

# Tretman i automatsko sortiranje polimernog otpada

---

**Uremović, Matija**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2021**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:174231>

*Rights / Prava:* [Attribution 3.0 Unported](#)/[Imenovanje 3.0](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-09**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Matija Uremović**

Zagreb, 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr.sc. Zoran Kunica, dipl. ing.

Student:

Matija Uremović

Zagreb, 2021.

**ZADATAK**

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
 Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:  
 proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo  
 materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: <b>602 - 04 / 21 - 6 / 1</b>	
Ur.broj: <b>15 - 1703 - 21 -</b>	

**ZAVRŠNI ZADATAK**Student: **Matija Uremović**

Mat. br.: 0035211224

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Tretman i automatsko sortiranje polimernog otpada**Naslov rada na engleskom jeziku: **Treatment and automatic sorting of polymer waste**

Opis zadatka:

Porast ljudske populacije i njezine potrošnje dobara, sve više aktualizira pitanja ograničene dostupnosti prirodnih resursa, i sve opasnijeg onečišćenja okoliša ljudskim djelovanjem. Tako, mnoštvo proizvoda sadrži polimerne materijale, što nakon potrošnje ili dotrajalosti proizvoda, rezultira ogromnim količinama polimernog otpada, koji je potrebno zbrinuti.

U radu je potrebno:

1. definirati podjelu otpada te opisati djelatnost gospodarenja otpadom, posebno polimernog otpada
2. istražiti i opisati tehnologije tretiranja polimernog otpada, posebno mogućnosti automatskog sortiranja polimernog otpada
3. opisati situaciju u vezi polimernog otpada u Republici Hrvatskoj
4. ponuditi nova rješenja za tretman i automatsko sortiranje polimernog otpada u Republici Hrvatskoj.

Zadatak zadan:  
30. studenoga 2020.Datum predaje rada:  
**1. rok:** 18. veljače 2021.  
**2. rok (izvanredni):** 5. srpnja 2021.  
**3. rok:** 23. rujna 2021.Predvideni datumi obrane:  
**1. rok:** 22.2. – 26.2.2021.  
**2. rok (izvanredni):** 9.7.2021.  
**3. rok:** 27.9. – 1.10.2021.

Zadatak zdao:

Prof. dr.sc. Zoran Kunica

Predsjednik Povjerenstva:  

 Prof. dr. sc. Branko Bauer

## IZJAVA

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Želio bih zahvaliti:

- mentoru *prof. dr.sc. Zoranu Kunici* na savjetima, uloženom vremenu, primjedbama i korekcijama koje su pridonijele kvaliteti ovog rada,
- cijeloj svojoj obitelji, kolegama i prijateljima, a posebno djevojci Gabrijele na potpori, pomoći i razumijevanju tijekom cijelog studija.

U Zagrebu, 23. rujna 2021.

Matija Uremović

## **SAŽETAK**

U ovom radu razmotreni su suvremeni problemi gospodarenja otpadom, s posebnim naglaskom na polimerni otpad i njegovo zbrinjavanje i razvrstavanje. Navedena je osnovna podjela otpada i opisan cjeloviti sustav gospodarenja otpadom kao i njegovi ciljevi. Opisani su polimeri kao jedan od najkorištenijih materijala današnjice te proces njihovog stvaranja tj. polimerizacija. Prikazane su tehnologije obrade polimernog otpada, a posebno automatsko sortiranje i razdvajanje. Prikazano je trenutno stanje s polimernim otpadom u Republici Hrvatskoj te plan za njegovo poboljšanje. Spomenut je projekt izgradnje sortirnice Grada Zagreba u kojoj bi se mogla primijeniti tehnologija automatskog sortiranja odvojeno prikupljenog komunalnog otpada. Posebno, aktualizirano je rješenje za razvrstavanje plastičnog otpada u vidu automatske linije, za koju su navedene njezine komponente i način rada te određen potreban broj takvih linija.

Ključne riječi: gospodarenje otpadom, polimerni otpad, sortiranje, automatizacija, linija

## **SUMMARY**

This work considers contemporary problems of waste management, with special emphasis on polymer waste and its disposal and sorting. The basic classification of waste and description of the overall waste management system as well as its objectives are given. Polymers, as one of today's most used materials, and the process of their creation, i.e. polymerization are described. Technologies for treatment of polymer waste are depicted, especially automatic sorting and separation. The current state of polymer waste in the Republic of Croatia and the plan for its improving are presented. The project of the waste sorting plant in the City of Zagreb is mentioned, where the technology of automatic sorting of separately collected municipal waste could be applied. Specifically, a solution for sorting of waste plastic in a form of an automatic line is actualized that includes specification of its components and mode of operation as well as the required number of such lines.

Key words: waste management, polymer waste, sorting, automation, line

## SADRŽAJ

ZADATAK .....	I
IZJAVA .....	II
SAŽETAK .....	III
SUMMARY .....	IV
POPIS OZNAKA I MJERNIH JEDINICA FIZIKALNIH VELIČINA .....	VII
POPIS SLIKA .....	IX
<b>1. UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2. PODJELA OTPADA .....</b>	<b>2</b>
<b>3. GOSPODARENJE OTPADOM.....</b>	<b>5</b>
<b>3.1. Cjeloviti sustav gospodarenja otpadom .....</b>	<b>5</b>
<b>3.2. Koncept 4R+3E .....</b>	<b>6</b>
3.2.1. <i>Reduction</i> – smanjenje i sprječavanje otpada .....	7
3.2.2. <i>Reuse</i> – ponovna uporaba .....	7
3.2.3. <i>Recycling</i> – recikliranje .....	7
3.2.4. <i>Recovery</i> – regeneracija .....	8
<b>3.3. Koncept 3E.....</b>	<b>8</b>
<b>3.4. Ciljevi cjelovitog sustava gospodarenja otpadom.....</b>	<b>9</b>
<b>4. POLIMERI.....</b>	<b>10</b>
<b>4.1. Sintetski polimeri i polimerizacija.....</b>	<b>11</b>
<b>4.2. Polimerni otpad.....</b>	<b>11</b>
<b>4.3. Gospodarenje polimernim otpadom .....</b>	<b>13</b>
<b>5. TEHNOLOGIJE TRETIRANJA POLIMERNOG OTPADA.....</b>	<b>16</b>
<b>5.1. Sortiranje i prikupljanje.....</b>	<b>16</b>
<b>5.2. Tehnologije razvrstavanja i razdvajanja .....</b>	<b>17</b>
<b>5.3. Ručno razvrstavanje .....</b>	<b>17</b>
<b>5.4. Automatizirano razvrstavanje i razdvajanje.....</b>	<b>18</b>
5.4.1. Postupci razdvajanja na temelju fizikalnih svojstava.....	20
5.4.2. Postupci razvrstavanja primjenom spektroskopije .....	23
<b>5.5. Postupak pranja.....</b>	<b>25</b>
<b>6. GOSPODARENJE OTPADOM U REPUBLICI HRVATSKOJ.....</b>	<b>27</b>
<b>6.1. Problemi gospodarenja otpadom u Republici Hrvatskoj.....</b>	<b>29</b>
<b>6.2. Polimerni otpad u RH.....</b>	<b>30</b>
<b>6.3. Plan gospodarenja otpadom u RH .....</b>	<b>32</b>
<b>6.4. Automatska sortirnica otpada Grada Zagreba .....</b>	<b>33</b>



---

<b>6.5. Učinci moguće primjene opreme ZenRobotics u sortirnici otpada Grada Zagreba.....</b>	<b>35</b>
<b>6.6. Automatizirane linije za sortiranje otpadne plastike za Grad Zagreb .....</b>	<b>38</b>
<b>6.7. IKEA Hrvatska .....</b>	<b>40</b>
<b>7. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>41</b>
<b>8. LITERATURA.....</b>	<b>43</b>

## POPIS OZNAKA I MJERNIH JEDINICA FIZIKALNIH VELIČINA

Oznaka	Mjerna jedinica	Značenje/Opis
AZO	-	Agencija za zaštitu okoliša
BDP	-	Bruto domaći proizvod
engl.	-	engleski
EU	-	Europska unija
FZOEU	-	Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost
HPDE	-	polietilen visoke gustoće
grč.	-	grčki
LED	-	engl. <i>Light emitting diode</i> – dioda koja emitira svjetlo
<i>m</i>	kg	masa
MR	-	engl. <i>Magnetic resonance spectroscopy</i> – spektroskopija magnetnom rezonancom
NIR	-	engl. <i>Near-InfraRed spectroscopy</i> – bliska infracrvena spektroskopija
PE	-	polietilen
PET	-	poli(etilen-tereftalat)
PETG	-	poli(etilen-tereftalat) obogaćen glikolom
PP	-	polipropilen
PS	-	polistiren
PVC	-	poli(vinil-klorid)
RH	-	Republika Hrvatska
UV	-	engl. <i>Ultraviolet</i> – ultraljubičasto zračenje

VIS	-	engl. <i>Visible Spectroscopy</i> – vidljiva spektroskopija
X	-	engl. <i>X-ray</i> – rendgensko zračenje
$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	gustoća

**POPIS SLIKA**

Slika 1. Hijerarhija upravljanja otpadom prema konceptu 4R [1] .....	7
Slika 2. Hijerarhija otpada [2].....	9
Slika 3. Shema makromolekule [4] .....	10
Slika 4. Globalna proizvodnja plastike od 1950. do 2018. godine [5] .....	12
Slika 5. Piramida prioriteta pri gospodarenju polimernim otpadom [4].....	14
Slika 6. Ekološke oznake na ambalaži [4] .....	16
Slika 7. Ručno razvrstavanje [9] .....	18
Slika 8. Hidrociklon [9] .....	20
Slika 9. Suho odvajanje [8].....	22
Slika 10. Uređaj za centrifugalno odvajanje [8].....	23
Slika 11. NIR separator [9] .....	24
Slika 12. MSS Aladin[8].....	25
Slika 13. Shema pranja i razdvajanja mljevenih čestica dvaju polimera [4] .....	26
Slika 14. Odlaganje otpada u RH od 2010. do 2019. [10].....	28
Slika 15. Otpad u Jadranskom moru.....	32
Slika 16. Automatska sortirnica otpada – Grad Zagreb [15] .....	34
Slika 17. Balistički separator [16] .....	35
Slika 18. Model sustava ZenRobotics [19] .....	36
Slika 19. Oprema u automatskoj sortirnici otpada Grada Zagreba – linije za ručno razvrstavanje uokvirene crveno .....	37
Slika 20. Linija za sortiranje plastike [20].....	39

## **1. UVOD**

Plastiku je čovjek počeo proizvoditi još u 19. stoljeću. Tada je ona krenula zamjenjivati materijale kao što su drvo, kamen, metal i staklo. Njena niska cijena omogućila joj je uporabu u gotovo svim područjima ljudskog života, od odjeće pa sve do najkompliciranijih elektroničkih ili medicinskih uređaja. No porastom primjene polimernih materijala porasle su i količine otpada, a time i problem njegovog zbrinjavanja. Jedan od glavnih preduvjeta uspješnog zbrinjavanja polimernog otpada i njegove pripreme za reciklažu jest prikupljanje i sortiranje.

Sortiranje polimernog otpada u počecima se odvijalo ručno, ali kako se vremenom plastika počela naveliko upotrebljavati, a količine otpada gomilati, nametnula se potreba za razvijanjem novih tehnologija koje bi taj postupak automatizirale, a time i ubrzale. Sukladno tome, razvijaju se tehnologije identifikacije polimera uz pomoć senzora ili pak metode razdvajanja temeljene na svojstvima polimernih proizvoda koji se razdvajaju.

Pitanje otpada jedno je od ključnih pitanja današnjice budući da nepravilno postupanje otpadom vrlo negativno utječe na ljudsku populaciju tj. čitav živi svijet. Stoga je važno podizati svijest o pravilnom gospodarenju otpadom u cilju smanjenja izloženosti ljudskog zdravlja i ekosustava tvarima od kojih su mnoge kancerogene.

## 2. PODJELA OTPADA

Razlikuju se dva osnovna načina klasificiranja otpada, a to su: klasifikacija po mjestu nastanka otpada i klasifikacija po svojstvima otpada. Otpad se po mjestu nastanka dijeli na dvije osnovne kategorije – komunalni i industrijski (tehnološki) otpad, dok se po svojim svojstvima dijeli na opasan, neopasan i inertan otpad. [1]

Klasifikacija otpada po mjestu nastanka:

1. **Komunalni otpad** – kruti otpad koji nastaje u kućanstvima i oko njih, a za njegovo adekvatno zbrinjavanje i redovito prikupljanje odgovorna su komunalna poduzeća određenog područja koja moraju definirati uvjete kako bi ljudi primjereno postupali s otpadom. Sastav komunalnog otpada sačinjavaju: biootpad (37 %), papir i karton (26 %), složene i problematične tvari (6 %), sitan otpad (6 %), plastika (8 %), staklo (8 %), metal (2 %), tkanina i pelene (5 %) te ostatak. [2]

Činjenica jest da se iz kućnog otpada može iskoristiti gotovo 80 % sadržaja. Ostatak od 20 % čini sitni otpad (prašina), ali i neke potencijalno iskoristive otpadne tvari kao što su tekstil, guma i drvo.

