

# Plastična ambalaža - kružno gospodarenje otpadom

---

Meglić, Luka

Master's thesis / Diplomski rad

2021

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:623174>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-01**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





# Sveučilište Sjever

Diplomski rad br. 28/ARZO/2021

## **Plastična ambalaža - kružno gospodarenje otpadom**

Luka Meglić, 1454/336D

Koprivnica, svibanj 2021.



# Sveučilište Sjever

Odjel za ambalažu, recikliranje i zaštitu okoliša

Diplomski rad br. 28/ARZO/2021

## Plastična ambalaža - kružno gospodarstvo otpadom

### Student

Luka Meglić, 1454/336D

### Mentor

izv. prof. dr. sc. Lovorka Gotal Dmitrović, dipl.ing.kem.tehn.

Koprivnica, svibanj 2021.

# 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	Luka Meglič	MATIČNI BROJ	1454/336D
DATUM	25.5.2021	KOLEGIJ	Zaštita okoliša
NASLOV RADA	Plastična ambalaža - kružno gospodarenje otpadom		
NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	Plastic packaging - circular waste management		
MENTOR	izv. prof. dr. sc. Lovorka Gotal Dmitrović	ZVANJE	izvanredna profesorica
ČLANOVI POVJERENSTVA	1. izv. prof. dr. sc. Krunoslav Hajdek - predsjednik povjerenstva		
	2. izv. prof. dr. sc. Bojan Šarkanj		
	3. izv. prof. dr. sc. Lovorka Gotal Dmitrović		
	4. prof. dr. sc. Mario Tomiša - rezervni član		
	5. _____		

## Zadatak diplomskog rada

BROJ: 28/ARZO/2021

OPIS

U diplomskom radu u teoretskom dijelu opisati važnost kružnog gospodarenja otpadom, objasniti 4R, odnosno 5 R načelo.

Naglasiti razlike između linearne i cirkularne ekonomije. Opisati 7 principa ekološkog dizajna.

Objasniti što je to "plastika", kako se dobiva i koje su glavne vrste plastične ambalaže.

U eksperimentalnom dijelu navesti fizikalno-kemijske karakteristike za svaku vrstu plastične ambalaže, opisati načine recikliranja i uporabe za svaku vrstu plastike.

Naglasak staviti na prednosti, ali i nedostatke svakog navedenog načina recikliranja i uporabe.

Donijeti zaključak.

ZADATAK URUČEN

25.5.2021.

POTPIS MENTORA



## Predgovor:

Zahvaljujem se svojoj obitelji, prijateljima i kolegama na podršci koju su mi pružili tijekom mog studiranja a posebice tijekom izrade diplomskog rada.

Zahvaljujem se i svojoj mentorici izv. prof. dr. sc. Lovorka Gotal Dmitrović koja me svojim stručnim savjetima usmjeravala na ispravan put tijekom pisanja i istraživanja.

## **Sažetak:**

Plastične mase nastaju od sirovine nafte koja je neobnovljiv izvor energije, te imaju široku upotrebu u vidu ambalažnih i drugih proizvoda. Osim što se troši ograničen resurs te se samim time ugrožavaju potrebe budućih generacija, konačni plastični proizvodi štete okolišu ukoliko se adekvatno ne postupa s njima. Upravo plastični ambalažni otpad bude odbačen od strane nesavjesnih građana te kvari sliku okoliša. Vodeći se idejom održivog razvoja na više načina odabiremo kako plastične mase uspješno iskoristiti. Promjenom dizajna za višestruku uporabu te sakupljanjem, recikliranjem ili prenamjenom takvog otpada možemo smanjiti potrebu za crpljenjem nafte te značajno uštediti na potrebnoj energiji unutar tehnološkog postupka proizvodnje ambalažnih proizvoda. Konkretno, recikliranje plastičnih PET boca ima mogućnost prenamjenu u recikliranu odjeću. Ona se može uvesti u školski sustav te osim što je takva ideja održiva, potiče i socijalnu ravnopravnost djece te ih ne dijeli po obiteljskom statusu.

Ključne riječi: Održivi razvoj, cirkularna ekonomija, recikliranje, otpad, plastična ambalaža

## Summary:

*Plastics are made from crude oil, which is a non-renewable energy source, and are widely used in the form of packaging and other products. In addition to consuming limited resources and the needs of future generations are threatened, final plastic products harm the environment if they are not treated adequately. It is the plastic packaging waste that is discarded by unscrupulous citizens and spoils the image of the environment. Guided by the idea of sustainable development, we choose in many ways to successfully use plastics. By changing the design for multiple use and collecting, recycling or repurposing such waste, we can reduce the need for oil extraction and significantly save on the necessary energy within the technological process of production of packaging products. In particular, the recycling of plastic PET bottles has the potential to be converted into recycled clothing. It can be introduced into the school system and, in addition to the fact that such an idea is sustainable, it also encourages the social equality of children and does not divide them according to family status.*

*Key words: Sustainable development, circular economy, recycle, waste, plastic packaging*

## Sadržaj:

1.	Uvod .....	1
2.	Plastična ambalaža.....	2
2.1.	Polimeri.....	2
2.2.	Zbrinjavanje polimernog otpada .....	2
2.3.	Recikliranje otpadnih polimera.....	7
2.3.1.	Mehaničko recikliranje.....	7
2.3.2.	Kemijsko recikliranje .....	10
2.4.	Plastični materijali .....	11
2.4.1.	PET (Polietilen tereftalat).....	13
2.4.2.	PS (Polistiren) .....	15
2.4.3.	PE (Polietilen) .....	15
2.4.4.	PP (Polipropilen).....	17
2.4.5.	PVC (Poli vinil-klorid).....	19
2.4.6.	PA (Poliamid).....	20
2.4.7.	PTFE (Politetrafloroetilen).....	21
2.4.8.	ABS (akrilonitril-butadien stirel) .....	23
3.	Održivi razvoj.....	24
3.1.	Gospodarenje otpadom .....	27
3.2.	Početak cirkularne ekonomije.....	32
3.3.	Strategija Europske Unije .....	33
4.	Segmentacija kružnog gospodarstva .....	34
4.1.	Proizvodnja .....	35
4.2.	Ekološki dizajn.....	37
4.3.	Recikliranje .....	39
4.3.1.	Prikupljanje .....	39
4.3.2.	Proizvodnja.....	40
4.3.3.	Kupnja novih proizvoda izrađenih od recikliranih materijala.....	40
5.	Temeljna načela .....	41
5.1.	Biomimikrija .....	41
5.2.	Industrijska ekologija.....	42



6.	Načini upravljanja unutar cirkularne ekonomije .....	44
6.1.	Kružni ulazi.....	46
6.2.	Djeljenje platformi .....	47
6.3.	Proizvod kao usluga .....	47
6.4.	Produljenje korištenja proizvoda .....	48
6.5.	Oporaba resursa .....	49
7.	Plastični ambalažni otpad .....	50
7.1.	Recikliranje plastične ambalaže.....	53
7.2.	Regeneracija i oporavak plastike .....	54
7.3.	Upravljanje.....	56
8.	Eksperimentalni dio .....	57
8.1.	STAN analiza.....	58
8.2.	Razvoj konceptualnih modela kružnog gospodarstva.....	63
8.3.	Uzrok-posljedica dijagram.....	64
8.4.	Dijagram ciklusa aktivnosti .....	66
8.5.	Dijagram uzročnih petlji .....	68
9.	Zaključak .....	69
10.	Literatura .....	71

## 1. Uvod

Od kraja 20. stoljeća ovisimo o plastici kao pristupačnom, svestranom i trajnom materijalu.

Veliki udio ambalaže koji svakodnevno koristimo izrađen je od plastike, poput plastičnih boca i ambalaže za hranu a ponajviše zato jer je jeftino i sa dobrim svojstvima. Međutim, plastika se sporo razgrađuje zbog svoje kemijske strukture, što predstavlja velik izazov ljudsku populaciju. S obzirom da većini plastičnih materijala trebaju stoljeća da bi se razgradila, sva plastika koju odvozimo na odlagališta otpada i dalje postoji, a mi je i dalje proizvodimo i trošimo sve više. Ta plastika mora nekamo otići, a često se ili neoprezno baca na kopno ili u rijeke u zemljama u razvoju, prije nego što završi u oceanu, gdje prijeti morskom životu.

Činjenica je da se jednostavno ne možemo nositi s količinom plastike na našem planetu. Iz tog su se razloga naši stavovi i ponašanje prema plastici polako počeli mijenjati ne bi li se osigurala sigurna i zdrava budućnost našeg planeta. Smanjivanje potrošnje plastike i podizanje svijesti o recikliranju plastike presudno je ako želimo prevladati problem plastičnog otpada i onečišćenja na našem planetu.

U mnogim se slučajevima, posebno u razvijenijim zemljama, plastični otpad odlaže odgovorno i šalje u postrojenja radi razvrstavanja, recikliranja ili oporabe. Međutim, plastični otpad koji nastaje u zemljama u razvoju obično završava na otvorenim neuređenim odlagalištima ili se baca u rijeke, potoke i oceane.

Nedavno istraživanje pokazalo je da morske kornjače koje unesu samo 14 komada plastike imaju povećan rizik od smrti. Posebno su pogođene mlade kornjače jer imaju tendenciju obitavanja istim strujama koje privlače plastični otpad, a u isto vrijeme imaju manju selektivnost u pogledu izbora hrane. [1]

Prijelaz na kružno gospodarstvo ne znači samo prilagodbu usmjerenu na smanjenje negativnih utjecaja linearne ekonomije. Umjesto toga, predstavlja sustavni pomak koji izgrađuje dugoročnu održivost, stvara poslovne i ekonomske mogućnosti i pruža okolišne i društvene koristi. Kružno gospodarstvo podrazumijeva i stvaranje novih proizvoda za

višeputno korištenje. Ukoliko se predmet pokvari, popravimo ga, ako ne možemo popraviti, pronađemo mu drugu svrhu ili ga energetski iskoristimo.

## **2. Plastična ambalaža**

### **2.1. Polimeri**

Pridjev (eng. *plastic*) dolazi od grčke riječi *plastikos* što znači lako oblikovati ili deformirati.

Polimeri su makromolekularni spojevi koji nastaju povezivanjem velikog broja atoma, najčešće ugljika, vodika, kisika i dušika. U prirodi možemo naići na veliki broj organskih spojeva primjerice kaučuk i prirodna smola te njih nazivamo biopolimerima. Same polimere dijelimo na prirodne i sintetske (umjetne) koje upotrebljavamo kod izrade ambalažnih materijala i same ambalaže. Na umjetne polimere svakodnevno nailazimo te se susrećemo s njima. To su sve plastične mase, gume, ljepila, lakovi i ostale tvorevine. Po sastavu svi polimerni materijali mogu biti homogeni ili kompozitni. Homogeni su oni čisti polimeri izrađeni od jedne vrste polimera dok pojam kompozitni općenito označava da je materijal ojačan nekim drugim materijalom ili pak više njih. U polimerne materijale ubrajamo termoplaste i termosete, gumu, termoplastične elastomere,

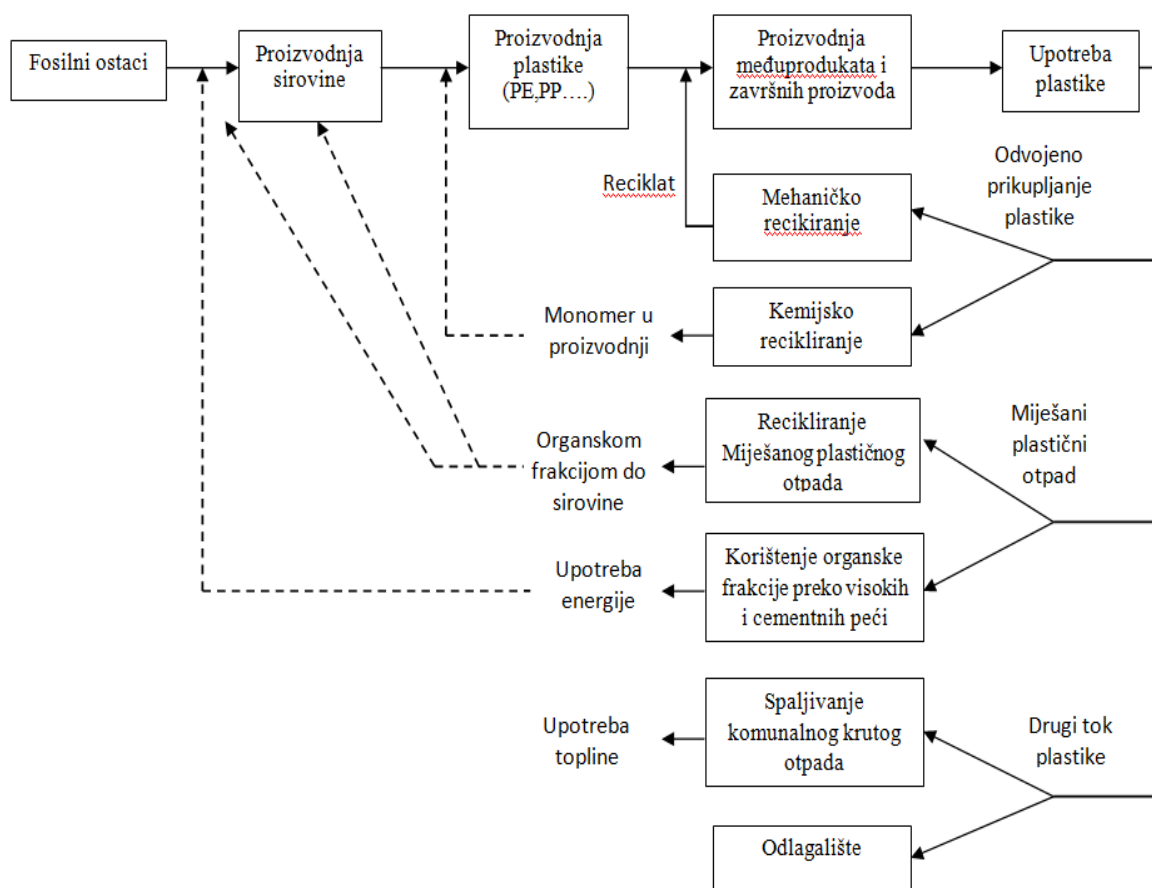
Iako kemijska struktura polimera (i činjenica da se sastoje od ogromnih molekula) nije bila shvaćena sve do sredine dvadesetog stoljeća, sami materijali i industrija koja se temelji na njima postojali su mnogo prije toga. [2]

Tijekom posljednja dva desetljeća polimeri su postali jedan od glavnih odabira kod pakiranja hrane te su počeli izostavljati papir, metal ili staklo kao vodeći tip ambalaže.

### **2.2. Zbrinjavanje polimernog otpada**

Problematika polimernog otpada je ta što se dobiva od nafte koja je prirodni resurs koji je ograničen. U budućnosti kada ne bude nafte neće više ni biti plastičnih masa, stoga je nužno održivo gospodariti tim resursom. Također polimerni materijali nemaju svojstvo biorazgradivosti te odbačeni u okolišu mogu biti na desetke godina.

Nekoliko je ciljeva kod recikliranja otpada od polimera. Smanjivanje otpada koji zagađuje našu floru i faunu, recikliranjem dobivamo kvalitetne materijale koje možemo dalje iskoristiti te time štedim resurse do kojih bi se smogli iz prirode. Sve ovo vodi glavnom cilju a to je zaštita okoliša te održivi razvoj na kojem se radi postepeno u svim granama života. Ne bi li se kvalitetno zbrinuo polimerni otpad treba ga podijeliti u segmente te vidjeti kako svaki segment učiniti uspješnijim. Prvi korak je prikupljanje takvog otpada koje treba biti organizirano na dobrim lokacijama. Najpogodnija mjesta za prikupljanje zasigurno su ona gdje takav otpad i nastaje. Industrija koja se bavi proizvodnjom već na samom početku u tvornici treba sakupljati takav otpad te ga poslati nadležnim institucijama. Također ljudi kao pojedinci u svojim kućanstvima obavezni su prikupiti te odvesti sav otpad koji proizvedu na skladištenje i obradu. Korak naprijed za industriju je smanjenje nastalog polimernog otpada na način da ostatke ponovno vrate u proizvodni proces te ih na taj način iskoriste, a i troškovi se time smanjuju.



Slika 1. Shema životnog ciklusa materijala povezanih plastikom [3]

Sav prikupljeni otpad mora se sortirati kako se različite plastične mase proizvedene od različitih materijala ne bi reciklirale istim postupkom (svaka vrsta plastične ambalaže reciklira se drugačije). Otpad se sortirati može ručno ili automatski. Ručno sortiranje provodi se vizualno od strane radnika gdje se otprema po otisnutom identifikacijskom broju ambalaže. Ukoliko se na ambalaži iz nekog razloga ne vidim otisnuti identifikacijski broj ambalaže, onda se razvrstava po nijansama obojenja ambalaže. Takav način sortiranja je dugotrajan i ekonomski zapravo ne najisplativiji. Automatski proces sortiranja provodi se pomoću računala i taj se postupak fokusira na razlici između kemijskih, optičkih i fizikalnih svojstva materijala. Danas je važno da metoda sortiranja prije svega bude jedan ekonomičan i stabilan proces. Sve više plastične ambalaže dolazi u kontaminiranim oblicima, gdje nijanse boje uslijed djelovanja na ambalažu nisu kakve bi trebale biti te stoga taj proces sortiranja mora biti pouzdan. Nakon sortiranja plastika se priprema za proces recikliranja. Plastika sama po sebi ima veliki volumen uz malu masu te za potrebe recikliranja treba je usitniti.

Mehaničke tehnike usitnjavanja plastike su: mrvljenje i granuliranje; zgušćivanje i zbijanje te mljevenje u prah. Postupak usitnjavanja otpadne plastike omogućuje odstranjivanje ostalih materijala s proizvoda, a često se postupci usitnjavanja kombiniraju s procesom recikliranja. [4]

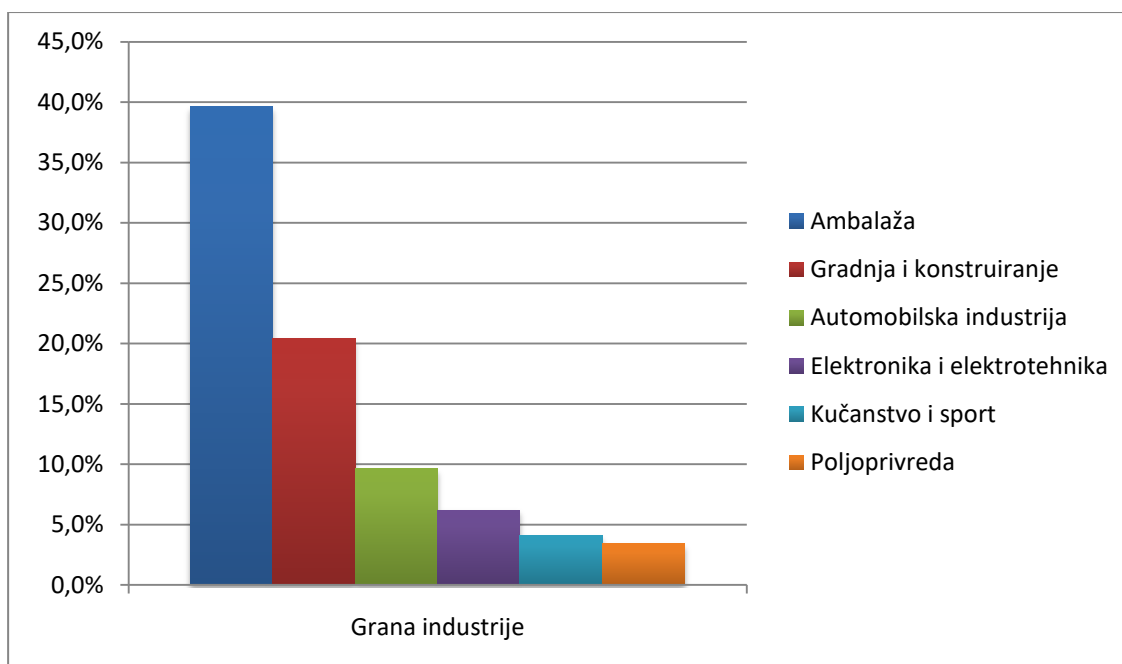


Slika 2. Brojevni simboli polimerne ambalaže [4]

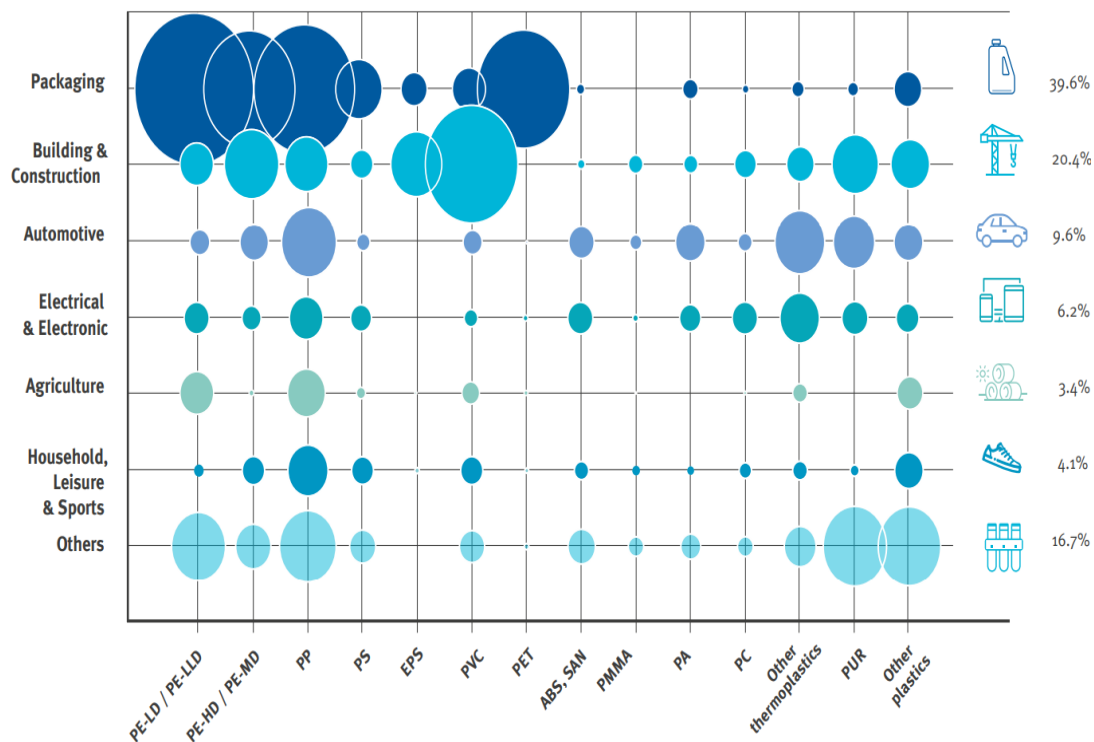
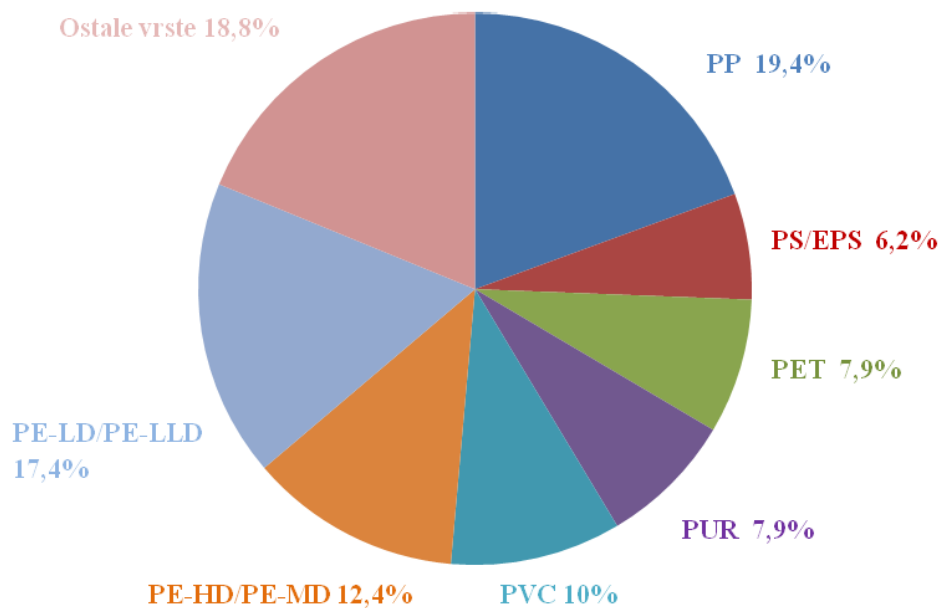
Danas živimo u vremenu kada plastična industrija direktno zapošljava 1.56 milijuna ljudi diljem Europe. Više od 55 000 tvrtki je uključeno u industriju plastike sa prometom oko 350 milijardi eura u 2019. godini. Industrija plastike u Europi zauzima trenutno sedmo mjesto u vrijednosti svih industrija te je jednaka farmaciji koja se bavi pronalaženjem, razvojem i prodajom lijekova. Sve više plastične mase je podvrgnuto recikliranju, pa je tako tijekom 2018. godine 9.4 milijuna tona plastike sakupljeno zbog recikliranja u Europi.

U 2019. Godini europske potrebe za plastikom su 50,7 milijuna tona. Od ukupnog udjela najviše plastične mase koristi se za ambalažu odnosno pakiranje proizvoda i to 39,6%. Na Grafu 1. Prikazane su vodeće industrijske grane te njihov udio korištenja plastike u Europi.

