Postupci recikliranja polietilena

Pišonić, Helena

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Chemical Engineering and Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:149:544267

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-18**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Chemical Engineering and Technology University of Zagreb

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE
SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ

Helena Pišonić

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, rujna 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE
SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ

Helena Pišonić

POSTUPCI RECIKLIRANJA POLIETILENA

ZAVRŠNI RAD

Voditelj rada: doc. dr. sc. Ljerka Kratofil Krehula, FKIT

Članovi ispitnog povjerenstva:
doc. dr. sc. Ljerka Kratofil Krehula, FKIT
prof. dr. sc. Zlata Hrnjak-Murgić, FKIT
prof. dr. sc. Igor Sutlović, FKIT

Zagreb, rujna 2018.

Zahvaljujem doc. dr .sc Ljerki Kratofil Krehula na mentorstvu i strpljenju prilikom izrade završnog rada.

Posebnu zahvalnost iskazujem svojim roditeljima koji su mi bila podrška sve ove godine te me upućivali na pravi put.

Također, zahvaljujem suprugu, sestri i bratu koji su uvijek bili uz mene i u dobrim i u lošim trenutcima.

POSTUPCI RECIKLIRANJA POLIETILENA

SAŽETAK

Polimerni materijali danas se sve češće koriste u razne svrhe pa, zbog njihove vrlo raširene primjene, nastaje sve veća količina polimernog otpada što dovodi do potrebe pronalaženja adekvatnih metoda zbrinjavanja. Naime, povećana količina nezbrinutog polimernog otpada može naštetiti okolišu.

Jedan od najčešće korištenih polimernih materijala je polietilen te je ujedno i vrlo velik izvor plastičnog otpada. U ovom su radu opisani načini zbrinjavanja polietilenskog otpada, od nastajanja preko prikupljanja, pranja i usitnjavanja do samog procesa recikliranja. Svrha zadatka je upoznati se s procesima recikliranja polietilenskog otpada koji doprinose održivom razvoju, zaštiti okoliša i ekonomskoj dobiti. Izuzev navedenog, recikliranjem polietilenskog otpada dobiva se nova sirovina koja se dalje može koristiti za proizvodnju raznih produkata. Reciklirani polietilen može biti osnovna sirovina za izradu raznih proizvoda (kante za smeće, boce za deterdžente, sportska oprema, plastične vrećice) ili može biti aditiv za poboljšavanje svojstava nekog drugog osnovnog materijala (npr. dodatak cementu).

Danas se teži k tome da se proizvedu plastični materijali koji se mogu samostalno razgraditi (biorazgradnja) ili da se materijali koji nisu skloni biorazgradnji recikliraju ekološki prihvatljivim i ekonomski isplativim metodama.

Ključne riječi: polietilen, polimerni otpad, recikliranje

RECYCLING METHODS OF POLYETHYLENE

SUMMARY

Today are polymer materials used in various purposes and, because of such wide variety of uses, there is an increasing amount of polymer waste, which leads to finding an appropriate solution to waste management. Moreover, large quantities of untreated polymer waste can damage the environment.

One of the most commonly used polymers is polyethylene, which is also one of the biggest sources of plastic waste. In this work the suitable processes for polyethylene waste treating are explained (from its origin to its collection, washing and shredding and its recycling at the end). The purpose of the task is to introduce the recycling procedures of polyethylene waste, which contribute to the environmental sustainability, environmental protection and economic benefits. Furthermore, the recycled polyethylene waste is a new raw material, which can be further used to produce various products. Recycled polyethylene can be a basic raw material for producing garbage cans, detergent bottles, sports equipment and plastic bags or it can be an additive to improve the properties of some other basic materials (a cement additive).

Nowadays, there is a tendency to produce plastic materials which can be biodegradable or to recycle non-biodegradable materials with environmentally friendly and economically useful methods.

Key words: polyethylene, polymer waste, recycling

SADRŽAJ

1. UVOD..... 1
2. OPĆI DIO..... 3
    2.1. POLIMERI..... 3
    2.2. POLIETILEN..... 6
        2.2.1. Svojstva polietilena..... 7
        2.2.2. Vrste polietilena..... 7
    2.3. POLIMERNI OTPAD..... 11
        2.3.1. Gospodarenje polimernim otpadom..... 12
            2.3.1.1. Predobrada plastike za recikliranje..... 12
            2.3.1.2. Recikliranje polimernih materijala..... 14
            2.3.1.3. Odlaganje polimernog otpada..... 17
        2.3.2. Recikliranje polietilena..... 18
            2.3.2.1. Priprema polietilena za recikliranje..... 18
            2.3.2.2. Postupci recikliranja polietilena..... 19
3. METODIKA..... 20
4. REZULTATI I RASPRAVA..... 21
    4.1. NASTANAK I IZVORI POLIMERNOG OTPADA..... 21
    4.2. OTPADNI POLIETILEN..... 21
    4.3. PRIPREMA OTPADNOG POLETILENA ZA RECIKLIRANJE..... 23
    4.4. POSTUPCI RECIKLIRANJA POLIETILENA..... 23
    4.5. PRIMJENA RECIKLIRANOG POLIETILENA-PRIMJER IZ PRAKSE..... 30
5. ZAKLJUČAK..... 34
6. POPIS SIMBOLA..... 35
7. LITERATURA..... 36
8. ŽIVOTOPIS..... 38

1.UVOD

Polimeri su kemijski spojevi sastavljeni od velikog broja ponavljajućih jedinica (mera) koje su povezane kovalentnim vezama te imaju vrlo velike relativne molekulske mase. Još se nazivaju i makromolekulama. Polimeri se sastoje od dugih, savitljivih makromolekula, slično vrpci konca, koje stalno mijenjaju oblik i ne sadrže određen, za svaku polimernu vrstu, jednaki broj ponavljanih jedinica, mera, već taj broj mora biti dovoljno velik, da se po definiciji IUPAC-a, s povećanjem ili smanjenjem za jednu jedinicu, većina njegovih svojstava značajno ne mijenja[1].

Mogu se podijeliti na dvije osnovne vrste prirodni i sintetski polimeri. Prirodni polimeri nastaju biosintezom u prirodi i mogu se odmah prerađivati u polimerni materijal ili se mogu sintetizirati iz monomera prirodnog porijekla. Sintetski polimeri dobiveni procesom polimerizacije mogu biti organskog ili anorganskog porijekla. Najčešći su polimeri organskog porijekla, a to su oni polimeri čiji se osnovni lanac sastoji od ugljikovih i vodikovih atoma, kao što su polietilen, polipropilen, poli(etilen-tereftalat) te mnogi drugi.

U današnje vrijeme polimerni materijali koriste se u razne svrhe; kao ambalaža u prehrambenoj industriji, za izradu posuđa, u građevinarstvu, u automobilskoj industriji, za izradu medicinskih uređaja te mnoge druge primjene uobičajene u svakodnevnom životu.

Sama činjenica da se svakodnevno susreću i koriste plastični materijali dovodi do pitanja njihovog zbrinjavanja jer porastom primjene takvih materijala dolazi i do povećane količine plastičnog otpada. Cilj je kvalitetno zbrinuti polimerni otpad jer time ne samo da se štiti okoliš, nego se pridonosi i ekonomskoj dobiti.

Plastični otpad pripada krutom otpadu koji nastaje u kućanstvu ili u industriji. Polimerni otpad dolazi iz trgovine, industrije, domaćinstva, građevinarstva, ali i iz posebnih izvora (radioaktivni i medicinski otpad) te se pojednostavljeno naziva plastični otpad [2]. Najčešće korišteni polimerni materijali, koji samim time čine polimerni otpad, su polietilen, polipropilen te poli(etilen-tereftalat). Proizvodi izrađeni od polietilena su razne vrećice koje se mogu naći u svakodnevnoj upotrebi, vrećice za zamrzivač, raznorazne folije, HDPE boce, ambalaža za šampone i gelovi za tuširanje, kanalizacijske cijevi te razne druge. Polipropilen se koristi za izradu vlakana za tepihe ili za posude te raznu ambalažu dok je PET najpoznatiji

materijal od kojeg se izrađuju PET boce, ali se koristi i u obliku filmova i folija, kao konstrukcijski materijal, za izradu posuda te drugo.

Kako bi se pobrinulo za nastali plastični materijal potrebno ga je na pravi način zbrinuti, a to se može učiniti na način da ga se skupi, zatim skladišti na određenom mjestu (npr.kontejneri za plastični materijal). Nakon sladištenja plastični materijal se odvozi do pogona za recikliranje, tamo se odlaže do početka procesa recikliranja te se nakon recikliranja odlagalište čisti. Recikliranje plastičnog otpada podrazumijeva nekoliko tehnoloških procesa samog recikliranja kao što je mehaničko recikliranje (odnosno prerada polimera u taljevini), kemijsko recikliranje (podrazumijeva proces depolimerizacije to jest razgradnje plastičnog otpada) te energijski oporavak nakon recikliranja (podrazumijeva dobivanje energije procesom spaljivanja).