2. **Tehnološki (industrijski) otpad** – otpad koji nastaje u proizvodnim procesima u gospodarstvu, ustanovama i uslužnim djelatnostima, a razlikuje se od komunalnog otpada po količini, sastavu i svojstvima. [2]

Razlikuju se dvije vrste industrijskog otpada [2]:

- Neproceni – ambalažni i uredski otpad

- Procesni – otpadne tvari specifične za svaku industriju, a razlikuju se po fizikalnim i kemijskim svojstvima

Prilikom nadzora toka i zbrinjavanja industrijskog otpada propisane su posebne procedure kojih se mora pridržavati svaki proizvođač, točnije vlasnik industrijskog otpada. Količina industrijskog otpada ovisi o industrijskom razvoju zemlje. Godišnja količina industrijskog otpada po stanovniku u razvijenim zemljama iznosi i do nekoliko tona, a u nerazvijenim može biti čak manje od komunalnog. Sastav tehnološkog otpada ovisi o grani industrije koja ga proizvodi. Za gospodarenje s tehnološkim otpadom mogu se koristiti usluge specijaliziranih tvrtki. [2]

Klasifikacija otpada po svojstvima:

1. **Opasan otpad** – svaki otpad koji predstavlja potencijalnu opasnost za ljudsko zdravlje i okoliš ukoliko se njime nepravilno rukuje. Točnije, definira se kao otpad koji sadrži neku od ovih svojstava: eksplozivnost, reaktivnost, zapaljivost, nadražljivost, štetnost, toksičnost, infektivnost, kancerogenost, mutagenost, teratogenost, ekotoksičnost, svojstvo oksidiranja, svojstvo nagrizanja i svojstvo otpuštanja otrovnih plinova kemijskom reakcijom ili biološkom razgradnjom. [1]

Karakterističan je za industriju, poljoprivredu te ustanove kao što su instituti, bolnice i laboratoriji. Mnogo manje količine opasnog otpada nastaju u kućanstvima te ih se naziva problematičnim tvarima. U problematične tvari se ubrajaju: boje, lakovi, baterija (Ni-Cd i olovne), akumulatori, otpadna ulja za motore, kiseline, lužine, lijekovi, razrjeđivači, otapala i slično.

2. **Neopasan otpad** – otpad koji ne sadrži niti jedno svojstvo opasnog otpada. [1]
3. **Inertan otpad** – neopasan otpad koji ne podliježe značajnim fizičkim, kemijskim ili biološkim promjenama. Nije topiv, nije goriv, niti na koji drugi način reaktivan, a ni biorazgradiv, stoga ne ugrožava okoliš. Sa tvarima s kojima dolazi u dodir ne djeluje tako da bi to utjecalo na ljudsko zdravlje ili na povećanje emisija u okoliš. [2]

Izuzev zakonom propisane klasifikacije otpada prema mjestu i svojstvima, može se izvesti još jedna podjela otpada, a to je na **koristan i nekoristan otpad**. Korisnim otpadom smatra se otpad iz kojega se dobivaju sekundarne sirovine koje se recikliraju i ponovno upotrebljavaju (metali, plastika, staklo, papir). Organske ostatke može se reciklirati u gnojivo te gorivu tvar spaljivati uz energetska iskorištavanje. S druge strane, nekorisni otpad čine otpaci koji nisu upotrebljivi, a nerijetko je to zbog izostanka i selekcije sav otpad. Iako se raznim odredbama pokušava spriječiti, dio industrijskog i bolničkog otpada često završava na komunalnim odlagalištima, a taj otpad može biti itekako opasan. Gospodarenje otpadom jedan je od složenijih problema današnjice kojemu treba posvetiti mnogo pažnje.



### 3. GOSPODARENJE OTPADOM

Globalizacija i industrijalizacija su na svjetskoj razini kroz povijest ostvarili značajan utjecaj na procese stvaranja, odlaganja, sakupljanja te prerade otpada. Sve veće zagađenje uzrokovano velikim količinama svih vrsta otpada dovelo je do narušavanja ekološkog okruženja, kako ljudi, tako i svih živih organizama.

Zbog potrebe za poboljšanjem ljudskog i ekološkog okruženja dolazi do formiranja sustava gospodarenja otpadom kako bi na globalnoj razini došlo do smanjenja negativnog utjecaja i organiziranog pristupa problematici.

*„Gospodarenje otpadom je ekonomski i ekološki razumno upravljanje otpadom tijekom njegova nastanka, sakupljanja, transporta, iskorištavanja i obrade do konačna odlaganja, a sve u skladu s pripadajućom i važećom zakonskom regulativom.“ [3]*

#### 3.1. Cjeloviti sustav gospodarenja otpadom

Jasno je da se iz sanitarno-higijenskih razloga otpad mora redovito i organizirano odvoziti, ali tada stvarni problemi tek počinju.

Neorganizirano i nepropisno odlaganje otpada, bez primjerenog nadzora ima višestruke posljedice, često nepopravljive [2]:

- dugotrajna i velika zagađenja, teret okolišu koji netko mora riješiti
- skupa sanacija takvih odlagališta
- nepovoljni utjecaji na okoliš koji se ne mogu u potpunosti ukloniti
- bespovratno izgubljene materijalne i energetske vrijednosti otpada (zakonom je zabranjeno otpad koji se može iskoristiti odložiti na odlagalište)

- raspadanjem organskih tvari nastaju CO<sub>2</sub> i CH<sub>4</sub>, što utječe na efekt staklenika
- neispravno i nehigijenski odbačen otpad uzrokuje požare
- zarazne bolesti koje prenose glodari i insekti koji borave na odlagalištima
- vjetar koji raznosi otpad i širi neugodne mirise
- nerazgradivi sastojci otpada i produkti koji nastaju njegovim raspadom dospijevaju u vodu, zrak i tlo te tako izravno i neizravno utječu na živa bića.

Adekvatno rješenje za svaku veću količinu, volumen i štetnost otpada jest provedba cjelovitog sustava gospodarenja otpadom. Taj sustava obuhvaća skup aktivnosti, odluka i mjera koje obuhvaćaju ekonomski i po okoliš razumno upravljanje cjelokupnim otpadom od mjesta nastanka, skupljanja, prijevoza i obrade u skladu s zakonskim obvezama. Mora se provoditi na način da se u opasnost ne dovede ljudsko zdravlje i ne naštetiti okolišu. [2]

Cjeloviti sustav gospodarenja otpadom obuhvaća sljedeće faze [2]:

1. Izbjegavanje i smanjivanje otpada
2. Odvojeno prikupljanje otpada
3. Ponovna upotreba otpada recikliranjem i obnavljanjem otpadnih tvari
4. Oporaba otpada
5. Odlaganje otpada.

### **3.2. Koncept 4R+3E**

Kontinuirano gospodarenje otpadom vrlo je složen proces koji se uobičajeno provodi općeprihvaćenim konceptom 4R. Naziv dolazi od četiri engleske riječi: *reduction*, *reuse*, *recycling* i *recovery* (Slika 1.). To uključuje smanjenje i sprječavanje otpada, njegovu ponovnu uporabu, recikliranje i regeneraciju materijala i energije iz otpada. [1]

- 1) **R**eduction: smanjenje i sprječavanje otpada
- 2) **R**euse: ponovna uporaba
- 3) **R**ecycling: recikliranje
- 4) **R**ecovery: regeneracija materijala i energije



Slika 1. Hijerarhija upravljanja otpadom prema konceptu 4R [1]

### 3.2.1. *Reduction* – smanjenje i sprječavanje otpada

Prva i najpoželjnija opcija jest smanjenje i sprječavanje onečišćenja, odnosno redukcija. Ona se ujedno smatra i najdjelotvornijom jer ako otpad ne nastaje, ne nastaju ni problemi sa kontrolom otpada. Redukcijom se ostvaruje dvostruka korist budući da se smanjenjem korištenja prirodnih resursa istovremeno smanjuje i potencijal otpada, ali i doprinosi očuvanju prirodnih resursa. Iz toga se razloga forsira postavljanje tehničkih standarda, razvoj čistih tehnologija, primjena ekonomskih mjera te različite edukacije.

### 3.2.2. *Reuse* – ponovna uporaba

Druga opcija u konceptu 4R jest ponovna uporaba otpada. Budući da otpad nužno nastaje treba ga ponovno upotrijebiti u što je većoj mjeri moguće. Ograničenja uz ponovnu uporabu otpada usko su vezana za pitanja je li se određena vrsta otpada uopće može ponovno upotrijebiti bez velikog utroška energije i drugih vrsta (primarnih ili sekundarnih) sirovina. Ova se opcija najviše odnosi na ponovnu uporabu raznih vrsta ambalažnog otpada.

### 3.2.3. *Recycling* – recikliranje

Treća opcija u konceptu 4R se od prethodne razlikuje po tome što se temelji na ponovnoj uporabi otpada uz prethodnu pripremu. Recikliranje je postupak kojim se ostvaruje kruženje materijala od proizvoda preko uporabljenog proizvoda odnosno otpada, pa preko sekundarne sirovine ponovno do proizvoda. Taj postupak doprinosi očuvanju neobnovljivih izvora

energije i sirovina. Najprikladniji materijali za reciklažu su oni koji imaju mogućnost ponovnog korištenja bez značajnih gubitaka kvalitete i količine. Najbolji primjer za to su staklo, papir, karton, plastika i metal. Ključni preduvjet za uspješnu reciklažu jest sveobuhvatan sustav prikupljanja otpada kako bi ponovni životni vijek proizvoda mogao započeti. Recikliranje doprinosi očuvanju resursa i smanjenju otpada, ali uzrokuje materijalne troškove i trošenje drugih sirovina i energije. To je razlog zašto je recikliranje tek treće u nizu hijerarhije koncepta 4R te se primjenjuje samo na onu količinu otpada koju nije moguće izbjeći i smanjiti.

### **3.2.4. Recovery – regeneracija**

Posljednja opcija koncepta 4R jest regeneracija. Postupak se zasniva na toplinskoj, kemijskoj ili fizikalnoj pretvorbi materijala i energije u cilju ponovnog proizvodjenja materijala i energije. Postupak regeneracije primjenjiv je na onu količinu otpada koju nije moguće smanjiti, ponovno upotrijebiti i reciklirati, stoga je najnepoželjnija opcija u hijerarhiji upravljanja otpadom. Primjerice, korištenje otpada kao goriva, korištenje biootpada (kompost) i ostalo.

## **3.3. Koncept 3E**

Osim koncepta 4R, danas se u cjelovitom sustavu gospodarenja otpad koristi i koncept 3E, što označava tri riječi na engleskom jeziku: *educate*, *economise* i *enforce*. [2]

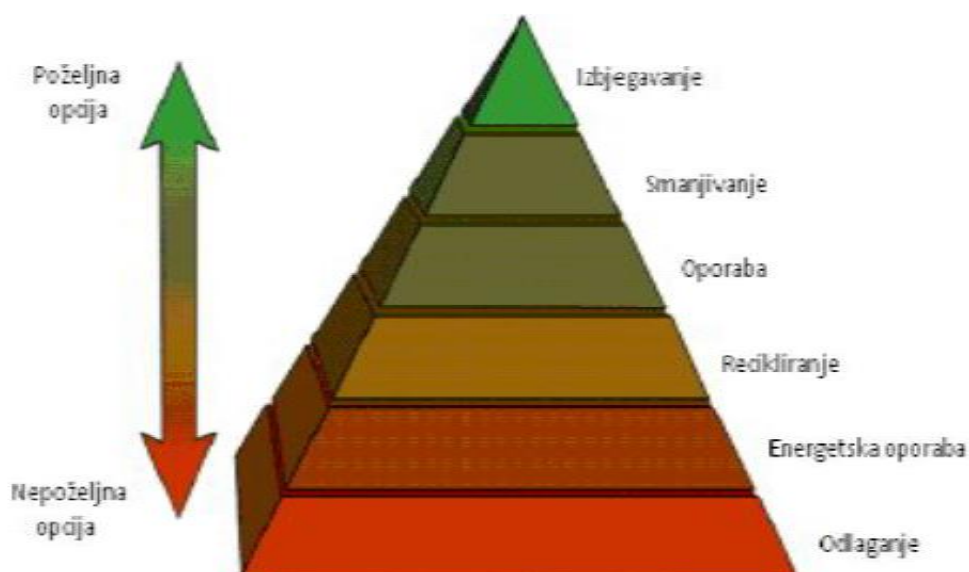
Koncept 3E definira [2]:

1. *Educate* – osvijestiti i educirati ljude o odgovornom postupanju s otpadom te pritom povećati razumijevanje o važnosti i mogućnostima gospodarenja otpadom
2. *Economise* – smanjiti troškove gospodarenja otpadom i uključiti troškove otpada u cijenu proizvoda i/ili usluge prema načelu „zagađivač plaća“
3. *Enforce* – primijeniti koncepte učinkovitog postupanja s otpadom u zakonodavstvu i praksi te uključiti u procese planiranja, odlučivanja i upravljanja sve zainteresirane u zakonodavstvu i praksi

### 3.4. Ciljevi cjelovitog sustava gospodarenja otpadom

Glavni cilj cjelovitog sustava gospodarenja otpadom jest potpuno napuštanje odlaganja otpada, točnije razvoj bezdeponijskog koncepta. Bezdeponijski koncept podrazumijeva odvojeno sakupljanje različitih vrsta otpada kako bi se dobile dovoljno čiste sekundarne sirovine za novu proizvodnju.