Graf 1. Udio korištenja plastike u vodećim industrijama tijekom 2019. godine u Europi [5]



Graf 2. Udio pojedinog polimera u industriji plastike u Europi tijekom 2019. Godine [5]



Slika 3. Korelacija polimera, industrije i udjela polimera u industriji u Europi tijekom 2019. Godine [5]

Velik dio plastične mase danas se reciklira, od kojih najviše polimera korištenih u građevinarstvu. Tijekom 2018. godine pet milijuna tona reciklata je proizvedeno na području Europe. 80% reciklata vratilo se natrag u proizvodnju i to kao dio novih proizvoda. Ostatak plastičnih masa odvezen je u druge dijelove svijeta ne bi li bio u upotrebi drugih svjetskih ekonomija. Od četiri milijuna tona novih plastičnih reciklata diljem Europe, 46% se koristi u građevinarstvu kao novi proizvod. 24% je udio u pakiranju dok je treća grana poljoprivreda sa 13%.

### **2.3. Recikliranje otpadnih polimera**

Recikliranje materijala uključuje ponovno prerađivanje organskog materijala, no ne uključuje iskorištavanje energije i materijala koji će se koristiti kao gorivo [6]

Nerijetko se pogrešno smatra kako upravo materijali sačinjeni od plastike označavaju ogroman problem za okoliš s obzirom na potrebu uklanjanja istog. Takvi materijali nemaju svojstvo biorazgradivosti te nakon sedamdesetak godina kako postoje još uvijek nisu zabilježeni podaci o negativnom djelovanju polimera na odlagalište otpada. S obzirom da recikliranje mora biti osim ekološkog aspekta opravdano, iznimno je bitno da bude i ekonomski opravdano. Pod ekonomske aspekte možemo ubrojiti troškove potrošnje energije koja je ipak manja nego tokom proizvodnje polimernih materijala ali i troškova prikupljanja otpadnih plastičnih masa. Polimerni otpad je specifičan po svom volumenu te zauzima puno prostora tokom odvoza. Taj problem se može djelomično riješiti na način da se uz polimerni otpad istodobno prikupljaju i druge vrste otpada čime bi se znatno uštedilo naročito u ruralnim krajevima.

Više je vrsta na koji se plastični materijali mogu reciklirati i to su:

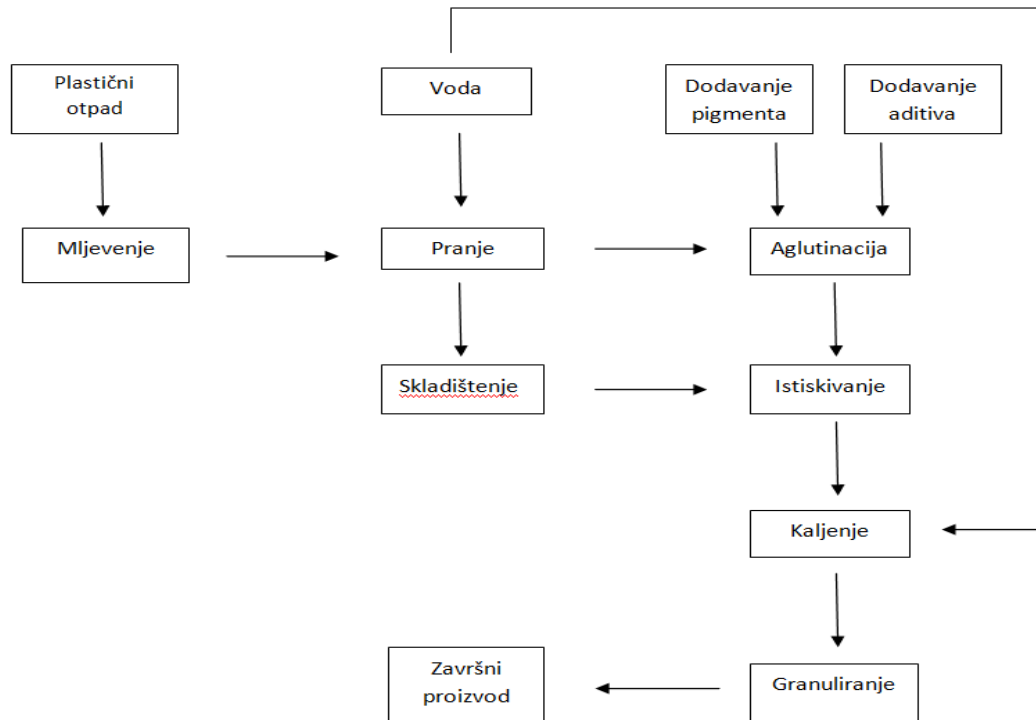
- Mehaničko recikliranje
- Kemijsko recikliranje
- Energetski oporavak
- Biorazgradnja

#### **2.3.1. Mehaničko recikliranje**

Kod tehnološkog procesa mehaničkog recikliranja polimerni otpad toplinski prerađujemo ekstrudiranjem s ciljem dobivanja novog polimernog proizvoda. Kod



mehaničkog recikliranja dolazi do degradacijskih procesa poput toplinske degradacije, termo-oksidacijske razgradnje i depolimerizacije.<sup>1</sup> To je ujedno i najpoznatiji i najjednostavniji oblik kod recikliranja polimera.



Slika 4. Faze mehaničkog recikliranja [7]

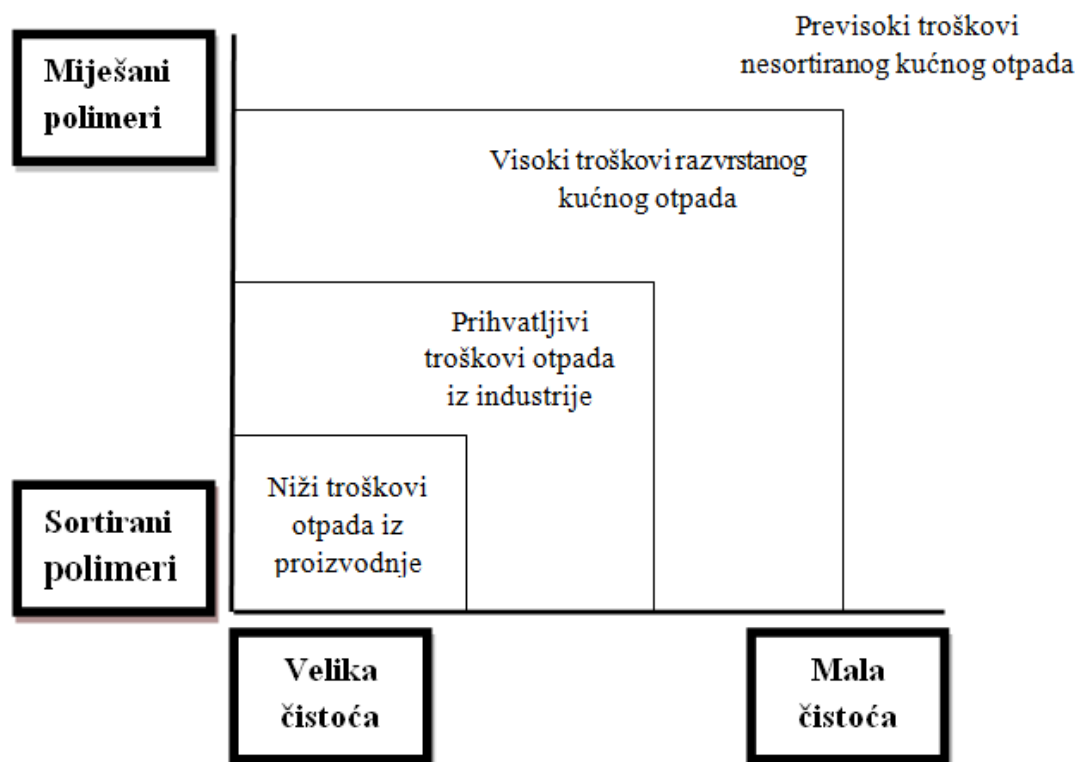
Mehaničko recikliranje dijelimo na:

- Primarno recikliranje - Recikliranje nekorištenog polimernog otpada sa proizvodnih pogona. Kod ovog procesa može doći do promjene molekulske mase polimera uslijed promjene tlaka i temperature. Miješanjem recikliranog materijala sa osnovnim polimerom možemo kontrolirati svojstva novog materijala prema mješavini koja se radi. Primarno recikliranje također može uključivati ponovno istiskivanje plastike nakon potrošnje.
- Sekundarno recikliranje - Recikliranje polimernog otpada nakon njegovog vijeka trajanja. Često ga ima i u komunalnom otpadu iz kućanstva te ga je potrebno dodatno razvrstavati.

<sup>1</sup> Depolimerizacija - proces razdvajanja polimera na sastavne monomere ili na polimere niže relativne molekulske mase

Za uspješno mehaničko recikliranje potrebne su velike količine polimernog otpada ne bi li sustav bio uspješan, tj. održiv. Također razvrstanost polimera igra veliku ulogu. Ukoliko budu odlagani onečišćeni miješani polimeri u tom slučaju sustav je jednostavno preskup te proces nije isplativ ni održiv. Ipak problem je što nerijetko nije poznat sastav reciklata<sup>2</sup> te polimeri nisu kompatibilni te završni produkt recikliranja nema toliko kvalitetna svojstva

Graf 3. Troškovi mehaničkog recikliranja



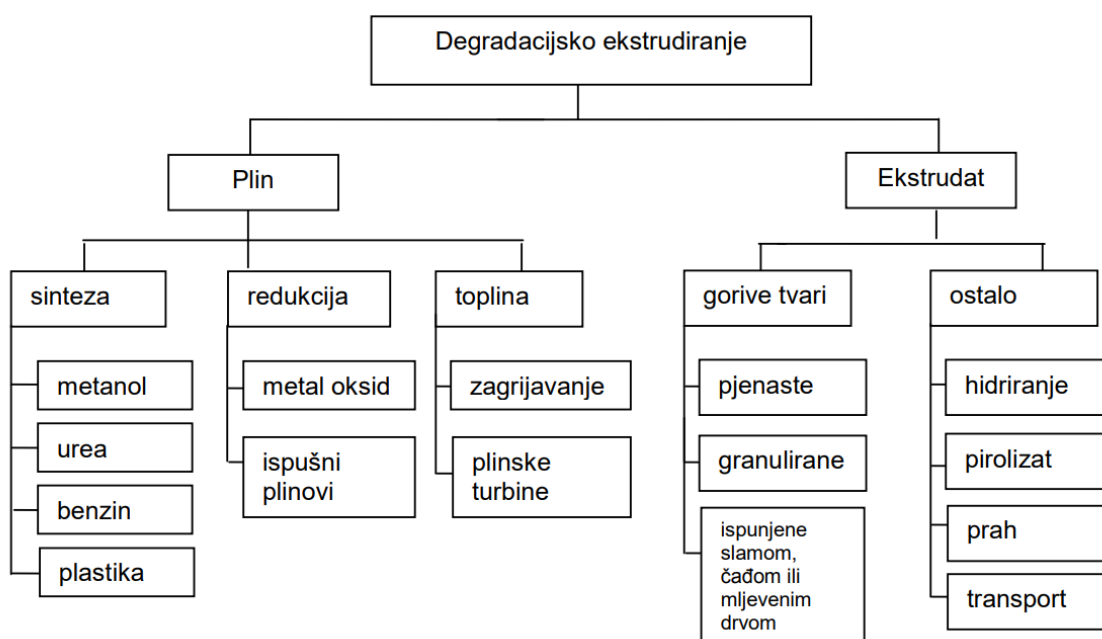
Ukoliko bi došlo do situacije u kojoj reciklirani polimer dolazi na još jedno recikliranje putem sustava linearne ekonomije, preporučuje se dodavanje recikliranog materijala u ograničenoj količini kako ne bi došlo do negativnog odraza na mehanička svojstva osnovnog polimera.

<sup>2</sup> Reciklat - mehanički oporabljeni plastika načinjena od očišćenih i usitnjenih otpadnih plastičnih materijala i/ili plastičnih proizvoda.

### 2.3.2. Kemijsko recikliranje

Kemijsko recikliranje obuhvaća materijalni oporavak pri kojem se polimerni otpad tretira kemijski ili toplinski sve do polazne sirovine, tj. monomera. [8]

Degradacijskim ekstrudiranjem Razgrađuje se struktura polimera do niskomolekulnih tvari te se zatim monomeri iskorištavaju u rafinerijama ili sličnim kemijskim industrijama.



Slika 5. Primjena degradacijskog ekstrudiranja tokom recikliranja [9]

Kemijski oporavak predstavlja postupke gdje se recikliranjem otpadnih polimera dovodi do korekcije molekulske strukture, promjene oblika i funkcije primarnog proizvoda. Za početak kemijskog recikliranja otpad treba pripremiti na način da se on očisti i sterilizira kako ne bi postojala opasnost za njegovo skladištenje. Za kemijsko recikliranje pogodne su sve vrste polimera: duromeri, elastomeri i plastomeri.

Prednosti kemijskog recikliranja:

- Nema zasićenja tržišta - lako uvođenje oporabljenih proizvoda u novi proizvodni ciklus
- Nije potrebno razvrstavanje otpada prema vrsti polimera
- Prikladno za jako onečišćeni i miješani plastični otpad
- Aditivi ne stvaraju problem jer se dobivaju čisti monomeri od kojih dobivamo polimere sa mogućnošću dodira sa hranom

Nedostaci kemijskog recikliranja:

- Kod oštrijih uvjeta (kislina, lužine i velike temperature) za uništenje polimernog lanca nužno je postrojenje sagrađeno od visokokvalitetnih, vrlo skupih materijala
- Visoki troškovi investicije
- Nakon procesa javlja se potreba za obradom i uporabom reaktivnih tvari, otapala i vode kao i uklanjanja nusproizvoda uporabe te su takve obrade vrlo skupe
- Monomeri i korisni oligomeri mogu se dobiti od ograničenog broja polimera

## **2.4. Plastični materijali**

Plastika ili plastične mase predstavljaju umjetne materijale koji se dobivaju iz sintetskih ili polusintetskih smola i različitih dodataka. [10]

Plastika je izuzetno svestran materijal i idealna je za širok raspon potrošačkih i industrijskih primjena. Relativno niska gustoća većine plastičnih masa daje plastičnim proizvodima prednosti male težine. Iako većina ima izvrsna svojstva toplinske i električne izolacije, neke se plastike mogu izrađivati za provođenje električne energije kada je to potrebno. Otporna je na koroziju i tvari koje napadaju druge materijale, što je čini izdržljivima i prikladnima za upotrebu u teškim uvjetima

Lako se može oblikovati u složene oblike, omogućujući integriranje ostalih materijala u plastične proizvode, što ih čini idealnim za širok raspon funkcija. Primjena plastike je veoma široka a najveći razlog tome je cijena koja je prema ostalim materijalima poprilično niska. Plastika ne propušta vodu a današnjom tehnologijom vrlo se lako proizvodi.

Plastiku je moguće reciklirati no s obzirom da postoji više različitih vrsta plastične ambalaže, one se i drugačije recikliraju. Svakoj plastičnoj ambalaži dodijeljen je specifičan broj koji potječe iz (eng. *The ASTM International Resin Identification Coding System*) čime je olakšana identifikacija vrste materijala od koje je određen proizvod za recikliranje sačinjen, te ga je kao takvog lakše reciklirati. Odvojenim recikliranjem pojedinih vrsta plastike radimo na očuvanju vrijednost određenog plastičnog materijala te zatim kvalitetan resurs možemo opet iskoristiti nakon postupka reciklaže. Komercijalni uspjeh plastike kao proizvoda za pakiranje rezultat je kombinacije fleksibilnosti, čvrstoće, lakoće, stabilnosti, nepropusnosti i jednostavnosti sterilizacije. Te značajke čine plastiku idealnim ambalažnim materijalom za sve vrste komercijalnih i industrijskih korisnika u fleksibilnim i krutim formatima.

Plastična ambalaža za hranu, na primjer, ne utječe na okus i kvalitetu hrane. Zapravo, barijerna svojstva plastike osiguravaju da hrana zadržava svoj prirodni okus, a istovremeno je štiti od vanjske kontaminacije. Štoviše, njegova neusporediva svestranost pokazuje se u mnoštvu primjena kao što su folije za pakiranje svježeg mesa, voća i povrća, boce za napitke, jestiva ulja i umaci te lonci kadice i pladnjevi za jogurt, sladoled od margarina i narezano kuhano meso.

Iako je preko 50% sve europske robe pakirano u plastiku, ona čini samo 17% ukupne težine ambalaže na tržištu. Nadalje, ta je težina smanjena za 28% tijekom posljednjih 10 godina. [11]

Plastični proizvodi danas unaprjeđuju kvalitetu života, a neke procjene životnog ciklusa daju nam kazati da istodobno štite okoliš te čuvaju naše resurse. Odluka o tome koji od mnogih vrsta materijala će se koristiti za određeni proizvod nije jednostavna. Mnoge su varijable uključene u svaki dio procesa ne bi li određeni proizvod imao dostatna svojstva za svoju namjenu a opet da bude u okviru ekonomske isplativosti. Plastične mase su veliki problem kod onečišćenja morskih dubina međutim raste svijest ljudi te organizacija te se provode akcije takvih onečišćenja. Danas imamo puno različitih vrsta polimernih materijala od kojih svaka plastična masa ima svoja specifična svojstva te prema tim svojstvima i svoju specifičnu namjenu.

Tablica 1. Primjena plastičnih masa [12]

Vrste plastičnih masa	Oznaka	Područje korištenja
<i>Termoplastične mase</i>		
Polietilen	PE	Folije, formatizirani predmeti
Polipropilen	PP	Tehnički dijelovi, npr. i automobilske industriji
Poli(vinil-klorid)	PVC	Folije, okviri prozora i vrata, izolacija električnih kablova, vodovodne i kanalizacijske cijevi
Polistiren	PS	Posude za jednokratnu upotrebu, boce
Poliamid	PA	Zupčanici, vlaknasti materijali, kućište el. aparata
<i>Duroplastične mase</i>		
Poliester	UP	Lijevane smole, lakovi, mase za ispunu
Epoksidne smole	EP	Lakovi, lijevane smole, ljepila
Fenolne smole	PF	Izolacijski materijali za električne kablove, lijevane i smole lakova, ljepila za drvo
Poliuretani	PUR	Pjenasti materijali, mase za ispunu, lakovi
<i>Elastomerne plastične mase</i>		
Prirodni kaučuk	NR	Meke i tvrde gume, unutrašnje gume za automobile
Polibutadin	BR	Automobilske gume, izolacijski i obložni materijali
Poliklorpropen	CR	Transportne trake, obloge kablova, zaštitna odijela

#### 2.4.1. PET (Polietilen tereftalat)

PET se dobiva polikondenzacijom aromatskih dikarbonskih kiselina s diolima odnosno polikondezacijom estera tereftalne kiseline ili njenih derivata s etilen glikolom. [13]

Polietilen tereftalat ili komercijalni naziv PET najkorišteniji je polimer u svijetu. Sastoji se od polimeriziranih jedinica monomera etilen tereftalata. Od ove vrste plastike napravljena je većina bočica s vodom i gaziranih sokova kao i neka pakiranja. Proizvodi napravljeni od PET plastike trebali bi se koristiti samo jednom jer se višekratnom uporabom povećava rizik od razvoja bakterija. Osim toga, ova plastika može ispuštati teške metale i kemikalije koje utječu na ravnotežu hormona. PET ima relativno visoko talište i stupanj kristalnosti. Mehanička svojstva su mu jako dobra, kao i svojstva kemijske i toplinske postojanosti.

Inovacijama na području polimernih materijala i postupcima njihove preradbe masa ambalaže drastično se umanjuje. Plastični čep za bocu za vodu danas je mase 1,8 g, u

usporedbi s 3,1 g od prije dvadeset godina, a PET boca za vodu, danas mase 25 g, bila je prije 20 godina mase 40 g. [14]

Fizikalno-kemijska svojstva PET-a:

PET karakterizira visok stupanj tališta koji je oko 260°C te otpornost na razrijeđene kiseline, lužine, razna otapala, ulja i masti. Propusnost na plinove i mirise je niska a za to je zadužena kemijska struktura PET-a. Također posjeduje dobra izolacijska, električna i dielektrična svojstva.

Sirovine koje se koriste za proizvodnju PET-a su zemni plin i nafta pri čemu se iz 1,9 kg nafte proizvede 1 kg PET-a. [15]

Tablica 2. Fizikalna svojstva PET-a [16]

SVOJSTVO	JEDINICA	PET
Gustoća	g/cm <sup>3</sup>	1,33
Rastezna čvrstoća	N/mm <sup>2</sup>	72,5
Savojna žilavost	J/m	180
Modul elastičnosti	N/mm <sup>2</sup>	3400
Tvrdoća (Shore)		B 145
Koeficijent toplinskog širenja	1/K	7*10 <sup>-5</sup>
Temperatura upotrebe	°C	70/100
Temperatura staklišta	°C	67-81
Temperatura topljenja	°C	256-264

Osim prehrambene industrije, Poli (etilen-tereftalat) sve je više korišten i u farmaceutskoj i kemijskoj industriji. PET se može reciklirati i tu je njegova velika prednost gdje takva ambalaža nakon korištenja recikliranjem se može ponovno iskoristiti bez da značajnije izgubi svoja svojstva. Na taj način rješavamo se plastičnog otpada te štitimo

okoliš od zagađenja. Nakon recikliranja PET ambalaža i dalje ima odličnu nepropusnost te razne kemikalije i pare ne mogu dospjeti van iz boce što je izrazito važno.

#### **2.4.2. PS (Polistiren)**

Polistiren je termoplastična smola nastala polimerizacijom stirena kao jedini monomer i može sadržavati male dijelove stabilizatora, maziva, punila, pigmenata i boja. Stiren je bio prvi izoliran od strane znanstvenika 1831., što ga čini jedan od najstarijih materijala u obitelji plastike. [17]

Ovaj je materijal izuzetno svestran u ekstremnim uvjetima obrade, što ga vrlo čini popularnim kad se ukaže potreba za materijalom koji mora biti proizvedeni s minimalnom količinom poteškoća. Polistiren se obično ne smatra materijalom za prešanje, ali pod određenim uvjetima može se koristiti. Vrlo je inertan te otporan na kiseline i lužine. Također se lako otapa u aromatskim i kloriranim organskim otapalima. Karakteriziraju ga i visoka čvrstoća te niska elastičnost.

Vrlo važna karakteristika polistirena je da dijelovi mogu biti ukrašeni na više načina, uključujući bojanje sprejom, svileni zaslon, valjkasti premaz, vruće štancanje, vakuumsko metaliziranje i potapanje. Razne metode korištene za ukrašavanje plastike imaju određene karakteristike koje bi trebale diktirati njihovu posebnu upotrebu. Većina polistirenskih proizvoda ukrašena je lakovima koji se brzo suše na zraku. Optička svojstva polistirena su dobra i bez punila ili aditiva, to je kristalno čist materijal.

Polistiren je klasificiran kao sporo goreći, te ga kao takvog treba skloniti od izvora gorenja. Ipak, smjese su razvijene da izdrže visoke zagrijava, do i iznad vrelišta od vode. Postignut je veliki napredak kako bi se ovaj materijal jednostavnije ugasio.

Koristi se i za plastične čaše, male prozirne kutijice, ravnala i geometrijski pribor. Osim kao ambalaža, koristi se i u građevinarstvu pod trgovačkim nazivom za „stiropor“.

#### **2.4.3. PE (Polietilen)**

Polietilen je termoplastični materijal. Odnosno, može se rastopiti i oblikovati u oblik koji se potom može pretopiti i oblikovati (reciklirati) u drugi oblik. Polietilen obično nema oštro talište (T), ali radije područje topljenja zbog razlika u molekularnoj masi, kristalnosti



, razgranatosti lanca itd. Talište mu je oko 120 i 140 ° C a obično se obrađuje na temperaturi iznad 190 ° C. Na toj temperaturi potpuno je amorfan i rasponi taljenja manje su važni od karakteristika protoka rastopljenog polimera. Rastopljeni polietilen je viskozna tekućina i primjer je onoga što se naziva "ne-Newtonova tekućine", odnosno protok nije izravno proporcionalan tlaku primijenjena.

Naširoko se koristi u ekstrudiranim cijevima za distribuciju pitke vode i plina. Još važnija je primjena u oblikovanoj ambalaži za kemikalije za kućanstvo i industriju, poput bočica za izbjeljivanje, šampona, deterdženta itd. [18]

Od više vrsta polietilena najvažniji su oni visoke i niske gustoće. Još imamo:

- Polietilen srednje gustoće
- Polietilen izrazito niske gustoće
- Linearan polietilen male gustoće
- Kopolimeri etilen-vinil estera
- Umreženi polietilen

Polietilen visoke gustoće (*eng. High Density Polyethylene - HDPE*) je po kemijskoj strukturi najbliži čistom polietilenu. Sastoji se prvenstveno od nerazgranate molekule s vrlo malo nedostataka koji umanjuju njegovu linearnost. S izuzetno niskom razinom nedostataka koji ometaju organizaciju, može se postići visok stupanj kristalnosti, što rezultira smolama koje imaju visoku gustoću (u odnosu na druge vrste polietilena). Polietilenske smole velike gustoće obično imaju gustoće u opsegu od približno 0,94–0,97 g / cm<sup>3</sup>. Zbog vrlo niske razine grananja, polietilen visoke gustoće ponekad se naziva i linearni polietilen (LPE).

Polietilen male gustoće (*eng. Low density Polyethylene - LDPE*) je nazvan iz razloga jer takvi polimeri sadrže znatne koncentracije grana koje ometaju proces kristalizacije, što rezultira relativno niskim gustoćama. Grane se uglavnom sastoje od etilne i butilne skupine zajedno s nekim dugim lancima. Zbog prirode postupka polimerizacije pod visokim pritiskom kojim se proizvodi polietilen male gustoće, etil i butil grane su često skupljene zajedno, odvojene dugim nizovima nerazgranate kralježnice. Dugolančane grane javljaju se u slučajnim razmacima duž duljina glavnog lanca. Brojne grane karakteristične za polietilen male gustoće molekule inhibiraju njihovu sposobnost kristalizacije, smanjujući

gustoću smole u odnosu na polietilen visoke gustoće. Polietilenske smole male gustoće obično imaju gustoće u rasponu od približno 0,90–0,94 g / cm<sup>3</sup>.