Cilj ovog rada je opisati načine zbrinjavanja polietilenskog materijala te objasniti procese recikliranja polietilena odnosno polietilenskih proizvoda koji se susreću u svakodnevnom životu.

2.OPĆI DIO

2.1. POLIMERI

U današnje vrijeme, razvoj tehnologije utjecao je i na razvoj novih vrsta materijala stoga su jedan od najvažnijih i polimeri koji se danas koriste u velikim količinama. Naziv *polimer* grčkog je podrijetla, nastao je od dvije riječi, poli, grč. što znači mnogo i meros, grč. što znači dio, a prvi put ga je upotrijebio švedski kemičar Jöns Jakob Berzelius još 1833.godine, nazvavši tako kemijske spojeve koji se sastoje od istovrsnih ponavljanih jedinica, mera, tada se takva molekula naziva polimer [3].

Prirodni polimeri i/ili biopolimeri poznati su od davnina. Razlog tomu je što ih se kao takve može pronaći u ljudskom organizmu kao što je DNA, RNA, proteini, peptidi. Izuzev ljudskog organizma oni mogu nastati i biosintezom u biljkama iz kojih dobivamo celulozu, razne šećere, amine. Na ovaj način su u povijesti ljudi raznim tehnološkim procesima dobivali kožu, krzno, vunu, pamuk te svilu koje su koristili za izradu odjeće. Izuzev odjeće dobivali su i papir, prirodnu gumu te mnoge druge. Razvoj industrije potiče i razvoj prirodnih polimera industrijskim putem odnosno prirodne polimere se ne može proizvoditi nego ih se može uzgajati na plantažama te se na taj način sprečava iscrpljivanje prirodnih resursa. Prirodni polimeri razlikuju se od sintetskih prvenstveno u njihovoj strukturi. Oni imaju točno definiranu strukturu odnosno kemijski sastav dok je kod sintetskih polimera nešto drugačije te oni posjeduju znatno jednostavniju i nasumičnu strukturu. S obzirom na strukturu, biopolimeri pripadaju u skupinu monodisperznih polimera dok sintetski polimeri u skupinu polidisperznih polimera odnosno skupinu polimera koji imaju različitu raspodjelu molekulskih masa. Većina prirodnih polimera može se razgrađivati što je vrlo važna karakteristika koja se danas želi postići i s većinom sintetskih polimera.

Sintetski polimeri nastaju procesom polimerizacije i javljaju se prvom polovicom osamdesetih godina,19. stoljeća, točnije 1839. kada je po prvi put vulkanizirana prirodna guma kako bi se dobio visoko elastični materijal. Svoj vrhunac razvoj polimera postiže u 2. polovici 20. stoljeća, a taj razvoj traje još i danas pa se današnje doba naziva i „polimerno doba“. Potrošnja polimernog materijala iz dana u dan sve je veća te svoju primjenu pronalazi u raznim kako industrijskim granama tako i u kućanstvu te svakodnevnom životu. Područja primjene polimernih materijala su odjeća, obuća, digitalna elektronika, kozmetika, medicina, igračke, boje i lakovi, dijelovi za automobile i zrakoplove te razne druge. Osnovna podjela sintetskih polimera je na organske i anorganske polimere.

Organski polimeri načinjeni su prvenstveno od lanca, uglavnom, ugljikovih atoma te se još nazivaju i ugljikovodici. Osnovna sirovina iz koje se dobivaju monomeri, a iz kojih se dalje sintetiziraju polimeri organskog je porijekla, a to je nafta [4].

Anorganski polimer su oni koji u svom osnovnom lancu ne sadrže ugljikove atome, a to su silikoni, polisilani, poligermani, polistanani. Jedan od najpoznatijih anorganskih polimera je silikonski kaučuk čiji se osnovni lanac temelji na silikonu i kisiku.

Reakcije polimerizacije mogu se podijeliti s obzirom na medij polimerizacije te s obzirom na mehanizam rasta lanca. Nadalje, medij polimerizacije može se podijeliti na homogene i heterogene. Kod homogenih postoje polimerizacije u masi te polimerizacije u otopini dok kod heterogenih imamo polimerizacije u masi, u otopini, u suspenziji, u emulziji, u plinskoj fazi te međupovršinske polikondenzacije. S obzirom na mehanizam rasta lanca postoje radikalske (lančane) i stupnjevite polimerizacije. Reakcijom polimera koji imaju dvije ili više vrste mera nastaju kopolimeri dok reakcijom istovrsnih mera nastaju homopolimeri.

Tablica 1. *Sirovine za dobivanje sintetskih polimera, područje primjene i postupci prerade[4]*

OSNOVNI IZVORI	MONOMERI	POLIMERI	PROIZVOD KRAJNJI	POSTUPCI
sirova nafta	propilen	PP	plastika	ekstruzija prešanje
	etilen	PE	guma/kaučuk	kalandiranje prešanje
prirodni plin	stiren	PS	vlakna	pređa vlakna
klor	vinil klorid	PVC	ljepila, boje i premazi	prevlačenje
dušik flor	cikloheksan	PA	celularni materijali	ekspandiranje pjenjenje

Nakon postupka polimerizacije dobivaju se polimerne tvari koje se kao takve vrlo rijetko koriste. Tokom procesa polimerizacije dodaju im se razni dodaci odnosno aditivi koji im na taj način znatno poboljšavaju jedno ili više svojstava te se tako dobivaju tehnički uporabljivi polimerni materijali. Takvi materijali imaju široku primjenu u različitim područjima te se prema tome, mogu podijeliti na plastiku, vlakna, gumu, premaze i boje, spužve, ljepila i ambalažu. Osnovna podjela je na poliplaste, elastomere te vlakna [1].

Plastični materijali su poliplasti odnosno plastične mase dijele se na termoplaste (plastomeri) i termosete (duromeri). Plastika se koristi za proizvodnju široke potrošnje kao ambalažni

materijal, u kućanstvu, u građevinarstu, u automobilskoj indstriji te za mnogo toga. Poliplasti mogu biti kristalni i amorfni te strukturno izgrađeni od linearnih ili razgranatih makromolekula. Termoplasti, odnosno plastomeri, topljivi su i mogu se višestruko taliti. Dakle, nakon što jednom nastanu mogu se kasnije prerađivati u krajnji produkt. Primjer takvih materijala su polietilen, polipropilen, polistiren, poli(vinili-klorid), poli(etilen-tereftalat) te se koriste najčešće za izradu ambalaže. Termoseti, odnosno duromeri, dobivaju se kondenzacijskom polimerizacijom. Dakle, istovremeno dolazi do polimerizacije i do formiranja krajnjeg produkta. Ovakva vrsta materijala naziva se još i termoaktivna plastična smola. Tijekom formiranja duromera dolazi do procesa umrežavanja, a takvi procesi su ireverzibilni što znači da, kada jednom nastane duromer, on se ne može više oblikovati, odnosno ne može se taliti niti topiti te zbog toga imaju povećanu čvrstoću. Primjer takvih materijala su poliesterske, poliakrilne, poliuretanske, polialkilne, epoksi i fenolne smole te se koriste najčešće za dobivanje boja, lakova, ljepila, plastike.

Materijali čija je osnovna karakteristika elastičnost nazivaju se elastomeri. Takvi materijali mogu podnijeti velike deformacije, a da ne dođe do pucanja te se nakon prestanka djelovanja sile vraćaju u svoj prvobitni oblik odnosno dolazi do potpunog oporavka materijala. Za njih je karakteristična povratna deformacija. U skupinu elastomera ubrajaju se kaučuci odnosno gume. Kaučuci su prirodne ili sintetske polimerne tvari koje se kemijskim reakcijama prevode u umrežene strukture niskog stupnja umreženosti i uz pogodne dodatke daju gumu ili elastomere [1]. Guma danas uglavnom predstavlja vulkanizirani kaučuk koji može biti prirodnog ili sintetskog porijekla. To je materijal koji je izvanredno žilav te se koristi u velikom temperaturnom području.

Vlakna mogu biti sintetskog ili prirodnog porijekla. Sintetska vlakna dobivaju se industrijskim putem dok prirodna vlakna već nastaju u vlaknastom obliku. Neka od sintetskih vlakana mogu biti poliesterska, poliakrilna, poliamidna, poliuretanska dok su prirodna vlakna svila, vuna, celuloza te celulozni derivati. Vlakna su polimeri čije su molekule lanci odnosno u potpunosti izravnate i poredane jedna do druge te povezane sekundarnim vezama koje im omogućavaju vezanje u pravilnom nizu. Mogu se presti u niti te koristiti za izradu tekstila. Zbog svoje strukture, imaju veliku vlačnu čvrstoću, ali malu tlačnu čvrstoću, to jest djelovanjem tlačne sile doći će do pucanja materijala. Najčešće se koriste kao tekstil za izradu odjeće, tepiha, filtara, membrana i industrijske tkanine.