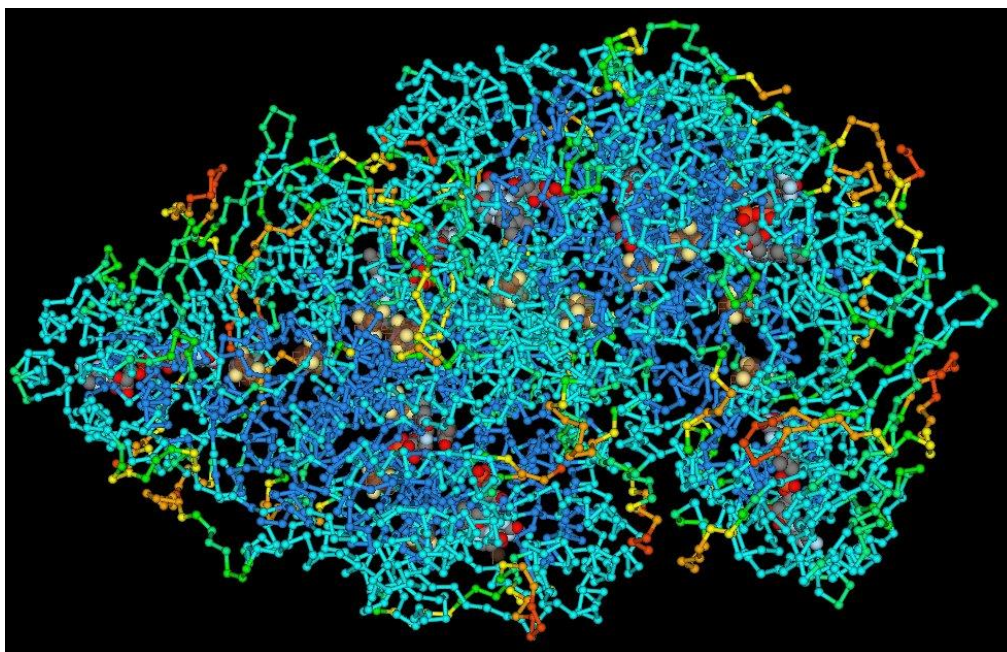
Svako dobro gospodarenje otpadom mora započeti mjerama prevencije, odnosno izbjegavanjem stvaranja otpada. Kod već nastalog otpada treba odabrati zadovoljavajuću metodu postupanja tim otpadom koja će proizvesti najmanji rizik za zdravlje čovjeka i okoliša. Na posljednjem bi mjestu trebalo biti samo odlaganje otpada. Takav način gospodarenja naziva se „hijerarhija otpada“ (Slika 2.). Na samome vrhu nalaze se postupci koji su najpoželjniji, dok su oni manje poželjni pri dnu. Danas se najveći dio otpada odlaže na odlagališta. Takav način zbrinjavanja otpada smatra se najnepoželjnijim, a treba mu se pribjegavati samo kada se iscrpe sve ostale opcije. [2]



Slika 2. Hijerarhija otpada [2]

## 4. POLIMERI

Polimeri su kemijski spojevi vrlo velikih molekulskih masa koje mogu biti u rasponu od nekoliko tisuća pa sve do nekoliko milijuna. Naziv polimer grčkog je podrijetla, nastao je od dvije riječi: *poli*, što na grčkom znači mnogo i *meros*, grč. što znači dio. Pod pojmom polimerni materijali najčešće se razumijevaju plastični materijali pa se ti pojmovi često koriste kao sinonimi. Razlikuju se prirodni ili biopolimeri i sintetski polimeri. Prirodni nastaju biosintezom, dok sintetski nastaju sintezom niskomolekulskih tvari pri čemu nastaju makromolekule (Slika 3.). [4]



Slika 3. Shema makromolekule [4]

## 4.1. Sintetski polimeri i polimerizacija

Sintetski polimeri dobivaju se procesom polimerizacije i potom se uz različite dodatke (aditive) kao što su punila, pigmenti, stabilizatori, antioksidansi te usporivači gorenja prerađuju u materijale i krajnji proizvod. Za dobivanje proizvoda može se upotrebljavati jedna vrsta polimera ili više njih. Ukoliko se upotrebljava više vrsta polimera (dva ili više), tada se takva smjesa naziva polimerna mješavina, a ako se u polimer umiješaju materijali anorganskog porijekla (npr. staklena vlakna, punila), tada nastaje polimerni kompozitni materijal. [4]

Sintetski polimeri nastaju prilikom procesa polimerizacije. Tijekom toga procesa dolazi do kemijskog povezivanja velikog broja niskomolekulskih tvari tj. monomera u visokomolekulsku tvar polimer ili makromolekulu, tj. nastaje polimerni lanac. Sam proces polimerizacije značajan je jer omogućava ciljano kreiranje veličine i strukture polimera što ima za posljedicu promjenu svojstava polimera. [4]

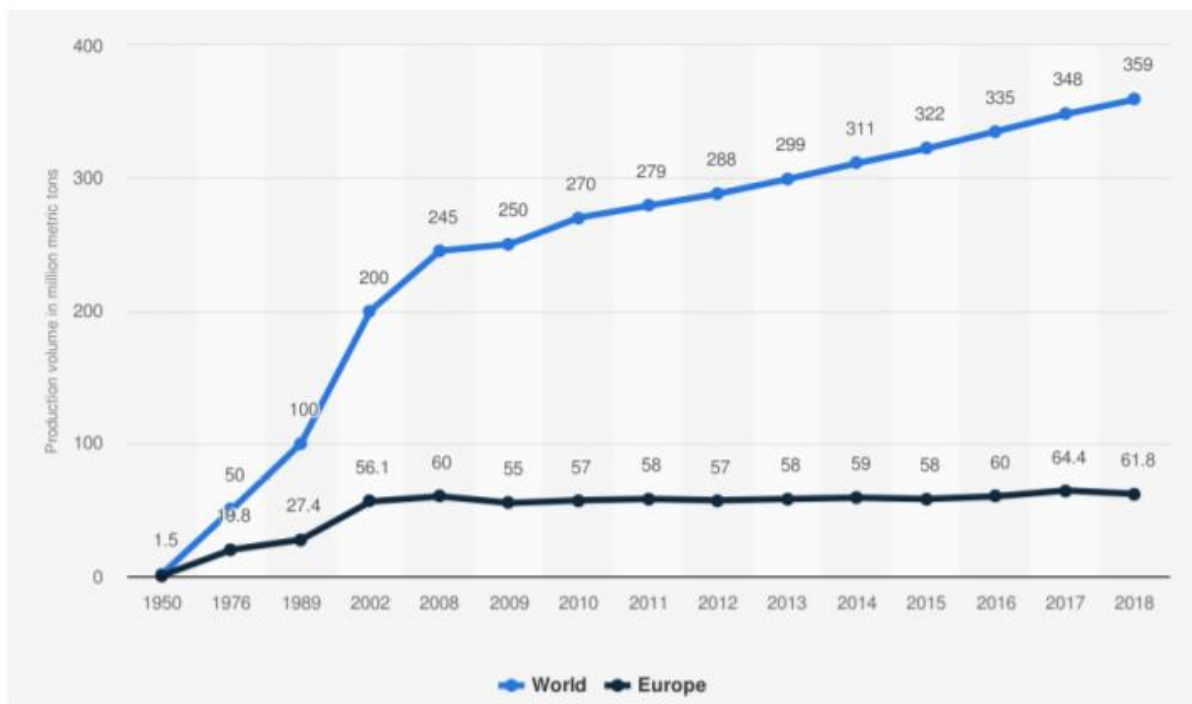
Procesi polimerizacije razlikuju se s obzirom na medij u kojem se odvija polimerizacija: homogen (u masi i otopini) ili heterogen. Isto tako, polimerizacije se razlikuju prema mehanizmu rasta lanaca, a to su: radikalske (lančast rast lanca), stupnjevite (prema stupnjevitom rastu lanca) te prema kemijskim reakcijama. [4]

Kemijske reakcije karakteristične za proces polimerizacije jesu: adicijska, kondenzacijska, ionska i koordinacijska reakcija, pa se s obzirom na njih i razlikuju vrste polimerizacije. [4]

## 4.2. Polimerni otpad

Plastika je materijal koji ima veliku mogućnost prilagodbe traženim svojstvima, točnije to je materijal koji omogućava dizajniranje prema potrebi. Pokazuje iznimna mehanička, toplinska i barijerna svojstva te je otporna na brojne kemikalije i atmosferilije, a sve to uz nisku cijenu. Ta niska cijena predstavlja problem jer se upravo zbog toga plastika u tolikoj količini i koristi u suvremenom svijetu. Plastika je biološki nerazgradiva i ako se pravilno ne odlaže u okoliš, neće se brzo razgraditi te će posljedično uslijediti velika akumulacija.

Činjenica jest da je 1950. godine proizvodnja plastike iznosila 1,5 milijuna tona, a 2014. godine ta je brojka narasla do 311 milijuna tona godišnje. Godine 2018. svjetska je proizvodnja plastike dosegla 359 milijuna tona te se može zaključiti da je posrijedi ekspanzionalni porast proizvodnje plastike (Slika 4.). [5]



**Slika 4. Globalna proizvodnja plastike od 1950. do 2018. godine [5]**

Tvar ili predmet postaju otpad u onom trenutku kada izgube svoju funkciju uslijed gubitka korisnih svojstava. S obzirom na trajanje uporabe, plastični proizvodi dijele se na kratkotrajne (period uporabe do jedne godine) i dugotrajne proizvode (period korištenja dulji od jedne godine). Udio ovih proizvoda u ukupnoj masi plastičnih proizvoda iznosi [6]:

- kratkotrajni proizvodi do jedne godine 20 %
- dugotrajni proizvodi od jedne do osam godina 15 %
- dugotrajni proizvodi od osam do 50 godina 65 %.

Analizirajući podatke, otprilike 80 % plastičnih proizvoda koji u toku jedne godine dolaze u otpad spadaju u dugotrajne, a oko 20 % u kratkotrajne proizvode. Pretpostavka je da će količina plastičnog otpada u nadolazećem periodu rasti zbog povećanja potrošnje i korištenja dugotrajnih proizvoda od plastičnih masa. [6]



Razni su izvori polimernog otpada pa tako on dolazi iz trgovina, industrije, domaćinstava, građevinarstva, ali i nekih posebnih izvora kao što su radioaktivni i medicinski otpad.

Polimerni industrijski otpad uključuje otpad iz polimernih radionica i tvornica te se uglavnom sastoji od: otpada nastalog proizvodnjom koji se stvara na stjenkama reaktora i u sušionicama, taloga izdvojenih iz procesnih voda, otpada iz ekstruzijskih pročišćivača, ostataka od filmova i plahti, podnog smeća i ostataka od laboratorijskih ispitivanja. [4]

Isto tako, otpad nastao u građevinarstvu i prilikom rušenja zgrada sadrži plastične materijale. To je najčešće plastika od električnih vodova i žica, podnih i zidnih izolacija te vodovodnih cijevi. [4]

### **4.3. Gospodarenje polimernim otpadom**

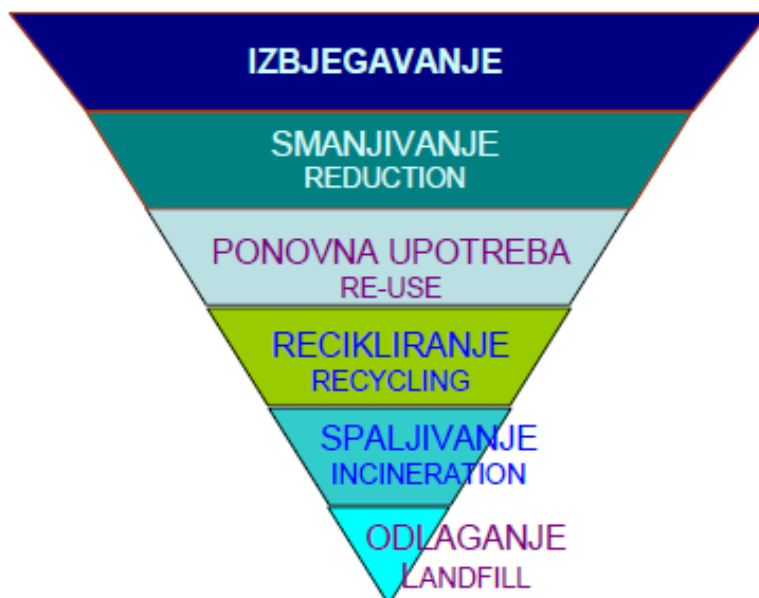
Očekivano, povećano korištenje plastičnih materijala povećalo je i količine plastičnog otpada, a samim time i problem njegovog zbrinjavanja. Neodgovorno odbačena plastika dugotrajno onečišćuje okoliš. Stoga je poželjno gospodarenje polimernim otpadom jer donosi ekonomsku dobit i štiti okoliš od golemih onečišćenja.

Uspješno i kvalitetno gospodarenje otpadom moguće je postići uključivanjem i promjenom ponašanja vlade i industrije jer njihovo povezivanje olakšava promjene i određivanje politike koja će maksimalno biti efikasna u smanjivanju nastajanja otpada. [4]

Osnovni principi u zaštiti okoliša vezani uz gospodarenje otpadom, a koji dovode do smanjenja nastajanja otpada, prikazani su u piramidi prioriteta (Slika 5.). [4]

Piramida je sastavljena od pravila, a ona glase [4]:

- izbjegavanje (supstitucija) upotrebe toksičnih tvari u procesima proizvodnje
- smanjenje upotrebe prirodnih resursa
- ponovna upotreba proizvoda
- recikliranje
- energetske oporavak
- odlaganje.



