisi o tome. Reciklirana plastika radi toga čini samo 6% cjelokupne potražnje za plastikom u Europi [9].

Mala težina plastike je prednost pri korištenju, ali je nedostatak pri recikliranju ili skupljanju plastičnog otpada. Budući da 60% plastične ambalaže teži manje od 10 g po jedinici, prikupljanje, transport, sortiranje i pranje te ambalaže troši puno energije i ima negativan utjecaj na gospodarstvo i okoliš, uz smanjenje vrijednosti proizvoda koji je recikliran. 20.000 boca potrebno je sakupiti za 1 tonu PET-a. Godine 1992. reciklirano je 11.000 tona plastike od 220 milijuna PVC, PET i PE boca u Italiji i Francuskoj.

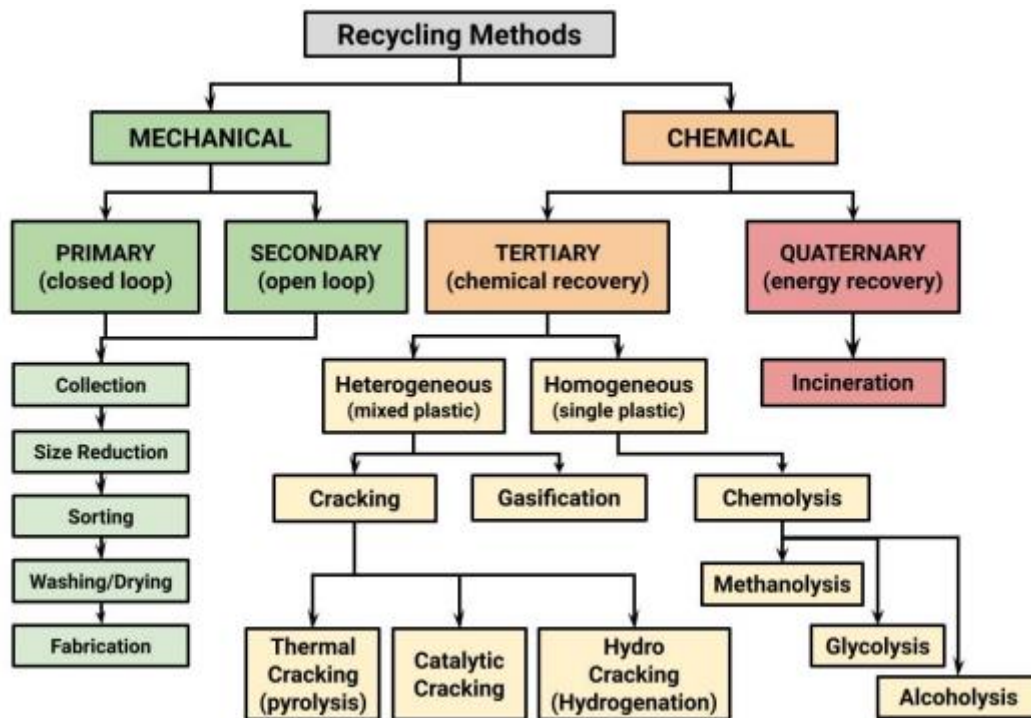
Reciklažna cijena je visoka. U SAD-u recikliranje 1 tone miješane plastike košta 50,3 \$ što je zapravo dvije trećine više nego cijena recikliranog materijala. Recikliranje materijala je efikasno za debelu foliju, PET boce i velike komade, ali ako je riječ o tankom filmu, HDPE bocama i ambalaži koja je lagana, onda se cijena diže i do 500 \$/t [4].

Metode uporabe (recikliranja) plastičnog otpada su:

- Materijalna uporaba
- Kemijska uporaba
- Energetska uporaba
- biorazgradnja – kompostiranje

Neželjeni procesi razgradnje, poput toplinske razgradnje, termo-oksidacijske razgradnje, depolimerizacije, stvaranja nusproizvoda i interakcija između novonastalih nusproizvoda i polimera, odvijaju se tijekom toplinske obrade polimera, odnosno recikliranja. Fizikalno-

mehanička svojstva u koju spada temperatura taljenja, temperatura staklenog prijelaza, lomna čvrstoća, modul elastičnosti i žilavost koriste se za identifikaciju recikliranih polimera. Jasno je da do rekristalizacije, koja podiže točku taljenja i utječe na druga svojstva poput čvrstoće, lomne čvrstoće, tvrdoće i promjene optičkih svojstava, dolazi kada se polimer zagrijava iznad temperature staklišta.



Slika 11. Shematski prikaz tehnika recikliranja plastike [28]

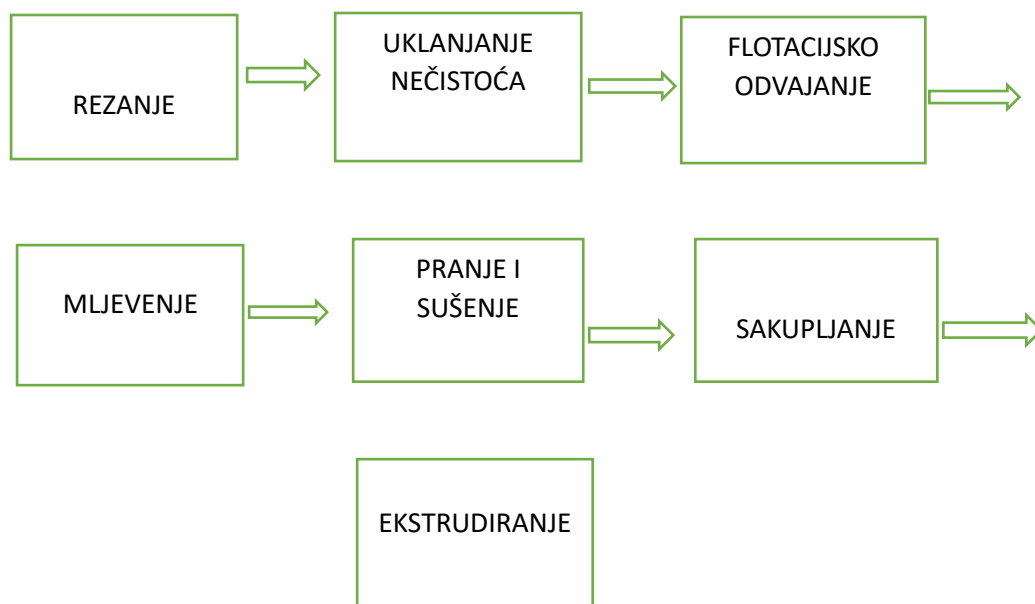
## 6.1 Mehaničko recikliranje

Najpopularnija i najjednostavnija metoda recikliranja polimera je mehaničko recikliranje, koje pomaže u očuvanju prirodnih resursa, smanjenju proizvodnje otpada i očuvanju okoliša. Odnosi se na toplinsku obradu otpadnih polimernih materijala taljenjem ili ekstrudiranjem polimera s ciljem proizvodnje novih polimernih proizvoda. Ekstruzija je najbitnija metoda koja se upotrebljava u industriji mehaničkog recikliranja za proizvodnju regranuliranog materijala od uobičajene otpadne plastike. Mehaničko recikliranje, također poznato kao sekundarno recikliranje, koristiti se za slične polimere kao što su PE, PS, PP itd. međutim kontaminirani otpad traži dodatne procese pripreme poput sortiranja i pranja. Prethodno navedeni koraci prethodne obrade potrebni su za stvaranje visokokvalitetnog, čistog i ujednačenog recikliranog materijala, odnosno reciklata [28].



Razgradnja odnosno degradacija i heterogenost plastičnog otpada dva su od ključnih problema koji se javljaju tijekom mehaničkog recikliranja. Utjecaji energije ili topline mogu rezultirati fotooksidacijom ili mehaničkim naprezanjima jer su kemijske reakcije koje stvaraju polimere (kao što je polimerizacija), u teoriji, reverzibilni procesi. Mnogi predmeti koje svakodnevno koristimo, poput vrećica za kupovinu, cijevi, profili za prozore i vrata itd., izrađeni su od recikliranog materijala, odnosno reciklata dobivenog mehaničkim recikliranjem. Zbog svoje ujednačenosti, minimalne kontaminacije i pristupačnosti velikih količina industrijski plastični otpad izvrsna je sirovina za mehaničko recikliranje. Smanjenje veličine plastičnog otpada u prihvatljiviji oblik, poput manjih komada ili praha, obično je prva faza u mehaničkom recikliranju [20].