Premazi i boje primjenjuju se kao završni sloj na raznim materijalima (drvo, metal, plastika te druge podloge). Premaz predstavlja površinski film na podlozi koji može imati zaštitnu ulogu

ili dekorativnu ulogu. Može biti zaštita od korozije, abrazije, starenja, sunca odnosno vanjskih utjecaja ili u dekorativne svrhe (sjaj ili mat, boja). Premazi se sastoje od nekoliko sastojaka, a to su: otapalo, vezivo (smola), pigment, aditivi, punila. Nakon što se premaz nanese na podlogu dolazi do stvaranja suhe i čvrste prevlake te se taj proces naziva sušenje koje može biti fizikalno i kemijsko.

Ljepila su polimeri koji imaju sposobnost povezivanja dva druga materijala. Prednost korištenja ljepila je što imaju sposobnost jednolike raspodjele naprezanja. Nanose se kao tekućina, a nakon toga podliježu procesu promjene faze i prelaze iz viskozne u krutu fazu.

2.2. POLIETILEN

Polietilen je jedan od najpoznatijih polimera te ujedno i jedan od prvih sintetiziranih polimera koji se prvi put javlja tridesetih godina prošlog stoljeća. Ima vrlo jednostavno strukturu (-$[CH_2\text{-}CH_2]_n$-) koja se sastoji od ponavljajućih CH_2 jedinica. Ovako jednostavna struktura omogućava polietilenu jednostavnu i laku kristalizaciju. Dobiva se polimerizacijom etilena, koji se dobiva rafinacijom nafte u petrokemijskoj industriji te ima široko područje primjene. Koristi se za izradu folija i vrećica, igračaka,različite amabalaže (boce za šampone) i mnoge druge proizvode. Osnovni polimerni lanac polietilena može sadržavati grane odnosno poprimiti ragranatu strukturu i tada se takav polietilen naziva polimer niske gustoće (LDPE, eng. low density polyethylene) ili može biti u potpunosti linearan pa se takav polietilen naziva polimer visoke gustoće (HDPE, eng. high density polyethylene).

$$CH_2{=}CH_2 \longrightarrow \text{-}CH_2\text{-}CH_2\text{- }CH_2\text{-}CH_2\text{- }CH_2\text{-}CH_2\text{-}$$

$\Downarrow$

Polimerizacija slobodnim radikalima

Ziegler-Natta polimerizacija

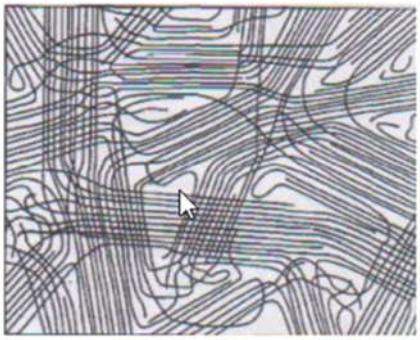
Metalocenska polimerizacija

$$CH_2{=}CH_2 \longrightarrow \text{-}[CH_2\text{-}CH_2]_n\text{-}$$

Slika 1. *Dobivanje polietilena - shematski prikaz*

2.2.1. Svojstva polietilena

Ima mnogo različitih karakteristika kao što je otpornost na velik broj kemijskih tvari. Pri sobnoj temperaturi nije topljiv, ali povišenjem temperature iznad 60 °C postaje topljiv u određenim ugljikovodičnim i kloriranim otapalima. Dugotrajno izlaganje polietilena određenim kemikalijama može dovesti do promjene fizikalnih, odnosno mehaničkih svojstava. Primjerice, organske tekućine i pare utječu na svojstva loma polietilena. Dolazi do takozvanog „loma u mediju“ što najviše dolazi do izražaja ukoliko je materijal podvrgnut naprezanju. Kod polietilena može doći do smanjenja molekulske mase i nastajanja umreženog polimera ukoliko je izložen UV zračenju jer dolazi do razgradnje te kemijske ili toplinske oksidacije. Polietilen dobiven komercijalnim putem sastoji se od amorfne i kristalne faze kako je prikazano na slici 2. Gustoća takvog polietilena u rasponu je od 0,910 do 0,980 gcm^{-3}. Jednostavni monokristalni polietilen, koji je dobiven iz otopine, ima gustoću 1,002 gcm^{-3} dok mu talište iznosi 143 °C



Slika 2. *Shematski prikaz rasporeda makromolekula u polietilenu [5]*

Polietilen pripada u skupinu žilavih materijala. Ukoliko dođe do povećanja njegove gustoće doći će i do promjene modula elastičnosti i prekidne čvrstoće, odnosno, oni će se linearno povećati te će tako utjecati na povećanje krutosti i tvrdoće površine dok će se udarna žilavost u ovisnoti u gustoći smanjivati. Izuzev same građe molekula, na svojstva polietilena utječe i molekulska masa te raspodjela čestica unutar makromolekule.

2.2.2. Vrste polietilena

Postoji nekoliko vrsta polietilena koje se prvenstveno razlikuju po svojoj strukturi, a samim tim i po svojstvima. Razlikuje se polietilen niske gustoće (LDPE), polietilen visoke gustoće

(HDPE), polietilen visoke gustoće i vrlo velikih molekulskih masa (UHMWPE) te linearni polietilen niske gustoće (LLDPE).

Tablica 2. *Tablični prikaz gustoće temeljnih vrsta polietilena*

Naziv	**Kratica**	**Gustoća (gcm^{-3})**
Polietilen visoke gustoće	HDPE	0,941-0,960
Polietilen niske gustoće	LDPE	0,910-0,925
Linerani polietilen niske gustoće	LLDPE	0,925-0,940
Polietilen vrlo velikih molekulskih masa	UHMWPE	0,930-0,935

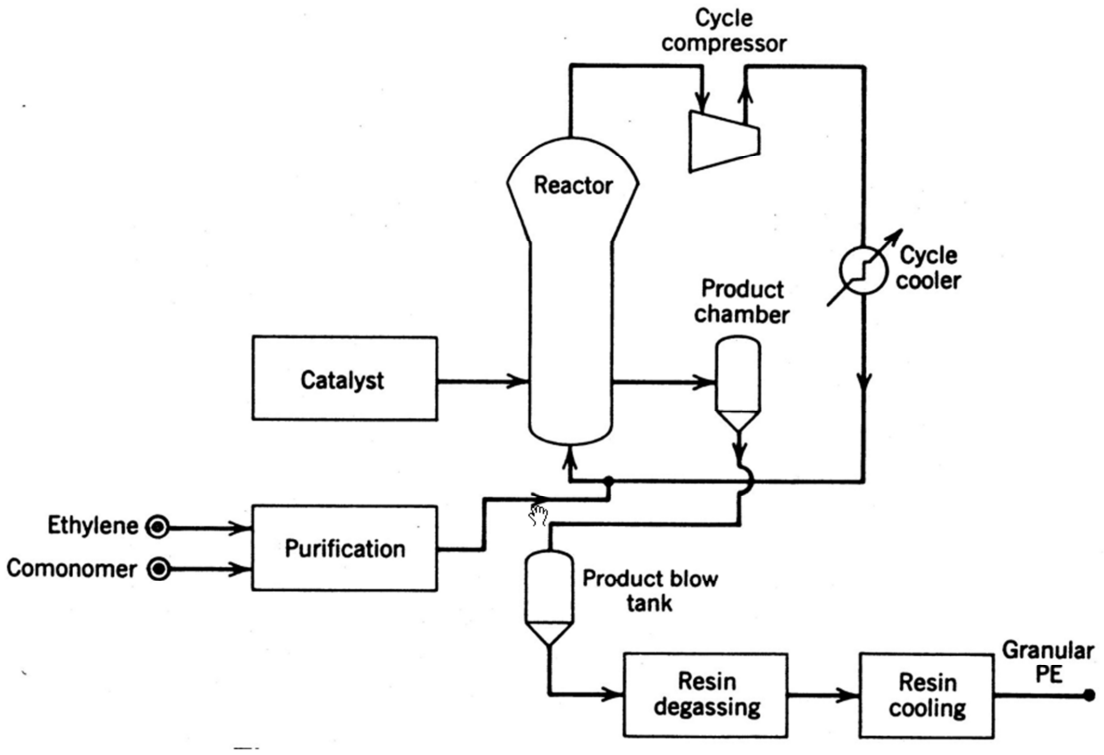
Polietilen niske gustoće (LDPE) ima i drugi naziv, koji je povezan sa samom strukturom, a to je razgranati polietilen. Nastaje najčešće radikalskom polimerizacijom etilena iz koje dobivamo linearni, ali razgranati lanac makromolekule. Izuzev lanačane polimerizacije, može se dobiti i Ziegler-Natta polimerizacijom.