**Slika 5. Piramida prioriteta pri gospodarenju polimernim otpadom [4]**

Gospodarenje polimernim otpadom podrazumijeva po okoliš razumno upravljanje cjelokupnim životnim ciklusom otpada. Zahtijeva brigu o otpadu koji nastaje u svim fazama nastajanja proizvoda (prerada sirovina, proizvodnja i prerada) te odlaganje nakon uporabe. To uključuje sakupljanje, skladištenje, prijevoz, uvoz-izvoz, recikliranje-iskorištavanje, obrađivanje i odlaganje te na kraju saniranje i zatvaranje odlagališta. [4]

Ideja Europske unije o kvalitetnom i uspješnom gospodarenju polimernim otpadom već se primjenjuje u nekim zemljama, a u nekima će se tek početi primjenjivati. Ona obuhvaća sljedeće stavke [5]:

- Plastika i proizvodi koji sadržavaju plastiku osmišljeni su kako bi se omogućila veća trajnost, ponovna upotreba i recikliranje visoke kvalitete. Sva plastična ambalaža stavljena na tržište EU-a mora biti ponovno iskorištena, odnosno mora biti reciklirana na troškovno učinkovit način.
- Promjene u proizvodnji i dizajnu omogućuju više stope recikliranja plastike za sve ključne promjene.
- Znatno proširivanje kapaciteta EU-a za recikliranje plastike i na taj način otvaranje velikog broja novih radnih mjesta.
- Poboljšanim odvojenim prikupljanjem, ulaganjem u inovacije i vještine omogućuje se da se što manje otpada odvodi na oporabu u inozemstvo.

- Povećanim recikliranjem plastike smanjuje se ovisnost Europe o uvozu fosilnih goriva kao i smanjenje emisije ugljikovih dioksida.
- Europa potvrđuje svoj vodeći položaj u području opreme i tehnologije za razvrstavanje i recikliranje.
- Svijest građana o potrebi izbjegavanja otpada te djelovanje na odgovarajući način. Potrošačima se podiže svijest o mogućnostima dobrog rukovanja polimernim otpadom te na taj način i oni uspješno sudjeluju u tranziciji.
- Znatno smanjenje ispuštanja plastike u okoliš te razvijanje inovativnih rješenja o sprječavanju unošenja mikroplastike u more.
- Europska unija preuzima vodeću ulogu u globalnoj dinamici, a zemlje se angažiraju i surađuju kako bi se zaustavio tok plastike u oceane.

Ostvarivanje ove strateške vizije moguće je jedino uz djelovanje svih sudionika u vrijednosnom lancu plastike: od proizvođača i dizajnera plastike, preko robnih marki i trgovaca i potrošača, pa sve do subjekata koji se bave recikliranjem.

## 5. TEHNOLOGIJE TRETIRANJA POLIMERNOG OTPADA

### 5.1. Sortiranje i prikupljanje

Učinkovito gospodarenje polimernim otpadom započinje dobro organiziranim prikupljanjem, a najpogodnije je na njegovom izvoru nastajanja na početku i na kraju proizvodnog procesa, na kraju uporabnog vijeka u kućanstvu i industriji. Smanjenje nastajanja otpada u proizvodnom dijelu te njegov povratak u proizvodni proces pokazao se ekonomski isplativim i doveo je do znatnog smanjenja troškova proizvodnje. Zbog različitih vrsta plastičnih materijala koji se danas nalaze u upotrebi, važna je činjenica da je sortiranje tj. razvrstavanje osnova polimernog recikliranja. [4]

Za odvojeno prikupljanje plastičnog otpada predviđene su žute posude ili spremnici. PET ambalaža se odvojeno prikuplja u posebnim spremnicima postavljenim na javnim površinama. PE folije i boce se odvojeno prikupljaju u reciklažnim dvorištima kao i PS i PVC. Kako bi se olakšalo njihovo sortiranje i recikliranje, uvedeno je označavanje proizvoda izrađenih iz različitih vrsta, a oznake su propisane normom ISO 14000. Plastični i ambalažni proizvodi označavaju se brojevima i simbolima od jedan do šest, dok se broj sedam odnosi na sve ostale vrste. Prerađena plastika koristi se za izradu istih proizvoda kao i u primarnoj proizvodnji. Uz brojčane oznake, postoje još i ekološke oznake prikazane Slika 6. [4]



Slika 6. Ekološke oznake na ambalaži [4]

Promatrajući sliku s lijeva na desno, prve dvije oznake prikazuju simbole za recikliranje, sastoje se od povezanog kruga strelica koje prikazuju da je ambalaža prikladna za recikliranje (Möbiusova petlja) ili da je izrađena od recikliranog papira. Treća oznaka je znak koji je uvela Europska unija za proizvode s manje štetnim utjecajem na okoliš. Sljedeću je oznaku uvela Republika Hrvatska za proizvode, postupke proizvodnje, usluge, programe i akcije koje su „prijateljski“ za okoliš. Petu oznaku u nizu je 1978. godine uvela Njemačka, a riječ je o „Plavom anđelu“, znaku sustava zaštite okoliša. Šesta oznaka je međunarodno normirani simbol koji signalizira da je proizvod moguće reciklirati. Posljednji je simbol „Zelena točka“ koji označava ambalažu koja će se pod jamstvom prikupljati i dati na ponovnu upotrebu ili na recikliranje kao sekundarna sirovina.

## 5.2. Tehnologije razvrstavanja i razdvajanja

Razvrstavanje tj. sortiranje plastičnog otpada predstavlja sastavni dio recikliranja budući da postoje različite vrste plastičnih materijala koji se koriste te pritom nisu kompatibilni jedni s drugima. Također, potrebno je i **odvajanje odnosno razdvajanje** kod različitih plastičnih produkata koji su međusobno povezani mehanički, kemijski ili termički. Cijena recikliranja ovisi o tržišnoj cijeni nekorištenog i recikliranog materijala te o kvaliteti razdvajanog produkta. Razvrstavanje može biti ručno ili automatizirano, vođeno pomoću računala, dok razdvajanje nije moguće obavljati ručno.

## 5.3. Ručno razvrstavanje

Postupak ručnog razvrstavanja (Slika 7.) zasnovan je na principu vizualne identifikacije otisnutog broja na ambalaži te na osnovi nijansi i različitih obojenja. Tako se PVC boce uz otisnuti broj vizualno razlikuju od PET boca u raznim karakteristikama kao što je plavkasta nijansa, vidljiv horizontalni „polumjesec“ na dnu boce prilikom stiskanja te bjelkasta područja kod drobljenja. Isto tako, ručno se razvrstavanje unaprjeđuje pri raznim uvjetima osvjetljenja. UV svjetlost može poboljšati razliku između PVC i PET boca. [4]

Sustav *Kisspotlight* je poluautomatizirani sustav za sortiranje, a koristi posebno disperzno osvjetljenje za razdvajanje PVC od PET kao i PS, PETG od PVC i PET te pritom nije skup.

Za njegovu provedbu potrebne su posebne polarizirane zaštitne naočale koje operater nosi i odvaja zagađene polimere sa tekuće vrpce. Pod disperznim osvjetljenjem PET se čini vrlo blještav, skoro užaren, a PVC je tamnoplav. [7]



Slika 7. Ručno razvrstavanje [9]

#### 5.4. Automatizirano razvrstavanje i razdvajanje

Postupak automatiziranog razvrstavanja ili razdvajanja baziran je na principu identifikacije plastičnog otpada pomoću različitih vrsta senzora. Metode razdvajanja koriste različita svojstva plastičnih materijala koja se pri razdvajanju identificiraju, kao naprimjer odvajanje flotacijskim taloženjem, gdje se razdvaja prema gustoći, ili pak napredne automatizirane „osjeti/odvoji“ tehnologije koje razdvajaju polimere prema nekim drugim svojstvima. Bazirane su na raznim svojstvima polimernih materijala, a ona su: kemijska, optička, električna ili fizikalna. Većina fizikalnih procesa se oslanja na jedinstveno svojstvo nekog polimera: gustoća, hidrofobnost ili na specifično svojstvo polimera koje varira s temperaturom: točka taljenja/mekšanja ili neka kemijska svojstva (prisustvo klora, topljivost polimera). Komercijalna metoda razdvajanja polimera mora biti brza i efikasna, pouzdana, ekonomski isplativa i fleksibilna. [4]

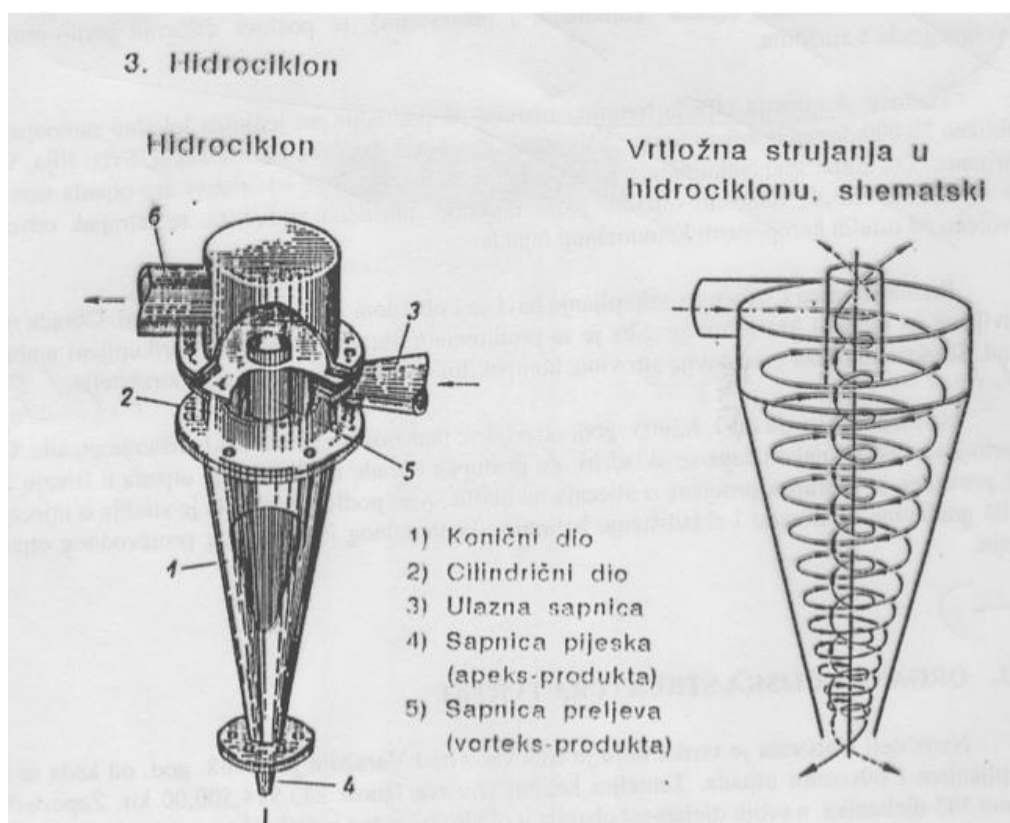
Postupci razdvajanja polimernog otpada – na temelju svojstava polimera:

1. Postupci razdvajanja na temelju fizikalnih svojstava (gustoće) [4]:
  - Flotacijsko taloženje – mokri postupak
  - Suho odvajanje
  - Centrifugalno odvajanje
  - Odvajanje sa blisko i super kritičnim fluidima
  - Flotacijsko taloženje uz hidrofobnost
  - Flotacija pjenjenjem
  - Razdvajanje prema veličini čestica
  - Flotacijsko taloženje uz apsorpciju otapala
2. Postupci razdvajanja na temelju kemijskih svojstava [4]:
  - Razdvajanje prema temperaturi taljenja (mekšanja)
  - Selektivno otapanje
3. Postupci razdvajanja na temelju optičkih svojstava [4]:
  - Odvajanje prema boji i prozirnosti
  - Komercijalni modeli
4. Svjetlosno-spektroskopske metode [4]:
  - MR spektroskopija
  - NIR spektroskopija
  - Laseri
  - Raman spektroskopija
  - Laserski inducirana emisijska spektralna analiza
  - Plazma emisijska spektroskopija
  - Polarizirano svjetlo, UV iluminacija, fluorescentna apsorpcija
  - X-zračna fluorescencija
5. Razdvajanje na temelju elektrostatičnosti [4]:
  - Triboelektrična olovka
  - Elektrifikacija trenjem: triboelektrični bubanj, električki nabijena traka
  - Odvajanje metalnih nečistoća vrtložnom strujom.