Otpornost na habanje polietilena u prirodnom stanju nenadmašna je ostale nemodificirane polimerne smole, otpornost je posebno velika na proizvode proizvedeno od polietilena velike gustoće i ultra velike molekulske mase. [19]

#### **2.4.4. PP (Polipropilen)**

Polipropilen definiramo kao linearni polimer sa širokom primjenom u svakidašnjem životu naročito zbog svoje strukture koju karakteriziraju dobra fizikalna, kemijska, mehanička, toplinska i električna svojstava. Može doći u obliku dviju struktura i to izotaktnoj i ataktnoj.

Kod izotaktne strukture polipropilena on ima sve metilne skupine na jednakoj strani polimernog lanca dok kod ataktne strukture polipropilena metilne skupine nisu na jednakim stranama polimernog lanca.

Polipropilen je linearni polimer ugljikovodika koji sadrži malu ili potpunu nezasićenost. Stoga ne čudi da polipropilen i polietilen imaju mnogo sličnosti u svojim svojstvima, osobito u njihovom otjecanju i ponašanju otopine kao i njihovim električnim svojstvima. Zbog svojih električnih svojstava koristi se kao dio elektroničkih komponenata. Temperatura taljenja mu je u rasponu raspona od 160–170 °C. Mehanička i toplinska svojstva PP-a ovisе o izotaktičnosti, molekularnoj težini i njenoj distribuciji. Stoga njegova mehanička svojstva snažno ovisе o vremenu, temperaturi i tlaku zraka. Tipična gustoća PP je 0,9 g/cm<sup>3</sup> te ga ona čini najlakšim termoplastičnim materijalom.

Zbog toga što je otporan na rast i razvoj bakterija, pogodan je za upotrebu u medicini. Također se nalazi i u tkaninama pa je tako prisutan i u poljodjelstvu. Može se proizvesti sa visokim stupnjem čistoće te može poslužiti kao odličan električni izolator. Koristi se i kao čep za boce zbog svog dobrog brtvljenja.

Ipak glavne prednosti polipropilena te razlozi zašto ga svakodnevno možemo vidjeti u primjeni su:

- Niska cijena

- Neotrovan je
- Mogućnost prerade na jednostavan način
- Nije osjetljiv na vlagu

Tablica 3. Fizikalna svojstva PP-a [20]

Svojstvo PP	Vrijednost
Stupanj kristalnosti / %	60-70
Gustoća / $\text{gcm}^{-3}$	0,90-0,91
Maseni prosjek molekulnih masa	$7 \times 10^4 - 2 \times 10^5$
Brojčani prosjek molekulnih masa	$3 \times 10^5 - 7 \times 10^5$
Rastezna čvrstoća / MPa	29,3-38,6
Prekidno istezanje / %	500-900
Tvrdoća, Shore D	70-80
Zarezna savojna žilavost po Izodu / $\text{cmkgcm}^{-1}$	2,2-12
Talište / °C	160-170
Toplinski kapacitet / $\text{kJkg}^{-1}\text{K}^{-1}$	1,926
Temperatura omekšavanja / °C	138-155

Kod pakiranja može se koristiti kao ambalaža za otapala koja sadrže opasne tvari ili jake mirisne proizvode. Većina fleksibilnih materijala za pakiranje zahtijeva krutost, mogućnost kvalitetnog otiska, visoki sjaj i dobra barijerna svojstva. Sve više se koristi u industriji zbog svojih svojstava i sposobnosti prilagođavanja raznovrsnim proizvodnim tehnikama i procesima.

Većina recikliranog polipropilen potječe iz automobilske industrije (kućišta baterija, automobilski odbojnici i kontrolne ploče). Polipropilenske vrećice, naljepnice na bocama i otpadni industrijski PP filmovi su drugi izvori recikliranog polipropilena. [21]

Od polipropilena su izrađene i plastične čaše koje danas polako izlaze iz upotrebe jer se radi na tome da se makne plastika zbog kasnijeg odlaganja.

#### 2.4.5. PVC (Poli vinil-klorid)

Poli vinil-klorid (PVC) pripada skupini sintetskih polimera sa vrlo širokom primjenom. Počeo se proizvoditi oko 1930-e godine, dok se 20 godina kasnije proizvodnja proširila svijetom. Dobiva se polimerizacijom vinil-klorid monomera a najkorišteniji proces njegove proizvodnje je suspenzijska polimerizacija. Ostale metode polimerizacije pomoću kojih se sintetizira su emulzija i masa. Tijekom sinteze nastaje smjesa polimernih lanaca koji imaju široku raspodjelu molekularnih težina.

Od samog početka proizvodnje pa sve do danas kao stabilizatori koriste se olovne soli, dialkilkositreni sapuni te sinergističke kombinacije Ba, Cd, Ca i Zn sapuna. Jedan od ključnih zadataka PVC industrije danas je potraga za još djelotvornijim, manje toksičnim stabilizirajućim sustavom. Olovo, usprkos svim raspravama o njegovoj toksičnosti, i dalje je najviše upotrebljavan PVC stabilizator. [22]

Gledajući fizikalna svojstva, PVC je zapravo fini prah bez okusa i mirisa i bez otrovnih svojstava. Ostala svojstva koja sadrži čine ga pogodnim za različit spektar djelatnosti gdje ga koristimo. Od 70 do 80 °C kreće se temperatura faze ostaklnja. Ipak PVC sadrži loše svojstvo temperaturne stabilnosti te je pri visokim temperaturama podležan raspadanju i to već na temperaturama između 150-160°C. Uz dodatno korištenje aditiva, materijal postaje postojaniji te tvrdi, poznatiji kao neplastificirani PVC. Svojstva mu se dodatno mogu mijenjati dodavanjem drugog polimera. Ima veliku biološku i kemijsku otpornost stoga cijevi od PVC-a danas zamjenjuju metalne cijevi koje su podložne koroziji.

Podjela PVC-a prema svojstvu materijala na koji utječu aditivi:

- Kruti PVC - upotreba kao ambalažni materijal za hranu, farmaceutski i medicinski proizvodi, cijevi za vodu, kutije oko utičnica
- Fleksibilni PVC - krovne obloge, odjeća, brtve za rashladne uređaje, ambalažni materijal, folija za zaštitu od hrane

Životni vijek PVC-a dijelimo na kratkotrajan i dugotrajan. Primjer kratkotrajnog vijeka su razne PVC ambalaže kojoj je životni vijek od nekoliko dana do nekoliko tjedana.

Nasuprot kratkotrajnog, PVC sa dugotrajnim životnim vijekom može opstati i više od desetak godina. Primjeri takvog vijeka je PVC stolarija, podne obloge, profili i prevlake.

Primjena PVC-a je različita. Danas se najviše koristi kao konstrukcijski materijal u građevinarstvu i to prozori i vrata. S obzirom da ne podržava gorenje te je vanjski izolator, od njega se rade i telekomunikacijski i električni kabeli. Od PVC-a su izrađene i kreditne kartice te ostale kartice koje dobivamo u trgovini uz pripadajuće povlastice na proizvode. S obzirom da materijal sam po sebi nije skup te je jeftiniji od kože i gume koristi se u proizvodnji odjeće.

S druge strane, PVC je odigrao važnu ulogu u dizajnu odjeće od 1960-ih godina do danas pa se često vidi na modnim pistama kao jedan od najmodernijih materijala. [23]

#### **2.4.6. PA (Poliamid)**

Poliamidi (PA) su važna klasa visokokvalitetnih inženjerskih termoplastika proizvedenih reakcijom dijacidne kiseline s diaminom ili polimerizacijom. Mogu biti alifatske, poluaromatične ili potpuno aromatične termoplastike. Aromatični poliamidi, nazvani aramidi, imaju veću čvrstoću, bolju otpornost na otapala, plamen i toplinu i veću dimenzijsku stabilnost od svih alifatskih amida (najlon), ali su puno skuplji i teže ih je proizvesti.

Alifatski poliamidi poput najlona 66 i najlona 6 široko se koriste u inženjerstvu i industriji. Proizvode se u mnogo većim razmjerima od potpuno aromatičnih poliamida i najvažnija su klasa inženjerske termoplastike. Oni su amorfni ili su tek umjereno kristalni kada se prešaju ubrizgavanjem, ali stupanj kristalnosti može se znatno povećati za nanošenje vlakana i filma orijentacijom mehaničkim istezanjem. Dva najvažnija poliamida su poli (heksametilen adipamid) (najlon 6,6) i polikaprolaktam (najlon 6). Oboje imaju izvrsna mehanička svojstva, uključujući visoku vlačnu čvrstoću, visoku fleksibilnost, dobru elastičnost, nisko puzanje i veliku čvrstoću pri udarcu (žilavost).

Više od 60 posto proizvedenih alifatskih poliamida koristi se u komercijalnim aplikacijama od vlakana. To uključuje tepihe, odjeću, sigurnosne pojaseve, presvlake, užad i pojačanja za gume. Međutim, tkanine izrađene od najlona imaju manju otpornost na bore

nego što su tkanine od poliestera skuplje. Iz tih su razloga najlonska vlakna tijekom godina izgubila određeni tržišni udio u odnosu na PET vlakna.

Primjene uključuju gotovo svaku industriju i tržište. Primjerice, u automobilskoj industriji najloni se koriste za presvlačenje žica i kabela, ventilatora za hlađenje, usisa zraka, turbo zračnih kanala, poklopaca ventila i motora, spremnika kočnica i servo upravljača, zupčanika za brisače vjetrobrana i brzinomjere. Inženjerski poliamidi također se koriste za kućišta, ventile i automate za električne alate za razne strojeve i pumpe te za mnoge električne / elektroničke dijelove, uključujući prekidače, utičnice, utikače i uređaje za ugradnju antene. [24]

Poliamidi imaju nekoliko prednosti u odnosu na druge klase inženjerskih polimera. Na primjer, otporniji su na alkalnu hidrolizu od poliestera, ali nisu toliko otporni na kiselu hidrolizu. Također imaju bolju otpornost na otapala na mnoge organske tekućine u usporedbi s PET-om i PC-om.

Glavno ograničenje je jaka osjetljivost na vlagu (voda djeluje kao plastifikator) i rezultirajuće promjene u mehaničkim svojstvima. Na primjer, vlačna čvrstoća vlažnog poliamida može biti više od 50 posto niža od one kod suhog poliamida.

Poliamidne tkanine poput najlona obično su se koristile kao padobranski materijali tijekom Drugog svjetskog rata, a kad je rat završio, zbog nedostatka tkanina mnoge su žene izrađivale haljine od recikliranih padobrana. Kao rezultat toga, popularizirala se upotreba poliamida u ženskoj odjeći, ali čiste verzije ovog polimera koristile su se u odjeći samo kratko vrijeme. Glavna prednost poliamidne tkanine je njena elastičnost, a potrošači je također nagrađuju zbog njezine mekoće. Iako ovaj tekstil ne zadržava učinkovito toplinu ili odvaja vlagu u onoj mjeri u kojoj to čine druge tkanine, sposobnost oblikovanja u nevjerojatno tanke čarape i dalje pruža najlonu nezamjenjivo mjesto na svjetskom tržištu ženskih čarapa.

#### **2.4.7. PTFE (Politetrafluoroetilen)**

Politetrafluoroetilen je jaka, žilava, nezapaljiva sintetička smola proizvedena polimerizacijom tetrafluoretilena. PTFE poznat po zaštitnim znakom teflon, odlikuje se

skliskom površinom, visokim talištem i otpornošću na napad gotovo svih kemikalija. Ova svojstva potrošačima su ga učinila poznatim kao premaz na neprianjajućem posuđu; također se izrađuje u industrijske proizvode, uključujući ležajeve, obloge cijevi i dijelove za ventile i pumpe. Širok raspon primjene možemo dokazati time što se koristi u zrakoplovnoj industriji, farmaceutskoj industriji pa i industriji pića. Konkretno zrakoplovna industrija koristi PTFE kod projektiranja šasije i ostalih dijelova vozila jer je on neizostavan kod oblikovanja kompozita najčešće od staklenih vlakna.

PTFE ima jedan od najnižih koeficijenata trenja u odnosu na bilo koju krutinu koja je čovjeku poznata. Hidrofoban je, što znači da ni voda ni tvari koje sadrže vodu nisu mokri od PTFE-a. Čisti PTFE je gotovo potpuno kemijski inertan i vrlo je netopiv u većini otapala ili kemikalija. Ima veliki raspon radnih temperatura, što pokazuje da je dovoljno toplinski stabilan da se može koristiti između  $-200^{\circ}\text{C}$  i  $+260^{\circ}\text{C}$  bez pogoršanja. PTFE ima visoku čvrstoću na savijanje, čak i pri niskim temperaturama. Ima visoki električni otpor i dielektričnu čvrstoću, posebno na visokim radio frekvencijama.

Gotovo 50% svih proizvedenih PTFE koristi se za ožičenje u zrakoplovnoj i računalnoj primjeni (priključne žice, koaksijalni kabeli itd.) Zbog svojih izvrsnih dielektričnih svojstava. Zajedno s visokom temperaturom taljenja, PTFE je savršena zamjena za visoke performanse za slabiji polietilen s nižim talištem koji se obično koristi u jeftinim električnim primjenama.

Za industrijsku upotrebu, PTFE-ovo malo trenje prikladno je za klizne ležajeve, zupčanike, klizne ploče i druge primjene s kliznim djelovanjem dijelova, nadmašujući acetal i najlon u ovim funkcijama. PTFE izrađuje dugotrajnije dijelove visokih performansi koji smanjuju trenje, trošenje i potrošnju energije strojeva, niže troškove održavanja i povećavaju vijek trajanja dijelova i strojeva.

Zbog visoke temperature i ekstremne nereaktivnosti, PTFE se često koristi kao spremnik, dilatacijski spojevi, obloge u crijevima, industrijski cjevovodi i druge primjene koje uključuju korozivne i reaktivne kemikalije.

#### 2.4.8. ABS (akrilonitril-butadien stirel)

ABS je kratica za akrilonitril butadien stiren. ABS je inženjerski termoplastični i amorfni polimer otporan na udarce. ABS se sastoji od tri monomera: akrilonitrila, butadiena i stirena:

- Akrilonitril: To je sintetički monomer proizveden od propilena i amonijaka. Ova komponenta doprinosi kemijskoj otpornosti ABS-a i toplinskoj stabilnosti
- Butadien: Proizvodi se kao nusproizvod proizvodnje etilena iz parnih krepera. Ova komponenta pruža žilavost i čvrstoću na udarce ABS polimeru
- Stiren: Proizveden je dehidrogenacijom etil benzena. Omogućuje krutost i obradivost ABS plastike.

ABS je jaka i izdržljiva, kemijski otporna smola, ali polarna otapala lako je napadaju. Nudi veća svojstva udara i nešto višu temperaturu izobličenja topline od HIPS-a<sup>3</sup>.

Akrilonitril butadien stiren ima širok prozor za obradu i može se preraditi na većini standardnih strojeva. Može se oblikovati ubrizgavanjem, oblikovanjem puhanjem ili ekstrudiranjem. Ima nisku temperaturu topljenja što ga čini posebno pogodnim za obradu 3D ispisom na FDM stroju. ABS je jedan od najsvestranijih materijala dostupan za 3D ispis danas. ABS dolazi u obliku duge niti koja je namotana. Postupak 3D ispisa koji se koristi s ABS-om postupak je FDM (modeliranje nanošenjem fuzijskim nanošenjem) gdje se materijal zagrijava i istiskuje kroz finu mlaznicu

ABS je idealan izbor materijala za različite strukturne primjene, zahvaljujući nekoliko fizikalnih svojstava kao što su:

- Visoka krutost
- Dobra otpornost na udarce, čak i pri niskim temperaturama
- Dobra izolacijska svojstva
- Dobra zavarljivost
- Dobra otpornost na abraziju i naprezanje
- Visoka dimenzijska stabilnost (mehanički jaka i stabilna tijekom vremena)
- Visoka svjetlina površine i izvrstan površinski aspekt

---

<sup>3</sup> HIPS (eng. High Impact Polystyrene)



ABS pokazuje izvrsna mehanička svojstva, tj. Tvrde je i žilave prirode, a time pruža dobru čvrstoću pri udarcu. Akrilonitril butadien stiren nudi visok stupanj kvalitete površine. Osim ovih karakteristika, akrilonitril butadien stiren pokazuje dobra električna izolacijska svojstva.

Kemijska svojstva ABS-a:

- Vrlo dobra otpornost na razrijeđenu kiselinu i lužine
- Umjerena otpornost na alifatske ugljikovodike
- Loša otpornost na aromatske ugljikovodike, halogenirane ugljikovodike i alkohole

Nekoliko svojstava poput velike udarne čvrstoće, toplinskih performansi itd. Čine ABS prikladnim za uporabu u automobilskoj industriji, kućanskim aparatima, elektronici, građevinarstvu, prometnoj industriji i mnogim drugim. Primjene u automobilima - ABS je preferirana inženjerska plastika kada se radi o primjeni u automobilu. Sve je veći fokus na smanjenje težine u automobilskoj industriji. Kao izvrsna zamjena za metale, ABS se intenzivno koristi u proizvodnji automobilskih dijelova.

### 3. Održivi razvoj

Ideja o održivom razvoju potekla je iz izvješća *World Conservation Strategy report*<sup>4</sup> provedenom od strane *International Union for the Conservation of Nature* 1980-e godine.

Svjetska komisija za okoliš i razvoj (*eng. World Commission on Environment and Development*) definirala je Održivi razvoj na sljedeći način: „Razvoj koji zadovoljava potrebe sadašnje generacije bez ugrožavanja potreba nadolazećih generacija.“<sup>5</sup> Puno je i drugih definicija održivog razvoja međutim srž i poanta se kroz povijest nisu mijenjali. Prioritetna skupina su buduće generacije koje dolaze i njihove potrebe za skladnim životom.

Jednostavan primjer važnosti održivog razvoja je u šumarstvu gdje se diljem svijeta potiču mjere održivog razvoja šume. Radnje pošumljavanja i sječe šume su ovisne jedna o

---

<sup>4</sup> IUCN (1980). *World Conservation Strategy*, International Union for Conservation of Nature, Gland, Switzerland. [25]

<sup>5</sup> Definicija Svjetske komisije za okoliš i razvoj (*World Commission on Environment and Development*), prihvaćena na konferenciji 1987.

drugo, te bez kvalitativno provedene sadnje može nastati ekološka katastrofa kao i prilikom šumskih požara. Trebali bi se voditi stavom da se smije posjeći stabala onoliko koliko novih mladica zasadimo. Osim što su šume proizvode kisik one imaju i puno više općekorisnih funkcija:

- Mjesto za turističke sadržaje
- Šumski proizvodi: drvo, ljekovito bilje, gljive i ostalo
- Planinarenje, odmor i rekreacija
- Stanište brojnih životinja
- Vojna funkcija u prošlosti (u prošlosti su gerilci ratovali iz šume)
- Sprečavanje tla od erozije
- Zaštita naselja od buke, vjetrova i snježnih nanosa

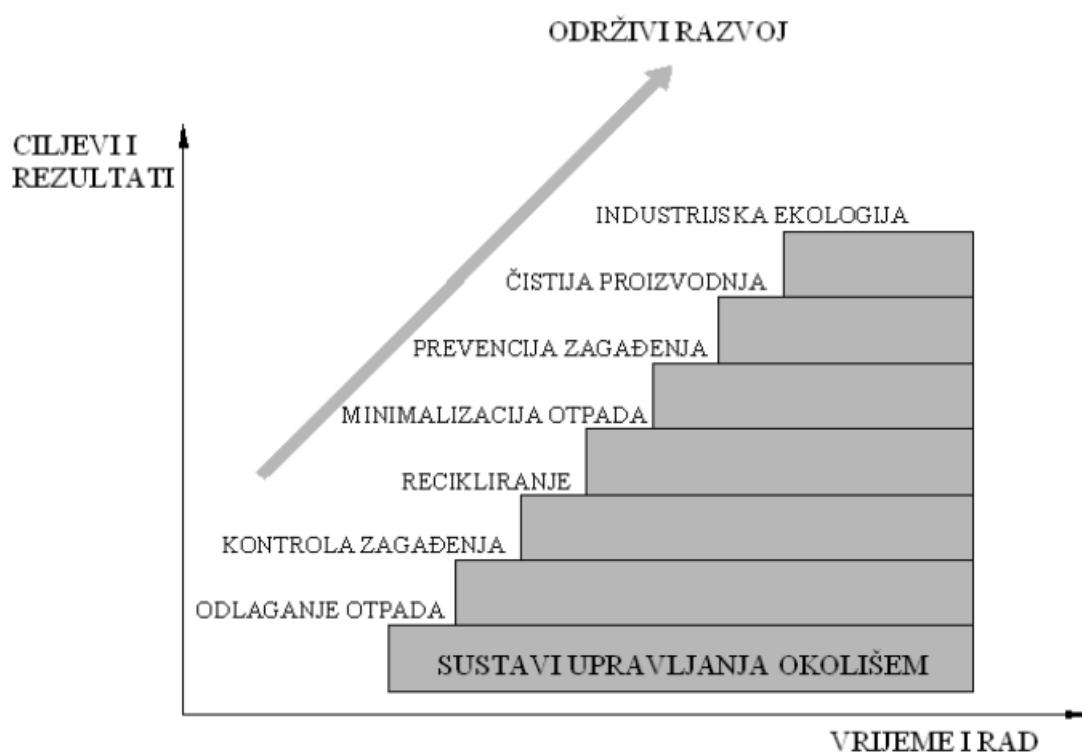
Kako bi proveli uspješan održivi razvoj, moramo zadovoljiti njegove tri komponente. To su društvo, gospodarstvo i okoliš.



Slika 6. Komponente održivog razvoja (Izvor: <http://lora.bioteka.hr/sto-je-odrzivi-razvoj> )

Gospodarstvo odnosno ekonomski rast proporcionalan je sa crpljenjem resursa dobivenih iz prirode. Takav ekonomski rast nema dugoročnu održivost prema tome potrebna je promjena. Osim što se ograničene sirovine crpe iz prirode koje je nemoguće nadomjestiti, sa ekstremnom proizvodnjom uvelike onečišćavamo zrak koji udišemo.

Upravo zato trebamo naći rješenje koje bi zadovoljilo i poduzetnike odnosno velike gospodarstvenike i okoliš. Kod aspekta okoliša najviše nas zabrinjavaju klimatske promjene gdje ako nastavimo ovakvim tempom ispuštanja fosilnih plinova možemo očekivati drastično povećanje razine mora. Upravo iz tog razloga vodeće automobilske kompanije prelaze na hibridna i električna vozila koja osim što imaju izrazito niska ispuštanja ugljikovog dioksida ujedno i ne troše neobnovljive izvore energije kao što su nafta i plin. Jedan od vodećih aspekta zaštite okoliša je i upravljanje otpadom gdje se pokušava odlagati što manje otpada te ga pokušati iskoristiti kao energent ili recikliran predmet ponovno iskoristiti. Kao društvo najveću ulogu imaju nevladine udruge za promicanje zaštite okoliša i politika. Upravo politika ima moć mijenjanja svijeta te bi trebala raditi za društvu te promovirati socijalnu pravdu, ali i kulturološku različitost. Društvo kao takvo može iznjedriti ekološke i gospodarske propise i regulative te ih učiniti transparentnima i legitimnima. Samo ujednačen napredak pri ekonomskim, ekološkim i društvenim aspektima daje nam uistinu održiv održivi razvoj.



Slika 7. Temelji održivog razvoja [26]

### 3.1. Gospodarenje otpadom

Otpad je danas problem suvremene civilizacije ali i velika mogućnost za civilizacijski napredak ukoliko se adekvatno iskoristi. Otpadom trebamo smatrati samo one predmete za koje ne postoji mogućnost njihovog recikliranja. Danas se puno predmeta odlaze na odlagalištima otpada a koje je moguće reciklirati te time nesvjesno promoviramo linearan model gospodarenja nastalim otpadom. Danas je otpad temeljni problem zaštite okoliša te jedan od glavnih problema budućnosti ljudske populacije. Moramo shvatiti da otpad nije smeće i ne ga tretirati kao takvo. Ono je energent, sirovina i puno više.

Gospodarenje otpadom u Republici Hrvatskoj obuhvaćeno je Zakonom o održivom gospodarenju otpadom<sup>6</sup> kojim su utvrđene određene odredbe sa ciljevima i načelima zaštite okoliša. Odredbama je utvrđeno sljedeće:

- Ciljevi sustava za gospodarenje otpadom
- Djelatnosti, ingerencija i zadaće u gospodarenju otpadom
- Građevine i informacijski sustav za gospodarenje otpadom
- inspekcijski nadzor gospodarenja otpadom
- Promet otpada u druge države

Kako bi sve radnje gospodarenja otpadom bile po propisima kreiran je Pravilnik o gospodarenju otpadom<sup>7</sup> te se njime propisuju uvjeti za gospodarenje otpadom, način rada reciklažnog dvorišta te posao odgovorne osobe u sustavu gospodarenja otpadom. Pravilnikom se isto tako propisuje sadržaj i izgled očevidnika, obrazaca i dozvola.

Cjelovito gospodarenje otpadom uključuje aktivnosti fokusirane na sprječavanje nastanka otpada te njegovo smanjivanje. Uključene su i ostale mjere i aktivnosti poput: prikupljanja, razvrstavanja, recikliranja, obrade i odlaganja otpada. Danas svaki proizvod koji odlučimo kupiti, jednog dana postaje otpad. Na sreću raste svijest ljudi o okolišu i otpadu te je sve više proizvoda napravljeno od materijala koji se mogu reciklirati te se na taj način i ponovno upotrijebit.