Slika 3. *Struktura LDPE*

Postoji nekoliko načina dobivanja polietilena niske gustoće, a to su proces u otopinskoj fazi, slurry-fazni poliolefinski proces, niskotlačni proces, niskotlačni proces u plinskoj fazi te modificirani visokotlačni poliolefinski proces. Nakon što se određenim procesom dobije LDPE, on dalje ide na preradu. Prerađivati se može ekstrudiranjem ili injektivnim prešanjem.

Jedan od prvih načina dobivanja polietilena je niskotlačni proces u plinskoj fazi koji je osmišljen još 1957.godine. Proces se temelji na tome da se pročišćeni etilen kontinuirano dovodi u fluidizirani reaktor dok katalizator ide direktno u reaktor. Reakcijska smjesa miješa se pomoću plinske faze koja na taj način sprečava pregrijavanje odnosno odvodi toplinu. Krajnji produkt se dobiva u krutim granulama koje su svojom veličinom i oblikom vrlo jednostavne za daljnju proizvodnju te se lako odvajaju iz samog procesa zatim se skladište te pakiraju.

Polietilen niske gustoće najčešće se koristi za boce s pumpicom, za raznorazne cijevi, za priozvodnju raznih posuda odnosno spremnika, kao ambalaža te se najviše koristi za proizvodnju plastičnih vrećica.

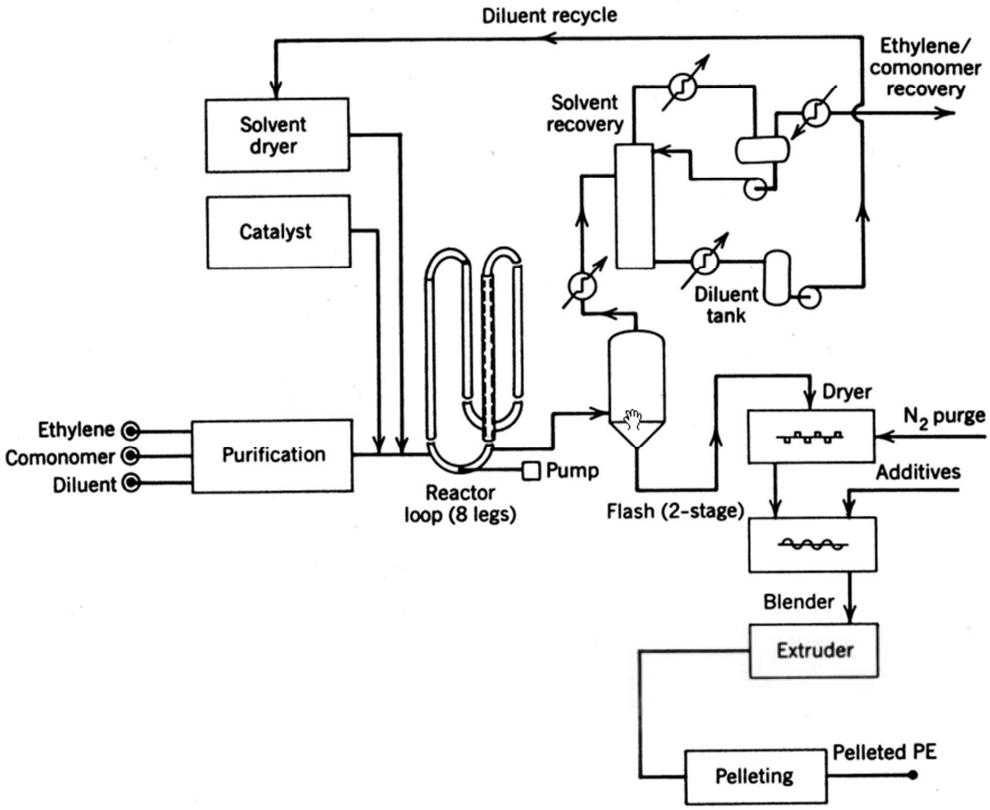


Slika 4. *Niskotlačni proces u plinskoj fazi [6]*

Polietilen visoke gustoće (HDPE) kao i polietilen niske gustoće ima drugi naziv, a to je linearni polietilen. Dobiva se Ziegler-Natta polimerizacijom uz nekoliko katalizatora ($TiCl_3$,$TiCl_4$,VCl_4,$VOCl_3$) koji se koriste u kombinaciji s kokatalizatorima ($TiCl_3$-$Al(C_2H_5)_2Cl$; $TiCl_4$-$Al(C_2H_5)_3$; VCl_4- $Al(C_2H_5)_3$; $VOCl_3$- $Al(C_2H_5)_3$). HDPE je linearne strukture makromolekula te ima znanto veći udio kristalne faze od amorfne faze, a samim tim i veću gustoću te veće talište. Veličina mase polietilena visoke gustoće varira od 200 000 do 500 000. Jedan od najstarijih procesa dobivanja linearnog polietilena je slurry fazni proces no postoji jos kao način dobivanja polimerizacija u otopini ili suspenziji te polimerizacija u plinskoj fazi. Načini prerade takvog polietilena su: ekstrudiranjem, injektivnim prešanjem te prešanje puhanjem. Polietilen visoke gustoće odlikuje se čvrstoćom, žilavošću te tvrdoćom, a najčešće se koristi kao ambalaža (boce za mlijeko, ulje, tekuće deterdžente), za proizvodnju igračaka i nekih plastičnih boca. HDPE ambalaža gotovo da ne ispušta nikakve kemikalije stoga je i najsigurnija za pakiranje prehrambenih proizvoda kao što je recimo voda ili mlijeko.

Slika 5. *Struktura HDPE*

Polietilen ultra visokih molekulskih masa (UHMWPE), čija je prosječna veličina molekulskih masa od 3 do 6 milijuna, koristi se za izradu vrlo jakih vlakana od koji se izrađuju neprobojni policijski prsluci, za izradu velikih čvrstih folija koje se mogu koristiti kao podloga za klizališta, za izradu raznoraznih čvrstih cijevi, medicinskih implantata te za razne prešane profile koji se upotrebljavaju kod rada strojeva. Ovakav polietilen dobiva se polimerizacijom s metalocentskim katalizatorima koji omogućavaju upravo sintezu polietilena visoke gustoće. Stvaraju se dugi linearni lanci koji se intermolekularno povezuju sekundarnim vezama (poput vlakana) stvarajući ultra čvrsti materijal koji je i do 15 puta otporniji na habanje od čelika. Načini tehnološkog dobivanja su: slurry-fazni proces te polimerizacija u masi ili otopini, a prerađuje se injektivnim prešanje, tlačnim prešanjem ili ram ekstrudiranjem.



Slika 6. *Niskotlačni, slurry-fazni poliolefinski proces [6]*

Linearni polietilen niske gustoće (LLDPE) dobiva se kopolimerizacijom vinilnog monomera etilena s jednim od alfa olefina (1-buten, 1-heksan, 1-oktan). Strukturno se dobiva sličan polimer kao i obični niske gustoće, ali puno pravilnije strukture s manjim bočnim granama, veće kristalnosti i uže raspodjele molekulskih masa. LLDPE odlikuje se povećanom žilavošću te se koristi za izradu filmova, ali zahtijeva više temperature na kojima se prerađuje stoga je i skuplji od običnog polietilena niske gustoće.

2.3. POLIMERNI OTPAD

U današnje vrijeme polimerni materijali se primjenjuju u različitim djelatnostima kao što su poljoprivreda (folije za prekrivanje plastenika), prehrambena industrija (ambalaža za pakiranje hrane i pića), građevina (izolacija u razne svrhe, konstrukcijski materijali), proizvodnja odjeće, medicinskih implantata, kozmetike, igračaka, namještaja te mnoge druge. Na temelju činjenice kako se polimerni materijali sve više danas koriste može se zaključiti da nastaje sve više polimernog otpada koji je potrebno zbrinuti. Pod pojmom polimerni otpad, misli se prvenstveno na plastiku, odnosno termosete i termoplaste, nakon toga i na gumu, elastomere, raznorazne polimerne mješavine i kompozite. Polimerni otpad može se zbrinuti na način da se ponovno upotrijebi, odnosno reciklira. Ukoliko se ponaša neodgovorno te se plastika nepropisno odlaže, dovodi se do trajnog oštećenja okoliša jer velika većina plastike nije biorazgradljiva stoga je potrebno tu plastiku pravilno zbrinuti kako bi se ne samo zaštitio okoliš, nego i doprinijelo ekonomskoj dobiti. Osim što recikliranje ima u cilju održivost u smislu smanjenja otpada, pridonosi i smanjenju uporabe neobnovljivih izvora, tj. nafte iz koje se dobivaju polazne komponente (monomeri) za sintezu polimera [7]. U slučaju da se neki plastični materijali ne mogu reciklirati onda ih se može kombinirati s nekim neplastičnim materijalima kako bi se dobio novi produkt (kompozit) uz prethodno pročišćavanje i kontrolu.