### 5.4.1. Postupci razdvajanja na temelju fizikalnih svojstava

Ovakvo razdvajanje, temeljeno na fizikalnim svojstvima polimera, tj. različitoj gustoći polimera, najčešće se odvija u hidrociklonima i flotacijskim taložnim cisternama. Glavni nedostatak ovakvog načina razdvajanja jest pretežito slična gustoća mnogih polimera. [4]

Hidrociklon (Slika 8.) je mirujuća cilindrično-konusna naprava u koju se uvodi suspenzija pod određenim tlakom, stvara se centrifugalno vrtloženje i dolazi do postupka razdvajanja u uvjetima centrifugalnog polja. U pogonskoj se tekućini razdvajaju materijali zbog razlike u veličini i obliku čestica materijala te zbog razlike u gustoći. Stupanj iskorištenja tijekom razdvajanja raste s povećanjem razrijeđenosti suspenzije. [8]



Slika 8. Hidrociklon [9]

#### *Flotacijsko taloženje – mokra separacija*

Flotacijsko taloženje temelji se na izboru fluida koji je posrednik između materijala koji se planiraju odvojiti. Tipični fluidi koji se koriste jesu: voda – odvaja poliolefine od ostalih polimera npr. PVC i PET, voda/metanol – razdvaja polimere sa gustoćom manjom od poliolefina te NaCl i ZnCl<sub>2</sub> otopine soli – za polimere sa gustoćom većom od 1 g/cm<sup>3</sup>. [4]



Plastične pahulje (usitnjeni polimer) se razdvajaju na principu gravitacije te su brzine taloženja niske. [8]

Kako bi se postiglo dobro razdvajanje potrebno je veliko vrijeme zadržavanja što snižava protok i poskupljuje djelatnost procesa. Isto tako, potrebne su velike cisterne i velike količine vode za razdvajanje smjese plastike. [4]

Modificirani procesi flotacijskog taloženja koriste se za razdvajanje PVC od drugih polimera tijekom recikliranja PVC filma. Također, flotacijsko taloženje karakteristično je i za odvajanje termoplastičnih elastomera od poliolefina. [4]

Kao i svaki drugi proces, i ovaj proces ima svoje prednosti i nedostatke. Kao prednost najprije valja istaknuti da je ovo veoma jednostavna metoda razdvajanja polimernog otpada, koja uključuje i pranje otpada te se pokazuje veoma jeftinom metodom. S druge strane, metoda je dugotrajna uz otežanu kontrolu pri postupku razdvajanja, a izlazni polimeri su relativno niske čistoće. Isto tako, voda za razdvajanje je nakon procesa onečišćena i mora se regenerirati (pročistiti). [8]

### ***Suho odvajanje***

Metoda u kojoj je uz pomoć zraka i oscilirajuće transportne trake (Slika 9.) moguće ukloniti grub materijal poput metalnih fragmenata i stakla iz teško-membranske plastike. Isto tako, mogu se odvajati smjese poliamidnih pahulja od HPDE s dna cisterni za gorivo ili papir od pahulja s dna boce, a moguće je i odvajanje lakih materijala otpuhivanjem zrakom. [4]

Postupak je mnogo efikasniji od flotacijskog taloženja, ali reciklirani materijal ima neugodan miris zbog prisutnosti raspadnute hrane i masnoća koje ostaju na plastici. [8]



**Slika 9. Suho odvajanje [8]**

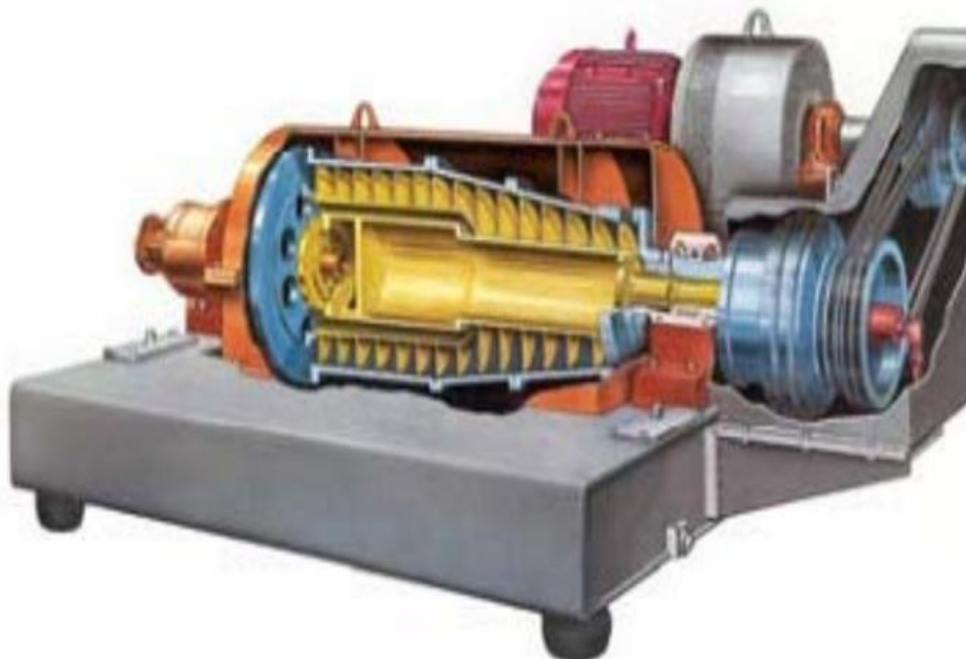
### ***Centrifugalno odvajanje***

Odvajanje uz pomoć hidrociklona koji radi na principu centrifugalnog ubrzanja kako bi razdvojio smjesu polimera i kontaminiranih čestica (Slika 10). Iz onečišćenih polimera dobivaju se tokovi otpada visoke čistoće zahvaljujući kaskadnom povezanim ciklonima. Protoci su mnogo veći od odvajanja flotacijskim taloženjem. [4]

U postupku centrifugalnog odvajanja upotrebljava se sustav Censor koji je napredni oblik hidrociklona i može razlikovati plastike po gustoći  $0,005 \text{ g/cm}^3$ , a rutinska izvođenja omogućavaju izvođenje sa razlikama do  $0,05 \text{ g/cm}^3$  u gustoći. To omogućava inače teške separacije, kao što su PE od PP-a ili PS od smjese PVC-a i najlona, uz odabir prikladnog medija za odvajanje. Temelj ovog postupka odvajanja je konačni dvostruki bubanj sa centrifugalnim pužem koji selektivno odvaja, pere i ispire vodom pomiješana plastična vlakna u jednoj operaciji. Čistoća vlakana je iznad 99,5 %. Centrifugalno polje je od 1000 do 1500 puta veće od gravitacijskog što se postiže velikom brzinom rotacije koja konvertira tekućinu za odvajanje u anularan tok. Struja izmiješanih plastičnih strugotina, suspendiranih u tekućini, ulazi aksijalno u centrifugu kroz stacionarnu cijev i dolazi na površinu anularne tekućine.

Čestice su tada izložene snažnim turbulentnim silama koje razbijaju nakupine polimera i za to vrijeme zauzimaju svoje mjesto u centrifugi na temelju svoje gustoće. Laka i teška frakcija se transportira u suprotnim smjerovima sa dva puža koja se nalaze unutar tijela centrifuge.

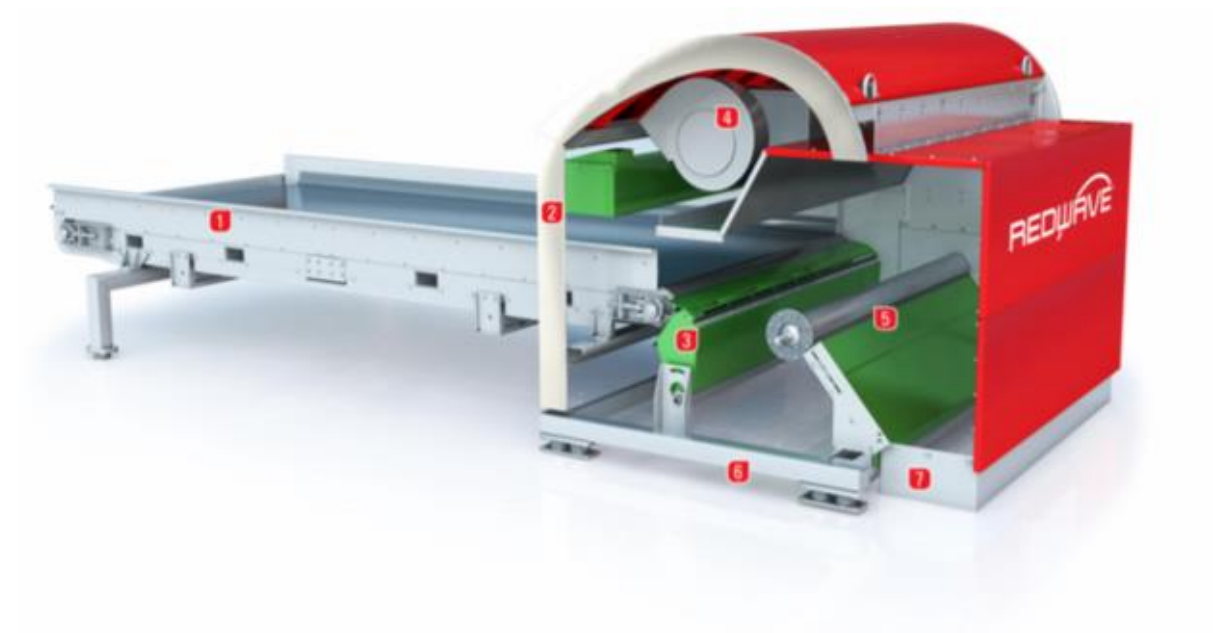
Nakon odvajanja, frakcije se dižu iznad prstena tekućine zbog konusnog oblika bubnja te se izbacuju. Nakon uklanjanja zaostale vode (do 5 %) čestice se mogu ponovno prerađivati. [4]



Slika 10. Uređaj za centrifugalno odvajanje [8]

#### 5.4.2. Postupci razvrstavanja primjenom spektroskopije

Često korištena metoda u ovakvom načinu razvrstavanja polimera jest NIR spektroskopija. NIR (*Near Infrared*) separator (Slika 11.), u prijevodu separator s infracrvenim zračenjem, radi na principu da svjetlo NIR spektra pada na materijal koji se nalazi na transportnoj traci te se reflektira od materijala i na taj način se identificira materijal i boja. Različita plastika reflektira svjetlost različite frekvencije te se ti podaci pohranjuju i stvara se baza podataka. Zatim se programira baza podataka s vrstom i bojom materijala koji se razvrstava. Nakon identifikacije materijala i boje slijedi razvrstavanje materijala upuhivanjem zraka pod tlakom. [8]



**Slika 11. NIR separator [9]**

Uvođenjem suvremenih senzora znatno su unaprijeđene aktivnosti razvrstavanja otpada. Nekada korišten mehanički rotor zamijenjen je tehnologijom *solid state* LED koja je znatno povećala kapacitet razvrstavanja. [8]

Jedan od najboljih primjera suvremene tehnologije razvrstavanja plastičnog otpada jest MSS Aladdin (Slika 12.). Iz jednog punjenja (toka) heterogene plastike izlaze tri zasebna toka razvrstane plastike: prozirna i neprozirna razvrstana po boji i po materijalu istovremeno. Zahvaljujući MSS Aladinu moguće je razvrstati četiri do šest tona plastike po satu. [8]



Slika 12. MSS Aladin[8]

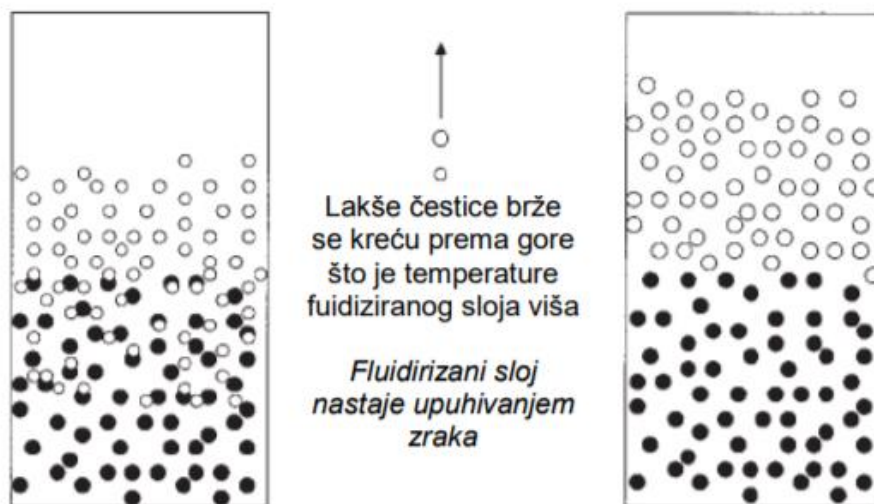
## 5.5. Postupak pranja

Postupak pranja koristi se kako bi uklonio zaostale nečistoće sa polimera, ali i za razdvajanje komponenti polimera, po principu različitih gustoća. U gornjem sloju suspenzije pahulja koje se peru nalaze se pahulje polimera niže gustoće, a pahulje koje se sedimentiraju u donjem sloju suspenzije izdvajaju se otjecanjem suspenzije (Slika 13.). [4]

Osim uklanjanja nečistoća sa polimera, pranjem se uklanjaju i ljepljiva. Ako su ljepljiva topiva u vodi, tada je postupak mnogo jednostavniji, a ako nisu, polimerne pahulje peru se u lužnatom mediju koji povećava troškove recikliranja budući da se otpadne vode moraju pročistiti. U pravilu, glavni sastojak svakog ljepljiva je polimer te je on teško topljiv u vodi. [4]



Tijekom postupka pranja uklanjaju se i naljepnice koje u najčešće od papira ili polimera (PE ili PVC) budući da sadrže tintu i pigmente koji mogu sadržavati teške metale. [4]



Slika 13. Shema pranja i razdvajanja mljevenih čestica dvaju polimera [4]