Mehaničko recikliranje vrši se pomoću ekstrudiranja. Ekstrudiranje označava kontinuirano protiskivanje omekšanog i zagrijanog polimera kroz mlaznicu. Ovim procesom nastaju beskonačni proizvodi ili poluproizvodi- ekstrudati (proizvodi s 2 određene dimenzije - debljinom i širinom). Ekstrudati uključuju stvari kao što su folije, filmovi, vlakna za sitotisak itd. [29]



**Slika 12.** Shema mehaničkog recikliranja plastičnog otpada [28]

Mehaničko recikliranje dijelimo na:

- 1) primarno recikliranje čistog plastičnog otpada zbog ponovne obrade
- 2) sekundarno recikliranje korištenih proizvoda zbog dobivanja plastike za ponovnu preradu

- **Primarno recikliranje** uključuje korištenje samo čistog plastičnog otpada, kao što je otpad iz proizvodne linije i regenerirani otpad. Promjene temperature i tlaka tijekom recikliranja mogu pojačati termo mehaničku razgradnju, što dovodi do promjena molekularne mase. Kod niskih temperatura promjene nisu toliko zamjetne, dok se kod visokih temperatura znatno smanjuje molekularna masa. Da bi sačuvali svojstva osnovnog materijala dodavanje recikliranog materijala moramo svesti na minimum, te ga moramo ograničiti jer kombiniranjem recikliranog materijala s osnovom polimera smjesa koja će nastati bit će kvalitetna ovisno o količini i karakteristikama polimera koji je recikliran. [8].

Primarno recikliranje u preradbenim pogonima možemo podijeliti u pet faza:

- razvrstavanje, sakupljanje i skladištenje otpada,
- usitnjavanje i miješanje otpada,
- regranuliranje,
- miješanje i skladištenje regranulata i
- ponovna preradba.

Da bi spriječili onečišćenje okoliša zbog razgradnje otpada prvi potez uključuje razvrstavanje otpada na kućnom pragu, prikupljanje od ovlaštenih firmi, te njihovo skladištenje radi daljnje obrade. Drugi korak je usitnjavanje (rezanje, mljevenje i aglomeracija) i miješanje koji se obavlja u silosima za skladištenje. Slijedi ekstrudiranje izmiješanog i usitnjenog otpada, te nakon izlaza iz alata otpad se hladi i reže u granule. Nakon transporta regranulata u prihvatni silos slijedi miješanje, transport i skladištenje ( spremnici, silosi, vreće). Zadnji korak ponovna prerada se odnosi na preradu regranulata kao takav kakav je ili u kombinaciji s izvornim materijalom [8].

- **Sekundarno recikliranje** označava oporavak polimernog otpada nakon njegovog korisnog vijeka trajanja ili nakon potrošnje proizvoda. Kod sekundarnog recikliranja reciklira se heterogeni i homogeni otpad. Sam način reciklaže ne ovisi toliko o svojstvima polimera recikliranih sekundarnim načinom koliko sama proizvodna prošlost polimera. Izloženost polimera fotooksidaciji tokom uporabe koja uzrokuje degradaciju i gubitak nekih svojstava materijala, otežava situaciju. Temeljni problem kod recikliranja heterogenih polimernih materijala je neusklađenost (nemješljivost) različitih polimera,

kao što su PE, PVC i PET.. Samo nekoliko materijala smatra se kompatibilnim odnosno mješljivim. Kako bi se dva nekompatibilna polimera povezala, obično se dodaje treći polimer u manjim količinama prilikom recikliranja heterogenog polimernog otpada [30].

#### ➤ **Reciklaža homogenog plastičnog otpada**

Homogeni plastični otpad većinom se sastoji od jedne vrste plastike te ga je tako lakše oporabiti za proizvodnju nekih drugih materijala i proizvoda. Strojevi koji se koriste za recikliranje homogenog otpada u pravilu imaju četiri faze, a to su mljevenje, pranje, peletiranje i nastajanje perli. Dok recikliranje PVC i PS filmova zahtijeva korištenje takvih strojeva, recikliranje PET-a počinje mljevenjem, pranjem i odvajanjem, no bez ekstrudiranja/ peletiranja. Pahulje koje su dobivene podvrgavaju se daljnjem mehaničkom recikliranju kao što je ekstruzija boca ili vlakana. Sva oprema je uključena u različita postrojenja za recikliranje PE filma, a ovisno o vrsti filma koji se reciklira, mogu se međusobno razlikovati u fazama pranja. Postupci pranja npr. folije koja se koristi u poljoprivredi nije ista kao kod pranja folije za pakiranje jer poljoprivredna folija na sebi sadrži prljavštinu sa tla te je samim time postupak drugačiji. PET boce imaju posebnu obradu u odnosu na ostale plastične materijale kao što su PE filmovi i folije, te se moraju odvajati i očistiti od papirnatih etiketa pa su postrojenja gdje se reciklira PET drugačija. Pahulje se nakon čišćenja i mljevenja peru kako bi se izvadilo ljepilo, papir itd. PET i PE čine ostatak nakon pranja, a odvajaju se postupkom flotacije. PE se odvaja jer je lakši od vode, suši se i ponovno upotrebljava kao i PET. Budući da su pahulje manje izložene razgradnji na ovaj način, faza ekstrudiranja nije potrebna [14].

Kako bi postigli što bolju kvalitetu uz što manje troškove kod ponovnog procesa recikliranja potrebno je za svaku vrstu plastike imati posebno postrojenje za obradu, kako bi iz tog procesa nastao nov i efikasan proizvod koji se može dalje upotrebljavati.

#### ➤ **Reciklaža heterogenog plastičnog otpada**

Pod heterogenim polimernim otpadom podrazumijevamo raznovrstan otpad po svojstvima koji treba obraditi i oporabiti kako bi dobili više različitih materijala i proizvoda. Zbog velike nekompatibilnosti različitih molekularnih i kemijskih struktura polimera koji čine smjesu, recikliranje heterogenog otpada vrlo je zahtjevan proces [31].

Pogoni u kojima se reciklira heterogeni polimerni otpad čine nekoliko procesa: mljevenje, pranje i obradu. Ovakva postrojenja ne sadrže fazu tabletiranja i ekstrudiranja. Mehanička svojstva materijala koji se dobivaju recikliranjem heterogenog polimernog otpada su veoma

niska, stoga metoda recikliranja koja je slična za homogeni otpad nije izvediva. U toku faze recikliranja proizvodi već moraju biti izrađeni. Na taj način većinom se izrađuju materijali većih dimenzija koji u daljnjoj uporabi nisu izloženi većim opterećenjima (stupovi, ograde, kalemi..) [14].

## 6.2. Kemijsko recikliranje

Kemijsko recikliranje je proces koji plastični otpad pretvara natrag u pojedinačne monomere tj. primarnu sirovinu (molekule koje se mogu povezati s drugim identičnim molekulama kako bi se stvorio polimer) koji se dalje primjenjuje za nastajanje kemikalija ili goriva (ulje, plin). Kemijska uporaba opisuje procese u kojima se tokom recikliranja mijenjaju molekularna struktura, oblik i funkcija primarnog proizvoda. Materijali poput plastomera elastomera i duromera mogu se također uporabiti kemijskim procesom [14].

Dokazano je da se nusproizvodi kemijskog recikliranja mogu koristiti kao gorivo, a proces depolimerizacije je metoda koja se nalazi iza toga. Tehnološki procesi kojima se želi postići depolimerizacija, odnosno razdvajanje polimera na njegove sastavne dijelove primjenjujemo procese poput hidrolize, glikolize i metanolize. Pomoću ove tehnologije osigurava se visoka produktivnost uz minimalni otpad. Premda postoje brojne tehnike pomoću kojih se kemijski oporabljuje plastika, veliku većinu njih je zahtjevno upotrebljavati jer zahtijevaju znatna ulaganja i veće količine otpadnih sirovina koje su istovrsne [32].