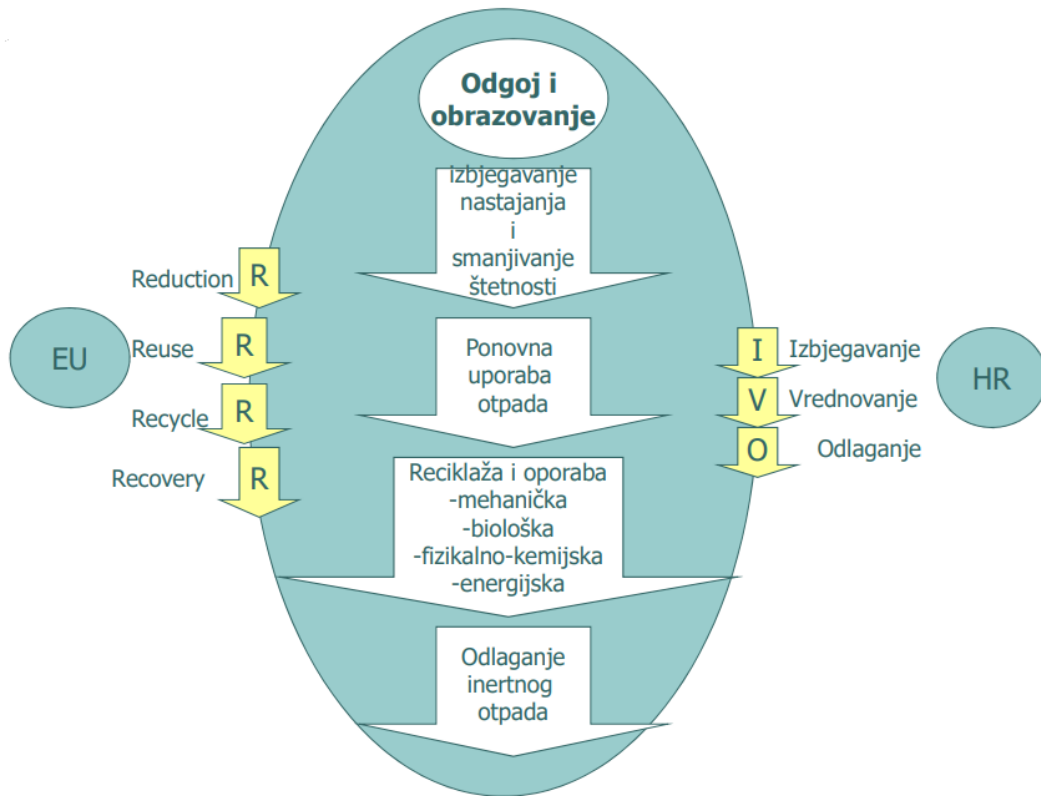
---

<sup>6</sup> Zakon o održivom gospodarenju otpadom (NN 98/19)

<sup>7</sup> Pravilnik o gospodarenju otpadom (NN 98/19)

Kod gospodarenja otpadom nužno je vođenje računa i o eventualno nastalim požarima koje je teško ugasiti a poglavito nastaju tokom proljetnog i ljetnog vremena. Nastajanjem požara na odlagalištima otpada nastaju velike emisije toksičnih plinova u okolinu te su plinovi kao takvi velika prijetnja okolnom stanovništvu i biljnim i životinjskim vrstama koje se ugrožene.

Cilj cijelog sustava za gospodarenje otpadom je da ne bude otpada uopće (*eng. Zero Waste*). To je naravno složena problematika te je organizacijski i tehnički nije jednostavno postići. Međutim malim koracima dolazi do napretka te sve više otpad obrađuje a manje ga se skladišti na odlagalištima otpada.



Slika 8 Koncept gospodarenja otpadom u EU i HR [27]

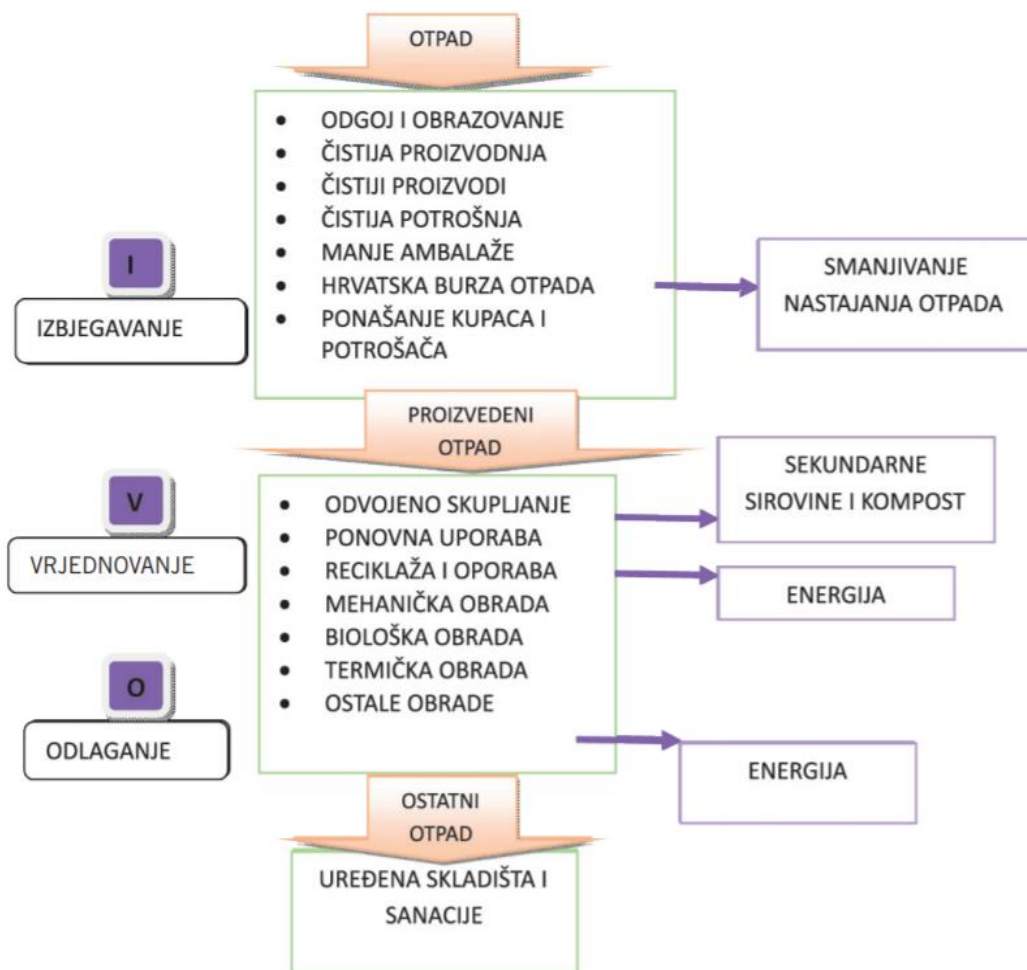
Svojevrsni prihvaćeni orijentir u gospodarenju otpadom je načelo 4R koje obuhvaća sljedeća načela:

- Reduce
- Reuse
- Recycle
- Recover

Načelo 4R nam govori kako bismo trebali smanjiti ili spriječiti nastanak otpada u samom početku. Smanjenje količine otpada je najpoželjnija otpada jer ako otpad ne nastane neće doći ni do problema u kontroli otpada. Raznim edukacijama već u ranoj dobi kod djece povećavamo njihovu ekološku osjetljivost. Ukoliko smanjimo nastali otpad smanjit ćemo i ilegalna odlagališta koja su širom Hrvatske te narušavaju našu floru i faunu. Iskorišteni otpad trebamo ponovno upotrijebiti ako je moguće. Više je načina na koji se to može postići, jedan od njih je svakako da ambalažu koju proizvodimo predvidimo da bude

izvedena od materijala koje možemo ponovno izravno iskoristiti. Ukoliko otpad nije moguće ponovno upotrijebiti jer nema specifikacijske predispozicije za to, recikliramo ga. Recikliramo otpad koji nije moguće izravno iskoristiti. Kod recikliranja potreban je ispunjen uvjet razgranate mreže sustava za prikupljanje otpada ne bi li sav otpad namijenjen recikliranju uistinu završio u reciklažnim dvorištima. Prednosti recikliranja ima puno. Osim što se doprinosi očuvanju obnovljivih i neobnovljivih izvora energije štedi se i na energiji. Smanjuju se potrebe za eksploatacijom sirovina te ih nadomještamo sa već korištenima. Time direktno štedimo resurse te ih ostavljamo budućim generacijama. Posljednje i najmanje željeno je regeneracija odnosno uporaba gdje se kemijskim, toplinskim ili fizikalnim procesima vrši pretvorba materijala i energije ne bi li smo ponovno proizveli određeni materijal ili energiju.

U posljednje vrijeme puno se priča i o 5R načelu gdje se dodaje odbijanje otpada (*eng. Refuse*). Ono nam govori kako primjerice nošenjem vlastitih torba u trgovinu i odbijanjem svih tih silnih plastičnih vrećica podupiremo zapravo najučinkovitiji način borbe protiv nastanka otpada.



Slika 9. Koncept IVO u gospodarenju otpadom [28]

Koncept IVO sadrži tri osnovne faze:

- Izbjegavanje otpada kroz niz alata kojima možemo postići ekstremno smanjenje nastalog otpada. Učinkovitost kod izbjegavanja dobivamo već od malih nogu putem edukacija i projekata gdje uključujemo najmlađe. Također u proizvodnji možemo koristiti čišće procese sa manje potrebne energije i manje ispuštenih plinova u okoliš
- Vrednovanje postizemo obradom otpada kroz razne procese ali i ponovnom upotrebom ambalaže ili proizvoda. Oporabom možemo iskoristiti određena energetska svojstva otpada za proizvodnju nekih drugih sirovina
- Odlaganje je najniže pozicionirano u hijerarhiji otpada te ga kao takvo trebamo pokušati izbjeći.



### 3.2. Početak cirkularne ekonomije

Sredinom dvadesetog stoljeća proizvođači u razvijenim zemljama otpad su bacali u rijeke i jezera, a nerijetko smoo svjedoci toga i danas. Srećom, sada smo u eri u kojoj tvrtke i potrošači sve više dijele brigu o okolišu. Pod brigu o okolišu podrazumijevamo pametnije trošenje dragocjenih resursa, umanjujući upotrebu otrovnih ili štetnih sastojakatvari ili smanjenje otpada.

Korijeni cirkularne ekonomije sežu i dalje nego što mnogi ljudi shvaćaju krajem osamnaestog stoljeća. 1798. Thomas Malthus, objavio je svoje poznato djelo „Esej o Načelu stanovništva“. Glavna načela njegove rasprave bila su radikalna i nasuprot tada aktualnom razmišljanju. Tvrdio je da se stanovništvo kontinuirano povećava te se smanjuje sposobnost da se kao populacija sami othranimo.

Za povjesničare zaštite okoliša uspon ekološkog pokreta kakav znamo danas zaključuje priču koja je započela prije 1900. Kako je Adam Rome napisao je u *The Journal of American History*, „Prvi prosvjedi protiv onečišćenja, prvi naponi za očuvanje prirodnih resursa i prve kampanje za spas divljine sve se dogodilo krajem devetnaestog stoljeća.“ [29]

U novije vrijeme rasprava o potrošnji resursa i ekonomskom razvoju bila je tema knjige *The Limits of Growth* iz 1972. godine gdje je fokus bila tematika prirodnih resursa i riziku od njihovog crpljenja. Autor je zaključio kako svjetski lideri više štete globalnoj ekonomiji svojim ne donošenjem konkretnih mjera nego ima utjecaj ekološki otisak<sup>8</sup> (*eng. ecological footprint*). [30]

Desetak godina kasnije, 1982. godine S.D. Parker prezentirao je način na koji otpad možemo iskoristiti kao resurs u poljoprivredi.

---

<sup>8</sup> Ekološki otisak je mjera ljudskog utjecaja na prirodu i njene resurse. On procjenjuje da li je način života održiv za budućnost

### 3.3. Strategija Europske Unije

Europska Unija je kreirala „*Akcijski plan za čistiju i konkurentniju Europu*“ gdje su najavljene inicijative tijekom cijelog životnog ciklusa proizvoda, sa posebnim usmjerenjem na njihov eko-dizajn. Inicijativa usmjerava proizvode kako bi bili napravljeni od materijala koje je ponovno moguće upotrijebiti. Akcijski plan EU jedan je od kamena temeljaca *European Green Deal*<sup>9</sup> te predstavlja neke od sljedećih gospodarskih i socijalnih mjera:

- Definiranje norma za održivost proizvoda EU
- Osnaženje potrošača i kupaca
- Naglasak na gospodarske sektore sa najvećom eksploatacijom resursa te ujedno i najvećim potencijalom za kružno gospodarstvo (plastika, ambalaža, hranjive tvari, baterije, vozila i ostalo.)
- Korisno djelovanje cirkularne ekonomije za ljude i lokalnu samoupravu [31]

Korištenjem različitih alata i poticaja, Akcijski plan EU pokušava obuhvatiti čitav niz faktora kod životnog vijeka proizvoda. Uspostavljene su određene mjere za svaki stupanj životnog ciklusa i to od proizvodnje pa sve do gospodarenja otpadom. Prilikom proizvodnje pokušava se umanjiti količina energenta korištena kod samog postupka dok se kod gospodarenja otpada odlaganje pokušava izbaciti iz ciklusa.

Koncem 2015. godine Europska komisija je predstavila svoj zakonodavni paket pod imenom „*Circular Economy Strategy and Action Plan*“ ne bi li se potencijalno smanjilo ili zaustavilo odlaganje otpada. Glavni cilj ovog strateškog dokumenta je da Europa prijeđe na cirkularni model upravljanja resursima što naravno nije jednostavan proces te se niz čimbenika mora zadovoljiti da se to i postigne.

Napravljeni su i programi podrške prema prelasku na kružno gospodarstvu gdje se mogu povući značajna financijska sredstva za sufinanciranje prilikom provođenja takvih projekata.

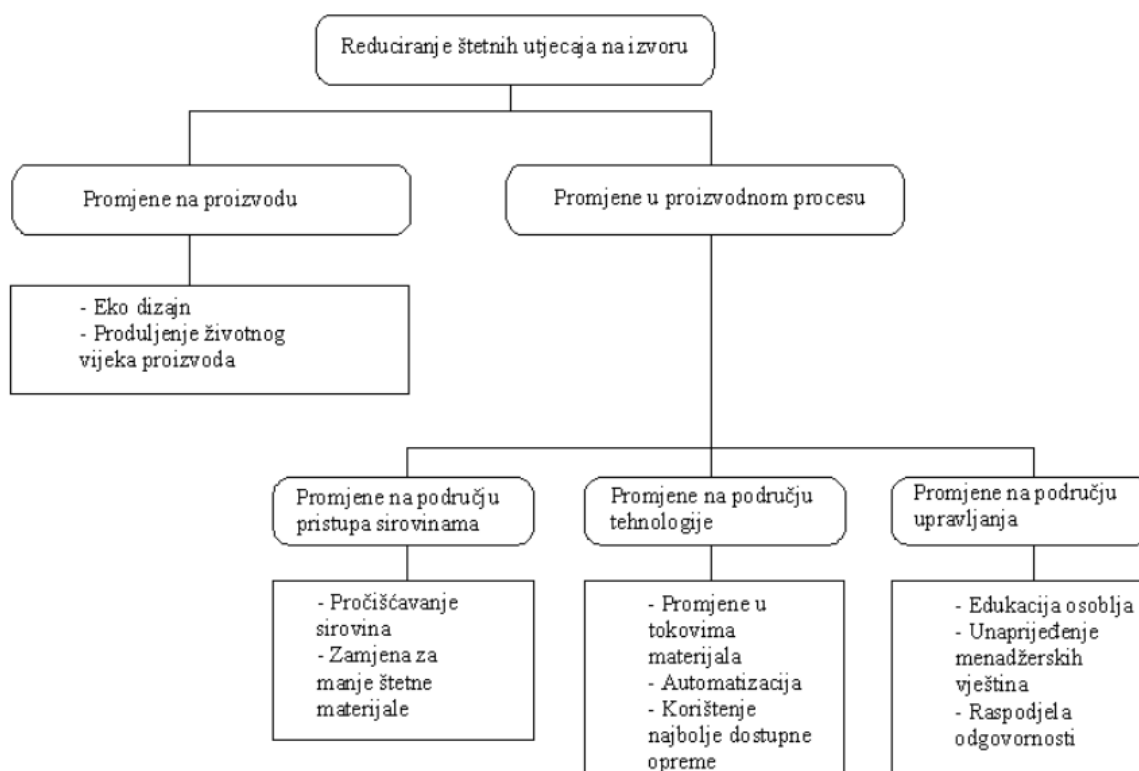
---

<sup>9</sup> European Green Deal - je strategija EU pretočena u dokument sa ciljem održive Europe

- Program OBZOR 2020. ima za cilj provođenje istraživanja te poticanje na inovacije gdje se inovativni projekti direktno sufinanciraju.
- Program COSME je namijenjen malim i srednjim poduzetnicima te potiče preko održivih proizvoda potiče zeleno tržište i zelena radna mjesta.
- Program LIFE potiče implementaciju i napredak politike Europske Unije preko svog zakonodavstva iz područja zaštite okoliša te klimatski neutralne Europe.

#### 4. Segmentacija kružnog gospodarstva

Nastojeći podržati kružno gospodarstvo i ekološke pristupe u proizvodnji novih proizvoda, možemo djelovati u 2 smjera: Promjena proizvoda i promjena proizvodnog procesa.



Slika 10. Shematski prikaz smanjenja štetnog utjecaja na izvoru u proizvodnji [32]

## 4.1. Proizvodnja

Minerali i metali danas se koriste u svemu te njihova potražnja već godinama nastavlja eskalirati i to ponajviše zbog povećanje broja svjetskog stanovništva te gospodarskim rastom. Vodeće svjetske velesile okrenule su se nisko ugljičnoj ekonomiji te već kod same proizvodnje pokušavaju napraviti značajne korake ne bi li u konačnici zaštitili okoliš. U rudarstvu kao grani sa neobnovljivim izvorima energije naveliko se radi na inicijativama učinkovitosti kružnog gospodarstva. Smanjuje se eksploatacija sirovina zbog prelaska na ugljično neutralne opcije gdje je to moguće. Automobilska industrija primjerice ima velike mogućnosti kod prelaska na zelene metode u proizvodnji i primjeni svojih vozila. Sve više su u vozilima korišteni dijelovi vozila koji su dugotrajniji te od materijala koji su obnovljivi.

Kemijska industrija jedna je od najvećih i najraznolikijih proizvodnih pogona. Ona proizvodi krajnje proizvode koji su širom prepoznati te korišteni u gotovo svim ostalim industrijama. Potaknuti na akciju smanjivanja korištenja neobnovljivih sirovina i strogim propisa zaštite okoliša u kemijskoj industriji su napravljeni veliki koraci prema kružnosti. Stvaraju se proizvodi sa višekratnom upotrebom te time era jednokratnosti ide k kraju. Veliki problem su i vode koje su onečišćene putem kemijskih reakcija, međutim uvođenjem pročistača otpadnih sustava koji zadovoljavaju potrebe industrijskog pogona takvi utjecaji na okoliš se smanjuju. Ipak uz uvođenje zelenih tehnologija, ne mijenja se na stvari da je kemijska industrija najveći svjetski potrošač energije. [33]

U kružnoj ekonomiji, materijali cirkuliraju u dva odvojena ciklusa: bio-ciklus i tehno-ciklus. Razlika između ovih ciklusa pomaže razumjeti kako se materijali mogu koristiti na dugotrajan i kvalitetan način. Opće pravilo glasi: ako materijal mora proći kroz manje koraka postupka za ponovnu upotrebu, veća će biti kvaliteta preostalog materijala

Organski materijali slijede drukčiji postupak ponovne upotrebe od tehničkih materijala. Tehnički materijali nazivaju se i sintetičkim materijalima. Zbog ove razlike u postupku ponovne upotrebe, važno je da se nakon uporabe organski i tehnički materijali mogu pravilno odvojiti jedni od drugih nakon uporabe

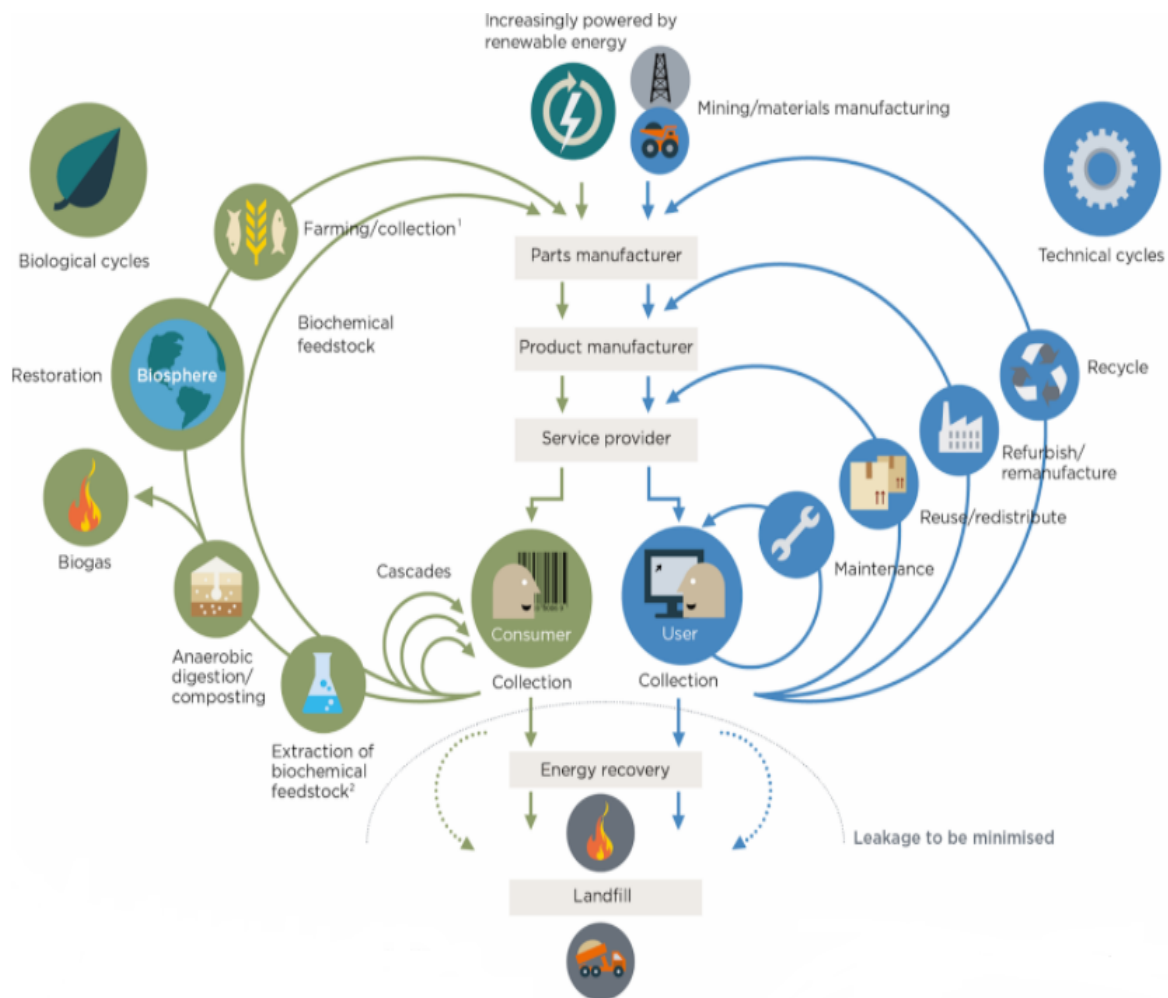
Tehnički materijali poput fosilnih goriva, plastike i metala imaju ograničenu dostupnost i ne mogu se lako ponovno stvoriti. U tehno-ciklusu važno je pravilno upravljati zalihama takvih konačnih materijala. Nakon upotrebe, materijali se oporabljaju iz zaostalih tokova po izvornoj vrijednosti.

Organski materijali poput drveta, hrane i vode mogu se ugraditi u ekosustav i ponovno generirati kroz biološke procese. U bio-ciklusu važno je pustiti ekosustav da što bolje radi svoj posao. Potrošnja se može odvijati tijekom ovog ciklusa (gnojidba, hrana, voda) sve dok potoci nisu kontaminirani otrovnim tvarima i ekosustavi nisu preopterećeni. Tada se mogu obnoviti organske sirovine.

Osnovno je pravilo da su manji ili unutarnji krugovi poželjniji od većih ciklusa, jer materijali koji cirkuliraju u unutarnjim krugovima zahtijevaju manje obrade, rada, energije i novog materijala da bi opet imali izvornu vrijednost.

Kao primjer biociklusa kore od naranče mogu poslužiti kao dobar primjer. Tvrtka PeelPioneers prikuplja narančine kore iz ugostiteljskih objekata koje bi se spaljivale kao otpad i iz njih ekstrahira esencijalna ulja. Ako u pilinzima ima ostataka hrane, esencijalna ulja su onečišćena i više se ne mogu koristiti za kozmetiku, pa im se vrijednost smanjuje. Celuloza koja ostane nakon našeg proizvodnog procesa odlazi poljoprivrednicima na upotrebu kao stočna hrana. Na taj način ni jedna naranča ne ostaje neiskorištena te se ujedno nudi alternativa za mnoge nove proizvode i tvrtke koje sudjeluju u lancu. [34]

Unutar tehno-ciklusa, plastične igračke mogu poslužiti kao dobar primjer. Ako je igračka u potpunosti izrađena od polietilena, može se potpuno rastopiti i ponovno upotrijebiti. Ako igračka ima i poliesterske komponente, one se prvo moraju odvojiti prije nego što se igračka može reciklirati kako bi postala visoke kvalitete.



Slika 11. Usporedba biološkog i tehnološkog ciklusa [35]

## 4.2. Ekološki dizajn

Ekološki dizajn je strateški dizajn upravljanja koji razmatra puni životni ciklus proizvoda, utjecaje na okoliš, prihvatljivije pakiranje, procese, usluge i sustave. [36]

Postupak provedbe ekološkog dizajna započinje analizom niza grupa proizvoda koji se smatraju relevantnima za razvoj potencijalnih propisa o ekološkom dizajnu. Općenito, grupe proizvoda imaju prioritet prema potencijalnim uštedama u okolišu, koje se postižu propisima Europske Unije.