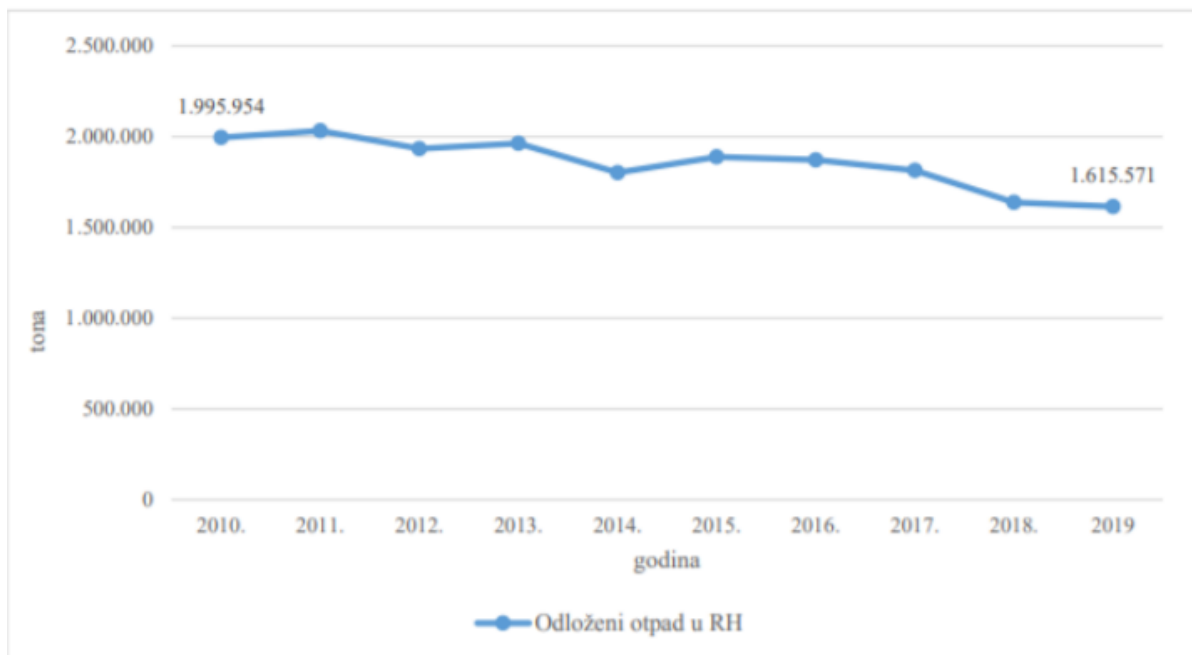
## 6. GOSPODARENJE OTPADOM U REPUBLICI HRVATSKOJ

Gospodarenje otpadom u Republici Hrvatskoj (RH) daleko je od savršenog. Potrebno je još mnogo truda, ulaganja i obrazovanja stanovnika kako bi se izgradio efikasan sustav gospodarenja otpadom. Širok je spektar problema koji prate sustav gospodarenja otpadom, počevši od financijskih problema, prostornih problema, ilegalnih odlagališta te loše provedbe europskog zakonodavstva. [10]

Zadaća Ministarstva zaštite okoliša i energetike jest kontinuirano prikupljati podatke o odlagalištima otpada. Ti se podaci odnose na količinu odloženog otpada svih vrsta. Isto tako, nužno je prikupljanje podataka o radovima vezanima uz odlagališta u RH kao što su sanacije i zatvaranja. Baza tih podataka namijenjena je nadležnim tijelima i institucijama koje ih dalje formiraju u međunarodna i nacionalna izvješća o odlagalištima. [10]

Nadalje, kako bi se pratili ciljevi propisani Zakonom o održivom gospodarenju otpadom i Direktivama o odlagalištima otpada Ministarstvo zaštite okoliša i energetike prikupilo je podatke o odlagalištima i odloženom otpadu za 2019. godinu (Slika 14). Tokom te godine ukupna količina odloženog otpada svih vrsta iznosila je 1 651 571 tonu, što je za 1,4 % manje nego u 2018. godini u kojoj je odloženo 1 638 599 tona otpada. [10]

U prikupljenim podacima o odlagalištima i odloženom otpadu prijavljeni su i podaci o opremljenosti i postupcima koji se provode na odlagalištima u RH. U podacima je vidljiv napredak, ali i dalje nezadovoljavajuć s obzirom na ostale zemlje članice Europske unije. Mnogo je odlagališta zatvorilo svoja vrata zbog svoje neučinkovitosti. Odlagališta nisu bila dobro opremljena, odnosno nisu imala sustav odvodnje otpadnih voda, bazene za regulaciju te sustave za otplinjavanje. [10]



**Slika 14. Odlaganje otpada u RH od 2010. do 2019. [10]**

Budući da je napredak malen, propituju se novi načini poticanja operatera kako bi se što kvalitetnije i brže ostvarili ciljevi. Potiče se na primjenu sustava odvodnje otpadnih voda i sustava otplinjavanja na odlagalištima u kojima to još nije uvedeno. Isto tako, počinju se intenzivnije provoditi mjere za odvojeno prikupljanje otpada kao i za izgradnju prikladne infrastrukture koja bi omogućila recikliranje.

Sudionici gospodarenja otpadom u RH su sva tijela i nadležne institucije zajedno sa građanima koji su odgovorni za izgradnju i djelovanje sustava gospodarenja otpadom. Sustav mora biti učinkovit te usklađen sa svim zakonskim okvirima koji nalaže zakonodavstvo RH i Europske unije. [11]

Redom su to: Hrvatski sabor, Vlada Republike Hrvatske, Agencija za zaštitu okoliša (AZO), Fond za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost (FZOEU), Središnja tijela državne uprave, županijske vlasti, lokalne vlasti (općine i gradovi), proizvođači i uvoznici proizvoda i otpada, tvrtke za gospodarenje otpadom, konzultantske tvrtke, strukovne organizacije i udruge te građani. [11]



## **6.1. Problemi gospodarenja otpadom u Republici Hrvatskoj**

### *Neusklađenost sa zakonodavstvom i rokovima Europske unije*

Republika Hrvatska ima velikih problema s usklađivanjem i provođenjem zakonodavstva EU te nepoštivanjem zadanih ciljeva i rokova, ali ti problemi za sobom vuku i druge probleme. S obzirom na trenutno stanje, Republici Hrvatskoj prijete plaćanje kazni visokih iznosa te mogućnost propuštanja nekih drugih sredstava iz fondova Europske unije. Kazne koje prijete RH ovise o mnogim faktorima među kojim su najvažniji broj stanovnika te visina BDP-a. Proces kažnjavanja je dugotrajan, za početak EU šalje upozorenja i daje „drugu priliku“ u vidu produljenja rokova za ispunjenje obveza, a tek nakon tih rokova slijedi postupak određivanja kazne i naplaćivanja. Gledajući trenutnu situaciju vrlo je izvjesno da će Hrvatska plaćati kazne, a građani visoku cijenu otpada. [10]

### *Financijski problemi*

Gospodarenje otpadom je dio kružnog gospodarstva te kao takvo utječe na cjelokupno gospodarstvo i društvo. Mišljenje stručnjaka jest kako u RH ima i više nego dovoljno sredstava za uređenje sustava gospodarenja otpadom za njegovo ostvarivanje. Jedan od financijskih problema u vidu gospodarenja otpadom je upravo nedostatak vremena za uspostavu učinkovitog sustava i izbjegavanje kazni koje će RH gotovo sigurno morati plaćati. Također, realno je za očekivati poskupljenja za zbrinjavanje otpada u onim županijskim centrima u kojima se ne drži do recikliranja. [10]

### *Problem ilegalnih odlagališta otpada*

Ilegalnim odlagalištima otpada smatraju se površine na kojima nepoznate osobe odlažu otpad, a koja ne spadaju u službena odlagališta. Takva vrsta odlagališta odraz su nedovoljne osviještenosti ljudi te su velika opasnost za okoliš. Ilegalno odložen otpad predstavlja veliku opasnost za tlo, podzemne vode te pogoduje razmnožavanju glodavaca i ostalih životinja koje šire bolesti zaraze. Isto tako, uzrokuju brojne požare te narušavaju izgled krajolika. Prema podacima iz 2004. godine kada je započela sanacija ilegalnih odlagališta procijenjeno je da ih postoji preko 3 000 u RH. Iz tog je razloga 2013. godine iz fondova sufinancirana sanacija 266 projekata sanacije, među kojima je uključeno polovica ilegalnih odlagališta u RH. [10]

### ***Nedovoljna osviještenost građana***

Prema istraživanje provedenim u RH 2018. godine pokazalo se da čak 96 % ispitanika smatra odvajanje otpada i recikliranje važnim što je pokazatelj kako većina građana ima dobar stav, ali većinski dio tih istih ispitanika nije spreman mijenjati svoje životne navike i prilagoditi ih kako bi pravilno sortirali i odlagali svoj otpad. 40 % ispitanika koji ne odvajaju otpad kažu kako nemaju naviku to činiti, 37 % tvrdi da nema vremena, a 18 % uopće nije upoznato s procesom pravilnog odlaganja otpada. Nadalje, 40 % ispitanih građana ne zna gdje se nalaze reciklažna dvorišta, 53 % ih ne odvozi otpad u za to predviđena dvorišta, 44 % smatra da imaju dovoljno informacija o otpadu, 43 % ih se s time ne slaže, a 13 % je neodlučnih. Građane RH je potrebno usmjeriti da svojim ponašanjem poštuju hijerarhiju gospodarenja otpadom, počevši sa sprječavanjem nastanka otpada, ponovnoj upotrebi, odvojenom prikupljanju te kompostiranju. [10]

## **6.2. Polimerni otpad u RH**

Glavni problem tretiranja otpadne plastike u RH jest nedovoljno odvajanje takvog otpada, te da ono što se i odvoji nema tko preuzeti. Zbog nagomilavanja otpadne plastike, Hrvatska ju mora izvoziti, a to predstavlja veoma skup način „rješavanja“ problema plastike. Primjerice, sva prikupljena plastika u Zagrebu mora ići na sortiranje, a sortiranje usporava i poskupljuje reciklažu te pri tome svega 10 % do 25 % je iskoristivog otpada u toj plastici. Trenutno se Hrvatska nalazi na razini Belgije od prije 20 godina. Belgija je na edukaciju građana o razdvajanju otpada potrošila 20 godina da bi došli do današnjeg standarda koji podrazumijeva recikliranje preko 80 % komunalnog, a samim time i plastičnog otpada. U Hrvatskoj se još uvijek odlažu velike količine otpada na odlagalištima budući da je to jeftinije, ali to se neće moći zauvijek tako raditi.

Prema direktivi Europske komisije do 1. siječnja 2020. godine odlagališta je bilo potrebno sanirati. Međutim, odlagališta još nisu sanirana i zatvorena. Prema postojećem Pravilniku o načinima i uvjetima odlaganja otpada, odlagališta su razvrstana u tri kategorije, pa tako ona koja nisu ili su najmanje usklađena s Pravilnikom trebaju biti zatvorena. Glavni problem RH jest **neuspostavljena infrastruktura**, odnosno ne postoji dovoljno centara za gospodarenje

otpadom. Dokle god se taj problem ne riješi i ne omogući se veći broj centara za gospodarenje otpadom, Hrvatska će izvoziti otpad u susjedne zemlje te pritom to skupo plaćati. [5]

Mjere koja Europska Unija propisuje zemljama članicama pa tako i Hrvatskoj, a koja se nalazi u problemima zbog neispunjavanja tih mjera, obuhvaćaju: poboljšanje rentabilnosti i kvalitete reciklirane plastike, smanjenje plastičnog otpada i bacanja plastike, poticanje ulaganja i inovacija u pogledu rješenja povezanih s kružnim gospodarstvom. [5]

Za razvitak kvalitetnog sustava kružnog gospodarenja plastičnim otpadom u Hrvatskoj, koji bi značajno pridonio razvoju industrije, potrebno je od nacionalnih i regionalnih tijela dobiti potrebne informacije o vrijednosti i isplativosti bavljenja ovakvom vrstom posla. Potrebno je pozvati nacionalna i regionalna tijela na podizanje svijesti o nekontroliranom bacanju otpada, ubrzanom prikupljanju otpada, posebno u blizini obale, te poboljšanju komunikacije i koordinacije između tijela nadležnih za gospodarenjem otpadom te za vodni i morski okoliš. [12]

Isto tako, Hrvatska kao prepoznatljiva turistička destinacija mora voditi računa o svojoj obali jer je upravo ona svake godine sve više zagađena plastičnim otpadom (Slika 15.). Država je dužna razmotriti uvođenje programa proširene odgovornosti proizvođača, posebno kako bi se osigurali poticaji za prikupljanje odbačenog ribolovnog alata kao što uspješno provodi povratnu naknadu za spremnike napitaka. [12]

„Mediteran, a pogotovo Jadransko more, svrstavaju se među najzagađenija mora s obzirom na količinu prisutne plastike. Na površini od jednog kvadratnog kilometra, u Jadranu se u prosjeku može naći više od 300 000 čestica plutajuće morske, dok je na dnu, u morskim sedimentima zabilježena najveća prosječna koncentracija od skoro 90 čestica po kvadratnom metru. Iako nama Jadransko more djeluje kristalno čisto, analiza uzoraka morskog okoliša pokazuje suprotno.“ [13]



**Slika 15. Otpad u Jadranskom moru**

Dužnost je nacionalnih i regionalnih tijela da daju prednost recikliranoj plastici i plastici koja se može ponovno upotrijebiti u javnoj nabavi i na taj način uz određena nagrađivanja korisnika takve vrste plastike polako podizati svijest građana. Moraju dati **prednost uporabi i recikliranju ispred odlaganja i spaljivanja**. Problem velikog odlaganja plastičnog otpada zapravo može biti veliko rješenje u razvoju industrije u Hrvatskoj. Hrvatska bi trebala novac koji povlači iz EU fondova pravilno usmjeriti na stvaranje kvalitetne infrastrukture koja bi omogućavala lako i odvojeno prikupljanje otpada. Isto tako, trebala bi povećati troškove odlaganja i spaljivanja otpada kako bi se što kvalitetnije promicala ideja recikliranja plastičnog otpada i sprječavanje njegovog nastanka. [12]