Slijedi nekoliko metoda kemijskog recikliranja:

- piroliza (termoliza)
- rasplinjavanje (plinifikacija)
- spaljivanje plazmom
- hidroliza
- hidriranje (hidrogenacija)
- recikliranje otapanjem

Kemijsko recikliranje izaziva veliko zanimanje kao način izdvajanja raznih komponenti goriva iz plastičnog otpada, posebno nekatalitičko toplinsko raskidanje veza (termoliza), katalitičko raskidanje i razgradnja parom. Polimeri po prirodi daju mnogo prednosti za ove procese, a neki poliamidi (PA6 i PA66) i poli(etilen tereftalat) (PET) mogu se vješto depolimerizirati. Za tehnologije za proizvodnju goriva, polietilen (PE) je identificiran kao moguća sirovina. Jedan od benefita kemijskog recikliranja je sposobnost obrade onečišćenog i heterogenog plastičnog otpada koji se teže sortira. Kemijsko recikliranje je najbolja opcija ako uporabitelj želi postići

stopu recikliranja od 40% ili više zbog iznimno skupog potrebnog sortiranja i odvajanja. Budući da su petrokemijska postrojenja 6 do 10 puta veća od postrojenja plastike, važno ih je usmjeriti da svoje uobičajene sirovine zamijene sa onim koje su proizvedene kemijskim recikliranjem otpada [8].

### **6.2.1. Hidroliza**

Hidroliza znači cijepanje spoja na dva dijela uz dodatak elemenata vode. Uz pomoć hidrolize molekule vode dovode do cijepanja kemijskih veza unutar materijala. Zbog toga je ona prikladan postupak razgradnje (depolimerizacije) poliestera u prisutnosti katalizatora. Ovom metodom kemijskog recikliranja polimer se razgrađuje na svoje monomerne sastojke.

Procesom hidrolize PET se razgrađuje proizvedeći tereftalnu kiselinu (TPA) i etilen glikol (EG) kao finalne proizvode. Ova metoda kemijskog recikliranja najviše odgovara za recikliranje PET polimera, ali prilikom pročišćavanja reciklirane tereftalne kiseline nastaju veliki troškovi, te se ovaj proces ne primjenjuje često [33].

### **6.2.2. Hidriranje**

Način na koji se odvija proces hidriranja jest da se polimer (ugljikovodik) najprije razgradi u ugljikovodike manje molekularne mase, koji se zatim procesom hidriranja pretvaraju u tekuća odnosno kapljevitaa goriva. Pri visokim tlakovima i temperaturama od 450–500 °C dolazi do degradacije (razgradnje) mješavine polimernog otpada, odnosno posebno miješane otpadne plastike, a kada je prisutan vodik dolazi do hidriranja. Pomoću ove tehnike mogu se proizvoditi petrokemijski proizvodi kao što su koks, benzin, dizel ulje i drugi.

Prema konceptu razgradnje dolazi do kidanja veza u makromolekulama, stvaranja slobodnih radikala na lako reaktivnim mjestima (takve dvostruke veze koje reagiraju s vodikom), a dodatnim kidanjem polimernog lanca nastaju oligomeri, odnosno zasićeni alkani. Količina proizvedenih zasićenih alkana, glavni element koji utječe na poboljšanje kvalitete proizvoda kroz recikliranje, koristi se za procjenu kvalitete hidriranja. Većina heteroatomskog klora, kisika, dušika i sumpora mora se podijeliti, što uključuje cijepanje vodika. To osigurava da proizvedena ulja ne sadrže gore spomenute hetero-elemente, koji ne samo da ometaju reakciju hidriranja, već također uzrokuju onečišćenje kada izgaraju. Ključni produkti koji se dobivaju hidriranjem su plinovi i ulja koji se dalje upotrebljavaju kao pogonska goriva. Općenito, ova metoda proizvodi hidrirano ulje koje ima visoku čistoću, te je daleko čišće od pirolitičkog ulja koji se dobiva rafiniranjem nafte [34].

### 6.2.3. Rasplinjavanje

Kako bi recikliranjem dobili novu sirovinu koja se može ponovno koristiti u kemijskim procesima primjenjujemo metodu rasplinjavanja. Rasplinjavanje uključuje zagrijavanje otpadne plastike zrakom ili parom, kako bi se proizvela vrijedna industrijska plinska smjesa nazvana "sintezni plin" ili sintetski plin. To se zatim može koristiti za proizvodnju dizela i benzina ili izravno spaljivati u kotlovima za proizvodnju električne energije. Kako bi proizveli sintetski plin i gorivo u postrojenju za rasplinjavanje koristimo plinski generator tj. vertikalnu peć gdje se polimerni otpad nalazi u gornjem dijelu peći, a ispod se dodaje zrak u određenom omjeru. Tim procesom odvija se oksidacija vodika tj. prelazak iz krutog u plinovito stanje. Kombinacijom visoke temperature i tlaka (1600°C, 150 bara) i prisustvom vodene pare i kisika dobivamo ugljikov monoksid (CO) i vodik (H<sub>2</sub>). Ova mješavina je također poznata kao vodeni plin. Prema svom sastavu i toplinskoj vrijednosti, plin proizveden ovim procesom može se klasificirati kao [34]:

- slabi vodeni plin
- sintetski redukcijski plin
- jaki gradski plin [34]

Većina procesa pirolize i rasplinjavanja sastoji se od četiri faze:

- 1) Otpadna sirovina u obliku goriva se obrađuje mehaničko-biološkom metodom. Kao druga opcija u pogonu se može preraditi miješani komunalni otpad i iz njega izdvojiti materijale koji su bez ogrjevne vrijednosti, a mogu se reciklirati i pretvoriti u novi proizvod.
- 2) Upotrebom manje količine kisika kod zagrijavanja otpada proizvest će se plin, ulje i pepeo.
- 3) Čišći plin dobiva se uklanjanjem topivih materijala, pojedinanih sastojaka i ugljikovodika
- 4) Proizvodnja električne energije i, u nekim situacijama, topline korištenjem pročišćenog plina.

Da bi se dobio plin visoke čistoće i kalorijske vrijednosti, kemijski postupak rasplinjavanja plastičnog otpada smatra se idealnim rješenjem jer naknadno nisu potrebni dodatni postupci za sprečavanje zagađenja vode i zraka. [35].

### 6.2.4. Piroliza

Piroliza je toplinska razgradnja materijala na visokim temperaturama bez prisutnosti zraka (kisika). Ovim procesom materijal prelazi iz krutog stanja u plinovito a, zatim se kondenzira i ohladi. Različite vrste reakcija pirolize dijelimo na:

- niskotemperaturnu pirolizu ili bubrenje (do 500 °C)
- srednjetemperaturnu pirolizu (500-80 °C)
- visokotemperaturnu pirolizu (> 800 °C)

Postupak pirolize se primjenjuje kod obrade plastičnog otpada kojem se teže odvajaju njegovi sastavni dijelovi te se najčešće spaljuje ili odlaže na odlagalištima, a bilo bi ga poželjno mehanički oborabiti. Ovdje spadaju miješani polietilen, polipropilen, polistiren, višeslojna ambalaža i građevinski otpad. Primarna prednost pirolize u odnosu na druge tehnike recikliranja je mogućnost recikliranja plastičnog otpada bez potrebe za prethodnim pranjem, kao i heterogenog plastičnog otpada, koje je teško ekonomično i zadovoljavajuće odvojiti. Visoke kalorijske vrijednosti je plin koji nastaje kao konačni produkt tijekom pirolize otpada koji sadržava velik postotak sintetičkih materijala, a jedan od njih su plastika i guma. Pepeo je također nusproizvod pirolize te sadrži mineralni sadržaj i ugljik izvorne sirovine. Može se zbrinuti "in situ" oslobađanjem energije ugljika ili iskoristiti u drugim toplinskim procesima. Budući da se postupak provodi u okruženju bez kisika, znatno smanjuje masu otpada za 50-90% dok se emisije onečišćujućih tvari smanjuju na minimum [30, 35].

## **7. OPORABA PLASTIČNE AMBALAŽE**

Oporaba otpada, kako je definirano Zakonom o održivom gospodarenju otpadom (Narodne novine 94/13), je svaki proces čiji je primarni ishod korištenje otpada u korisne svrhe kada otpad zamjenjuje druge materijale koji bi se inače koristili u tu svrhu ili otpad koji je spreman ispuniti tu svrhu, u tvornici ili u širem gospodarskom smislu. Oporabu otpada možemo opisati kao proces ponovne obrade otpada kako bi se koristio u energetske i materijalne namjene. Oporabu možemo podijeliti na materijalnu i energijsku [36].