Prema Akcijskom planu EU navedeno je nekoliko ciljeva te strateških postupaka kojim se postiže ekološki dizajn koji zadovoljava potrebe budućih generacija. Novi proizvodi trebaju biti dugotrajniji te imati mogućnost za ponovnom uporabom, modernizacijom ili popravkom. Sve više recikliramo, međutim neki proizvodi jednostavno nisu financijski isplativi za recikliranje stoga upravo dizajnom novih proizvoda trebamo držati do toga da im povećamo udio recikliranog sadržaja. Povećanjem udjela smjese koja se može reciklirati, a financijski je možemo podnijeti jedan je od temeljnih načela ekološkog dizajna gdje se sve manje otpada odlaže te na kraju krajeva ide se ka cilju zatvaranja odlagališta. Dizajnom i proizvodnim inovacijama možemo smanjiti negativan učinak na okoliš te ugljični otisak. Uz sve pozitivne ideje ipak takve modele trebamo poticati i nagrađivati proizvođače na temelju njihovih razina uspješnosti.



Slika 12. Parametri ekološkog dizajna proizvoda [37]

Sedam je principa ekološkog dizajna: [38]

- potreba da se udovolje potrebe ljudi i njihove ekonomije
- zahtjev da se održi integritet strukture i funkcije prirodnih i upravljanih ekosustava

- prikladnost oponašanja svojstvenih dizajna prirode u antropogenim sustavima upravljanja<sup>10</sup>
- potreba za napretkom u održivoj ekonomiji kroz veće oslanjanje na obnovljive izvore i veći fokus na recikliranje, ponovnu upotrebu i učinkovitu upotrebu materijala i energije
- korištenje ekološke ekonomije (računovodstvo punih troškova) kako bi se sveobuhvatno uzele u obzir iscrpljivanje resursa i šteta u okolišu i tako riješile pitanja prirodnog duga
- potreba za očuvanjem prirodnih ekosustava i autohtone biološke raznolikosti na održivim razinama
- poželjnost povećanja okolišne pismenosti za izgradnju socijalne potpore održivom razvoju, očuvanju resursa i zaštiti prirodnog svijeta.

Eko-dizajn se može primijeniti i na poboljšanje postojećih urbanih područja i zajednica, kao i na planiranje novih. Poboljšanja postojećih područja započinju identificiranjem takvih okolišnih problema kao neučinkovitosti upotrebe materijala i energije prevelike udaljenosti prijevoza ili neadekvatna koordinacija među poduzećima u korištenju i gubljenju resursa, zagađenje okoliša i sukobi s autohtonom biološkom raznolikošću, praćeni naporima na ublažavanju i obnavljanju ekologije. [38]

### **4.3. Recikliranje**

Recikliranje uključuje tri koraka koji stvaraju kontinuiranu petlju kružnog gospodarenja otpadom.

#### **4.3.1. Prikupljanje**

Prikupljanje otpada temeljni je element komunalnog sustava upravljanja krutim otpadom. Glavni cilj strategije sakupljanja otpada je prikupiti ga na vrijeme na način da bude ekonomski održivo, ne bi li se olakšala kasnija faza razvrstavanja i / ili obrade otpada s ciljem maksimiziranja ponovne uporabe i recikliranja.

---

<sup>10</sup> Sustavi upravljanja s utjecajem ljudi na okoliš



Količina otpada kojeg jedinice lokalne samouprave moraju prikupiti neprestano se povećava u skladu s bržim tempom urbanizacije. Uz veću efikasnost prikupljanja, ono mora biti i cjenovno prihvatljivo za primjerice ruralna područja što nerijetko i nije lako uskladiti. Kao društvo dužni smo razviti inovativna i ekološki prihvatljiva rješenja kako bi se osiguralo učinkovito sakupljanje otpada uz istovremeno očuvanje kvalitete života ljudi.

Nakon prikupljanja, materijali koji se mogu reciklirati šalju se u pogon za oporabu kako bi se sortirali, očistili i preradili u materijale koji se mogu koristiti u proizvodnji. Reciklažne sirovine kupuju se i prodaju baš kao što bi bile sirovine, a cijene rastu i padaju ovisno o ponudi i potražnji.

#### **4.3.2. Proizvodnja**

Sve više današnjih proizvoda proizvodi se s recikliranim sadržajem. Uobičajeni predmeti za kućanstvo koji sadrže reciklirane materijale uključuju sljedeće: Novine i papirnati ručnici, aluminijske, plastične i staklene posude za bezalkoholna pića, čelične limenke, plastične boce deterdženta za pranje rublja i drugo. Reciklirani materijali također se koriste na nove načine, kao što je sakupljeno staklo u asfaltu za asfaltiranje cesta ili oporabljen plastika u tepisima i klupama za parkiranje.

#### **4.3.3. Kupnja novih proizvoda izrađenih od recikliranih materijala**

Kupnjom novih proizvoda izrađenih od recikliranih materijala aktivno sudjelujemo u zatvorenoj petlji kružnog gospodarstva. Postoje tisuće proizvoda koji sadrže reciklirani sadržaj. Prilikom odlaska u trgovinu uvijek je dobro potražiti oznake za recikliranje na proizvodima. To može biti oznaka za proizvod koji se može lako reciklirati ili proizvod koji se već sastoji od reciklirane smjese.

Temeljne definicije različitosti u novom recikliranom proizvodu:

- Proizvod s recikliranim sadržajem - proizvod je proizveden od recikliranih materijala ili od otpada koji se oporavi tijekom uobičajenog proizvodnog procesa.
- Sadržaj nakon konzumacije - vrlo sličan recikliranom sadržaju, ali materijal dolazi samo iz materijala koji se mogu reciklirati i koji se prikupljaju od potrošača ili poduzeća kroz program recikliranja.

- Reciklirani proizvod - proizvodi koji se mogu sakupljati, prerađivati i proizvoditi u nove proizvode nakon njihove upotrebe. Ovi proizvodi ne sadrže nužno reciklirane materijale.

## 5. Temeljna načela

### 5.1. Biomimikrija

Termin biomimikrija potječe iz 1997. Godine kada ga je spomenula Janine Benyus u njenoj knjizi „*Biomimicry: Innovation inspired by nature*“. Glavna ideja knjige je preporuka da se ljudi nadahnu iz prirode kako bi poradili na inovativnosti u području biotehnologije i procesa koji oponašaju prirodu. Mogućnost biomimikrije temelji se na činjenici da je priroda već riješila brojne probleme s kojima se suočavaju proizvodni sustavi. Iz usvojenih rješenja izdvaja se evolucija prirode kroz milijarde godina. Proizvodi koji proizlaze iz takvih proizvodnih sustava, dizajnirani na načelima biomimikrije, manje su energetski intenzivni i manje štete okolišu. Tvrtke bi uštedjele ogromne količine novca oponašajući prirodne procese, oblike ili ekosustave. Priroda ne treba električnu energiju za rad, ne zagađuje, a visoko učinkovita je i 100% održiva.

Biomimikriju možemo definirati vodeći se trima temeljnim načelima:

- Priroda kao model - proučavanje prirodnih modela te njihovo evaluiranje u nove oblike, procese ili sustave čija je svrha provođenje tehnoloških rješenja.
- Priroda kao mjera - korištenje ekoloških normi kao procjena održivosti novonastalih inovacija.
- Priroda kao mentor - promatranje prirode iz aspekta stjecanja novih znanja.

Jedan primjer biomimikrije je grbavi kit. Dugo se mislilo da su kvržice na perajama grbavog kita neki zaostaci u evolucijskom procesu. Otkriveno je da one poboljšavaju hidrodinamička svojstva i omogućavaju lakše kretanje kita kroz vodu. Kada su to rješenje iz prirode ljudi primijenili na vjetroturbine iskoristivost se povećala i do 40 posto. Inovacije kroz biološku strategiju su neograničene pa se tako biomimikrija primjenjuje u poljoprivredi, kemijskom inženjerstvu, arhitekturi, transportu i ostalim drugim granama.

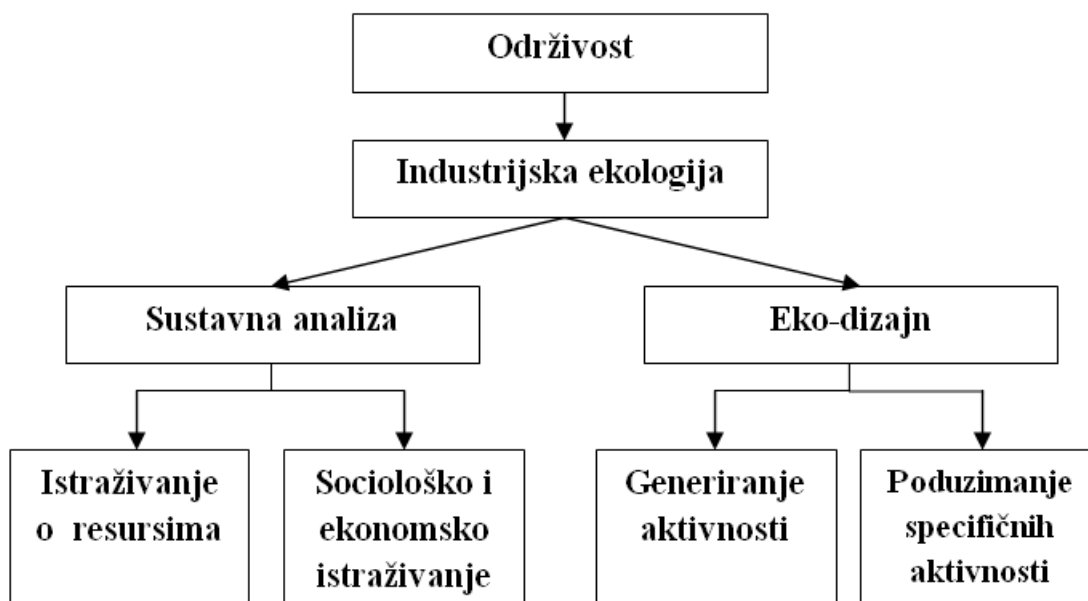
## 5.2. Industrijska ekologija

Industrijska ekologija je sredstvo kojim čovječanstvo može racionalno održati održivost, s obzirom na ekonomski, kulturni i tehnološki napredak. Koncept zahtjeva da se industrijski ekosustav ne promatra odvojeno od okolnog sustava, već u interakciji s njime. [39]

Cilj je minimizirati ili eliminirati utjecaje na okoliš na izvoru, a ne oslanjati se na njih. Ako se pravilno provede, industrijska ekologija promiče poslovnu konkurentnost i inovacije proizvoda. Nekoliko osnovnih elemenata karakterizira ovu disciplinu:

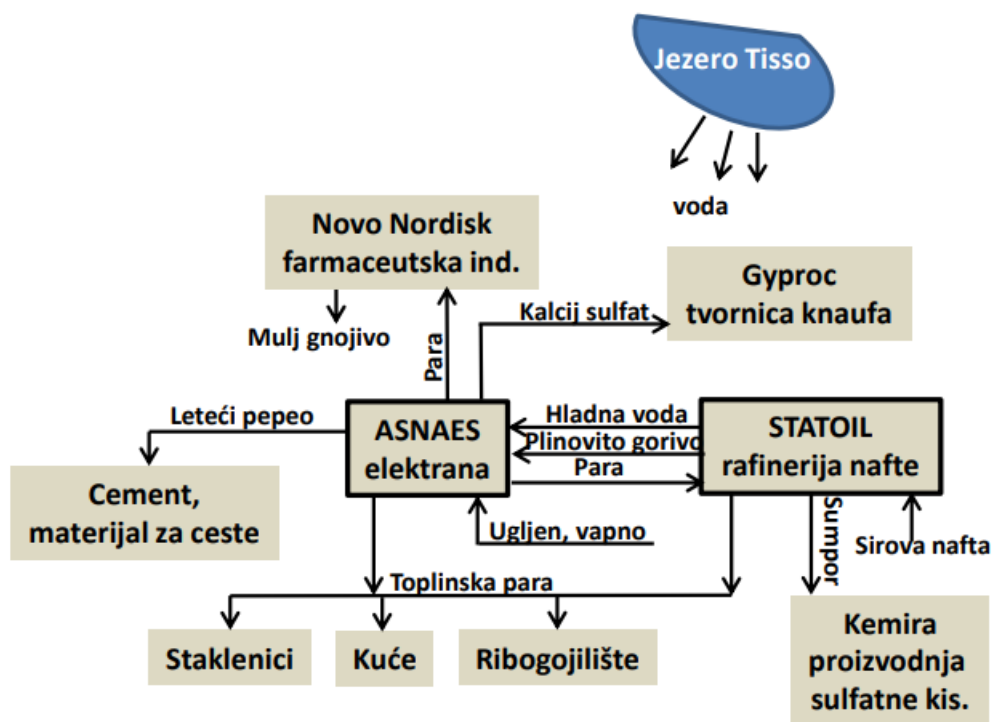
- Korištenje perspektiva sustava
- Uloga tehnoloških promjena
- Uloga poduzeća
- Eko-učinkovitost i dematerijalizacija
- Istraživanje i praksa usmjerena prema budućnosti

Industrijski ekolozi ekonomiju promatra kao zatvoreni sustav, sličan prirodnom sustavu. Koncept poznat kao industrijska simbioza aktualna je tema istraživanja za industrijske ekologe i ekologe u identificiranju strategija koje će poduzećima omogućiti da "zatvore krug". Cilj je stvoriti ili poticati stvaranje sustava industrijske proizvodnje koji funkcioniraju slično kao biološki prehrambeni lanci. Bilo u prirodnom bilo u industrijskom sustavu, simbioza se javlja kada dva ili više organizama stvara intimnu vezu, bilo u korist jednog od njih (parazitski simbioza) ili za oboje ili za sve njih (međusobna simbioza) tako da postoji visok stupanj sinergija između ulaznih i izlaznih tokova resursa.



Slika 13. Konceptualizacija industrijske ekologije orijentirane prema elementima [40]

Najpoznatija primjer industrijske simbioze je industrijski sustav Kalundborg u Danskoj. Glavna karakteristika industrijskih parkova je da jedna sastavnica unutar parka koristi nusproizvod druge sastavnice kao sirovinu.



Slika 14. Shema industrijskog eko-parka u Kalundborgu [41]

Fokus industrijske ekologije na tokove antropogenih materijala i energije ne nosi se često dalje od točke ispuštanja zagađivača u okoliš. Suprotno tome, većina tradicionalnih znanosti o okolišu fokusira se upravo na to da na fazama koje slijede nakon takvog puštanja. Takav sustav trebao bi uključivati široku sektorsku i prostornu raspodjela sudionika, te biti fleksibilan i inovativan.

Formiranje ekološki uravnoteženih industrijskih sustava rezultira brojnim ekološkim i ekonomskim koristima. Ekonomske koristi koje se dijele sudjelovanjem poduzeća, vlade i zajednice primarna su pokretačka snaga za njihovo uspostavljanje industrijske konfiguracije. Poduzetnici mogu ostvariti značajnu uštedu troškova smanjenjem proizvedenog otpada, smanjenjem troškova infrastrukture i poboljšanjem učinkovitosti procesa i proizvoda. Kod takvih ekoloških sustava široke su mogućnosti za određene pothvate poput: kombiniranja otpada, obuke zaposlenika, praćenje okoliša i odgovor na katastrofe. Opipljive koristi za okoliš uključuju smanjenje emisija stakleničkih plinova i emisija opasnih plinova. Treba spomenuti i poboljšanje učinkovitosti u korištenju energije, materijala i vode, poboljšanje planiranja korištenja zemljišta i razvoja zelenih površina u industrijskim kompleksima i promicanje pristupa prevenciji zagađenja i recikliranju.

## **6. Načini upravljanja unutar cirkularne ekonomije**

Stvaranje kružne vrijednosti potencirano je putem pet cirkularnih poslovnih modela kroz geografiju, industriju, veličinu i strukturu poslovanja te vrstu proizvoda. Dok rast treba postići iskorištavanjem svakog od modela ne bi li se postigao razmjerni napredak unutar kružne ekonomije, oni se međusobno ne isključuju - poslovni modeli mogu stvoriti najveći utjecaj kada rade zajedno kako bi generirali maksimalnu vrijednost.

Dok su tri modela više usredotočena na proizvodnju (kružni ulazi, proširenje upotrebe proizvoda i oporavak resursa), druga dva su više fokusirana na (Dijeljenje platformi i proizvoda kao usluge) ciljane potrošnje i odnos između proizvoda i potrošača. U osnovi, modeli pokrivaju puni lanac vrijednosti kružnosti. Kružni ulazi fokusiraju se na "sastojke" koji ulaze u proizvode u dizajnu, izvoru i proizvodnji faze. Takvi ulazni izvori, poput obnovljivih izvora, imaju za cilj eliminirati rasipanje resursa i odskočna su daska za sve ostale modele.

U nekim naprednijim primjerima, kružni izvori mogu prijeći nula-otpad da bi se dodali resursima (npr. tamo gdje je otpad potoci se obrađuju u materijalne tokove). Usredotočenost na proširenje za upotrebu proizvoda o maksimiziranju upotrebe proizvoda. Da bi to učinile, tvrtke moraju početi od na samom početku (posebno, dizajn proizvoda i odgovorno nabavljanje) kako bi se izbjegao izgubljeni životni ciklus i proizvodi održali u upotrebi sve dok moguće. Uz to, Proširenje upotrebe proizvoda igra važnu ulogu u uspostavljanju proizvoda kao modela usluga i platformi za dijeljenje. Posljednje dvije ići dalje izumom "korisnosti proizvoda" na posve nove načine (npr. kupnja funkcije ili usluge, poput mobilnosti, umjesto samog proizvoda). To zauzvrat potiče tvrtke da izvedu maksimalnu vrijednost i iskorištavanje proizvoda, rješavanje izgubljenog i izgubljenog kapaciteta životni ciklusi. Jednom kada proizvod završi s upotrebom, uloga oporavka resursa je za vraćanje ugrađenih materijala ili energije natrag u proizvodni ciklus, čime se "zatvara petlja" proizvoda od nabave do upotrebe i natrag do izvora.

Krajnji cilj kružne ekonomije je holističko zatvaranje cijelog ciklusa "uzmi, napravi, odbaci". Očito, postizanje tog ambicioznog cilja zahtijevat će dugoročni masovni pomak u trenutnom načinu poslovanja. Ipak može se postići značajan napredak i kratkoročno, usredotočujući se na više lokaliziranih spremišta vrijednosti. Na primjer, tok otpada iz jednog proizvodnog koraka može se preraditi u korisni nusproizvod ili sekundarnog materijalnog izvora. Sve veća upotreba otpada danas dolazio od proizvodnje hrane kao izvora energije za pogon u kojem se proizvodi. Nizvodno postoje dodatna tržišta mini petlje koje pomažu potrošačima da preprodaju rabljene proizvode, od igračaka i odjeće pa sve do čamaca.

Da bi iskoristili te mogućnosti, rukovoditelji moraju detaljnije razumjeti sljedećih pet modela postizanja kružnosti.

## 6.1. Kružni ulazi

U procesu proizvodnje koriste se obnovljivi, reciklirani ili visoko reciklirani ulazi koji omogućuju djelomično ili potpuno uklanjanje otpada i onečišćenja. Kružni ulazi, također shvaćeni kao jedan od do danas najprihvaćenijih kružnih poslovnih modela tvrtki. Da bi ga primijenila, organizacija mora zamijeniti "linearni" tip resursa u svom lancu opskrbe s "kružnom" alternativom. Ta se rješenja mogu se široko podijeliti u tri skupine:

- Obnovljivi izvori: ulazi koji se prirodno obnavljaju i mogu se koristiti opetovano, npr. voda iz procesa kišnice ili desalinizacije, vjetar i solarna energija itd.
- Obnovljivi materijali na biološkoj osnovi: materijali kao što su bioplastika i agrokemijske otopine iz kemije izvedene od živih organizama.
- Obnovljivi umjetni materijali: projektirani materijali temeljeni na anorganskoj kemiji koji se mogu beskonačno reciklirati bez značajnih gubitaka kakvoće ili fizikalnih svojstava

Kratkoročno i srednjoročno, tvrtka bi trebala identificirati, odrediti prioritete i provesti zamjenu proizvodnih ulaza kružnim alternativama gdje je to operativno i komercijalno isplativo. Dugoročno gledano, Cilj je u potpunosti zatvoriti i dematerijalizirati petlje resursa, čime se eliminira otpad, u kontinuiranoj suradnji sa širokim spektrom industrijskih i međusektorskih dionika. [42]

Nike, multinacionalna tvrtka za obuću i odjeću, postigla je brojne uspjehe u materijalnim inovacijama s vlastitim Nike Grind materijalima koji stvaraju ulazne podatke za novu obuću, odjeću i površine kod sportskih objekata. Korištenjem zbirke "otpadnih" materijala (reciklirana sportska obuća i viškove ostataka proizvodnje), tvrtka je uspjela razviti nove proizvode visokih performansi. Otprilike 73% svih Nike obuće i odjeće sadrži neki reciklirani materijal, dok se 98,2% proizvodnog otpada preusmjerava sa odlagališta. [43]

## **6.2. Djeljenje platformi**

Platforma za dijeljenje omogućuje vlasnicima da istovremeno povećaju način na koji se imovina koristi kod izgradnje zajednice i pružanja kupcima pristupačnog i konvencionalnog pristupa proizvodima i uslugama. Usvajanje ovog modela dogodilo se na raznim tržištima i zemljopisnim područjima (iako s relativno nižom razinom primjene od strane multinacionalnih kompanija), s naglaskom uglavnom na visoku vrijednost kategorije, kao što je usluga.

Iako je rast platformi za dijeljenje kao koncept nedavno procvjetao, do sada je pronađeno nekoliko primjera skaliranih platformi za dijeljenje s namjerno ugrađenim kružnim principima. Za velike korporacije platforme za dijeljenje često zahtijevaju sveobuhvatan prelazak na postojeće poslovne modele ili postavljanje novog pothvata radi olakšavanja eksperimentiranja. Dobivanje konsenzusa o strategiji, formatu, funkcionalnosti, i poslovni model zahtijeva dobru količinu istraživanja i poticanja, posebno za etablirane tvrtke s većom nesklonošću riziku. Slijedom toga, multinacionalne korporacije sporije prihvaćaju ovaj model. [42]

Sa sjedištem u Finskoj, start-up eRENT pruža platformu za dijeljenje za građevinsku opremu i upravljanje strojevima. Platforma omogućuje korisnicima iznajmljivanje i upravljanje različitim vrstama opreme na nacionalnoj razini putem jednog digitalnog kanala. Usluga koja uključuje tešku opremu kao i manji ručni alat, sve na jednom mjestu za cijela gradilišta. Zahvaljujući eRENT-u, kupci u prosjeku uštede 20% na troškovima opreme i strojeva. [44]

## **6.3. Proizvod kao usluga**

Tvrtke zadržavaju vlasništvo nad proizvodom i istovremeno prodaju njegove beneficije na osnovi usluge ostajući odgovorne za održavanje dobra na kraju korištenja. S poslovnim modelom Proizvod kao usluga, te iste usluge proizvoda koristi jedan ili više kupaca putem ugovora o najmu ili plaćanju korištenja. Takav pristup okreće naopako poticaj za trajnost proizvoda i nadogradnju, preusmjeravanje fokusa tvrtki s volumena na izvedbu. "Proizvod kao usluga" modeli se temelje na pretpostavci da tvrtke mogu generirati dodanu vrijednost njihovim proizvodima razvojem dugoročnog odnosa s kupcima. To se postiže na sljedeće načine: prodajom dodatnih usluga, unovčavanjem



podataka o upotrebi ili izdvajanjem materijalne vrijednosti na kraju upotrebe. Svakako, pomak od prodaja proizvoda prodajom usluge temeljna je promjena u prijedlogu vrijednosti tvrtke koja unosi mnoštvo složenosti.

Rent the Runway američka je tvrtka za e-trgovinu koja nudi internetsku uslugu za iznajmljivanja dizajnerskih haljina i dodataka. Kupci mogu iznajmiti vrhunsku modu od četiri do osam dana za djelić maloprodajne cijene (10% naviše), na taj način otvara se potpuno novo tržište. Tvrtka je otkrila da kupci koji se prijave za njihovu uslugu, smanjuju potrošnju na kupnji odjeće. [45]

#### **6.4. Produljenje korištenja proizvoda**

Upotreba proizvoda namijenjena je namjernom produljenju razmatranja dizajna, popravcima, obnovi komponenata, nadogradnje i daljnje prodaje na sekundarnom tržištu. Pomoću poslovnog modela "Produljenja upotrebe proizvoda" tvrtke optimiziraju upotrebu proizvoda u izvornom obliku za određenu primjenu. Produženje upotrebe proizvoda primjenjuje se tijekom ili na kraju prve upotrebe proizvoda. Umjesto da se odlaže na odlagalište ili u najboljem slučaju reciklira, predmet je popravljen / obnovljen / ažuriran kako bi proširio upotrebu ili bi dobio drugu upotrebu u tržištu rabljenih proizvoda. Poslovni model obuhvaća brojne aktivnosti - od popravljanja, obnove i nadogradnje do trgovanja i preprodaja - od kojih se neke same po sebi mogu promatrati kao poslovni modeli. Prednost produljenja korištenja proizvoda je što ne zahtijeva veleprodaju prelazak na novi poslovni model tvrtke, već proširenje poslovnih mogućnosti ili tržišnih kanala, na način da se novi izvori prihoda mogu generirati preprodajom. Važno je usmjeriti pažnju na ljude ne bi li produžili korištenje proizvoda koje posjeduju. Načinom gdje se povećava usmjerenost na kupca, ujedno se i razvija lojalnost marki i podržava stjecanje dodatnih povratnih informacija o proizvodu.