### **6.3. Plan gospodarenja otpadom u RH**

Plan gospodarenja otpadom RH za period od 2017. do 2022. godine usvojen je na sjednici Vlade Republike Hrvatske čime je stvoren važan preduvjet za korištenje sredstava iz Operativnog programa Konkurentnost i kohezija Europske unije. Za financiranje sektora otpada predviđena su sredstva u iznosu od 475 milijuna eura. Ovim su se programom stvorili preduvjeti za usmjeravanje Hrvatske prema kružnom gospodarstvu vodeći brigu o okolišu na

razini EU te kreiranju novih radnih mjesta. Isto tako, otvara se mogućnost razvoja industrije recikliranja koja će otvoriti nova radna mjesta i ispuniti dužnosti prema EU. [10]

Ciljevi koje je potrebno postići do 2022. godine [14]:

1. Unaprijediti sustav gospodarenja komunalnim otpadom
  - Smanjiti ukupnu količinu proizvedenog komunalnog otpada za 5 %
  - Odvojeno prikupiti 60 % mase proizvedenog komunalnog otpada (papir, staklo, plastika, metal)
  - Odvojeno prikupiti 40 % mase proizvedenog biootpada koji je sastavni dio komunalnog otpada
2. Unaprijediti sustav gospodarenja posebnim kategorijama otpada
  - Odvojeno prikupiti 75 % mase proizvedenog građevinskog otpada
  - Uspostaviti sustav gospodarenja otpadnim muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda
  - Unaprijediti sustav gospodarenja otpadnom ambalažom
  - Uspostaviti sustav gospodarenja morskim otpadom
  - Uspostaviti sustav gospodarenja otpadnim brodovima, podrtinama i potonulim stvarima na morskom dnu
3. Unaprijediti sustav gospodarenja ostalim posebnim kategorijama otpada
4. Unaprijediti sustav gospodarenja opasnim otpadom
5. Sanirati lokacije onečišćene otpadom
6. Kontinuirano provoditi izobrazno-informativne aktivnosti
7. Unaprijediti informacijski sustav gospodarenja otpadom
8. Unaprijediti nadzor nad gospodarenjem otpadom
9. Unaprijediti upravne postupke u gospodarenju otpadom.

#### **6.4. Automatska sortirnica otpada Grada Zagreba**

Sortirnice su jedan od važnijih dijelova sustava gospodarenja otpadom budući da se sortiranjem odvojeno prikupljenog otpada povećava kvaliteta i vrijednost odvojeno prikupljenih korisnih sirovina iz otpada, a time i plasman tih sirovina na tržište. Time se doprinosi povećanju stope recikliranja otpada i smanjenju količine otpada koji se odlaže na

odlagalište. Na taj se način osigurava priprema za ponovnu uporabu i recikliranje papira, metala, plastike i stakla iz kućanstva, i to u minimalnom udjelu od 50 % mase otpada čime se direktno utječe na postizanje europskog cilja za ponovnu uporabu i recikliranje komunalnog otpada.

Grad Zagreb i Zagrebački centar za gospodarenje otpadom pristupili su realizaciji Projekta izgradnje i opremanja postrojenja za sortiranje odvojeno prikupljenog komunalnog otpada sa područja Zagreba (Slika 16.), na mikrolokaciji bivšeg industrijskog kompleksa DIOKI. Sortirница je namijenjena, ovisno o vrsti otpada, razvrstavanju, separiranju, drobljenju, prosijavanju i privremenom skladištenju razvrstanog i pročišćenog odvojeno prikupljenog otpada čime se povećava njegova kvalitete i tržišna vrijednost. Sortira se i pročišćava odvojeno prikupljeni papir i karton, odvojeno prikupljena plastika, metali i tekstil koji u otpadu predstavljaju tzv. suhe reciklate. [15]



**Slika 16. Automatska sortirnica otpada – Grad Zagreb [15]**

Prilikom postupka automatskog razvrstavanja plastičnog otpada biti će korišteni balistički separatori (Slika 17.). Balističkim separatorom otpad se razvrstava u različite frakcije. Najčešće se otpad odvaja s obzirom na masu, a može i s obzirom na veličinu gdje kroz sito prolaze sitne granule. Balistički separator se optimalno koristi kada je spojen s NIR separatorom koji može razlikovati različite vrste plastike. [16]





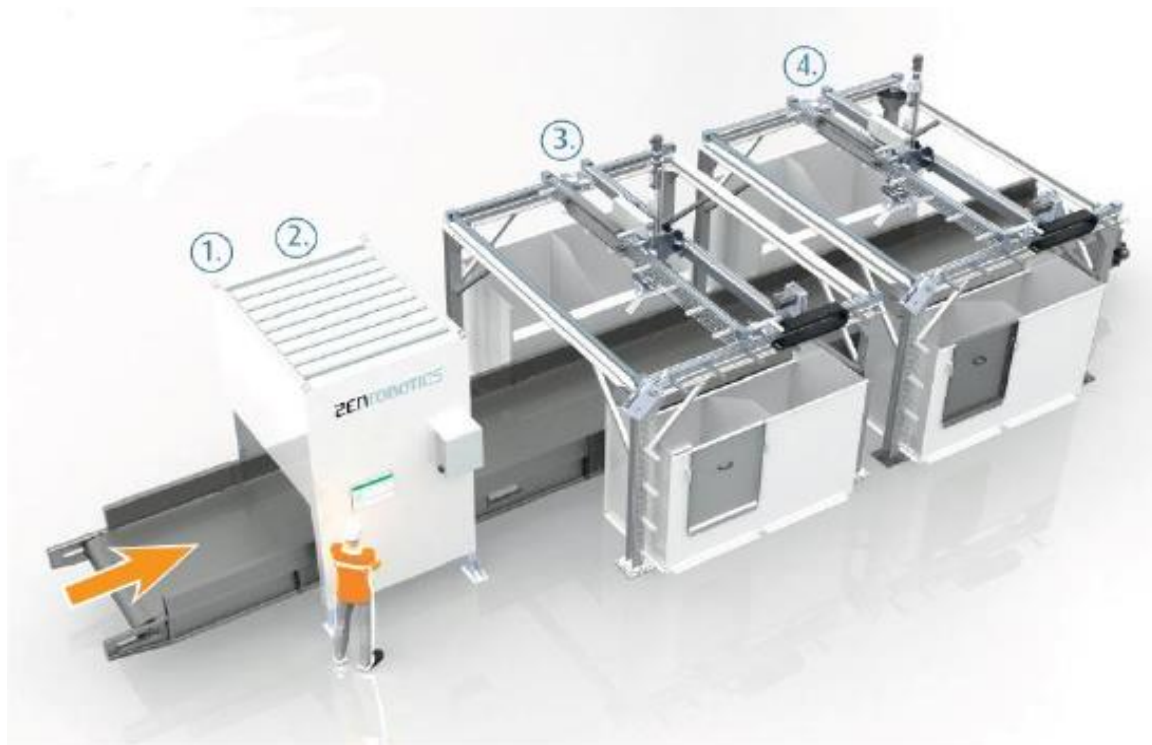
Slika 17. Balistički separator [16]

## 6.5. Učinci moguće primjene opreme ZenRobotics u sortirnici otpada Grada Zagreba

Tvrtka ZenRobotics razvila je automatizirani postupak za sortiranje otpada pomoću robota i manipulatora te konvejera. Tvrtka u svojoj ponudi ima širok spektar sortiranja različitih vrsta otpada te izgradnju sustava po željama kupaca. [18]

ZenRobotics sustav (Slika 18.) funkcionira na sljedeći način [19]:

1. Mjerna jedinica prikuplja podatke o izmjerama i orijentaciji dolazne struje otpada pomoću 2D i 3D kamera.
2. Senzorska jedinica pomoću kombinacije senzora (NIR senzor, senzor vidljive svjetlosti (VIS), laser i detektor metala) daje informaciju o vrsti materijala predmeta.
3. Računalo, procesor, odnosno mozak analizira prikupljene podatke i kontrolira manipulator.
4. Manipulator uzima pojedine vrste otpada pojedinačno, velikom brzinom i točnošću.



Slika 18. Model sustava ZenRobotics [19]

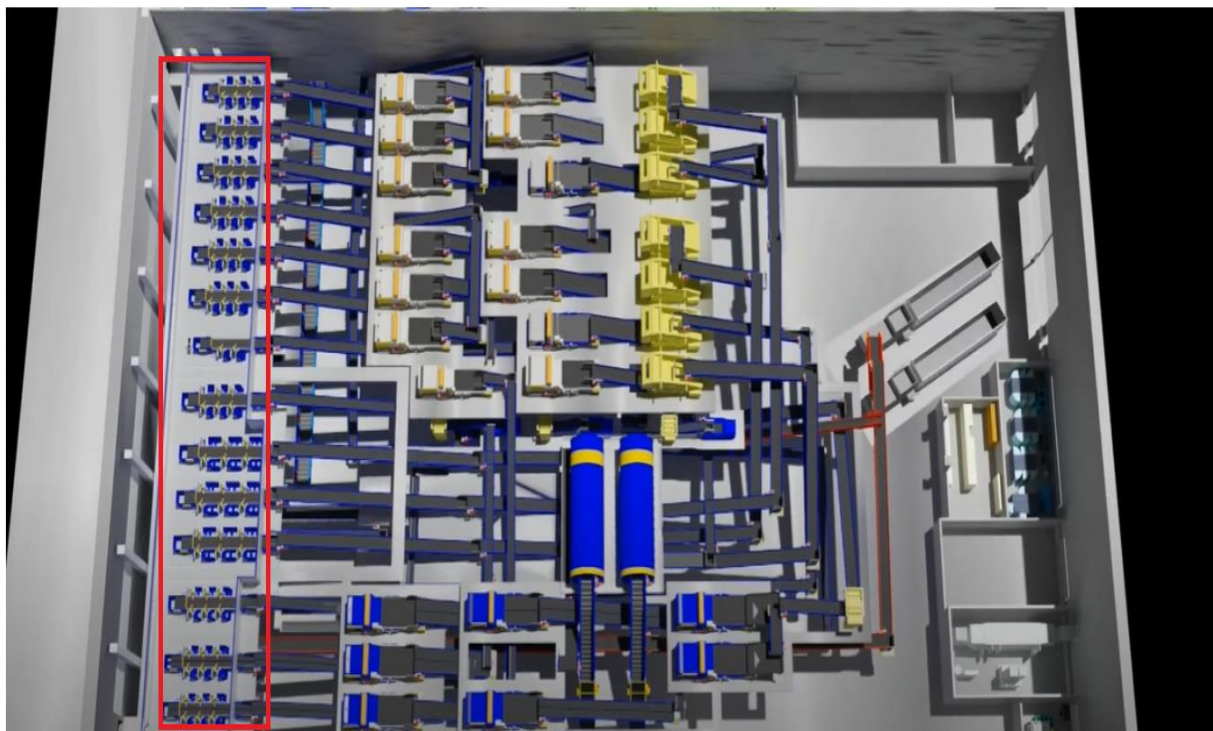
ZenRobotics prodaje tri sustava sa manipulatorima: ZRR1 (jedan manipulator), ZRR2 (dva manipulatora) te najnoviji ZRR3 (tri manipulatora). [18]

Karakteristike sustava s jednim i dva manipulatora jesu [19]:

- maksimalna masa predmeta je 20 kg
- maksimalne dimenzije predmeta su duljina 1,5 m, a širina 0,5 m
- područje hvatanja ruke je udaljenosti, duljina 2 m, a širina 1,4 m.

Prilikom realiziranja projekta izgradnje automatske sortirnice otpada Grada Zagreba **predlaže se da se umjesto linija za ručno razvrstavanje otpada (Slika 19.), razmotri mogućnost postavljanja automatskih sustava ZenRoboticsa.**





**Slika 19. Oprema u automatskoj sortirnici otpada Grada Zagreba – linije za ručno razvrstavanje uokvirene crveno**

Uspoređujući sustav ZenRoboticsa s ručnim sortiranjem (cijene rada radnika i postrojenja nisu prema hrvatskim, već prema finskim standardima) u radu [19] dobiveni su sljedeći rezultati:

**1) Ručno sortiranje:**

- cijena sata rada radnika je 25 EUR
- cijena 3 300 sati rada radnika je 82 500 EUR
- prosječna broj uzimanja predmeta mase 1 kg u satu je 800 do 1 200
- korisno vrijeme rada radnika je 70 % ukupnog radnog vremena
- prosječni broj uzimanja predmeta mase 1 kg godišnje pomnožen sa satima rada u godini i korisnim vremenom rada radnika daje 2 310 000 kg, odnosno **2 310 tona** obrađenog otpada **godišnje**

**2) Sustav sortiranja ZenRobotics:**

- troškovi rada pogona godišnje (3 300 radnih sati) iznose 40 000 EUR
- prosječni broj uzimanja predmeta mase 1 kg u satu je 3 000

- korisno vrijeme rada postrojenja je 90 % ukupnog radnog vremena
- prosječni broj uzimanja predmeta mase 1 kg godišnje pomnožen sa satima rada u godini i korisnim vremenom rada postrojenja daje 8 900 000 kg, odnosno **8 900 tona** obrađenog otpada **godišnje**

### 3) Zaključak:

- jedan ZenRoboticsov sustav zamjenjuje 3,9 radnika
- broj od 3,9 radnika pomnožen s godišnjom cijenom rada radnika daje uštedu od 321 750 EUR, od toga se oduzimaju godišnji troškovi rada pogona 40 000 EUR i dobiva se ušteda od 281 750 EUR na 3,9 radnika
- **vrijeme isplativosti zamjene** ručnog sustava sortiranja otpada ZenRobotics sustavom je **1,2 godine**.