### **7.1. Energetska uporaba**

Važan korak u zbrinjavanju polimernog otpada je dobivanje energije iz otpada ili njegovo spaljivanje uz iskorištavanje energije. Ova vrsta prerade čini 39,5% plastičnog otpada u EU, a u kombinaciji s udjelom recikliranog plastičnog otpada od 29,7%, može se utvrditi da zapadnoeuropske zemlje recikliraju 69,2% ukupnog polimernog otpada. Postotak otpada koji se spali razlikuje se u većini zemalja npr. u Švicarskoj se spaljuje 77% otpada (2005), u usporedbi s 30% u Velikoj Britaniji. Općenito govoreći, u europskim zemljama otpad se spaljuje po stopi od otprilike 60%.

Brz i napredan razvoj u industrijskom i ostalim sektorima gospodarstva potiče nove tehnologije koje idu u smjeru da se otpad što više reciklira i spaljuje kako bi se dobila energija koja će se upotrijebiti za npr. zagrijavanje vode u gradskim toplanama koje zagrijavaju stanove te za proizvodnju električne energije umjesto fosilnih goriva. Spaljivanje je moguće bez dodavanja goriva zbog udjela plastičnog otpada koji se nalazi u komunalnom otpadu. Kod spaljivanja plastičnog otpada postiže se velika toplinska vrijednost i dodatna prednost jer kod sagorijevanja ispuštaju manje dušikovih oksida u atmosferu od fosilnih goriva. Istraživanja su pokazala da spaljivanje plastike kao energetska uporaba ima veliki potencijal u budućnosti jer smanjuje model odlaganja zakapanjem. Zbog predviđene energetske vrijednosti polimernog otpada od 35 MJ/kg, spalionice sadržavaju uređaje za uporabu energije. [14].

Premda se spaljivanje otpada uključujući i polimernog otpada može činiti kao poželjna aktivnost, postoji mogućnost da bi to moglo uzrokovati onečišćenje okoliša jer se oslobađaju kisele komponente i stvaraju organsko-klorirani spojevi poput klordioksina i klorofurana. Kao rezultat toga, izgaranje plastičnog otpada, poput PVC-a, ima potencijal za proizvodnju dioksina i furana, ali to je uvelike smanjeno kada se izgaranje vrši u kontroliranom okruženju na visokoj temperaturi [14].



Energane na otpad su postrojenja gdje se provodi energetska uporaba. Kao primjer možemo navesti kogeneracijsko postrojenje, koji istovremeno proizvodi toplinsku i električnu energiju u jednom postrojenju, koje pokreće samo jedan primarni izvor energije, čime se jamči bolji prinos energije nego što bi to bilo moguće postići iz dva odvojena proizvodna izvora. Na taj se način gotovo sva toplinska energija proizvedena procesima izgaranja ne rasipa u okoliš, kao što se događa s tradicionalnim postrojenjima, već se obnavlja i ponovno koristi. [35].

Ključne prednosti energetske uporabe otpada su smanjenje volumena otpada i inertizacije, iskorištenje vrijednosti i upravljanje rastućom količinom otpada. Oporaba energije iz otpada igra značajnu ulogu u gospodarenju otpadom. Energetska uporaba jedan je od najpopularnijih načina gospodarenja polimernim otpadom u Europi budući da zauzima veliku količinu na odlagalištima i ima visoku energetska vrijednost [37].

## **7.2. Spaljivanje**

Osim energana na otpad postoje postrojenja čiji je glavni cilj smanjenje obujma otpada. Spaljivanje plastičnog otpada moguće je samostalno ili u kombinaciji s drugim otpadom, poput komunalnog otpada. Spalionice komunalnog otpada su razvijena napredna postrojenja s različitim mogućnostima spaljivanja [37].

Moderne spalionice reguliraju izgaranje, kao i emisije u zrak i vodu. Mjerenjem ostatka u komori i mjerenjem volumena zraka iznad i ispod goruće površine rešetke prati se spaljivanje. Rešetka se polako spušta, pomiče naprijed-nazad i prolazi kroz tri faze dok otpad sagorijeva: sušenje, sagorijevanje i spaljivanje s pratećim pepelom koji se odnosi. Izgaranje plinovitih proizvoda odvija se u drugoj komori uz prisustvo zraka. Posebno se razmatraju emisije plinova koje su tipične za mala postrojenja. Kako bi se spriječilo oštećenje konstrukcijskih elemenata i stvaranje manjih koncentracija nusprodukata spaljivanja potrebno je kontrolirati temperaturu tijekom sagorijevanja. Kako bi smanjili visoku temperaturu koja može oštetiti konstrukcijsko postrojenje potrebno je kontrolirati količinu zraka koji se dovodi zbog sagorijevanja, ili hladiti stjenke elemenata postrojenja vodom. Temperatura se mora održavati iznad 750°C i ispod 1000°C kako bi se omogućilo optimalno izgaranje, spriječilo topljenje rešetke i začepljenje te povećala postojanost otpornost građevinskih materijala.

Sav komunalni otpad sadrži dio plastičnog otpada koji koriste energane za proizvodnju dodatne vrijednosti, dok spalionice također mogu poslužiti kao dobar primjer brzog rješavanja komunalnog otpada kako bi smanjili količine u kratkom vremenskom periodu [38].

## **8. SUSTAV ZBRINJAVANJA POLIMERNOG OTPADA U REPUBLICI HRVATSKOJ**

U Republici Hrvatskoj postoje firme i obrtnici koji se bave obradom otpadne plastične ambalaže. Da bi se mogli baviti ovom djelatnošću, moraju posjedovati određene dozvole i certifikate koje propisuje Ministarstvo zaštite okoliša i prirode, te direktive koje propisuje Europska unija vezane za to područje. Svaka firma ili obrtnik mora zadovoljiti određene tehničke uvjete u pogledu prikupljanja, prijevoza, sortiranja, obrade u postrojenjima, odlagalištima i sl. kako bi mogli zadovoljiti stroge propise posebno na očuvanju prirode i okoliša. Postupci oporabe i zbrinjavanja označuju se određenim oznakama i nazivima postupka. Pa tako možemo navesti primjer postupka kada obrađivač obrade otpada ne reciklira i obrađuje sav otpad u Republici Hrvatskoj, već ga izvozi u druge strane države radi daljnjeg korištenja. Sve podatke vezane za postupke i radnje oko obrade, te točne količine obrađivač jer dužan prijaviti u Registar u određenim propisanim datumima na godišnjoj razini, a to je do 20. siječnja tekuće godine, a najkasnije do 10. u tekućem mjesecu za prethodno tromjesečje. U Zagrebu se plastični otpad skuplja na Jankomiru, a razvrstava u Oroslavju. Plastika koja je sakupljena usmjerava se na liniju za sortiranje. Na poslovima odvajanja ekonomski vrijedne plastike od ostalog otpada zaposleno je stotinjak i više ljudi [39].

Primjena sustava prikupljanja PET ambalaže efikasno se primjenjuje u cijeloj zemlji i ne označava značajnu prijetnju onečišćenja okoliša ili neiskorištavanja dragocjenih resursa. Problem se pojavljuje kada su u pitanju ostale vrste plastične ambalaže kao što su PE-LD vrećice, PP boce, predmeti izrađeni od PE-HD-a itd [40].

Potrebno je osigurati uvjete za ispravno funkcioniranje sustava kako bi se projekt odvojenog prikupljanja ostale plastike mogao provesti na državnoj razini. Moraju biti ispunjeni sljedeći uvjeti:

- izgraditi nova postrojenja u područjima gdje u neposrednoj okolini ne postoji pogon za obradu plastičnog otpada. Plastični otpad se sakuplja, sortira, skladišti, preša i balira u tim objektima prije nego što se pošalje u pogon za recikliranje na konačno zbrinjavanje.
- potreban broj spremnika za odlaganje plastičnog otpada koje će koristiti građani
- osiguran prijevoz prikupljenog plastičnog otpada u centar za gospodarenje ambalažnim otpadom, koji će ga preuzeti, razvrstavati ga i pripremiti za predaju koncesionaru ovlaštenom za recikliranje drugog plastičnog otpada, kao što je Ekolektor d.o.o. Zagreb.