Polimerni materijali danas se uvelike upotrebljavaju za razne svrhe stoga su izvori polimernog otpada razni, recimo trgovina, industrija, kućanstvo, građevina te neki specijalni izvori polimernog otpada (medicinski i radioaktivni otpad). Polimerni industrijski otpad uključuje otpad iz polimernih radionica i tvornica te se uglavnom sastoji od: otpada nastalog proizvodnjom koji se stvara na stijenkama reaktora i u sušionicima, zatim su to talozi izdvojeni iz procesnih voda, off-grade proizvodi, ekstruzijskih nusprodukti, ostaci od filmova i plahti, podnog smeća i otpad od laboratorijskih ispitivanja [2]. Tvrtke koje se bave recikliranjem razvrstavaju otpad prema stanju i homogenosti. Uvijek postoji otpad koji je

teško ili neisplativo reciklirati odnosno razdvajati, a takav otpad dolazi iz tvornica kao što je laminat ili nekakvi slični kompoziti. Također postoji i otpad koji nije dobro ponovno taliti zbog svoje štetnosti ili ga nije ekonomično taliti. Otpad automobilske industrije je najčešće miješan zbog prisutnosti raznih onečišćenja pa ga je potrebno temeljito razdvojiti dok je otpad koji dolazi iz domaćinstava najčešće ambalažni plastični otpad. Pod građevinski otpad podrazumijevaju se podne i zidne izolacije, instalacije te vodovodne cijevi. Izuzev otpada koji nastaje nakon primjene određenog proizvoda, postoji također otpad koji nastaje tokom samog procesa proizvodnje.

2.3.1. Gospodarenje polimernim otpadom

Kada se govori o gospodarenju polimernim otpadom, tada se misli na brigu o otpadu, odnosno na razumno upravljanje cjelokupnim životnim tokom otpada od proizvodnje sirovine do prerade proizvoda. Kako bi se uspješno i kvalitetno gospodarilo otpadom, potrebna je pomoć države odnosno vlade i industrije koja se bavi recikliranjem kako bi se maksimalno pokušalo smanjiti količinu otpada. Postoji nekoliko osnovnih principa kod zaštite okoliša, a to su: izbjegavanje nastajanja otpada, smanjivanje nastajanja otpada, ponovna upotreba, recikliranje, energetski oporavak (spaljivanje) te odlaganje. Skraćeno, danas ovo nazivaju pravilo 3R; reduction (smanjenje), reuse (ponovna upotreba) i recycle (recikliranje). Nakon odlaganja otpada dolazi do zbrinjavanja istoga. Postupak zbrinjavanja sastoji se od nekoliko koraka: skupljanje, skladištenje, prijevoz, uvoz-izvoz, recikliranje, odlaganje te zatvaranje i saniranje odlagališta. Tehnološki procesi recikliranja su mehaničko i kemijsko recikliranje te energetski oporavak. Otpadni materijal ne može direktno ići na recikliranje. Prije samog procesa potrebno ga je pripremiti, a sama priprema uključuje nekoliko koraka:

a) predobrada plastike za recikliranje (pranje, sortiranje, sušenje)
b) recikliranje
c) odlaganje otpada nastalog recikliranjem

2.3.1.1. Predobrada plastike za recikliranje

Proces predobrade plastike za recikliranje sastoji se od prikupljanja, razdvajanja, pranja i usitnjavanja. Nije dobro samo prikupiti plastični otpad, nego ga je potrebno i razdvojiti jer se ne mogu sve plastične mase jednako reciklirati zbog prisutnosti raznih onečišćenja. Recimo

sadržaj unutar određene ambalaže može biti različitog kemijskog sastava, odnosno neki se mogu isprati samo vodom ili vodenim otopinama dok se neki moraju prati organskim otapalima ili nekom drugom vrstom otapala pa se takva ambalaža ne može skupa reciklirati.

Prikupljanje i razdvajanje

Kako bi se reciklirao polimerni otpad, potrebno ga je prvo skupiti, a to se najuspješnije radi na samom mjestu nastanka tog plastičnog otpada. Tako prikupljeni polimerni otpad sadrži različite vrste plastičnih materijala koje se ne mogu skupa reciklirati stoga ih je potrebno razdvojiti te je sam proces razdvajanja osnova polimernog recikliranja. Danas postoje reciklažna dvorišta, unutar kojih se nalaze posebni spremnici za prikupljanje različitih vrsta polimernih materijala odnosno polimernog otpada, a to su spremnici za polietilen, polistiren, poli(vinil-klorid) te na javnim površinama možemo vidjeti spremnike za poli(etilen-tereftalat). Reciklirani plastični otpad može se dalje koristiti kao sirovina za proizvodnju ili istih primarnih proizvoda ili za sasvim nešto drugo.

Na svakoj plastičnoj ambalaži postoje brojčane oznake i oznake vrste plastičnog materijala od kojeg je izrađena. Brojčana oznaka 01 predstavlja PET ambalažu, 02 PE-HD ambalažu, 03 PVC ambalažu i tako redom do 07 koja označava sve ostale vrste. Izuzev brojčanih oznaka i oznaka vrste plastičnog materijala, na ambalaži se mogu pronaći i simboli koji najčešće prikazuju da se materijal može reciklirati ili da je manje štetan.

a) simbol za recikliranje

b) simbol za recikliranje

c) međunarodni simbol za recikliranje

d) Zelena točka- Jamstvo prikupljanja te ponovne upotrebe ili recikliranja

Slika 7. *Prikaz nekoliko simobola koje se najčešće pronalaze na ambalaži*

Kada se govori o razdvajanju polimernog otpada koji je osnova procesa recikliranja; tada se misli na ručno razdvajanje ili automatizirano. Najčešće korištena svojstva odvojene plastike su gustoća, izgled (veličina i oblik), boja, topljivost, ponašanje pri niskoj temperaturi, magnetizam, elektrostatički naboj i svojstva protoka taline [8].

Ručno razdvajanje zahtijeva operatora koje će vizualnom identifikacijom na temelju brojčanih oznaka ili oznaka vrste materijala zaključiti o kojoj se vrsti materijala radi te na taj način ih razdvojiti. Ovaj način danas možda i nije toliko prihvatljiv jer ručno razdvajanje zahtijeva laboratorijsku kontrolu i to nije isplativo. Razvojom industrije razvile su se i nove mogućnosti razdvajanja polimernog otpada. Tako se nakon ovog ručnog dolazi do poluautomatiziranog sustava koji još uvijek zahtijeva operatera, ali u nešto manjoj mjeri. Operater je taj koji nosi posebno polarizirane zaštitne naočale te odvaja zagađene polimere. Napretkom tehnologije dolazi se i do razdvajanja polimernog otpada pomoću senzora odnosno automatiziranog razdvajanja. Senzori su ti koji prepoznaju svojstva polimera te ih na taj način razdvajaju. Govoreći o automatiziranom razdvajanju misli se na razdvajanje na temelju svojstva polimera gdje senzori razlikuju fizikalna svojstva, kemijska svojstva, optička svojstva, svjetlosna svojstva te električna svojstva. Svaki automatizirani sustav ima transporter koji je opremljen senzorom koji analizira materijale koji se unose u sustav. Informacije iz analize šalju se na računalo gdje postoji sustav koji određuje kako će se materijal razvrstati [8].

Pranje polimernog otpada

Nakon prikupljanja i razvrstavanja slijedi proces pranja polimernog otpada kojim se žele ukloniti zaostale nečistoće od upotrebe, zaostala ljepila, naljepnice ili raznorazni papiri. Najčešće se polimerni otpad pere u vodenim otopina no ako zaostale nečistoće sadrže neke tvari koje nisu topljive u vodi tada se dodaju lužine.

Usitnjavanje polimernog otpada

Polimerni otpad se usitnjava zbog lakšeg transporta te lakšeg punjenja reciklažnog dvorišta ili spreminka, no izuzetno je važno i kod recikliranja naročito mehaničkog, a zatim i kemijskog te procesa spaljivanja.

Usitnjavanje se radi mehaničkim postupokom mrvljenja i granuliranja, zgušćivanja i zbijanja te mljevenja u prah. Ovim pustupkom omogućuje se također i odstranjivanje ostalih materijala s proizvoda. Nije nužno uvijek usitnjavati, ali uglavnom se ovaj postupak provodi.