Uzimajući u obzir da se u **Gradu Zagrebu** godišnje prikupi otprilike **55 000 tona** odvojeno prikupljenog komunalnog otpada, a da jedan radnik godišnje može obraditi 2 310 tona, dolazi se do podatka da bi u automatskoj sortirnici bila potrebna **24 radnika**. S obzirom da jedan sustav **ZenRoboticsa** zamjenjuje 3,9 radnika, automatskoj bi sortirnici bilo potrebno **sedam** takvih sustava, a **ušteda** bi prema finskim podacima iznosila **1 700 000 EUR godišnje**.

## 6.6. Automatizirane linije za sortiranje otpadne plastike za Grad Zagreb

U prethodnoj točki 6.5., prijedlog primjene sustava ZenRobotics u sortirnici Grada Zagreba obuhvaća razvrstavanje odvojeno prikupljenog komunalnog otpada. Što se tiče razvrstavanja isključivo plastičnog otpada u Gradu Zagrebu, s obzirom na procijenjenu količinu toga otpada, predlaže se uporaba linije za sortiranje otpadne plastike opisana u radu [19].

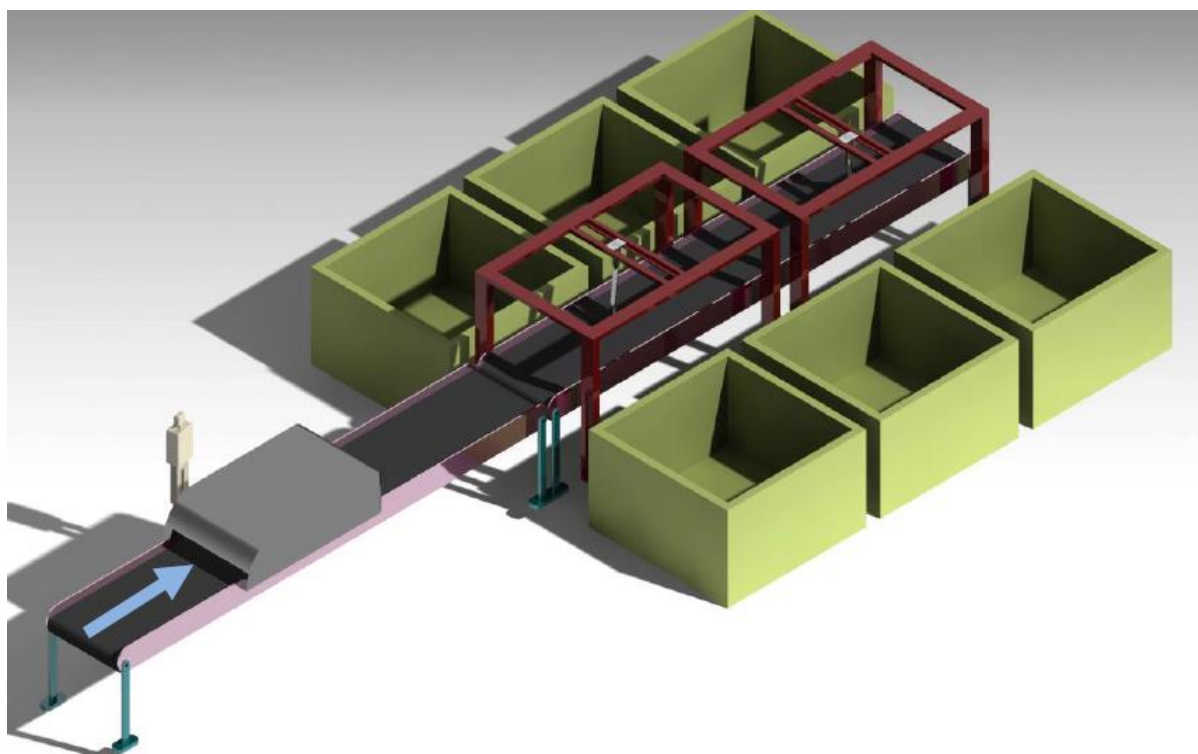
Linija za sortiranje otpadne plastike (Slika 20.), sadrži [19]:

- uređaj za predobradu, uključujući vibracijski dodavač
- senzorske jedinice
- jedinice za uklanjanje otpada sa konvejera
- spremnik za različite vrste plastike.

Konvejer s linije za predobradu otpada transportira plastični otpad na uređaje koji razdvajaju plastiku po vrsti. Linija za predobradu otpada u ovom postrojenju mora sadržavati vibracijski dodavač na kojem je otpad prethodno razmaknut jer je to nužno za optimalan rad sljedećih uređaja. [19]

Senzorska jedinica u sebi ima integrirane dvodimenzionalne i trodimenzionalne kamere (2D i 3D), linearni laser i dva senzora. To su senzor NIR i senzor VIS. Analizom zraka vraćenih s predmeta tim dvama senzorima određuje se vrsta materijala, odnosno vrsta plastike. [20]

Kamere i laser služe za mjerenje dimenzija predmeta koji dolaze i za određivanje njihovih geometrijskih značajki. Skup podataka s kamere i lasera obrađuje se najprije na računalu, nakon čega slijedi slanje odgovarajućih podataka u upravljačku jedinicu radne stanice za uklanjanje predmeta s konvejera. U njoj višeosni manipulator hvataljkom uklanja predmete s konvejera pri čemu su postizive velike brzine rada od otprilike 2 000 predmeta mase 5 kg po satu. Brzine manipulatora i konvejera su međusobno usklađene, a produktivnost se može povećati dodatnim manipulatorima. [20]



Slika 20. Linija za sortiranje plastike [20]

U nastavku je prikazana procijenjena količina otpada koja se može obraditi na ovom postrojenju te koliko bi takvih postrojenja bilo potrebno na području Grada Zagreba s obzirom na godišnju količinu otpadne plastike.

Manipulator uzima 3000 komada plastike po satu, a masa jednog komada plastike u prosjeku je 0,5 kg po komadu. Manipulator godišnje radi 334 dana, a 30 dana oduzeto je radi održavanja sustava. Preračunavajući dane u sate dobiva se 8 000 sati u godini. Masa otpada koju manipulator obradi u jednom satu je 1 500 kg, a dobivena masa otpada u satu pomnožena s brojem sati u godini daje rezultat od **12 000 tona godišnje**.

S obzirom na dobiveni rezultat od 12 000 tona godišnje i procijenjenu količinu plastičnog otpada **u Gradu Zagrebu od 60 000 tona godišnje**, zaključuje se da je na području Grada Zagreba **potrebno pet postrojenja za obradu otpadne plastike**.

## 6.7. IKEA Hrvatska

Jedan od primjera pozitivnog utjecaja na ljude i planet jest kompanija IKEA. Cilj je kompanije da do 2030. godine sva plastika u njihovim proizvodima dolazi od obnovljivih ili recikliranih materijala. Već je pokrenut plan zamjene jednokratne plastike iz asortimana te korištenje različitih vrsta održive plastike u sve većem broju proizvoda. Izbacivanje jednokratne plastike iz asortimana namještaja za dom i njihovih restorana, kafića i bistroa jedna je od brojnih stvari kojima kompanija želi pridonijeti smanjenu zagađenja plastikom iz jednokratnih proizvoda. Godine 2020. su predmete kao što su slamke, pribor za jelo, šalice, čaše i tanjuri zamijenjeni jednokratnim proizvodima iz 100 % obnovljivih izvora. Isto tako, kompanija je započela sa proizvodnjom plastičnih vrećica za višekratnu upotrebu. Vrećica je izrađena uglavnom od obnovljivog materijala (85 %) iz industrije obrade šećerne trske. Budući da je izdržljiva i da se može ponovno zatvoriti, zaista je jednostavno smanjiti količinu plastičnog otpada. [17]

Kompanija teži postati cirkularna u svim aspektima te ističe kako je pronalaženje novih načina korištenja recikliranih materijala od ključne važnosti, a korištenje otpada kao resursa put prema obnovljivoj budućnosti. [17]

## 7. ZAKLJUČAK

Plastika je veoma vrijedan i koristan materijal široke uporabe, ali zbog nedovoljne svijesti njenih potrošača ona danas kao otpad predstavlja globalni problem. Često završava na mjestima na kojima ne bi trebala završiti te time predstavlja opasnost za zdravlje ljudi te biljni i životinjski svijet. Plastika je materijal s mnogo prednosti, ali sve njene dobre strane zasjenjuje problem njenog zbrinjavanja u trenutku kada plastika postane otpad. Rješenje koje se nameće jest pravilno gospodarenje plastičnim otpadom na način ponovne iskoristivosti materijala umjesto jednokratnog korištenja i bacanja. Gospodarenje plastičnim otpadom jest veoma važna djelatnost za društvo koja se sastoji od više postupaka. Jedan od osnovnih postupaka jest njegovo sortiranje.

**Ručno sortiranje plastičnog otpada ekonomski je neučinkovito u odnosu na suvremene tehnologije i dovodi zdravlje radnika u opasnost.** Iz tog je razloga **nužna uporaba automatiziranih procesa** sortiranja otpada. Napretkom znanosti i informacijskih tehnologija razvila se i nova tehnologija sortiranja koja daje nove mogućnosti, stoga ju je potrebno primijeniti.

Republika Hrvatska jedna je od zemalja članica Europske unije čiji je problem loše gospodarenje otpadom, stoga ni ne čudi činjenica da se u Hrvatskoj otpad najčešće ručno razvrstava, a stopa iskoristivosti otpada iznosi 21 %. Primjena suvremenih metoda za sortiranje otpada dala bi rezultate kojima bi se ostvarili standardi postavljeni direktivama Europske unije.

Činjenica da je pokrenut projekt otvaranja sortirnice u Gradu Zagrebu ulijeva nadu da će Republika Hrvatska postati ekološki osviještena zemlja te da će dostići nivo Belgije za kojom

zaostaje 20 godina, ali isto tako prikazuje da na tom projektu ima mnogo mjesta za napredak i uvođenje suvremenih tehnologija automatskog razvrstavanja otpada kojim bi se gospodarenje otpadom u RH podiglo na višu razinu. Naime, radom je posebno razmotrena mogućnost **primjene automatiziranih sustava za razvrstavanje otpadne plastike u Gradu Zagrebu**, pri čemu osnovna računica jasno pokazuje **opravdanost primjene** takvih sustava za koje bi u bliskoj budućnosti trebalo učiniti daljnje korake prema njihovoj realizaciji.

## 8. LITERATURA

- [1] Lončarić Božić, A., Kušić, H.: *Upravljanje otpadom*, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb, 2016.
- [2] Ivković, E.: *Zbrinjavanje otpada*, Srednja škola Antuna Matije Reljkovića, Slavonski Brod, 2012.
- [3] Prelec, Z.: *Inženjerstvo zaštite okoliša*, Rijeka, 2012.
- [4] Hrnjak-Murgić, Z.: *Gospodarenje polimernim otpadom*, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb, 2016.
- [5] Miličević, N.: *Gospodarenje polimernim otpadom*, Sveučilište u Splitu, Kemijsko-tehnološki fakultet, Split, 2020.
- [6] Radetić, E.: *Zbrinjavanje polimernog otpada*, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Varaždin, 2016.
- [7] *Plastics recyclers stay on the cutting edge*, <http://www.readabstracts.com/Environmental-services-industry/Automatic-sorting-for-mixed-plastics-High-tech-plastics-processing.html>, Pristupljeno: 2021-08-28.
- [8] Hrnjak-Murgić, Z.: *Zbrinjavanje polimernog otpada*, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije
- [9] Škrlec, A.: *Korištenje metoda oplemenjivanja mineralnih sirovina u mehaničkoj obradi komunalnog otpada*, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Varaždin, 2018.
- [10] Dražić, L.: *Gospodarenje otpadom u Republici Hrvatskoj – problemi i perspektive*, Sveučilište u Splitu, Ekonomski fakultet, Split, 2020.
- [11] <https://library.fes.de/pdf-files/bueros/kroatien/12400.pdf>, Pristupljeno: 2021-08-29.
- [12] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/hr/TXT/?uri=COM:2018:0028:FIN>, Pristupljeno: 29.8.2021.
- [13] <https://www.bilten.org/?p=28644>, Pristupljeno: 30.8.2021.

- [14] [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2017\\_01\\_3\\_120.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2017_01_3_120.html), Pristupljeno: 30.8.2021.
- [15] <https://www.zcgo.hr/novosti-pregled/u-tijeku-je-realizacija-projekta-izgradnje-i-opremanja-postrojenja-za-sortiranje-otpada-s-podrucja-g>, Pristupljeno: 5.9.2021.
- [16] Rajčić, B.: *Sustavi i tehnologije tretmana otpada*, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2019.
- [17] <https://www.ikea.com/hr/hr/product-guides/sustainable-products/do-2030-godine-planiramo-koristiti-samo-recikliranu-ili-obnovljivu-plastiku-u-ikea-proizvodima-pub84887d61>, Pristupljeno: 5.9.2021.
- [18] Stojkov, K.: *Istraživanje mogućnosti unapređenja proizvodnog programa opreme za obradu otpada*, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2019.
- [19] Barković, D.: *Automatsko razvrstavanje otpada*, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2015.
- [20] Barković, D., Kunica, Z., Belić, D.: *Sustav za automatsko sortiranje otpada - rješenje za Zagreb? = Automatic waste sorting system - a solution for Zagreb?* EGE : energetika, gospodarstvo, ekologija, etika, XXV. (4). pp. 102-105. ISSN 1330-0628, Zagreb, 2017.