- sniziti cijene usluga za vlasnike kućanstava koji učestvuju u odvojenom prikupljanju plastičnog otpada na cjeniku odvoza komunalnog otpada [40].

## **9. SUSTAV GOSPODARENJA PLASTIČNIM KOMUNALNIM OTPADOM TVRTKE LOTUS 91. D.O.O**

U sklopu diplomskog rada i teme koju sam odabrala posjetila sam poduzeće Lotus 91 d. o. o. koje se bavi sakupljanjem i zbrinjavanjem plastične ambalaže. Poduzeće Lotus 91 nalazi se u blizini mog mjesta stanovanja na lokaciji Braće Radića 61 Jalkovec, Varaždin. Posjetila sam dva pogona od kojih se jedan nalazi u Jalkovcu, gdje je sjedište firme i pogon u Ludbregu. Tvrtka je osnovana 1991. godine, te je područje njezinog djelovanja sjeverozapadna Hrvatska i šire. Od dana postojanja i narednih godina djelatnost je bila zadužena samo uz prijevoz i sakupljanje otpada, dok je za sakupljanje komunalnog otpada, te na sortiranje i skladištenje neopasnog proizvodnog i ambalažnog otpada uvedena od 2000. godine. Sa povećanjem poslovnih aktivnosti povećao se i broj radnika koji danas iznosi oko 150 ljudi. Za obavljanje navedenih djelatnosti firma posjeduje prikladan prostor i opremu te sve potrebne dozvole i rješenja [41].

Na snagu Pravilnika o ambalaži i ambalažnom otpadu stupa od 2006. godine, te se firma uključuje u sustav prikupljanja plastičnog ambalažnog otpada (PET) za koji je kupcu isplaćena naknada te se posebno odvaja i sav ambalažni otpad koji se ne uključuje u sustav povratne naknade. Sklopljenim ugovorom djeluju kao sakupljač Fonda za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost. Kao centar za gospodarenje ambalažnim otpadom posluju od 2008. godine za područje četiri županije sjeverozapadne Hrvatske (Varaždinska, Međimurska, Krapinsko-zagorska, Koprivničko-križevačka). U njihovo skladište se iskrcava sav ambalažni otpad koji sakupljaju od 800-tinjak trgovina na određenom području, zatim slijedi baliranje i pripremanje za odvoz na oporabu [41].

### **9.1. Opis tehnološkog procesa u pogonu Jalkovec**

#### **➤ Prijevoz otpada sa skladišta i vaganje otpada**

Radnik na razvrstavanju otpada- Viličarist sa skladišta dovozi otpad u balama. Prije ulaska u tehnički proces evidentira se masa otpada- vaganje bala. Vaganje se obavlja na platformskim vagama do nosivosti 3 tone. Podaci se upisuju u interni obrazac EOS.

### ➤ Ručno otvaranje bala

Radnik na razvrstavanju otpada ručno otvara bale na način da se ručnim kliještima reže žica kojom je otpad vezan. Po otvaranju rasuti otpad skladišti se u box za tu namjenu. Žica od otvaranja bala transportira se do prostora za prešanje gdje se nakon nakupljanja određene količine ista stavlja u prešu.

### ➤ Utovar otpada u usipni koš

Otpad iz box-a koji je u rasutom obliku putem viličara s korpom ili ručno, usipava se u usipni koš- dozator putem kojeg se otpad dozira na transportnu traku na proces razvrstavanja. U usipnom košu nalazi se i rotacioni trgač koji ima funkciju razdvajanja i razbijanja preostalog stisnutog otpada, a koji je eventualno ostao kompaktan nakon otvaranja bale.



Slika 13. Usipni koš

### ➤ Ručno razvrstavanje otpada

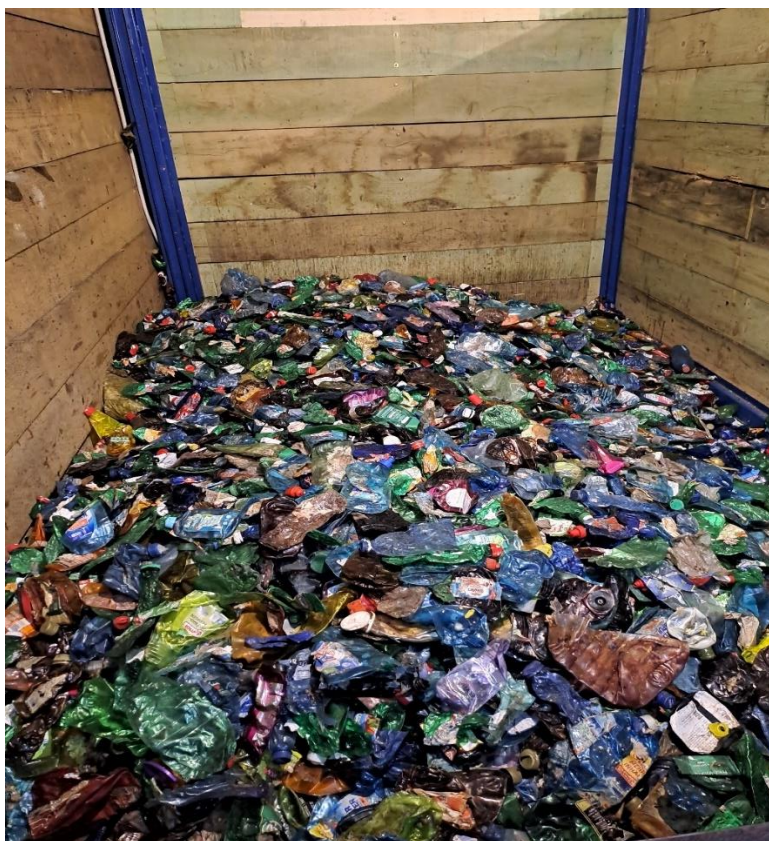
Otpad iz usipnog koša- dozatora kosim transporterom dolazi do beskonačne trake na kojoj se obavlja razvrstavanje određenih frakcija otpada. Radnici za razvrstavanje stoje s obje strane trake te ručno odvajaju plastiku prema vrsti: PET, PE-LD, PE-HD, PP, PS, OPAK ( boce bijele boje), BLISTER (vrsta PET-a, najčeće podlošci za mesnu industriju), SMEĆE te prema boji:

NATUR (prozirne boce-kozmetika, šamponi, deterdženti itd.) ŠARENI (prema bojama, istog su sastava kao natur). Način razvrstavanja ovisi o potrebama tržišta.



**Slika 14.** Horizontalna beskonačna transportna traka za sortiranje plastike

Definirane vrste otpada nakon izdvajanja ubacuju se ručno u vertikalne otvore iz kojih slobodnim padom otpad završava u boxovima ispod sortirnice. Sortirница se nalazi na visini od 2,5 metra od poda hale. Na transportnoj traci cijelo vrijeme se propušta neiskoristiva frakcija, odnosno smeće koje također slobodnim padom sa trake dolazi u za to namijenjeni box smješten ispod traka. Radnik na razvrstavanju otpada uz razvrstavanje tijekom cijelog radnog procesa obavlja i kontrolu kvalitete razvrstavanja u sortirnici.



**Slika 15.** Koš za sortiranu plastiku

➤ **Prijevoz i vaganje sortiranih frakcija do sljedećeg tehnološkog procesa**

Izdvojene frakcije upotrebljivog otpada viličarima s korpom transportiraju se, nakon vaganja, u tehnološki proces prešanja dok se neupotrebljiva frakcija smeće pretežito odvozi u tehnološki proces šrediranja, ovisno o potrebama. Nakon procesa šrediranja ova frakcija postaje gorivo iz otpada. Sve nastale količine otpada u procesu sortiranja evidentiraju se na internom obrascu EOS.



**Slika 16.** Stroj za mljevenje plastike



**Slika 17.** Preskntenjer

➤ **Evidentiranje i dokumentiranje procesa**

Sve količine otpada kao i tijek otpada u procesu sortiranja poslovođa organizacijske sortirnice evidentira na internim obrascima EOS i IZDATNICA.

## 9.2. Opis tehnološkog procesa u pogonu Ludbreg



**Slika 18.** Balirana roba

Na slici je prikazana dostavljena balirana roba (mix roba ili prethodno sortirana ) u pogonu Ludbreg koja je spremna za daljnju obradu.