2.3.1.2. Recikliranje polimernih materijala

Recikliranje polimernog otpada način je na koji se mogu smanjiti ekološki problemi koji uzrokuju nakupljanje plastičnog otpada iz dana u dan. Na ovaj se način štiti priroda, smanjuje količina otpada, reducira upotreba prirodnih resursa te povećava ekonomska dobit. Ukoliko je

za postupak recikliranja potrebno više sredstava nego za primarnu proizvodnju, tada to nije isplativo. Ovim postupkom želi se vratiti materijal u ponovnu upotrebu odnosno recikliranjem se želi dobiti monomer, sirovina koja će se koristiti za proizvodnju novih proizvoda.
Obradom polimernog materijala uvijek može doći do neželjenih degradacijskih procesa kao što su toplinska degradacija, razne oksidacije, nastajanje nusprodukata i slično stoga je potrebno nakon recikliranja odrediti fizikalno-mehanička svojstva kako bi se odredilo područje primjene tako dobivene sirovine.
Polimerni otpad ima svoje i prednosti i nedostatke. Prednosti su da je pogodan za recikliranje, a nedostaci da volumno zauzima velike površine te se ne uklapa u prirodne tokove.

Postupci recikliranja polimernog otpada su:

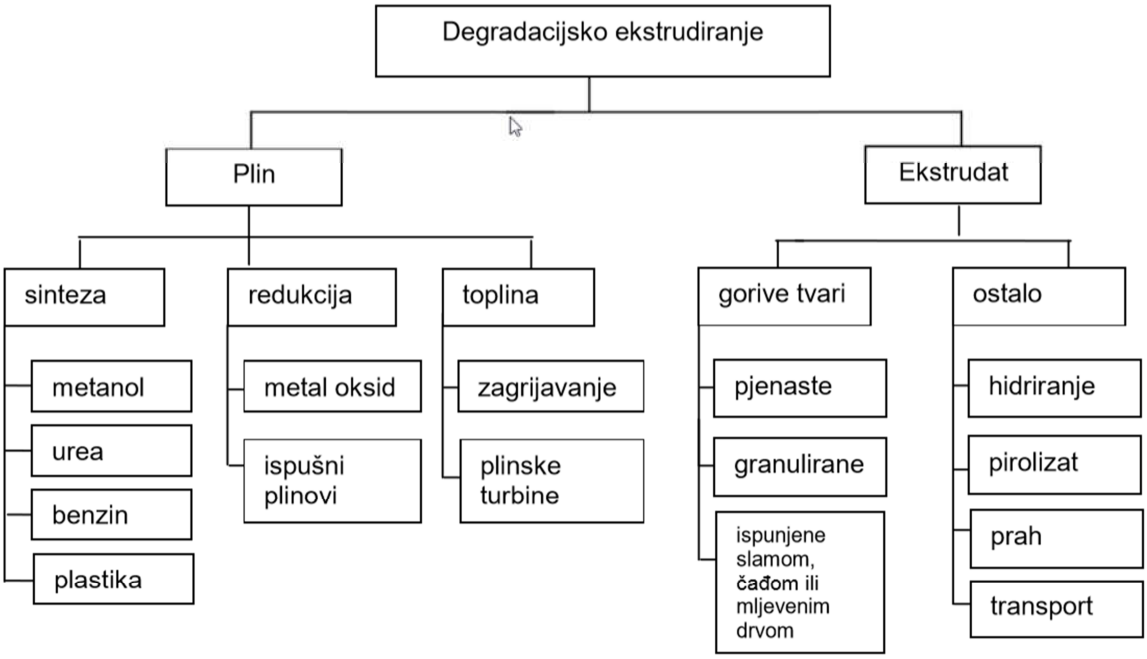
a) Mehaničko recikliranje
b) Kemijsko recikliranje
c) Energetski oporavak
d) Biorazgradnja
e) Oporavak polimera u otopini

Mehaničko recikliranje

Mehaničko recikliranje temelji se na preradi polimera u taljevini, ekstrudiranjem ili injektiranjem. Jedan je od najjednostavnijih načina recikliranja polimernog otpada. Dijeli se na primarno i sekundarno recikliranje. Primarno recikliranje podrazumijeva proces prerade čistog plastičnog otpada odnosno otpada s proizvodne linije zbog ponovne upotrebe. Sekundarno recikliranje temelji se na procesu prerade već korištenog polimernog materijala odnosno oporavak polimernog otpada nakon uporabe. Nakon određenog vremena plastični materijali gube svoja svojstva sama po sebi stoga je ovaj postupak nešto malo kompliciraniji od primarnog recikliranja. Jedna od stavki je nekompatibilnost polimernih materijala te se zbog toga moraju dodavati određene primjese odnosno neki treći polimer ili drugi materijal kako bi se postigla kompatibilnost.
Recikliranje otpada može se podijeliti još na homogeno i heterogeno. Kada se govori o homogenom, tada se misli na recikliranje samo jedne vrste plastičnog materijala dok se kod heterogenog recikliranja podrazumijeva više različitih polimera za dobivanje nove sirovine.

Kemijsko recikliranje

Kemijski oporavak predstavlja ponovno dobivanje polazne sirovine koja se onda dalje koristi za proizvodnju. Sama riječ kemijski podrazumijeva da tokom ovog postupka recikliranja dolazi do nekakvih kemijskih reakcija odnosno promjena pa tako ovdje dolazi do promjene u strukturi, promjene oblika te funkcije primarnog proizvoda. Kako bi se plastični otpad kemijski reciklirao prije toga se mora pripremiti, a jedan od načina pripreme je i degradacijsko ekstrudiranje.



Slika 8. *Primjena degradacijskog ekstrudiranja tijekom recikliranja [2]*

Energetski oporavak

Spaljivanjem polimernog otpada dobiva se energija koja se može koristiti. Danas je ovo jedan od najčešćih i najučinkovitijih načina zbrinjavanja polimernog otpada u svijetu, odnosno europskim zemljama. Na ovaj način mogu se zaštiti prirodni neobnovljivi resursi.

Spalionica smeća u Dublinu pod nazivom Dublin Waste to Energy napravljena je kako bi se zbrinuo komunalni otpad. Tvornica je dizajnirana za spaljivanje 600 000 tona smeća godišnje od kojeg je iskorištenje istoga gotovo sto posto. Ovakvim načinom zbrinjavanja otpada dobiva se električna energija koju koriste kućanstva (otprilike za 80 000 domova) te toplinska energija za grijanje otprilike 50 000 kućanstava. Ostaci spaljivanja kao što su pepeo te neizgoreni metal također se mogu naknadno iskoristiti (pepeo u proizvodnji cementa i asfalta

te metal koji se ponovno prodaje ili tali za novi proizvod). Zbog dobrih sustava pročišćavanja dimnih plinova, ovakav proces ne šteti okolišu nego doprinosi očuvanju istog.

Slika 9. *Postrojenje za zbrinjavanje otpada u Dublinu [9]*

Biorazgradnja

Danas se teži tome da većina materijala postane biorazgradljiva jer je i to jedan od načina sprečavanja nagomilavanja polimernog otpada te zaštite okoliša. Kako bi se postigla biorazgradljivost plastike koja sama po sebi nije takva, ona se miješa s raznim punilima ili se u nju ugrađuju tvari koje potiču biorazgradnju.

Oporavak polimera u otopini

Ovo je proces razdvajanja miješanog polimernog otpada u otapalu kod kojeg se želi razgraditi otpad, ali isto tako i odvojiti čisto otapalo nakon samog procesa. S obzirom na otapalo, postoje dva procesa vođenja, a to su stimulativna otapala te selektivna otapala. Simulativna otapala; događa se postepeno odvajanje polimernog otpada u otapalu i prednost ovakvog načina je što se istovremeno može otapati više polimera. Selektivna otapala-sama riječ selektivna govori da samo određeno otapalo može izvdojiti i otopiti određeni polimer. Prednost ovakvog načina je što se može odijeliti točno određeni polimerni materijal.

2.3.1.3. Odlaganje polimernog otpada

Ovakav način zbrinjavanja otpada na odlagalištima ne predstavlja ekološku štetu jer je neutralan i pridonosi stabilnosti odlagališta, ali dolazi do brzog zakrčivanja odlagališta. Odlaganje je jedan od najstarijih i najraširenijih načina zbrinjavanja polimernog otpada iako

nije poželjan. U Hrvatskoj je još uvijek jedan od najčešćih slučajeva jer stanovništvo nema toliko razvijenu svijest o razvrstavanju otpada dok je u razvijenijim zemljama to drugačije.

2.3.2. Recikliranje polietilena

Polietilen je jedan od najčešće korištenih polimera za izradu amabalaže, folija i vrećica, igračaka te mnogo toga. Što je veća upotreba određenog materijala, to znači da je sve više i tog istog, ali otpadnog materijala. Otpadni polietilen ima najveći udio u komunalnom otpadu, stoga se danas sve više radi na tome da se takva plastika učinkovito skupi kako bi se reciklirala. Prema tome, u razvijenim zemljama postoje sustavi koji se primjenjuju za sakupljanje ambalažnog otpada, a to je sakupljanje unutar kućanstva, kontejneri na određenim lokacijama ili sustav depozita. Unutar kućanstva može se odvojiti otpad koji je pogodan za neku vrstu recikliranja te tako doprinijeti cijelom sustavu jednog takvog procesa. Kontejneri podrazumijevaju također skupljanje po kućanstvima te zatim odnošenje do mjesta gdje su smješteni kontejneri.