Ključni organizacijski izazov za usvajanje ovog poslovnog modela, posebno kada se radi o proizvodima relativno male vrijednosti zapravo je odabir pravog formata i opsega za uspostavljanje unutarnjeg istraživačkog pothvata. Na prvi pogled te odluke možda neće izgledati toliko važne, ali primjena modela proširenja upotrebe proizvoda često znači

stjecanje novih mogućnosti, potencijalne promjene u dizajnu proizvoda i promjene financijskih modela kako bi se zabrinule zbog smanjenja jednokratnih prodaja proizvoda.

Tvrtka H&M primjenjuje modele koji mijenjaju kriterije dizajna kako bi se odjeća više usredotočila na kvalitetu, dugovječnost i preprodaju rabljenih predmeta ekološki osviještenim potrošačima. Na primjer, H&M je lansirao probnu seriju rabljene odjeće za prodaju u Švedskoj. Kao rezultat toga, preprodaja rabljene odjeće raste 24 puta brže od tradicionalne maloprodaje. [46]

### **6.5. Oporaba resursa**

Vrijednost ugrađenih materijala ili energije iz poljoprivrednih ili industrijskih dobara se dohvaća skupljanjem i preradom na kraju korištenja proizvoda putem infrastrukture za recikliranje. Upravo kao proširenje tradicionalnog gospodarenja otpadom, oporaba resursa postala je najšire prihvaćen poslovni model u zaštiti okoliša. Oporavak resursa fokusira se na završne faze u vrijednosti lanca, odnosno na kraj upotrebe gdje proizvod više nije funkcionalan u svojoj trenutnoj primjeni. Idealno, obnovljeni resurs koristi se na način koji zadržava najvišu moguću vrijednost kroz najdulje vremensko razdoblje, npr. čelik. Umjesto da se prelaze u niže vrijednosti proizvoda tvrtke bi trebale imati na umu „hijerarhiju otpada“ pri utvrđivanju načina stvaranja vrijednosti od proizvoda koji su krajnje upotrebe.

Do danas postoji širok spektar organizacija koje su barem usvojile neki oblik oporavka resursa. Tvrtke se oporavljaju od svega vrijedni metal od elektroničkog otpada, plastiku od ambalaže pa čak i opuške. Sve to u potrazi za stvaranjem vrijednosti iz tokova otpada i nusproizvoda proizvodnje. S obzirom na to da većina organizacija ima neki oblik strategije gospodarenja otpadom, ovaj model zahtjeva minimalnu prilagodbu postojeće poslovne strukture.

Unatoč tome, neiskorišteni potencijal skaliranja postojećih rješenja i dalje je značajan, od povećanja količine prikupljenog i prerađenog otpada do poboljšanja kvalitete reciklirane proizvodnje ili nusproizvoda. Općenito, današnja ekonomija i tehnološke mogućnosti ograničile su količinu i vrstu resursa koji se mogu povratiti u uobičajenom

poslovanju. Prikupljanje i odvajanje otpada i dalje je skupo, a postojeća infrastruktura povezana s otpadom često je loše opremljena. Kako bi se zadovoljili zahtjevi kupaca za količinom. Poboljšanjem tehnologije troškovi padaju dok nova inovativna rješenja automatiziraju ono što je prije bio intenzivan fizički rad.

## 7. Plastični ambalažni otpad

Nekoliko je strategija nametnuto proizvođačima. Zabranom plastike pa sve do većih poreza za zaštitu okoliša, odgovornost proizvođača za recikliranje je u upravljanju plastičnom ambalažom. S obzirom na činjenicu da se do danas još uvijek koristi dramatična količina plastične ambalaže, recikliranje je vrlo važna metoda koja može pozitivno pridonijeti ublažavanju onečišćenje otpadom od plastične ambalaže. Sakupljanje, sortiranje i obrada su tri glavna koraka prema recikliranju ambalaže za hranu koja se provodi pod strogim nadzorom kako bi se spriječila kontaminacija hrane.

Ipak postavlja se pitanje zašto ima toliko plastike ako je toliko zagađuje okoliš i ne znamo gdje s njom. Plastični materijali imaju što je problem za okoliš i puno dobrih karakteristika zbog kojih se i koristi. U tablici 1. Prikazane su glavne prednosti i nedostaci plastičnih masa.

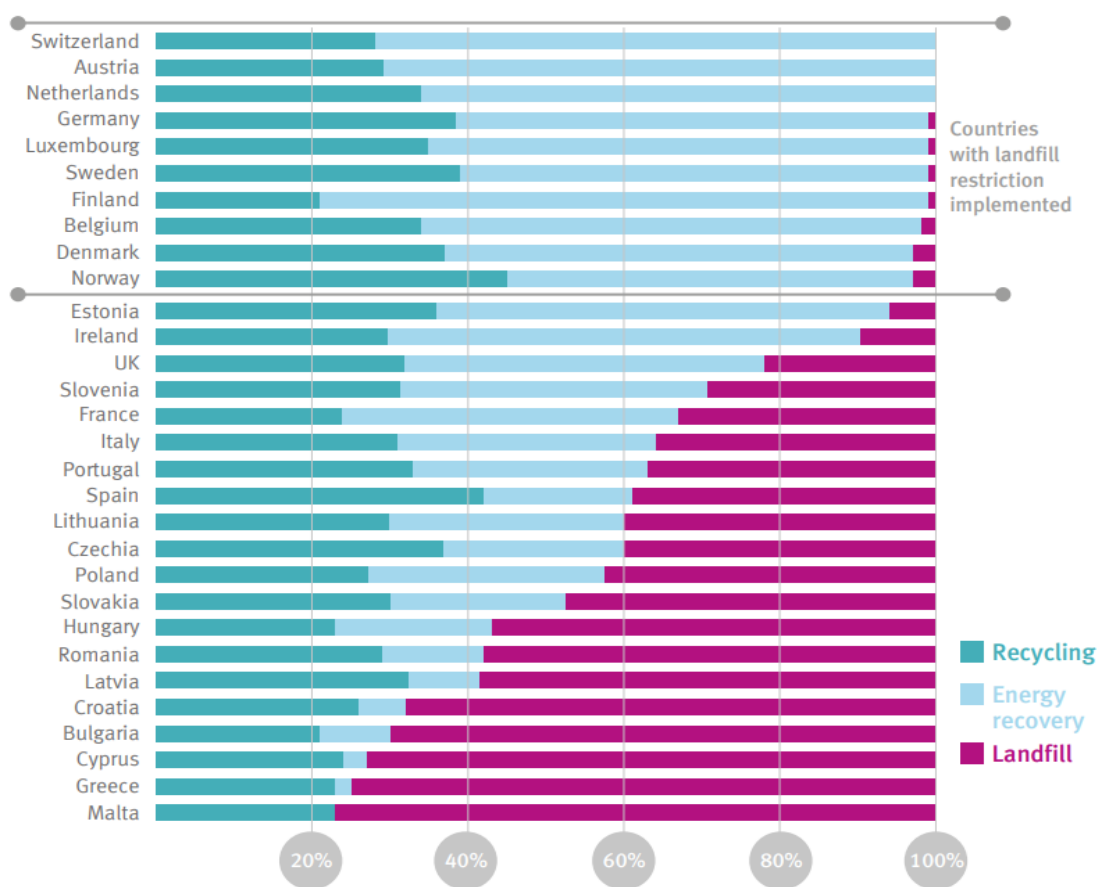
Tablica 4. Prednosti i nedostaci plastike

<b>PREDNOSTI</b>	<b>NEDOSTACI</b>
Širok raspon upotrebe	Prisutnost otrovnih kemikalija kod pojedinih vrsta plastike
Smanjene troškova prijevoza zbog niske gustoće	Plastična ambalaža za hranu nakon kupnje postaje otpadom
Dugotrajan i izdržljiv materijal	Potrebno je dugo vremena za razgradnju
Sigurnosno i sanitarno sigurno za pakiranje hrane	Odlaganje ima utjecaj na planktone i morski hranidbeni lanac
Vodootpornost	Potrebna prostor za odlaganje
Ne provodi električnu energiju	Potrebna infrastruktura za obradu plastike
Troškovi proizvodnje relativno jeftini	Odbačena plastika stvara lošu sliku okoline

U pokušaju recikliranja plastike, kemikalije dodane tijekom proizvodnje plastike, uključujući završne slojeve poput boje za tisak i premaza predstavljaju jedinstvene izazove. Nadalje, recikliranje plastike za pakiranje hrane također zahtijeva da otpadna plastika bude čista od ostataka hrane i raznih onečišćivača. Procesi recikliranja plastike uglavnom su usredotočeni na primarne i sekundarne metode recikliranja pozivajući tako na rast usvajanja ostalih postupaka recikliranja za poboljšanje kapaciteta i učinkovitosti recikliranja.

Ukoliko se plastični otpad kontinuirano reciklira pomoću ovih metoda, on gubi svoja fizička i kemijska svojstva koja rezultiraju krajnjim proizvodima niske kvalitete koji zagarantuju spaljivanje točka. Reciklirana plastika dobre kvalitete koštala bi 60–70% cijene nekorištene plastike, ali ta vrijednost opada jer se svojstva ugrožavaju ponovljenim recikliranjem. [47]

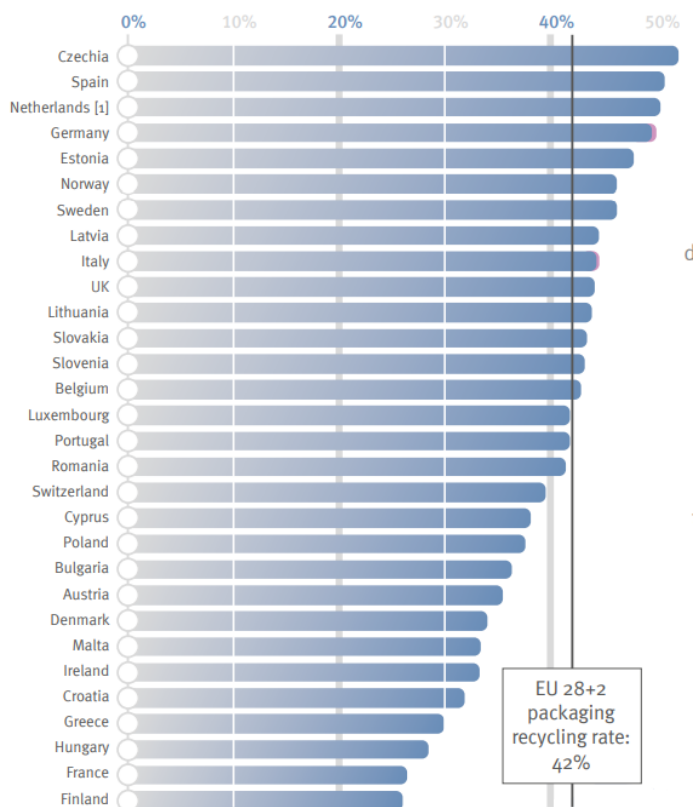
Graf 4. Sudbina plastičnih materijala nakon upotrebe u Europi [48]



Graf prikazuje sudbinu plastičnim ambalažnih materijala te njihov postotak gdje završavaju nakon upotrebe. Najrazvijenije države Europe minimalno odlažu otpad na odlagališta iz razloga jer ih i zakoni prisiljavaju koje su si postavili. Prema dostupnim podacima, Malta je jedina država koja ne vrši oporabu otpada te ga energetske ne iskoristava.

Najviše i dalje gledajući prosjek završava na odlagalištima dok ipak se još ne reciklira toliko za koliko se svi zalažu te se možemo s pravom zabrinuti. Ipak postotak iskoristivosti otpadnih masa se može uzdignuti uz učinkovito upravljanje plastičnim otpadom.

Graf 5. Postotak recikliranja plastične ambalaže u Europi 2018. godine [48]



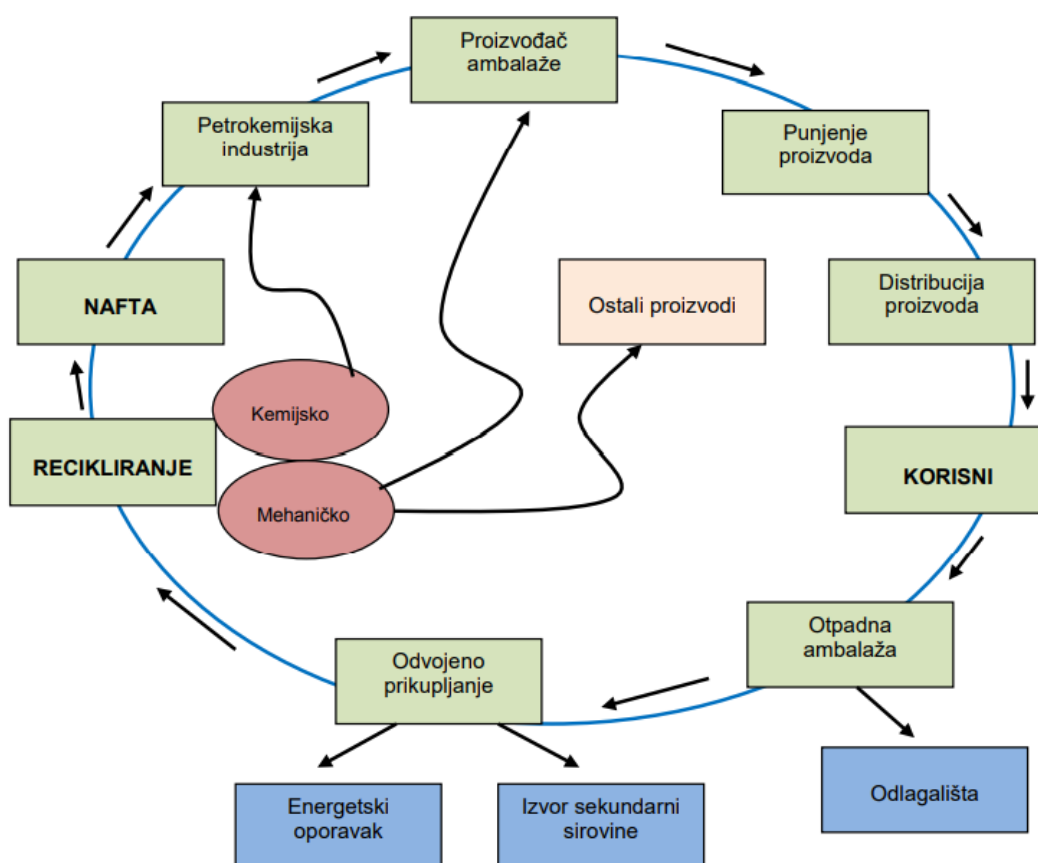
Graf 5 prikazuje postotak recikliranja isključivo plastične ambalaže u Europi te je ona koncem 2018. godine bila između 26% i 52%. Stopa recikliranja pojedine države ovisi o više faktora od kojih su najvažniji komunalna infrastruktura i svijest građana. Prema rezultatima iz 2016. godine vidljivo je povećanje od 1,2% recikliranja u Europi, te je sada postotak recikliranja svih država od 42%.

## 7.1. Recikliranje plastične ambalaže

Kod recikliranja plastike, najvažnija početna radnja je sakupljanje i efikasno sortiranje dovezenog otpada u sortirnici. Razvrstavanje uključuje odabir otpada koji je prikladan za recikliranje pomoću ručnog ili automatizirana sredstva. To se može učiniti na izvoru otpada i pomoću zasebnih sustava sakupljanja ili u objektima mehaničkom obradom i razvrstavanjem miješanog otpada [49].

Izvršteno je da industrija recikliranja radi s 40% kapaciteta zbog nedostatka različitog sakupljanja i odvajanja na izvoru koji utječe na opskrbu sirovinama. [49]

Tako, postrojenja za sortiranje ambalaže imaju ključnu ulogu u gospodarenju otpadom i uporabi materijala.



Slika 15. Ciklus kruženja PET ambalaže [9]

## 7.2. Regeneracija i oporavak plastike

Osim smanjenja količine plastičnog otpada koji zahtijeva odlaganje, regeneracija i uporaba plastike poželjniji su opcijeu iz sljedećih razloga:

- Očuvanje neobnovljivih fosilnih goriva: proizvodnja plastike koristi 8% svjetske proizvodnje nafte, 4% kao sirovina i 4% tijekom proizvodnje.
- Smanjena potrošnja energije.
- Smanjene količine čvrstog otpada koji odlazi na odlagalište također mogu smanjiti komunalni kruti otpad.
- Smanjene emisije ugljičnog dioksida (CO<sub>2</sub>), dušikovog oksida (NO) i sumpor-dioksida (SO<sub>2</sub>).

Izravni utjecaj na gospodarstvo ima regenerirana i obnovljena plastika koja se ne može zanemariti. Trenutno se gotovo 95% ambalažne plastike odbacuje nakon samo jedne upotrebe. Budući da je plastični otpad općenito kontaminiran mnogim neplastičnim materijalima poput papira, stakla, metala, tkanine i drveta. Odvajanje plastike od takvih materijala je proces koji iziskuje vremena i volje od strane potrošača, a kojih u brzom načinu života najčešće i nema. Također preporučeno je i koristiti različite kante za različitu vrstu otpada kao što su papir, plastika, metal, otpad od hrane i drugo.

Samo plastični otpad može sadržavati i heterogene polimerne komponente. Nedavni razvoj novih postupaka, poput izravnog spaljivanja jednostepenim ili dvofaznim sagorijevanjem s proizvodnjom monomera, može smanjiti količinu čvrstog plastičnog otpada. Ti postupci neizravno smanjuju upotrebu nafte i plina potrebnih za proizvodnju nove plastike. [50]

Fizičke metode oporavka ne mijenjaju kemijsku strukturu i svojstva plastike. Tijekom kemijske oporabe plastika se razgrađuje ili se pirolizom stvaraju monomeri kao regenerirani proizvodi. Budući da su kemijske metode skupe, odlaganje na odlagališta je lakša opcija. U mnogim se slučajevima vrši se spaljivanje plastike, ali zbog onečišćenja okoliša takve su prakse na mnogim mjestima zabranjene.

Utvrđeno je da se plastika može učinkovito regenerirati proizvodnjom monomera. Iz različitih putova procesa regeneracije plastičnog otpada, identična matična plastika može se proizvesti kemijskim postupkom regeneracije. Ovaj postupak također može smanjiti potražnju za sirovinama za plastiku na tržištu. [51]

Recikliranje, obrada i uporaba vrlo su česti u industriji plastike te ovisno o vrsti plastične mase odabiremo najbolju metodu. Primijećeno je da čvrsti plastični otpad za mehanički postupak recikliranja mora imati slična svojstva plastike komercijalne kvalitete za poboljšanu obnovu plastičnog otpada. Oporabu plastičnog otpada definiramo kao postupak ponovne obrade plastičnog otpada gdje se dolazi do materijalnog ili energetskog benefita. Ima više vrsta uporabe pa iz toga sljede:

- Primarna uporaba

Ovo je ponovna obrada ostataka i nusproizvoda od istog plastičnog materijala proizvedenih tijekom obrade gotovih proizvoda ili postupka istiskivanja. Ovaj način recikliranja poznat je i kao postupak ponovne ekstruzije.

- Sekundarna uporaba ili mehanički uporaba

Prerada otpadaka od plastike fizikalnim putem u reciklate ili proizvode od plastike. Ovaj je proces komercijaliziran 1970-ih. Mehanički oporavak uglavnom slijedi metode obnavljanja plastike gdje se ne događa nikakva promjena u kemijskim strukturama i svojstvima, a plastika se koristi izravno nakon mehaničkog drobljenja ili ljepljenja. Uz niske operativne troškove i jednostavno operativno upravljanje, stopa mehaničkog oporavka je mala uz ograničenu primjenu. [50]

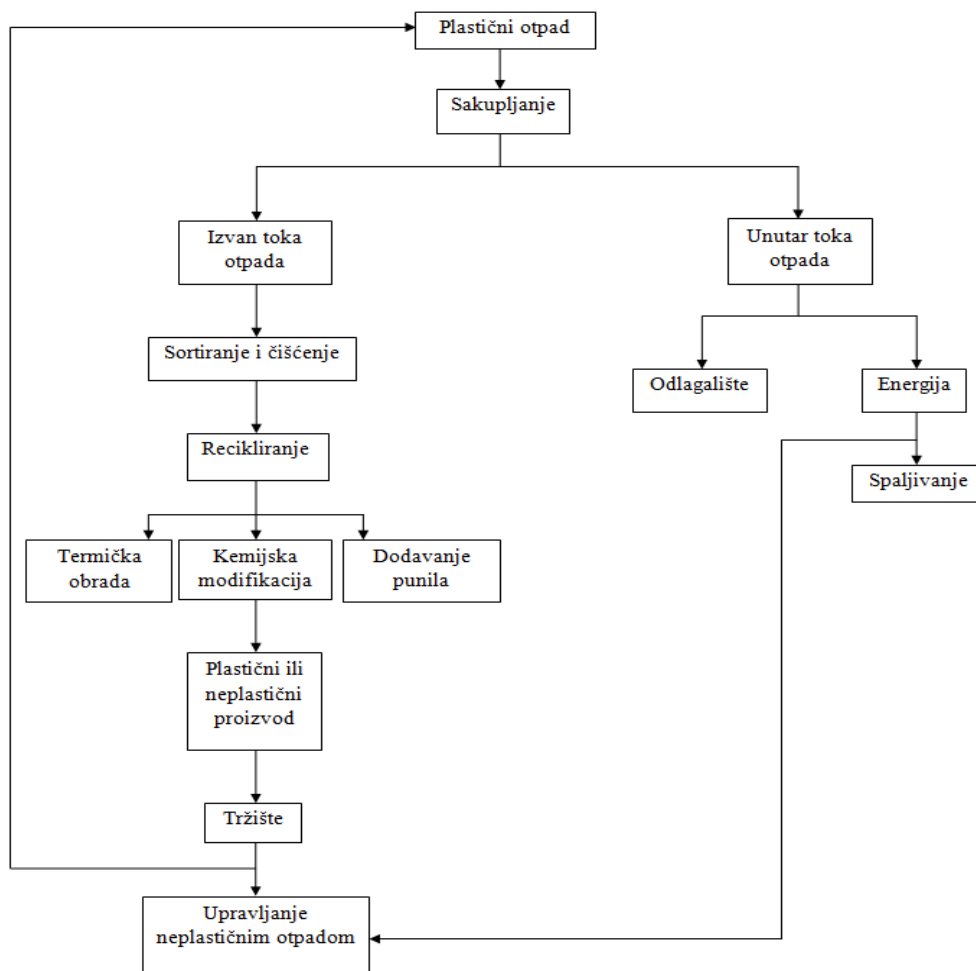
- Tercijarna ili kemijska obrada

Tercijarna ili kemijska obrada otpadne plastike su metode termo-kemijske obrade koje su održivije, te se pritom polimerni materijali pretvaraju u manje molekule. Upravo te molekule se nadalje koriste kod proizvodnje novih polimera i petrokemijskih proizvoda. Kemijska uporaba ima brojne prednosti, a neke od njih su smanjenje mase i volumena otpada, eliminacija bioloških zagađivača (virusi, bakterije), smanjenje stakleničkih plinova, izdvajanje anorganskih tvari i iskorištavanje energije pohranjene u otpadu. [52]



### 7.3. Upravljanje

Sakupljanje plastičnog otpada primarna je radna uspješnog recikliranja i upravljanja otpadom od plastike. Sakupljeni otpad se može dopremiti izvan toka otpada za recikliranje ili unutar toka otpada na odlagalište ili na spaljivanje. Doprema sve vrste otpada na odlagalište je nepoželjno, dok je spaljivanje također ako je moguće poželjno izbjeći. Spaljivanjem se dobiva toplinska energija međutim plastični otpad se može i bolje iskoristiti kao nov proizvod primjerice. Bolja alternativa je svakako sortiranje i čišćenje otpada te njegovo recikliranje. Dodavanjem punila poboljšavaju se svojstva plastične mase i budućeg plastičnog proizvoda, također može doći i do pojeftinjenja novonastalog proizvoda. Kemijskom modifikacijom smanjujemo krutost polimera. Svim djelovanjima i obradom materijala nastaje plastični ili neplastični materijal, ovisno o njegovoj obradi, te se on stavlja na tržište. Ponovnom kupnjom tog materijala od strane potrošača, takav proizvod ide u na početak gdje se može otpremiti na odlagalište, spaljivanje ili na recikliranje. Materijali koji su bili povezani sa plastikom te su izuzeti iz nje tretiraju se na poseban način te je za njih upravljanje drugačije. Na slici 1. prikazana je shema upravljanja plastičnim otpadom.