**Slika 19.** Otvorene bale (rasuti materijal) prije procesa uporabe

Nakon dovezenih baliranih bala iste se moraju rasuti zbog pripreme za drobljenje.





**Slika 20.** Shredder uređaj

Na slici je prikazan proces drobljenja (šrediranje), pomoću shredder uređaja koji drobi plastiku na određenu veličinu po narudžbi kupca i svrhu za koju je namijenjena.



**Slika 21.** Uređaj za automatsko sortiranje (pellenc)

Uređaj je namijenjen za sortiranje različitih vrsta materijala kao npr. (pp, ps)



**Slika 22.** Proces mljevenja

Proces mljevenja sastoji se od nekoliko faza koje plastika mora proći. Prethodno sortirana po grotlu dolazi do ulazne trake te odlazi do mlina. Slijedi prešanje koje označava veoma bitan korak praoblikovanja polimera. Sušenje je jedna od glavnih operacija uporabe polimera koja se izvodi prije prijenosa u postrojenje za proizvodnju spojeva ili pakiranje za izravnu upotrebu. To je dio procesa u kojem se polimerom postupa uglavnom kao s krutom tvari, a struje tekućine i plina postaju relativno male.



**Slika 23.** Stoj za pakiranje usitnjenog materijala

Ovdje se nalazi big bag stanica u kojoj se vreće pune materijalom nakon procesa mljevenja (vreće za pakiranje flex materijala).



**Slika 24.** Stroj za obradu krupnog materijala

Na slici se nalazi dekanter, stroj koji zbrinjava krupni materijal koji se kasnije vodi na odlagalište Piškornica. Dekanter služi za odvajanje krutih tvari od tekućina u smjesi uz pomoć centrifugalne sile. Centrifuga je glavna sila koja vrtnjom razdvaja dvije komponente.

## 10. ZAKLJUČAK

Svako vremensko razdoblje kroz povijest čovječanstva i njegovog razvoja obilježilo je otkriće nekih novih materijala i stvari a jedna od njih je svakako plastika. Predmeti i stvari izrađeni i proizvedeni od drva, metala, stakla i nekih drugih materijala obilježili su svoj dio povijesti, a tako je i plastika obilježila 20. stoljeće gdje je došlo do otkrića supstanci plastike i njezine masovne proizvodnje. Porastom stanovništva i potrebom za povećanom proizvodnjom hrane, prijevoznih sredstava, tehnike i sl. plastika ima vrlo značajno mjesto i korist. To značajno mjesto koje plastika ima u današnjem svijetu i upotrebi zbog svoje masovnosti istovremeno postaje globalni problem i izazov u smislu zbrinjavanja. Svaka stvar gdje smo upotrijebili ili ugradili plastiku ima rok upotrebe, kratkotrajni npr. (PET boce) ili dugotrajniji (dijelovi automobila), te nakon korištenja postaje otpad. Taj otpad je potrebno zbrinuti ili oporabiti po standardima koji neće naštetiti ljudskom zdravlju i okolini. Najveći problem plastike je u njezinoj dugotrajnoj razgradnji, pa je stoga bitno pronaći načine kako je ponovno reciklirati i oporabiti, a svesti na najmanju moguću mjeru sistem zakapanja.

Sve članice europske unije, pa tako i Hrvatska moraju se prilagoditi i primijeniti određene direktive, načela i obveze koje je preporučila Europska komisija i njezina tijela koja su zadužena za donošenje zakona i propisa o zbrinjavanju i uporabi plastike. Prvi korak smo učinili na kućnom pragu jer kućanstva su jedan od najvećih proizvođača svih vrsta otpada, pa tako i plastike. Sortiranje otpada po vrsti i sastavu materijala značajno olakšava recikliranje i naknadnu uporabu i zbrinjavanje. Postoci po kojima Europska komisija boduje zbrinjavanje našoj zemlji ne idu u korist u odnosu na ostale članice ali vidi se pomak u odnosu na razdoblje prije ulaska u Europsku uniju. Naš glavni grad Zagreb pokušava uhvatiti korak za europskim metropolama koje imaju dobro razrađen sistem zbrinjavanja pogotovo u dijelu koji se odnosi na spalionice gdje bi se oporabila energija za nove vrijednosti.

Poduzeće koje sam posjetila bavi se prikupljanjem, sortiranjem, mljevenjem i prodajom plastike za daljnju obradu. Njihov osnovni proizvod koji se obrađuje je kratkotrajna plastična ambalaža s povratnom naknadom (PET boce) koje potrošači koriste u velikim količinama te ostale vrste plastičnih materijala koji se dalje sortiraju. Pošto se čovječanstvo stalno povećava smatram da će proizvodi od plastike ostati u primjeni još u većoj mjeri, ali se nadam da će stručnjaci pronaći načine i supstance plastike poput bio plastike koja ima veću mogućnost razgradnje kako bi planet ostao čišći za buduće generacije.

## 11. LITERATURA

- [1] Henjak. M. (2021.) Gospodarenje polimernim ambalažnim otpadom u Republici Hrvatskoj, Završni rad, Sveučilište u Splitu, Kemijsko-tehnološki fakultet
- [2] Ptiček Siročić A., Đurina M., Špoljarić E (2016.) Oporaba pet ambalaže, Stručni rad, Geotehnički fakultet, Sveučilište u Zagrebu
- [3] Rujnić-Sokele M. (2015.), Plastični otpad – globalni ekološki problem, Polimeri: časopis za plastiku i gumu
- [4] Gospodarenje otpadom, Zagreb 1994., Međunarodno znanstveno-stručni simpozij
- [5] Europska strategija za plastiku u kružnom gospodarstvu (2018.) – Europska Komisija
- [6] Fuk B. (2019) Plastična ambalaža - nužno zlo, Ministarstvo zaštite okoliša i energetike, Zagreb
- [7] Dolčić I. (2017.) Kemijsko recikliranje poli(etilen-tereftalata) Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Diplomski rad
- [8] Šercer M., Opsenica D., Barić G., (2000), Oporaba plastike i gume, Zagreb
- [9] Vučković R. (2021.) Posebne kategorije otpada-Plastični otpad, Završni rad Veleučilište u Karlovcu studij lovstva i zaštite prirode
- [10] Golub I. (2017.) Poli(vinil-klorid) kao materijal za svakodnevnu upotrebu, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Završni rad
- [11] M. Brizić, Z. Janović, / . Šmit, D. Štefanović Polimerizacija - polimerni materijali
- [12] Borić M. (2018.) Karakterizacija pjenastog polistirena nakon uporabe, Sveučilište u Splitu, Kemijsko-tehnološki fakultet, Završni rad
- [13] ŽUNA, K. (2019): Plastika-kako se zaštititi od otrova iz plastike? <https://krenizdravo.dnevnik.hr/zdravlje/plastika-kako-se-zastiti-od-otrova-iz-plastike> preuzeto: (10.4.2023.)
- [14] Hrnjak-Murčić Z. (2016) Gospodarenje polimernim otpadom. Skripta. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije
- [15] Lange J.P (2021.) Managing Plastic Waste Sorting, Recycling, Disposal, and Product

Redesign, ACS Sustainable Chemistry & Engineering  
<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acssuschemeng.1c05013> preuzeto: (13.4.2023.)

[16] Methods Used for the Separation of Plastics <https://roymaplast.com/en/metodos-utilizados-para-la-separacion-de-plasticos/> preuzeto: (18.4.2023)

[17] Chengqian J.X., Yuhan Z., Jianzhong J., Peng Zhao F., (2022.) Automatic and continuous separation of mixed waste plastics via magneto-Archimedes levitation, Separation and Purification Technology

[18] CWC (2022.) Manual Sorting Systems, Best Practices in PET Recycling <https://p2infohouse.org/ref/14/13522.pdf> preuzeto: (22.4.2023.)

[19] What is a hydrocyclone used for and how does it work? (2022.) <https://www.global.weir/newsroom/global-news/news-articles/what-is-a-hydrocyclone-used-for-and-how-does-it-work> preuzeto: (22.4.2023.)

[20] Kalambura S., Racz A. (2015) Održivo gospodarenje otpadom, Zdravstveno Veleučilište, Zagreb

[21] Setting standards in plastics recycling (2023.) ANDRITZ decanter centrifuges Censor ACZ for efficient plastics recycling <https://www.andritz.com/products-en/group/separation/decanter-centrifuges/decanter-centrifuges-acz> preuzeto: (22.4 2023.)