2.3.2.1. Priprema polietilena za recikliranje

Kako bi se upotrijebljena ambalaža uspješno sakupila potrebno je osigurati mjesta za prikupljanje. Izuzev lokacija za sakupljanje ambalaže ljudi moraju biti educirani na koji način pravilno odvajati otpad. Pravilno prepoznavanje i odvajanje različitih recikliranih plastičnih materijala jednih od drugih, tako da se pravilno obrađuju, zahtijeva velik trud. Samo razdvajanje se može odvijati na licu mjesta prikupljanja. Pored odjeljivanja polietilenskih predmeta od druge plastike, potrebno je razdvojiti različite tipove (gustoće) polietilena kao i predmeta koji su kopolimerizirani s drugim vrstama plastike [10]. Nažalost, to je često teško napraviti bez složenih kemijskih analiza. U današnje vrijeme, razvijena tehnologija olakšava procese sakupljanja i sortiranja ambalaže. Primjenom x-zraka i infracrvenog svjetla ubrzava se proces razdvajanja te se smanjuju troškovi i do 25 %.

Jedan od načina prepoznavnja različitih materijala je FT-NIR metodom (Fourier transform near-infrared spectroscopy). Ovakav način pokazao se vrlo učinkovit jer dolazi do brzog prepoznavanja širokog raspona materijala bez uzimanja uzorka. Izvedivost ove tehnike dokazana je analizama gustoće polietilena.

Nakon procesa sakupljanja i sortiranja, ambalažni materijal se transportira do postrojenja za recikliranje. Zbog svog velikog volumena koji zauzima, ambalažni se materijal zbog jednostavnosti transporta preša u bale. Dolaskom u postrojenje za recikliranje bale se usitnjavaju te peru kako bi se postigla što veća čistoća krajnje sirovine. Daljnjim procesom sirovina se pretvara u granule koje se zatim ponovno upotrebljavaju za nastanak novih proizvoda.

2.3.2.2. Postupci recikliranja polietilena

Recikliranja polietilena razlikuju se ovisno o vrsti polietilenskog otpada odnosno ovisno da li se radi o HDPE bocama, LDPE folijama ili nekom drugom PE materijalu. HDPE boce pripremaju se na klasičan način za proces prerade, dakle skupljanje, sortiranje, usitnjavanje te pranje. Boce se razvrstavaju magnetskim separacijskim procesom (MSP) [2]. Takav proces koristi tri vrste senozora: infracrveni, rendgenski i prema boji, koji ih razvrstavaju u četiri tipa, a to su: bezbojne HDPE boce, obojene HDPE boce, neobojeni i zeleni PET, neobojeni PVC. Postupak recikliranja LDPE folija danas se još uvijek istražuje jer je najčešće primjenjiva metoda spaljivanja folija postala ekološki neprihvatljiva.

3. METODIKA

U ovom je radu dan pregled o procesima recikliranja polietilena odnosno polietilenskog otpada. Opisani su postupci recikliranja polietilenskih materijala točnije polietilena visoke gustoće te polietilena niske gustoće. Proizvodi izrađeni od HDPE-a (kao što su boce za sokove i mlijeko, spremici za ulja i motorna goriva, veliki spremnici za smeće(kontejneri), boce za omekšivače te slično) recikliraju se u principu na klasičan način, uz prikupljanje, odvajanje, pranje, usitnjavanje te recikliranje. Kada je riječ o recikliranju LDPE proizvoda; tada se najčešće misli na recikliranje LDPE rastezljivih folija koje se koriste za fiksiranje tereta na paletama, a iz kojih se najčešće proizvode i vreće za smeće.

4.REZULTATI I RASPRAVA

4.1. NASTANAK I IZVORI POLIMERNOG OTPADA

Plastika u svojim različitim formama ima veliku ulogu u svakodnevnom životu suvremenog društva stoga je neizbježna [11]. Polimerni materijali koriste se u raznim djelatnostima stoga se kao otpad javljaju u velikim količinama. Takav otpad najčešće dolazi iz industrije, trgovine, poljoprivrede, građevinarstva te domaćinstava, ali postoje i posebni slučajevi radioaktivnog i medicinskog otpada. Kada se govori o industrijskom otpadu, tada se misli na otpad nastao tokom procesa proizvodnje (to mogu biti razni talozi, otpad koji nastaje tokom proizvodnje ili ostaci materijala koji se koristio). Veliki dio takvog otpada reciklira se na mjestu nastanka. Izuzev industrijskog otpada postoji i otpad nastao u kućanstvima. To je razni ambalažni otpad kao što su boce raznih tekućina (sok, mlijeko, voda, ulje...), vrećice, folije. Polimerni otpad u građevinarstvu su razni izolacijski predmeti kao stiropor, okviri prozora, vrata ili izolacija za električne vodove žica, vodovodne cijevi te drugi. Kada se govori o poljoprivrednom polimernom otpadu, tada se misli na folije koje prekrivaju staklenike ili zemljane površine radi zaštite. Svakom proizvodnjom dolazi do nastajanja otpada tijekom same proizvodnje ili se događa nastajanje otpada nakon korištenja proizvoda. U svakom slučaju, plastika kao materijal daje širok spektar mogućnosti korištenja, no nije sporno da plastika ima svoje negativne strane. Trajnost plastike i otpornost na biorazgradnju predstavlja veliku opasnost okolišu. U cilju zaštite okoliša i ekonomske dobiti, potrebno je polimerni otpad zbrinuti što je ujedno i najveći problem s plastičnim otpadom. Kako je najčešći polimerni materijal polietilen, tako je i najveći izazov današnjice pravilno zbrinjavanje polietilenskog otpada, no, na svu sreću, postoje načini kako reciklirati polietilen te tako smanjiti štetnost za okoliš.

4.2. OTPADNI POLIETILEN

Postoje različiti tipovi polietilena, no dva najčešća su polietilen niske gustoće i polietilen visoke gustoće. LDPE i HDPE su vrlo slični. Oba materijala su otporna na grebanje, prikladna za pohranu hrane i pića, no na sreću za okoliš, oba materijala se mogu potpuno reciklirati. Bez obzira na njihova imena (niske i visoke gustoće), ova dva materijala su u principu vrlo sličnih gustoća. Međutim, s obzirom na molekulsku strukturu, HDPE ima znatno veću vlačnu čvrstoću i krutost od LDPE-a. Polietilen visoke gustoće također pruža vrhunsku otpornost na

toplinu i kemikalije, osim toga, manje je proziran od LDPE-a. Izuzev dobrih karakteristika HDPE-a, i LDPE ima svoje dobre strane. U hladnoj okolini zadržava svoju savitljivost te također pruža bolju otpornost na udar. Fleksibilnost LDPE, u kombinaciji s kemijskom otpornošću, čini ga korisnim u mnogo slučajeva. Veliki broj komercijalnih proizvoda izrađen je od polietilena niske gustoće. Čvršći i jači od LDPE je polietilen visoke gustoće koji se češće koristi. Njegova relativna neprozirnost čini ga idealnim za mnoge vrste kontejnera. U tablici 3 prikazano je nekoliko vrsta proizvoda koji se najčešće izrađuju od LDPE-a i HDPE-a.

Tablica 3. *Primjena polietilena niske gustoće (LDPE) i visoke gustoće (HDPE)*

Proizvodi od LDPE	Proizvodi od HDPE
Plastične pumpice	Dijelovi za automobile
Proteze	Spremnici za ulja
Vrećice za namirnice	Tetrapak za mlijeko
Vrećice za kruh	Igračke
Vrećice za novine	Boce za kiseline
Pakiranja za pastu	Cijevi
Posude za sladoled	Spremnici za goriva
Pladnjevi	Kućišta ventila

Problemi recikliranja

Količine plastičnog otpada iz dana u dan sve su veće. Procjena je da se u Americi u jednom satu iskoristi oko 2 milijuna plastičnih boca, a sav taj otpad ne reciklira se odmah. Toliko velike količine polimernog otpada predstavljaju prijetnju okolišu. LDPE i HDPE čine veliku većinu plastičnog otpada te kao vrlo izdržljiv i nerazgradljiv materijal mogu imati jako loš utjecaj ukoliko se ne poduzmu mjere za njegovo zbrinjavanje i recikliranje.