Slika 16. Upravljanje plastičnim otpadom [53]

## 8. Eksperimentalni dio

Eksperimentalni dio provodi se pomoću softvera STAN (eng. Substance flow analysis) putem kojeg su izrađena i predstavljena dva različita modela, te izradom konceptualnih modela i to:

- Uzrok - posljedica dijagram
- Dijagram ciklus aktivnosti
- Dijagram uzročnih petlji

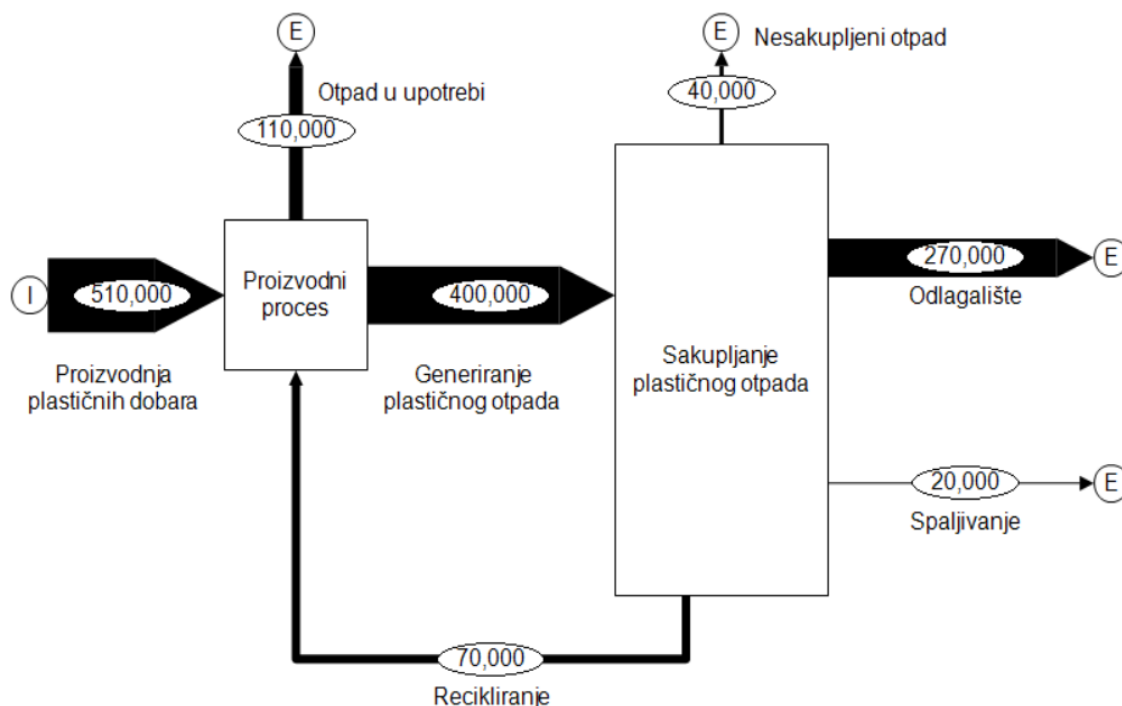
Uz provedene vlastite modele, eksperimentalni dio obuhvaća i nešto teorijskog znanja koje je potrebno za shvaćanje kružnog gospodarenja otpadom.

## 8.1. STAN analiza

STAN (SubSTance flow ANalysis) je besplatni softver koji je posebno dizajniran za podršku analize protoka materijala s opcijom razmatranja nesigurnosti podataka. Podržava provođenje analize protoka materijala (MFA) prema austrijskoj normi ÖNORM S 2096 (Analiza protoka materijala - Primjena u gospodarenju otpadom) razvijen je i održava se na institutu za kvalitetu vode i upravljanje resursima na terenu u Austriji. Glavna ideja STAN-a je kombinacija svih potrebnih značajki u jednom softverskom proizvodu: grafičko modeliranje, upravljanje podacima, izračuni i grafički prikaz rezultatima. Prva verzija objavljena je 2006. godine i od tada je softver preuzelo gotovo 15 000 korisnika širom svijeta. Dostupna je i web stranica na kojoj je moguće pronaći bazu podataka raznih modela koje je moguće upotrijebiti.

STAN funkcionira na način da ulazni tok dolazi iz nekih procesa izvan granica sustava i vodi do jednog od procesa koji se želi povezati i koji želimo uzeti u obzir tijekom analize protoka materijala. Izlazni tok napušta naš sustav i obično se nalazi s desne strane. Kod gospodarenja otpadom je važno da sakupljeni otpad odlazi na recikliranje tako da neki dijelovi materijala koji idu u potrošnju se ne odlažu u otpad i vraćaju u proizvodni proces te se na taj način sa drugog procesa vraća do prvog preko zasebnog toka (*eng. Flow*).

Model je uvijek pojednostavljenije stvarnosti i na primjer, ovdje nema protoka otpada tijekom proizvodnog procesa, pa pretpostavljamo da se sve sirovine mogu koristiti za stvaranje proizvoda. Kod provođenja analize toka materijala treba poštivati zakon očuvanja mase. Materijal se ne može pojaviti u sustavu ni nestati iz sustava.



Slika 17. Model 1 - prikaz linearnarne ekonomije u Hrvatskoj (*Vlastiti izvor*)

Na prikazanoj shemi analize protoka materijala prikazano je kako se u Hrvatskoj godišnje proizvodi oko 510 000 tona plastičnih materijala te upravo ta količina ulazi u proizvodni proces. Shema sadrži 2 sustava koji su u međusobnoj ravnoteži. Ulazni tok u procesu je sirovina preko koje dobivamo plastični predmet. U prvom procesu pod nazivom „Proizvodni proces“ dolazi do križanja tokova te se ulazni tok „Proizvodnja plastičnih dobara“ dijeli na 2 izlazna te mu dolazi jedan ulazni. Od početne sume godišnje je u Hrvatskoj generirano 400 000 tona plastičnog otpada što čini 78,4% ukupno proizvedenog otpada. 110 000 tona plastičnih trenutno je još u upotrebi te kao takvo nije generirano kao plastični otpad s obzirom da ima svoju funkciju. Od ukupne količine generiranog otpada 10% (40 000 tona) biva nesakupljeno te najčešće završava na divljim odlagalištima u okolišu koja su rezultat nesavjesnih pojedinaca a nikako slika svih građana. U drugom sustavu „Sakupljanje plastičnog otpada“ imamo tri odlazna toka te jedan tok koji je poveznica između 2 sustava. Sav otpad sakupljen od strane komunalnih službi i građana može biti recikliran, ići na proces spaljivanja ili na odlagalište. Odlazni tokovi se najčešće nalaze na desnoj strani sustava te u ovom slučaju prikazuju da na spaljivanje odlazi 20 000 tona otpada što je 3,9% svog otpada. Još uvijek najveću udio odlazi na odlagališta i takvu

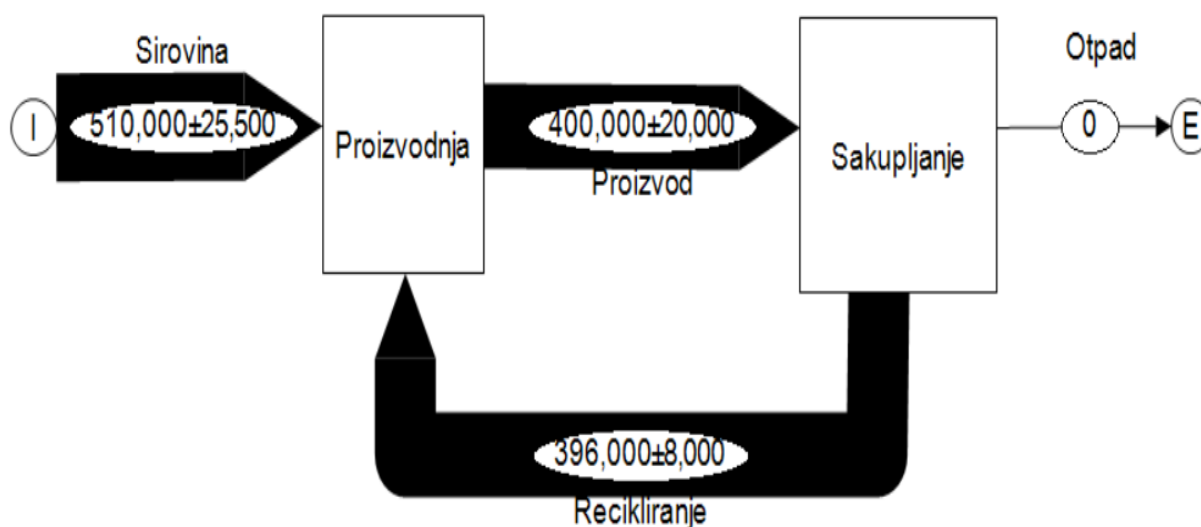
praksu treba smanjivati. Nažalost, ovakav protok otpada pripada više linearnoj nego cirkularnoj ekonomiji.

Razvoj industrije te industrijskim revolucijama temelj je oduvijek bila sirovina. Eksploatacijom primjerice mineralnih sirovina te jačanjem intenziteta eksploatacije i crpljenja kroz povijest su već ljudi shvatili da takav postupak nije održiv. Linearna ekonomija ima poprilično jednostavan i potpuno neodrživ model:

- Uzmi
- Iskoristi
- Odbaci

Većina resursa koji se koriste kod linearne ekonomije su neobnovljivi pa se postavlja pitanje gdje se vidimo kao društvo za primjerice tridesetak godina. Veći intenzitet industrije tvori uzročno posljedičnu vezu sa većim emisijama štetnih plinova u okoliš. Upravo industrije koje su pobornici linearne ekonomije su najveći zagađivači te imaju enorman utjecaj na klimatske promjene. Uz nestajanje neobnovljivih resursa i emisija u okoliš veliki problem takvog modela je i odlaganje otpada. Ne smijemo dopustiti da Zemlja postane jedno veliko odlagalište. Ipak ovaj model je kroz povijest imao i pozitivnu ulogu a ona je veliki broj ranih mjesta te centar društvenog života. Kroz povijest i početkom industrijskih revolucija tamo gdje su bile tvornice tamo su se i ljudi družili te je koliko toliko to mjesto napredovalo. Vodilja je uvijek profit stoga i danas je još linearan model prevladava ali iz ipak progresivan rast cirkularne ekonomije. Na sreću, linearan model sa brzim i jednostavnim profitom te brzim i jednostavnim odlaganjem otpada nije društveno prihvatljiv te se radi na drugom modelu a to je kružno gospodarstvo.

Danas smo svjesni negativnog utjecaja međutim u neka prošla vremena nije se razmišljalo o zaštiti okoliša u dijelu u kojem to danas. Nažalost, kod linearne ekonomije zaštita životne sredine je debelo zanemarena. Tu je veliki broj i biljaka i životinja koje su nehotice nastradale jer nekada se nije provodila procjena utjecaja na okoliš te su tvornice izgrađene na životinjskim staništima, sirovine crpljenje te time zagađivale okoliš u blizini biljaka.



Slika 18. Model 2 - Prikaz cirkularne ekonomije u Hrvatskoj (*Vlastiti izvor*)

Na slici je prikazana shema na koji način bi se trebalo provesti kružno gospodarstvo. Plastika se ipak neće vječno koristiti stoga trebamo održivo gospodariti njome. Shema prikazuje dva zasebna sustava povezanih u jednu cjelinu, gdje se nakon proizvodnog procesa sav proizvod odnosno otpad sakupi te ide na recikliranje. Što više imamo proizvedene mase, veću količinu možemo i reciklirati. Na shemi imamo izlazni tok koji je nula tona što znači da u konceptu cirkularnog gospodarstva nema otpada koji završava na odlagalištu otpada.

Nasuprot linearne ekonomije, kružno gospodarstvo ili cirkularna ekonomija nam pruža sve što Europska Unija zahtjeva od svojih zemalja članica po pitanju zaštite okoliša. Niz mjera, normi, dokumenata i pravilnika je doneseno s ciljem očuvanje postojećeg ili poboljšanja okolišnog stanja. Glavni cilj EU je smanjiti utjecaj na klimatske promjene te umanjiti emisije štetnih plinova. Napredak se vidi iz godine u godinu međutim puno je još posla potrebno da se neki okvirni ciljevi zadovolje. Odlagališta otpada, emisije plinova, briga o vodama, intenzivno korištenje fosilnih goriva i opasne tvari imaju velike utjecaj na klimatske promjene. Sve manje se dizel automobila proizvodi te je sve više prisutno

električnih i hibridnih vozila. Sve češće su i vjetroelektrane, solarni paneli te se jača značaj energetske učinkovitijih proizvoda u svim sferama.

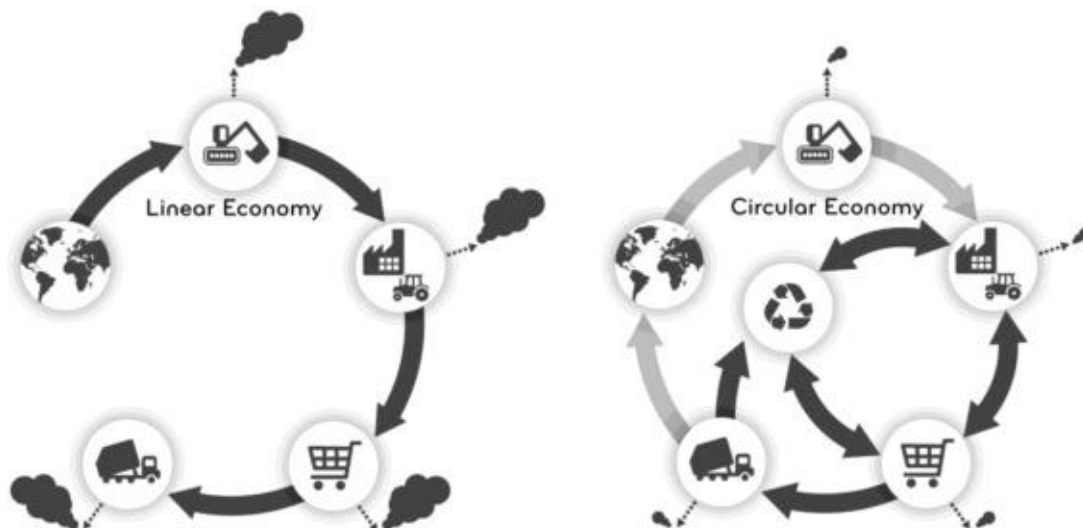
Kružno gospodarstvo ima za cilj provođenje što više ciklusa proizvoda i to od proizvodnje pa do recikliranja. Glavni cilj je prestajanje odvoza otpada na odlagališta te njihovo konačno zatvaranje. Otpad se u sustavu kružnog gospodarenja tretira kao energent ili sirovina te ga je na taj način potrebno iskorištavati. Kružnom ekonomijom ne samo da ne odlažemo otpad već i štedimo resurse za buduće generacije što se uklapa u mjere za održivi razvoj. Važan aspekt kružne ekonomije je i dizajn gdje se inzistira da proizvodi budu napravljeni od materijala koji mogu podnijeti više ciklusa odnosno da nisu proizvodi jednokratne upotrebe. Upravo takva ekonomija nastoji osigurati što dulju cirkulaciju proizvoda unutar zatvorene petlje.

Naglasak treba staviti dakako i na obnovljivim izvorima energije te ekonomskom rastu. Plastične mase nastaju od nafte važne su kod uključanja u strategiju održivog razvoja, jer konkretno takve mase su poprilično velikog volumena te zauzimaju puno prostora na odlagalištima. Određeni polimeri su isplativi za recikliranje te bi trebalo ustrajati ne bi li se iz njih izvukli novi proizvodi.

Tablica 5. Usporedba linearnog i cirkularnog modela (Vlastiti izvor)

Linearni model	Cirkularni model
Fokus je na proizvodnji novih proizvoda	Fokus je na pružanju usluga
Temelji se na filozofiji 'uzmi, izradi, konzumiraj i baci'	Temelji se na filozofiji 'popravi, ponovo upotrijebi i recikliraj'
Ne brine o ograničenosti prirodnih resursa	Proizvodi trajnije i dugovječnije proizvode
Jednokratno korištenje proizvoda	Višekratno korištenje proizvoda (recikliranje, obnavljanje)

Kao što i tablica prikazuje, temeljna razlika između ova dva modela je što je fokus mora biti usluga i životni ciklus proizvoda a ne brza zarada i odlaganje.



Slika 19. Linearna ekonomija nasuprot cirkularne [54]

Ekološki nedostatak linearne ekonomije je taj što proizvodnja robe ide na štetu produktivnosti našeg ekosustava. Pretjerani pritisak na ekosustav ugrožava pružanje osnovnih usluga ekosustava, kao što su vode, zrak i čisto tlo.

Stefanescu D. i On A. su 2012. godine proveli istraživanje gdje su analizirali međusobnu korelaciju između poduzetničkih aktivnosti i održivog razvoja prije i tijekom ekonomske krize 2008. godine. Zaključak istraživanja je da su baš ova dva segmenta istraživanja, održivi razvoj i poduzetništvo ključ prema ostvarenju ekonomskog i socijalnog razvoja te cirkularnom modelu. [55]

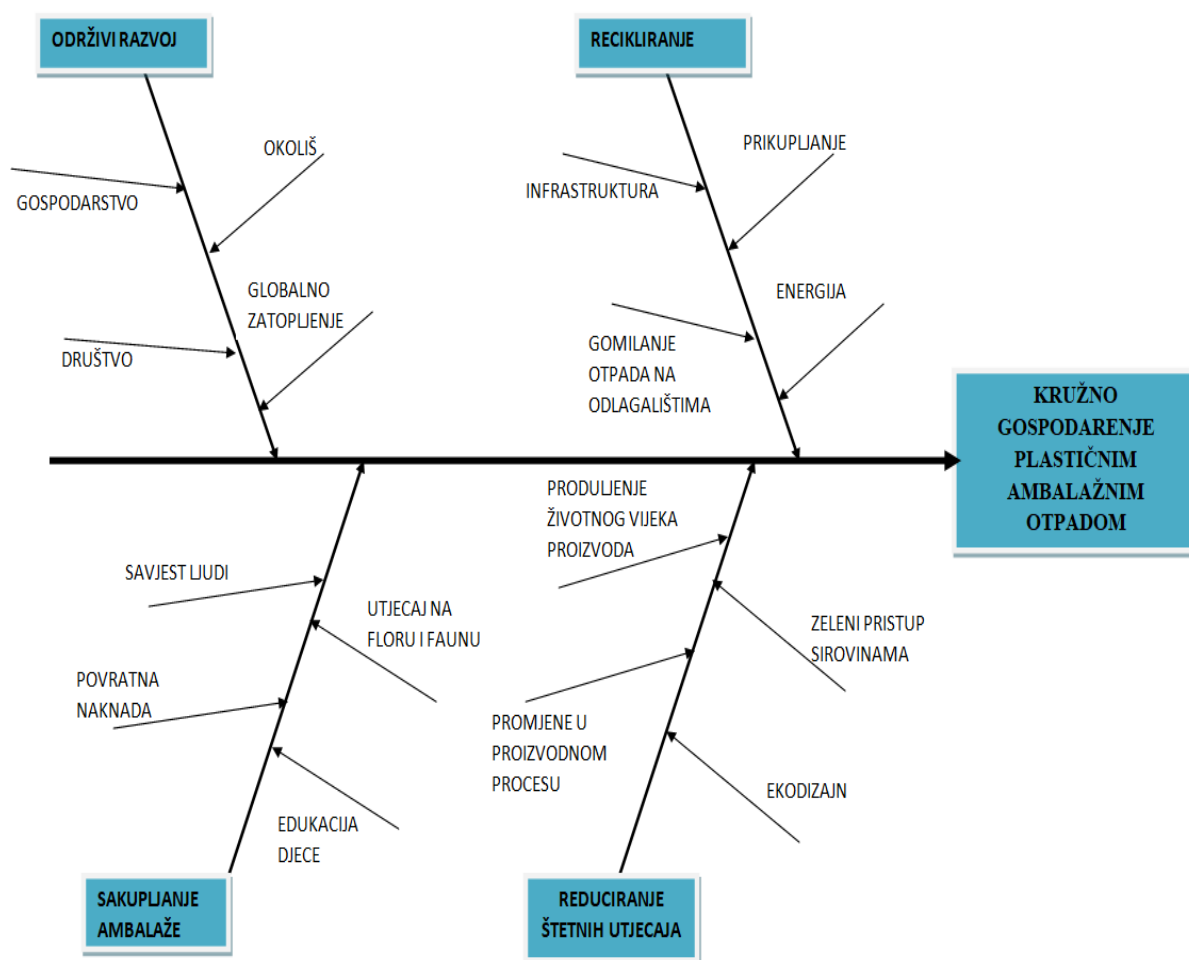
## 8.2. Razvoj konceptualnih modela kružnog gospodarstva

Konceptualni model je slika kojom je tvorac modela podataka opisao dio stvarnog svijeta, odnosno objektnog sustava. Konceptualno modeliranje polazi od specifikacije strukture podataka objektnog sustava i zahtjeva za korištenjem podataka, koje definira korisnik. Konceptualni modeli se stvaraju na temelju predožbe o strukturi i logici rada sustava ili problema koji se modelira. [56]



### 8.3. Uzrok-posljedica dijagram

Dijagram uzrok-posljedica je alat koji pomaže u identificiranju, sortiranju i prikazivanju mogućih uzroka specifičnih problema ili karakteristika kvaliteta. On grafički ilustrira, odnos između danog izlaza i svih faktora koji utiču na izlaz. Ova vrsta dijagrama se naziva Ishikawa dijagram (prema Kaoru Ishikawa) ili dijagram riblja kost zbog njegovog izgleda. [57]



Slika 20. Ishikawa dijagram (Vlastiti izvor)

Na slici je prikazan Ishikawa dijagram za Kružno gospodarenje plastičnim ambalažnim otpadom. Model sadrži 4 glavna uzroka. S obzirom da ovakav tip dijagrama može sadržavati uzroke specifičnih problema ili karakteristike kvalitete, ovaj model je fokusiran na karakteristike kvalitete odnosno faktore koji utječu na ispunjavanje uzroka a samim time i konačne posljedice. Navedena su četiri glavna uzroka:

- Održivi razvoj
- Sakupljanje ambalaže
- Reduciranje štetnih utjecaja
- Recikliranje

Uzrok Održivi razvoj sadrži četiri poduzroka:

- Gospodarstvo
- Okoliš
- Društvo
- Globalno zatopljenje

Mjere Europske Unije uvelike su se okrenule održivom razvoju a najveći razlog tome je globalno zatopljenje te sprečavanje istog. Društvo je važan segment koje treba racionalno koristiti prirodne resurse te se oslanjati na obnovljive izvore energije ne bi li okoliš ostavili budućim generacijama. Pritom gospodarstvo mora biti stabilno te polako u industriju uvoditi alate i tehniku za reduciranje ispuštanja štetnih emisija.

Uzrok Sakupljanje ambalaže sadrži četiri poduzroka:

- Povratna naknada
- Utjecaj na floru i faunu
- Savjest ljudi
- Edukacija djece

Za uspješno kružno gospodarenje otpadom, prvi korak je sakupljanje otpada, u ovom slučaju ambalaže. Od malena je potrebno u škole i vrtiće uvesti edukaciju o važnosti iskorištavanja otpada te time poraditi na ljudskoj savjesti. Bačena ambalaža u prirodu kvari sliku okoliša. Povratna naknada je važan segment kod sakupljanja jer financijska potpora kod ljudi obično ima veliku ulogu da li će plastičnu ambalažu baciti ili odvesti na recikliranje te dobiti nešto novaca zauzvrat.

Uzrok reduciranja štetnih utjecaja sadrži 4 poduzroka:

- Zeleni pristup sirovinama
- Ekodizajn
- Produljenje životnog vijeka proizvoda
- Promjene u proizvodnom procesu

Već sam dizajn ambalaže s materijalima koji se mogu kasnije ponovno iskoristiti i reciklirati važan je faktor kod reduciranja štetnih plinova. Promjenama u proizvodnom procesu te zelenim pristupu sirovinama smanjujemo veliku količinu energije potrebnu za proizvodnju ambalaže. Uz ekološki dizajn i produljenje životnog vijeka sve je manja potreba za proizvodnjom i sve se više reciklira čime se očuva velika količina energije.

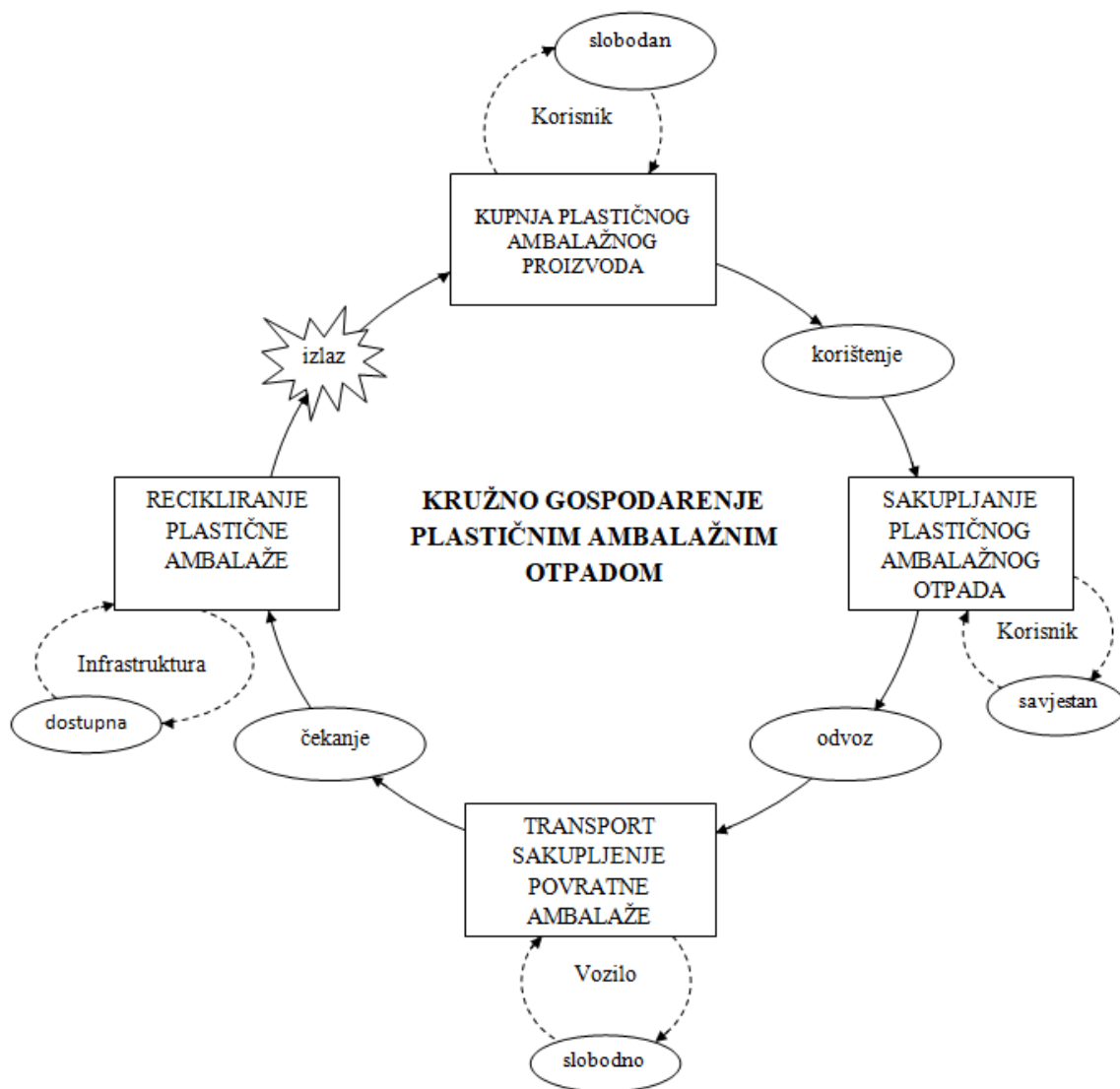
Uzrok recikliranja sadrži 4 poduzroka:

- Infrastruktura
- Prikupljanje
- Energija
- Gomilanje otpada na odlagalištima

Što veći postotak recikliranja cilj je svake države članice Europske Unije. On se postiže smanjivanjem odlaganja otpada, povećanim prikupljanjem otpada te infrastrukturom. Bogatije države mogu si priuštiti bolju razinu infrastrukture time i postići recikliranje više vrsta polimernih materijala.