[22] Ptiček Siročić A. (2012.) Recikliranje i zbrinjavanje otpada, Interna skripta, Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije. Zavod za polimerno inženjerstvo i organsku kemijsku tehnologiju

[23] Flizikowski J., Macko M., (2021.) The Development of Efficient Contaminated Polymer Materials Shredding in Recycling Processes <https://www.mdpi.com/2073-4360/13/5/713> preuzeto: (28.4.2023.)

[24] What makes a good plastics recycling melt filtration system? <https://blog.erema.com/plastics-recycling-melt-filtration-system-technology> preuzeto: (10.5.2023.)

[25] Hrnjak-Murgić Z. Zbrinjavanje polimernog otpada, Sveučilište u Zagrebu Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Ekoinženjerstvo

[26] Thermoplastic regranulate <https://interrecycling.eu/regranulate/> preuzeto: (14.5.2023.)

- [27] Madžukić I. (2018.) Utjecaj plastike na okoliš, Sveučilište u Rijeci, Filozofski fakultet u Rijeci, Završni rad
- [28] Schyns Z., Shaver M.P (2020.) Mechanical Recycling of Packaging Plastics: A Review [https://www.researchgate.net/publication/345494289\\_Mechanical\\_Recycling\\_of\\_Packaging\\_Plastics\\_A\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/345494289_Mechanical_Recycling_of_Packaging_Plastics_A_Review) preuzeto: (14.5.2023.)
- [29] Inertna skripta, Recikliranje i zbrinjavanje otpada, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Sveučilište u Zagrebu, Zavod za polimerno inženjerstvo i organsku kemijsku tehnologiju
- [30] Zubac N. (2021.) Gospodarenje plastičnim komunalnim otpadom u Republici Hrvatskoj do 2021. godine, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu
- [31] Titone V., La Mantia F.P., (2023.) Recycling of Heterogeneous Mixed Waste Polymers through Reactive Mixing, Department of Engineering, University of Palermo
- [32] Novosel N. (2018.) Postupci recikliranja poli(etilen-tereftalata) Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Završni rad
- [33] Al-Sabagh, A. M., Yehia, F. Z., Eshaq, G., Rabie, A. M., ElMetwally, A. E.: Greener routes for recycling of polyethylene terephthalate, Egyptian Journal of Petroleum, 25, pp. 53-64, 2016.
- [34] Matas I., (2019.) Usporedba dviju tehnologija energetske konverzije plastičnog otpada (piroliza i rasplinjavanje) i vezanih sustava gospodarenja plastičnim otpadom, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Diplomski rad
- [35] Salem S.M, Lettieri P., Baeyens J.,(2009.) Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X09002190> preuzeto: (24.5.2021.)
- [36] Narodne novine br. 84/2021 Zakon o gospodarenju otpadom, Zagreb: Narodne novine d.d.
- [37] Radetić E., (2016.) Zbrinjavanje polimernog otpada, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Završni rad
- [38] Švob A. Spalionice otpada, dioksini i pepeo. Polimeri. 2003. 24 (1) str. 25-2
- [39] Bogdan A., (2019.) Izazov gospodarenja otpadom plastikom, Zaštita okoliša, Časopis Građevinar 6

[40] Kalambura. S, Kiš D. Guberac S., (2018.) Gospodarenje otpadom 2, Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Knjiga

[41] Živčec I., (2017.) Povratna logistika u poduzeću "Lotus 91 d.o.o.", Sveučilište Sjever, Varaždin, Završni rad



Sveučilište  
SjeverSVEUČILIŠTE  
SJEVER

## IZJAVA O AUTORSTVU

Završni/diplomski 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, Lucija Ilić (*ime i prezime*) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (*obrisati nepotrebno*) rada pod naslovom Zbrinjavanje i oporaba plastične ambalaže (*upisati naslov*) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:  
(*upisati ime i prezime*)

(vlastoručni potpis)

Sukladno čl. 83. Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Sukladno čl. 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 znanstvena i umjetnička djelatnost i visoko obrazovanje.

6.9%

Results of plagiarism analysis from 2023-09-12 19:41 UTC

Lucija Ilić-diplomski rad1 (5).docx

Date: 2023-09-12 19:36 UTC

★ All sources 85 | 🌐 Internet sources 56 | 🏢 Organization archive 26 | 🛡️ Plagiarism Prevention Pool 3

✓ [0]	🌐 www.fkit.unizg.hr/_download/repository/Skripta-Gospodarenje-polimernim-otpadom-Murgic.pdf	1.3%	16 matches
✓ [1]	🌐 repozitorij.gfv.unizg.hr/islandora/object/gfv:150/datastream/PDF/view	1.0%	12 matches
✓ [2]	🌐 zir.nsk.hr/islandora/object/fkit:1197/datastream/PDF/view	1.0%	9 matches
✓ [3]	🌐 repozitorij.fsb.unizg.hr/islandora/object/fsb:50/datastream/PDF/view	0.9%	8 matches
✓ [4]	📄 "Diplomski.docx" dated 2021-06-12	0.9%	10 matches
✓ [5]	📄 "DIPLOMSKI - Luka Meglic.docx" dated 2021-08-24	0.8%	12 matches
✓ [6]	🌐 repozitorij.rgn.unizg.hr/islandora/object/rgn:1884/datastream/PDF/view	0.8%	10 matches
✓ [7]	🌐 zir.nsk.hr/islandora/object/ktfst:834/datastream/PDF/download	0.7%	8 matches 📄 1 documents with identical matches
✓ [9]	📄 "Diplomski.docx" dated 2021-04-30	0.8%	9 matches 📄 5 documents with identical matches
✓ [15]	🌐 repozitorij.vuka.hr/islandora/object/vuka:1841/datastream/PDF/view	0.6%	9 matches 📄 1 documents with identical matches
✓ [17]	📄 "Recikiranje-PET-ambalaže_dipl.docx" dated 2021-03-01	0.8%	8 matches 📄 3 documents with identical matches
✓ [21]	🌐 repozitorij.fkit.unizg.hr/islandora/object/fkit:248/datastream/PDF/view	0.7%	8 matches
✓ [22]	🌐 repozitorij.unin.hr/islandora/object/unin:4503/datastream/PDF/download	0.6%	10 matches
✓ [23]	🌐 zir.nsk.hr/islandora/object/unin:1544/datastream/PDF/view	0.5%	8 matches
✓ [24]	🌐 slideplayer.com/slide/14077067/	0.6%	5 matches
✓ [25]	🌐 core.ac.uk/download/pdf/197877106.pdf	0.5%	8 matches
✓ [26]	🌐 glosbe.com/hr/en/Kemjsko-tehnološki fakultet	0.5%	5 matches
✓ [27]	📄 "Recikiranje_Plasticne_Ambalaze Barbaric Ante i Ravancic Mario.pdf" dated 2021-12-07	0.5%	6 matches
✓ [28]	🌐 repozitorij.fkit.unizg.hr/islandora/object/fkit:759/datastream/PDF/view	0.5%	5 matches
✓ [29]	🌐 narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/luli/2021_07_84_1554.html	0.3%	4 matches
✓ [30]	🌐 repozitorij.fkit.unizg.hr/islandora/object/fkit:1539/datastream/PDF/view	0.4%	6 matches
✓ [31]	🌐 www.fkit.unizg.hr/_download/repository/skripta_za_vjezbe_RIZO.pdf	0.4%	5 matches
✓ [32]	🌐 www.fkit.unizg.hr/_download/repository/ZBRINJAVANJE_PO-predavanje-VII-.pdf	0.4%	5 matches

AI

- [33] [www.fkit.unizg.hr/\\_download/repository/skripta\\_za\\_vjezbe\\_RIZO.pdf](http://www.fkit.unizg.hr/_download/repository/skripta_za_vjezbe_RIZO.pdf)  
0.4% 5 matches  
1 documents with identical matches

---

- [35] [repositorij.fkit.unizg.hr/islandora/object/fkit:587/datastream/PDF/view](https://repositorij.fkit.unizg.hr/islandora/object/fkit:587/datastream/PDF/view)  
0.5% 5 matches  
1 documents with identical matches

---

- [37] [docplayer.net/74377510-Fakultet-strojarstva-i-brodogradnje-zavrzni-rad.html](http://docplayer.net/74377510-Fakultet-strojarstva-i-brodogradnje-zavrzni-rad.html)  
0.4% 6 matches

---

- [38] [dokumen.tips/documents/oporabaplastike.html](http://dokumen.tips/documents/oporabaplastike.html)  
0.4% 5 matches

---

- [39] ["Plastična ambalaža.docx" dated 2021-03-17](#)  
0.4% 6 matches

---

- [40] [repositorij.fkit.unizg.hr/islandora/object/fkit:2242/datastream/PDF/view](https://repositorij.fkit.unizg.hr/islandora/object/fkit:2242/datastream/PDF/view)  
0.4% 4 matches

---

- [41] [hrcak.srce.hr/file/410587](http://hrcak.srce.hr/file/410587)  
0.4% 4 matches

---

- [42] [dokumen.tips/documents/kemijsko-recikliranje-poliethilen-tereftalata.html](http://dokumen.tips/documents/kemijsko-recikliranje-poliethilen-tereftalata.html)  
0.4% 4 matches

---

- [43] [repositorij.fkit.unizg.hr/islandora/object/fkit:1758/datastream/PDF/view](https://repositorij.fkit.unizg.hr/islandora/object/fkit:1758/datastream/PDF/view)  
0.4% 5 matches

---

- [44] ["1\\_22.12.2021\\_NOVO\\_ZADNJA VERZIJA VERZIJA\\_Znanstveno- istraživačka strategija 2021\\_2027 \\_glavna - lektorirano - konačno \(00.docx"](#)  
0.4% 5 matches

---

- [45] [slideplayer.com/slide/14532003/](http://slideplayer.com/slide/14532003/)  
0.3% 4 matches

---

- [46] [repositorij.fkit.unizg.hr/islandora/object/fkit:1275/datastream/PDF/download](https://repositorij.fkit.unizg.hr/islandora/object/fkit:1275/datastream/PDF/download)  
0.3% 5 matches  
2 documents with identical matches

---

- [49] ["Onečišćenja uzrokovana električnim i elektroničkim otpadom i njihov utjecaj na okoliš\\_2.docx" dated 2022-09-12](#)  
0.3% 6 matches

---

- [50] ["01\\_Gospodarenje otpadom\\_09092023.docx" dated 2023-09-09](#)  
0.3% 5 matches

---

- [51] [www.fzoeu.hr/hr/obrada-9319/9319](http://www.fzoeu.hr/hr/obrada-9319/9319)  
0.2% 2 matches

---

- [52] ["Onečišćenja uzrokovana električnim i elektroničkim otpadom i njihov utjecaj na okoliš\\_2.docx" dated 2022-09-09](#)  
0.2% 5 matches

---

- [53] ["Boris.JuricDokDis\\_ver4\\_17.07.docx" dated 2020-07-17](#)  
0.2% 4 matches

---

- [54] [hrcak.srce.hr/file/209194](http://hrcak.srce.hr/file/209194)  
0.3% 3 matches

---

- [55] [www.fkit.unizg.hr/\\_download/repository/ZBRINJAVANJE\\_PO-predavanje-IX-.pdf](http://www.fkit.unizg.hr/_download/repository/ZBRINJAVANJE_PO-predavanje-IX-.pdf)  
0.3% 3 matches

---

- [56] [hr.wikipedia.org/wiki/Rasplinjavanje](http://hr.wikipedia.org/wiki/Rasplinjavanje)  
0.3% 3 matches

---

- [57] [repositorij.fkit.unizg.hr/islandora/object/fkit:876/datastream/PDF/download](https://repositorij.fkit.unizg.hr/islandora/object/fkit:876/datastream/PDF/download)  
0.3% 3 matches

---

- [58] [www.fkit.unizg.hr/\\_download/repository/ZBRINJAVANJE\\_PO-predavanje-VIII-.pdf](http://www.fkit.unizg.hr/_download/repository/ZBRINJAVANJE_PO-predavanje-VIII-.pdf)  
0.3% 3 matches

---

- [59] [repositorij.fkit.unizg.hr/en/islandora/object/fkit:360/datastream/PDF/view](https://repositorij.fkit.unizg.hr/en/islandora/object/fkit:360/datastream/PDF/view)  
0.3% 3 matches  
1 documents with identical matches

---

- [61] [core.ac.uk/download/pdf/197875955.pdf](http://core.ac.uk/download/pdf/197875955.pdf)  
0.3% 3 matches

---

- [62] [repositorij.fkit.unizg.hr/en/islandora/object/fkit:810/datastream/PDF/view](https://repositorij.fkit.unizg.hr/en/islandora/object/fkit:810/datastream/PDF/view)  
0.3% 3 matches  
1 documents with identical matches

---

- [64] [repositorij.fkit.unizg.hr/en/islandora/object/fkit:1493/datastream/PDF/view](https://repositorij.fkit.unizg.hr/en/islandora/object/fkit:1493/datastream/PDF/view)

A  
Id

AI

	0.3%	3 matches
✓ [65]	0.2%	"Mineta Ebeji-diplomski rad.docx" dated 2021-09-06 4 matches
✓ [66]	0.2%	www.glv.unizg.hr/upload/document/196/CIO_vol_3_no_1.pdf 3 matches
✓ [67]	0.2%	"EMINA SENJAN-FLEKSIBILNA AMBALAŽA ZA KRUTE LJEKOVE (002).docx" dated 2020-02-08 3 matches 1 documents with identical matches
✓ [69]	0.2%	repozitorij.fsb.hr/296/1/03_07_2008_232anje.pdf 4 matches
✓ [70]	0.2%	"Mineta Ali- dipl rad.verz 5 FINAL.docx" dated 2021-09-02 3 matches
✓ [71]	0.2%	www.fkit.unizg.hr/_download/repository/Prerada_polimera.pdf 3 matches
✓ [72]	0.2%	core.ac.uk/download/198149555.pdf 2 matches
✓ [73]	0.2%	zir.nsk.hr/islandora/object/ktfst:377 2 matches
✓ [74]	0.2%	dokumen.tips/documents/polimernimaterijali-558447cf86866.html 2 matches
✓ [75]	0.1%	"Klaudija Mrzlečki - Utjecaj dizajna ambalaže na prodaju piva.docx" dated 2020-07-04 2 matches 8 documents with identical matches
✓ [84]	0.2%	www.x-mol.com/paper/1484626425976995840 1 matches
✓ [85]	0.1%	hr.plasrecycling.com/news/factory-plastic-recycling-plant-59387691.html 1 matches
✓ [86]	0.1%	"Seminar - oznake na ambalaži.docx" dated 2021-01-26 2 matches
✓ [87]	0.1%	hr.plasrecycling.com/hewlist-1 1 matches
✓ [88]	0.1%	www.andritz.com/products-en/separation/decanter-centrifuges/decanter-centrifuges-acz 2 matches
✓ [89]	0.1%	hrcak.srce.hr/file/103761 2 matches
✓ [90]	0.1%	"Gospodarenje polimernom ambalažom_Mirko_Jelavic.pdf" dated 2021-12-16 2 matches
✓ [91]	0.1%	"seceni_antonio_unin_2018_završ_struc.pdf" dated 2020-09-10 2 matches
✓ [92]	0.1%	from a PlagScan document dated 2017-04-05 12:49 2 matches
✓ [93]	0.1%	www.scribd.com/document/381561921/Reciklaža-proširena 1 matches
✓ [94]	0.1%	www.scribd.com/document/589907747/Polimeri-uvodno-predavanje 1 matches
✓ [95]	0.1%	"Diplomski rad Ivor_Križnjak_Utjecaj Mikroplastike na prirodu i okoliš.docx" dated 2022-09-12 2 matches 3 documents with identical matches
✓ [99]	0.1%	bifix.hr/index.php/2021/12/08/nacini-prerade-poliolefina/ 1 matches
✓ [100]	0.1%	"diplomski_rad_gudlinmartina.pdf" dated 2022-09-13 1 matches 3 documents with identical matches
✓ [104]	0.1%	"UTJECAJ RETRO AMBALAŽE NA PRODAJU PROIZVODA.docx" dated 2022-09-06 1 matches 1 documents with identical matches

Ak