#### **8.4. Dijagram ciklusa aktivnosti**

Dijagram ciklusa aktivnosti (DCA) opisuje cilj u ciklusima aktivnosti resursa i entiteta. Osobito je prikladan za probleme koji prikazuju redove čekanja. Njime se prikazuje životni ciklus objekata koji postoje u sustavu. Svaki ciklus aktivnosti opisuje aktivna i pasivna stanja resursa ili entiteta u sustavu. Obično, aktivno stanje resursa ili entiteta predstavlja pravokutnik, a pasivno stanje predstavlja krug. Luk se koristi za povezivanje aktivnosti i reda. Aktivnost predstavlja interakciju između entiteta i resursa, za što obično treba duže vrijeme. [56]

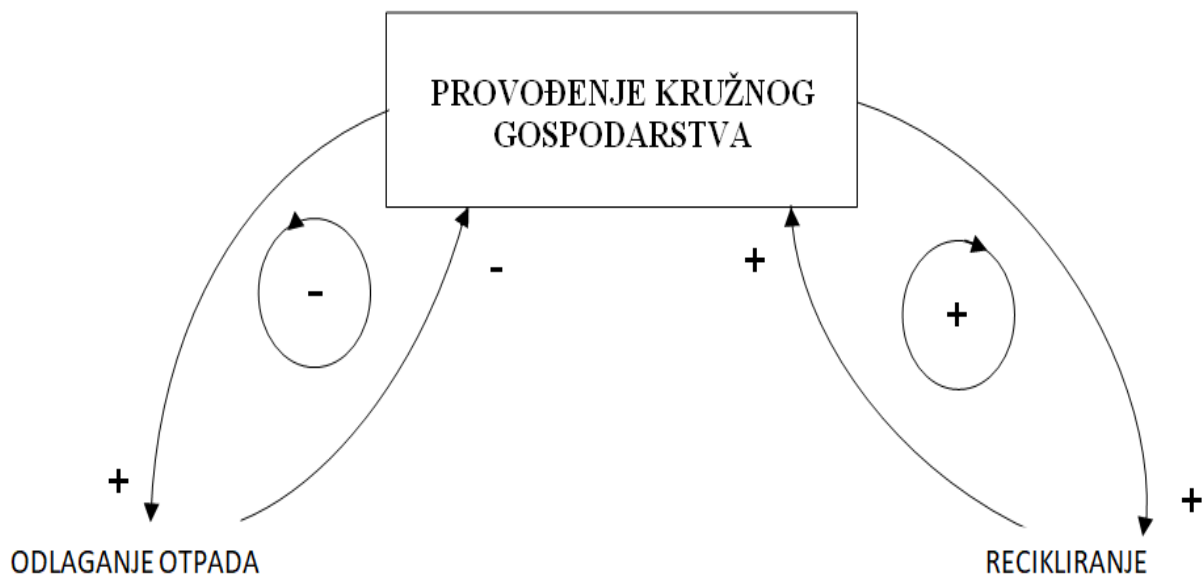


Slika 21. Dijagram ciklus aktivnosti za kružno gospodarenje plastičnim ambalažnim otpadom (*Vlastiti izvor*)

U ovom slučaju dijagram ciklusa aktivnosti prikazuje da ukoliko je korisnik odnosno kupac slobodan može kupiti plastični ambalažni proizvod. Nakon korištenja savjestan korisnik sakuplja ambalažni otpad te ga odvozi do najčešće trgovačkih lanaca koji vrše sakupljanje ambalaže. Iz trgovačkih lanaca se ta ista ambalaža transportira do reciklažnih centara ukoliko je vozilo za prijevoz ambalaže slobodno. U reciklažnom dvorištu se vrši recikliranje ukoliko je dostupna infrastruktura te nakon toga završava ciklus i kreće novi kupnjom recikliranog plastičnog ambalažnog proizvoda.

## 8.5. Dijagram uzročnih petlji

Dijagrami uzročnih petlji prikazuju uzročnu-posljedičnu vezu među elementima sustava s povratnom vezom. Strelicom se označava smjer veze između uzroka i posljedice. Ako je strelica označena s „+“ tada se uzrok i posljedica mijenjaju u istom smjeru (raste uzrok, raste posljedica), a kad je oznaka „-“ tada se uzrok i posljedica mijenjaju u suprotnom smjeru. Polukružna strelica u sredini petlje sa znakom „+“ označava pozitivnu povratnu vezu. [56]



Slika 22. Prikaz dijagrama uzročnih petlji za kružno gospodarenje (*Vlastiti izvor*)

Na slici 5. Prikazan je dijagram uzročnih petlji gdje je posljedica „KRUŽNO GOSPODARSTVO“, dok su dva uzroka „ODLAGANJE OTPADA“ i „RECIKLIRANJE“. Uzrok „odlaganje otpada“ sadrži negativnu povratnu vezu iz razloga što povećanjem količine odloženog otpada ne dobivamo i uspješnije kružno gospodarenje otpadom. Prema tome, što više otpada odlažemo, manje je kružnog gospodarenja (više bi bilo linearne ekonomije). S druge strane uzrok „recikliranje“ sadrži pozitivnu povratnu vezu jer što više recikliramo, u većoj mjeri se provodi kružno gospodarenje otpadom.

## 9. Zaključak

Plastika je i dalje materijal koji potrošači preferiraju kao rješenje za ambalažu. Na kraju svog vrlo kratkog vijeka upotrebe, ali istovremeno dugog roka trajnosti, plastika nerijetko pronalazi svoj put u okoliš. U okolišu plastika može negativno utjecati na zdravlje životinja i ljudi jer onečišćuje zemlju i vodene sustave, pa čak i pronalazi put za ulazak u hranidbeni lanac. Problematika plastičnih masa leži i u tome jer nastaju od neobnovljivog izvora energije, te nisu biorazgradive.

Dok je potraga za ekološki prihvatljivom ambalažom u tijeku, javlja se potreba za usvajanjem modela smanjenja, ponovne upotrebe i recikliranja. Vlade moraju odigrati ključnu ulogu u regulaciji, tvrtke poraditi na uvođenju inovativnih tehnologija u svoje proizvodne procese, dok bi institucije trebale vršiti istraživanja. Kružna ekonomija je koncept usmjeren na aktivnosti koje omogućuju ponovnu upotreba proizvoda, usredotočujući se na pozitivne koristi za cijelo društvo kako ekonomske tako i socijalne i okolišne. Pretpostavlja razvoj sustava u kojem proizvod ne završava na odlagalištu otpada i ponovno se koristi u istom ili drugom obliku. Hijerarhija gospodarenja otpadom treba naznačiti redoslijed prioriteta u politici i propise koji se odnose na sprečavanje i upravljanje otpadom. Prevencija je od presudne važnosti te se odnosi na proizvođače proizvoda i na potrošače. Cilj je jasan, a to je smanjiti otpad ponovnom uporabom proizvoda ili produljenjem vijeka trajanja. Kružno gospodarstvo regulirano je Europskom direktivom koja postavlja specifične ciljeve koje države članice trebaju postići u određenim godinama.

Konkretno, za iskorištene plastične PET boce poduzete su određene radnje te se vrši globalna kampanja sprečavanja odbacivanja takve ambalaže. Plastična PET ambalaža veliki je problem oceana te velike količine upravo takvog otpada završavaju u morskom ekosustavu. Unatoč svemu, PET se može reciklirati i ponovno iskoristiti uz gotovo jednaka svojstva završnog proizvoda kao i prije recikliranja. Trebamo težiti održivom razvoju te ga poticati ali i sami živjeti. Konceptima održivog razvoja možemo dosegnuti prirodnu ravnotežu te smanjiti zagađenje zraka te globalno zatopljenje. Tri faktora trebamo prije svega zadovoljiti ne bi li smo uspješno proveli održivi razvoj. Društvo, okoliš i gospodarstvo moraju ostvariti jednu skladu razinu. Često provođenje inovacija na područjima unaprjeđenja okolišne politike u tvrtci može rezultirati određenim financijskim

gubitkom u početku. Nažalost, mnogo potencijalnih investitora tu staje te ne ulazi u takvu vrstu investicije. Društvo pozdravlja eko-inovacije u svom radnom okruženju, međutim i dalje se stječe dojam kako im je važnija financijska strana priče od aspekta ekologije.

Otpad je glavni subjekt kod kružnog gospodarenja otpadom, te ujedno i resurs budućnosti. Gospodarenje otpadom diljem Hrvatske dolazi na sve ozbiljniju razinu jer postajemo svjesni da otpad nije smeće, već je sirovina, energent i puno više od toga. Ulaskom Hrvatske u Europsku Uniju, Unija zahtjeva od nas sve veće brojke te napredak iz godine u godinu u pogledu iskoristivosti otpada, te smanjenje količine otpada koji završava na odlagalištima. Čovjek kao pojedinac može napraviti doista puno. Prihvatanjem svojevrsnog orijentira gospodarenja otpadom - Načelo 4R. Ono govori kako bismo kao pojedinac trebali smanjiti nastanak otpada, odnosno kao pojedinci pokušati što manje otpada sami proizvesti. U kupnji trebamo pažnju usmjeriti na proizvode koje je moguće na bilo koji način ponovno iskoristiti, bilo to za isto ili drugačiju namjenu. Naravno, naglasak se stavlja i na recikliranje koje je ujedno i osnovna radnja kod kružnog gospodarenja otpadom te energetska iskorištavanje otpada.

Kružno gospodarstvo trebamo promatrati i kroz segmente u kojima se može napraviti pozitivna promjena na promjenu, tj. neko poboljšanje. Automobilska industrija je uvelike podložna inovacijama u proizvodnji gdje se koriste dijelovi vozila od dugotrajnijih materijala te materijala koje je u većoj mjeri moguće ponovno iskoristiti. Kod postupka proizvodnje novog gotovog proizvoda, ekološkim promjenama njegovog dizajna možemo proizvod više puta upotrijebiti, napraviti ga s manje ambalaže, napraviti ga fleksibilnijeg i sigurnijeg.

Korištenjem sredstava Europske Unije, imamo mogućnost poboljšati našu komunalnu infrastrukturu te ići korak uz razvijene zemlje Europske Unije. Bez posložene infrastrukture otpad se ne može prikupiti u udjelu na kojem bi možda trebao. Trebali bismo kao društvo poraditi na inovativnosti i ekološki prihvatljivim rješenjima ne bi li se osiguralo učinkovitije prikupljanje i gospodarenje otpadom. Na ruku nam ide što većina novih proizvoda u sebi već sadrži reciklirani sadržaj te na taj način već i u samoj proizvodnji vidimo pomake.

STAN analizom prikazana su dva modela toka otpada, i to prikaz sadašnjeg stanja linearne ekonomije te prikaz cirkularne ekonomije i način na koji bi ona trebala funkcionirati u Hrvatskoj. Linearnu ekonomiju trebali bismo drastično smanjiti što u principu znači smanjenje odlaganja otpada. U radu su napravljeni i određeni konceptualni modeli kružnog gospodarstva i to:

- Uzrok-posljedica dijagram
- Dijagram ciklusa aktivnosti
- Dijagram uzročnih petlji

Konceptualni modeli obrađeni u ovom radu karakteriziraju kružno gospodarenje plastičnim ambalažnim otpadom iz više različitih pogleda te se njihovim detaljnim pregledom dobiva šira slika trenutnog stanja cirkularne ekonomije ali i problema i prednosti kod njezinih segmenata.

## 10. Literatura

1. Wilcox, C., Puckridge, M., Schuyler, Q.A. et al. (2018.) A quantitative analysis linking sea turtle mortality and plastic debris ingestion. *Sci Rep* 8
2. Andrady A.L., Neal M.A. (2009.) Applications and societal benefits of plastics. *Philosophical transactions of the royal society* b 364: 1977-1984.
3. Tukker, A. (2002.) Plastic Waste - Feedstock Recycling, Chemical Recycling and Incineration, Volume 13, Number 4
4. Ptiček Siročić A., Đurina M., Špoljarić E. (2016.) Oporaba PET ambalaže,
5. *PlasticsEurope: An analysis of European plastics production, demand and waste* dana, 2020. (Dostupno: [www.plasticseurope.org](http://www.plasticseurope.org) - Pristupljeno: 30.03.2021.)
6. Kratofil K. Lj., Hrnjak M. Z., Katančić Z. (2015.) Plastics and the priority during the recycling. In: Gaurina-Medjimurec N (ed) *Handbook of Research on Advancements in Environmental Engineering*, Hershey, Pennsylvania
7. Aznar M.P., Caballero M.A., Sancho J.A. i Francés E. (2006.) Plastic waste elimination by co-gasification with coal and biomass in fluidized bed with air in pilot plant, *Fuel processing technology*, Vol 87, str. 409-420
8. Lopez-Fonseca R., Duque-Ingunza I., de Rivas B. i sur. (2010.) Chemical recycling of post-consumer PET wastes by glycolysis in the presence of metal salts. *Polym Degrad Stab* 95 (6):1022-1028
9. Murgić-Hrnjak Z. (2016.) *Sveučilišni priručnik: Gospodarenje polimernim otpadom*, Fakultet kemijskog inženjersva i tehnologije, Zagreb



10. Vert, M., Doi, Y. i sur. (2012.) Terminology for biorelated polymers and applications, *Pure Appl. Chem.*, Vol 84, No. 2, 377-410
11. <http://www.plasticseurope.org/en/about-plastics/packaging> Dostupno 05.03.2021.
12. Sredojević J. (2007.) Problematika i postupci reciklaže otpada plastičnih masa, Peti znanstveno-stručni skup na međunarodnoj razini, Neum
13. Vujković I., Galić K., Vereš, M., Plestenjak A., (2007), *Ambalaža za pakiranje namirnica*, Zagreb, Tectus. str. 209-212
14. Rujnić-Sokele, M (2011.) Plastična ambalaža - najbolji izbor za okoliš, *Polimeri: časopis za plastiku i gumu*, Vol. 32, No. 2
15. Radović, S., Milanović Z., (2004) "Razvoj odvojenoga sakupljanja i recikliranja ambalažnoga otpada od PET-a u Republici Hrvatskoj," *Polimeri: Časopis za plastiku i gumu* 25(1-2): 23-28.
16. Leksikografski zavod Miroslav Krleža (1986.) *Tehnička enciklopedija*.
17. Fry B. (1999.) *Working with Polystyrene*, Society of Manufacturing Engineers.
18. Malpass B.D. (2010.) *Introduction to Industrial Polyethylene: properties, catalysts, processes*, 10-11
19. Peacock J.A. (2000.) *Hand book of polyethylene: Structures, properties and applications*, Exxon chemical company, 195-200
20. Tripathi D. (2002.) *Practical Guide to Polypropylene*, Rapra Technology Limited, Shawbury, UK
21. Scheirs J. (1998.) *Polymer Recycling*, JOHN WILEY & SONS, LTD, Chichester, England
22. Kovačić, T., Andričić, B. (2005.) Suspenzijski poli(vinil-klorid) i rizici njegove proizvodnje, *Polimeri*, Vol. 26, No. 3, 128-132
23. Golub I. (2017.) Poli(vinil-klorid) kao materijal za svakodnevnu upotrebu, *Završni rad*, Geotehnički fakultet, Sveučilište u Zagrebu
24. <http://polymerdatabase.com/polymer%20classes/Polyamide%20type.html> Dostupno 17.03.2021.
25. IUCN (1980). *World Conservation Strategy*, International Union for Conservation of Nature, Gland, Switzerland.
26. Lazibat, T., i Baković, T. (2006). 'Primjena međunarodnih normi u hrvatskoj šumarskoj i drvenoj industriji', *EFZG working paper series*, (09), str. 1-18. Preuzeto s: <https://hrcak.srce.hr/137207> (Datum pristupa: 29.03.2021.)
27. Kušić H. (2020.) *Materijali za kolegij: Upravljanje otpadom*, diplomski studij *Ambalaža, recikliranje i zaštita okoliša*, Sveučilište Sjever.
28. Kalambura, S., Jovičić, N., Pehar, A. (2012.) *Sustav gospodarenja otpadom s osvrtom na Bjelovarsko-bilogorsku županiju*, *Radovi Zavoda za znanstvenoistraživački i umjetnički rad u Bjelovaru*, str 167-177.
29. Adam Rome (2003), "Give Earth a Chance: The Environmental Movement and the Sixties," *Journal of American History*, September, 525–554
30. Jorgen Randers, "What was the Message of the Limits to Growth?" *Club of Rome*, April 2010

31. <https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/> - Datum pristupa 07.04.2021.
32. Karašić, M. (2007.) Utjecaj procjene životnog ciklusa proizvoda pri projektiranju tehnološkog procesa proizvoda, diplomski rad, FSB Zagreb.
33. Peter G. Levi and Jonathan M. Cullen, "Mapping Global Flows of Chemicals: From Fossil Fuel Feedstocks to Chemical Products," *Environ. Sci. Technol.* 2018, 52, 1725–1734
34. <https://peelpioneers.nl> - Datum pristupa 15.04.2021.
35. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/> - Datum pristupa 15.04.2021.
36. Prendeville S., Sanders C., i sur. (2014.) *Circular Economy: Is it enough?*  
Dostupno:  
[https://www.researchgate.net/publication/301779162\\_Circular\\_Economy\\_Is\\_it\\_Enough](https://www.researchgate.net/publication/301779162_Circular_Economy_Is_it_Enough) - 15.04.2021.
37. Zupančić D.G. (2019.) *Cirkularna ekonomija za gradove: Osnovni pojmovi, Interreg*
38. Shu-Yang F., Freedman B., Cote R. (2004.) Principles and practice of ecological design, *Environmental Reviews* 12, 97-112.
39. Graedel, T.E., Allenby, B.R. (2002). *Industrial Ecology*. 2nd edition. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall
40. Ayres, U.R., Ayres, W.L. (2002.) *A Handbook of Industrial Ecology*, Edward Elgar Publishing Limited, Cheltenham.
41. Presečki, A.V. (2018.) *Uvod u ekoinženjerstvo - 1. dio*, interna skripta, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb
42. Lacy, P., Long, J. i Splinder W. (2020.) *The circular economy handbook: Realizing the circular advantage*, Palgrave Macmillan, UK
43. Nike Purpose, „Waste“ <https://purpose.nike.com/waste> (Pristupljeno 18.05.2021.)
44. <https://www.erent.fi/en/company/> (Pristupljeno 18.05.2021.)
45. Rent The Runway, „The Real Sustainable Fashion Movement“  
[https://www.renttherunway.com/sustainable-fashion?action\\_type=footer\\_link](https://www.renttherunway.com/sustainable-fashion?action_type=footer_link)  
(Pristupljeno 18.05.2021.)
46. <https://www.reuters.com/article/us-hennes-mauritz-environment/fashion-backwards-hm-to-trial-sales-of-vintage-garments-idUSKCN1RH1PN> Pristupljeno (18.05.2021.)
47. Merrington, A. (2017.) Recycling of Plastics. In *Applied Plastics Engineering Handbook*, pp. 167-189, Norwich, NY, USA, pp. 167–189
48. *Plastics - The Facts 2019* [www.plasticseurope.org](http://www.plasticseurope.org) (Pristupljeno 20.05.2021.)
49. Cimpan, C.; Maul, A.; Jansen, M.; Pretz, T.; Wenzel, H. (2015.) Central sorting and recovery of MSW recyclable materials: A review of technological state-of-the-art, cases, practice and implications for materials recycling
50. Al-Salem S.M., Lettieri P., Baeyens J. (2009.) Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review. *Waste Management*.

51. Oku, A., (2005.) Chemical conversion of plastic wastes to monomers, Third International Symposium on Feedstock Recycling of Plastics & Other Innovative Plastics Recycling Techniques, Karlsruhe.
52. TURKALJ, J. (2010): Održivo upravljanje polimernim otpadom. Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, str. 19-31
53. Rebeiz, K.S., Craft, A.P., (1995.) Plastic waste management in construction: Technological and institutional issues. Resources, Conservation and Recycling 15, 245–257.
54. Sauv , S., Bernard, S., Sloan, P.: Environmental sciences, sustainable development and circular economy: Alternative concepts for trans-disciplinary research. Environmental Development, 17, 48-56 pp., 2016.
55. Stefanescu, D., On, A.,: Entrepreneurship and sustainable development in European countries before and during the international crisis. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 58, 889-898 pp., 2012.
56. Gotal Dmitrović L., Duřak V., Milković M. (2017.) Modeliranje informacijskih sustava za zařtitu povrřinskih voda, Sveučilište Sjever, Varařdin
57. Gotal Dmitrović, L. (2015.) Razvoj složenog inženjerskog sustava za pročiřćavanje vode, Doktorski rad, Fakultet organizacije i informatike, Sveučilište u Zagrebu

## Popis slika:

Slika 1. Shema životnog ciklusa materijala povezanih plastikom .....	3
Slika 2. Brojevni simboli polimerne ambalaže .....	4
Slika 3. Korelacija polimera, industrije i udjela polimera u industriji u Europi tijekom 2019. Godine .....	6
Slika 4. Faze mehaničkog recikliranja .....	8
Slika 5. Primjena degradacijskog ekstrudiranja tokom recikliranja.....	10
Slika 6. Komponente održivog razvoja (Izvor: <a href="http://lora.bioteka.hr/sto-je-odrzivi-razvoj">http://lora.bioteka.hr/sto-je-odrzivi-razvoj</a> ) .....	25
Slika 7. Temelji održivog razvoja .....	26
Slika 8 Koncept gospodarenja otpadom u EU i HR.....	29
Slika 9. Koncept IVO u gospodarenju otpadom .....	31
Slika 100. Shematski prikaz smanjenja štetnog utjecaja na izvoru u proizvodnji .....	34
Slika 111. Usporedba biološkog i tehnološkog ciklusa.....	37
Slika 122. Parametri ekološkog dizajna proizvoda .....	38
Slika 133. Konceptualizacija industrijske ekologije orijentirane prema elementima .....	43
Slika 144. Shema industrijskog eko-parka u Kalundborgu.....	43
Slika 15. Ciklus kruženja PET ambalaže .....	53
Slika 16. Upravljanje plastičnim otpadom .....	57
Slika 17. Model 1 - prikaz linearnarne ekonomije u Hrvatskoj .....	59
Slika 18. Model 2 - Prikaz cirkularne ekonomije ekonomije u Hrvatskoj.....	61

Slika 19. Linearna ekonomija nasuprot cirkularne.....	63
Slika 20. Ishikawa dijagram .....	64
Slika 21. Dijagram ciklus aktivnosti za kružno gospodarenje plastičnim ambalažnim otpadom.....	67
Slika 22. Prikaz dijagrama uzročnih petlji za kružno gospodarenje .....	68

### **Popis tablica:**

Tablica 1. Primjena plastičnih masa.....	13
Tablica 2. Fizikalna svojstva PET-a.....	14
Tablica 3. Fizikalna svojstva PP-a .....	18
Tablica 4. Prednosti i nedostaci plastike .....	50
Tablica 5. Usporedba linearnog i cirkularnog modela .....	62

### **Popis grafova:**

Graf 1. Udio korištenja plastike u vodećim industrijama tijekom 2019. godine u Europi....	5
Graf 2. Udio pojedinog polimera u industriji plastike u Europi tijekom 2019. Godine.....	6
Graf 3. Troškovi mehaničkog recikliranja .....	9
Graf 4. Sudbina plastičnih materijala nakon upotrebe u Europi .....	51
Graf 5. Postotak recikliranja plastične ambalaže u Europi 2018. godine .....	52

**5.2%**

Results of plagiarism analysis from 2021-08-24 21:44 UTC

DIPLOMSKI - Luka Meglic.docx

Date: 2021-08-24 21:32 UTC

\* All sources 93 | Internet sources 73 | Organization archive 12 | Plagiarism Prevention Pool 8

DIPLOMSKI - Luka Meglic.docx

Details

[Configuration](#)

83 pages, 17251 words

**PlagLevel: 5.2% selected / 5.3% overall**

87 matches from 116 sources, of which 77 are online sources.

**445 documents have been checked due to similarities, but seem to be sufficiently different.**

Show list of addresses with related documents (sorted by relevance)

#### Settings

Data policy: *Compare with web sources, Check against organization repository, Check against the Plagiarism Prevention Pool*

Sensitivity: *Medium*

Bibliography: *Consider text*

Citation detection: *Reduce PlagLevel*

Whitelist: *--*



SVEUČILIŠTE  
SJEVER



IZJAVA O  
AUTORSTVU I  
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

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, Luka Meglič (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom Plastična ambalaža - kružno gospodarenje otpadom (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:

(upisati ime i prezime)

Meglič  
(vlastoručni potpis)

Sukladno 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.

Ja, Luka Meglič (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom Plastična ambalaža - kružno gospodarenje otpadom (upisati naslov) čiji sam autor/ica.

Student/ica:

(upisati ime i prezime)

Meglič  
(vlastoručni potpis)