Izuzev zaštite okoliša, postoji također niz prednosti koje donosi recikliranje proizvoda izrađenih od polietilena niske i visoke gustoće:

- tokom proizvodnje produkata izrađenih od polietilena dodatkom recikliranog LDPE-a ili HDPE-a mogu se smanjiti troškove proizvodnje
- recikliranjem se smanjuju troškove odlaganja otpada
- iz recikliranog LDPE-a i HDPE-a može se dobiti mnogo produkata koji su samim tim i znatno jeftiniji

4.3. PRIPREMA OTPADNOG POLIETILENA ZA RECIKLIRANJE

Sama priprema u principu je vrlo slična općenitoj pripremi plastičnog otpada. Na početku procesa prikuplja se plastični otpada te se nakon toga razdvaja otpad načinjen od polietilena. Razdvajati se može ručno ili automatizirano, ručno pomoću brojčanih oznaka ili oznaka kratica imena te automatizirano pomoću senzora. Zbog velikog volumena koji ambalaža zauzima, najčešće je se zbija u veće pakete radi lakšeg transporta do mjesta recikliranja. Na ovaj način se pripremaju za recikliranje iskorištene boce mlijeka. Većina ambalažnog otpada koji ide na recikliranje na sebi ima čepove koji čine jednu desetinu ukupne težine; oni se ne moraju odvajati, nego se mogu skupa reciklirati. Ukoliko je unutar boca zaostalo sadržaja, on se može ukloniti pranjem, no prije pranja praksa je da se ti zbijeni paketi lome odnosno usitnjavaju te zatim peru zaostale nečistoće i spremaju na proces recikliranja.
Postupkom recikliranja dobiva se nova sirovina koja se zatim suši i miješa u ekstruderu. Jedna od vizualnih karakteristika recikliranog polietilena visoke gustoće je maslinasto zelena boja, a najčešći uzroku tomu su neodvojeni čepovi. Ukoliko se ne želi takva boja, čepovi se mogu odvajati ručno, što je vrlo naporno, ili automatizirano što je danas vrlo često.

4.4. POSTUPCI RECIKLIRANJA POLIETILENA

Recikliranje proizvoda izrađenih od polietilena visoke gustoće (HDPE)

Polietilen visoke gustoće polimer je s vrlo fleksibilnim svojstvima što ga čini idealnim za široku primjenu. Kao što mu i samo ime govori, ima veću gustoću od LDPE-a te je linearan polimer odnosno nema grananja što može biti nedostatak u ovom slučaju jer to utječe na njegovu čvrstoću. Također ima i mnogo prednosti kao što je velika tvrdoća i otpornost na razne utjecaje te se može podvrgnuti temperaturi do 120 °C, a da pri tome ne dođe do promjene. HDPE je prepoznatljiv po svom neprozirnom ili translucentnom izgledu [12].
Ova svojstva čine ga idealnim za razne kontejnere, a HDPE se prvenstveno koristi kao ambalaža za mlijeko, kao i za proizvodnju plastičnog posuđa, boca za šampon, boca za izbjeljivanje i boca motornog ulja. Također, HDPE ne apsorbira tekućinu lako stoga čini dobar materijal za zaštitu tekućih spremnika. Gotovo trećina (oko osam milijuna tona) HDPE polimera proizvedenog diljem svijeta koristi se u ove svrhe. Nadalje polietilen visoke gustoće iznimno je otporan materijal za mnoge kemikalije kao što su kiseline, lužine, alkoholi, aldehidi, esteri i ulja, stoga se često koristi u zdravstvenim i laboratorijskim okruženjima.

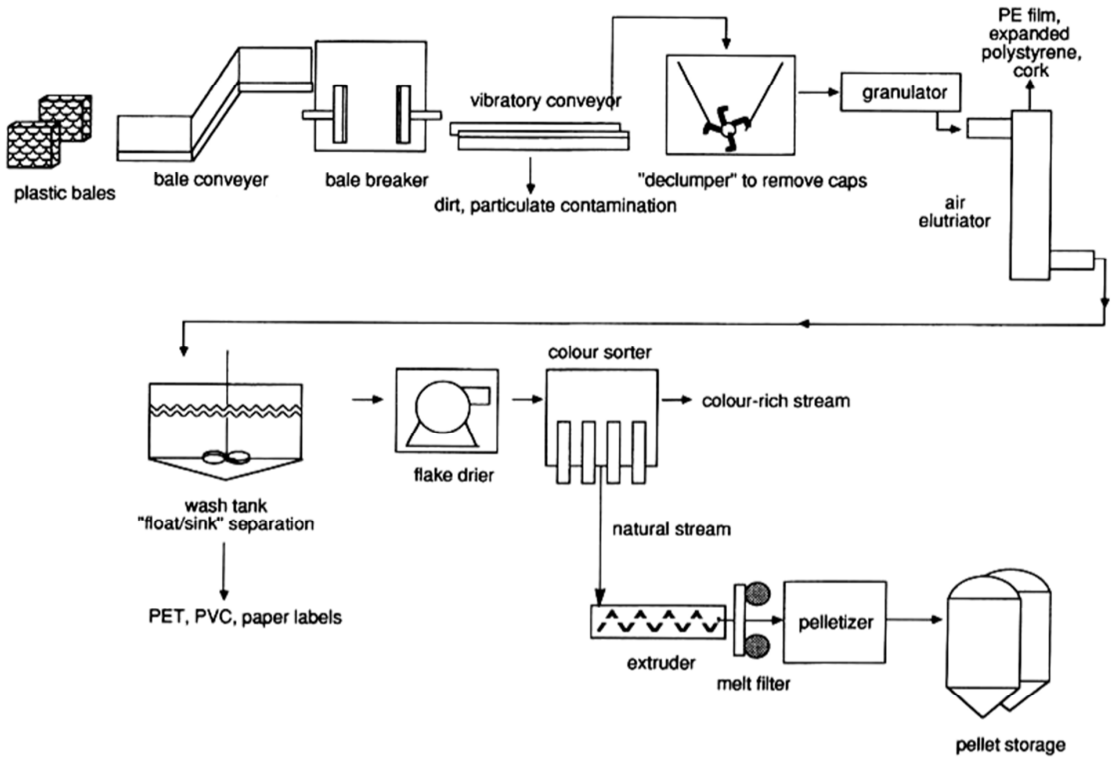
HDPE je jedan od najjednostavnijih polimera koji se recikliraju. Na početku procesa, plastika se razvrstava i čisti kako bi se uklonio sav neželjeni otpad. Ukoliko nije tako, dolazi do onečišćenja krajnje sirovine. Potom se usitni i rastopi kako bi se polimer dodatno pročistio. Plastična masa se zatim ohladi u granule koje se mogu koristiti u daljnjoj proizvodnji.

HDPE boce

Najčešći proizvodi izrađeni od polimera visoke gustoće koji se recikliraju su boce za mlijeko i sokove te boce za deterdžente i šampone izrađene od HDPE ili kopolimera. Reciklirani HDPE dobiven od boca mlijeka i sokova vrlo je dobar jer je bezbojan i omogućava dobivanje kvalitetnog reciklirani HDPE [13]. Sam proces recikliranja je takav da boce najčešće dolaze u postrojenja u obliku zbijenih „lopti“ koje se sastoje samo od proizvoda polimera visoke gustoće dakle sortirane su. Većina ih sadrži čepove koji čine otprilike 10 % ukupne mase pa se smatra da se mogu reciklirati. Također mogu sadržavati i ostatke mlijeka ili soka te se to uklanja pranjem. Unutar ovih zbijenih pakiranja HDPE-a mogu se naći boce raznih deterdženata koje su također HDPE, ali kopolimer i najčešće su obojene stoga ih je bolje reciklirati posebno.

Proces recikliranja HDPE boca uglavnom se vrši prema donjoj shemi na slici 10. Općeniti proces je da se zbijeni paketi lome (bale breaker) zatim granuliraju u pahuljice te ispiru kako bi se uklonile sitne mrlje i zagađeni plastični filmovi. Ispiru se kako bi se uklonili ostaci mlijeka, naljepnica i adheziva. Oprane granule tada dospijevaju u plutati/potonuti (eng. float/sink) spremnike gdje se odvaja PET i PVC ambalaža na način da tone na dno spremnika. U ovom koraku sve što ostaje plutati, može biti i zagađeno. Izuzev HDPE-a, tu se mogu naći i ekspandirani polistiren ili polipropilen. Ovako dobivena sirovina se zatim suši i miješa u ekstruderu.

U većini slučajeva boja recikliranog HDPE je zelenkasta (maslinasta) kao posljedica zaostalih čepova na bocama mlijeka koje ne razdvajamo. Čepove je teško odvojiti tokom procesa plutati/potonuti razdvajanja jer su također izrađeni od HDPE-a. U zadnje vrijeme, postoji način da se ti čepovi automatski odvoje koristeći vrste separatora na temelju boje (colour sorter). Separatori na temelju boje vrlo su skupa opcija jer se temelje na elektroničkim optičkim skenerima koji se kombiniraju s visokotlačnim zračnim mlaznicama za selektivno uklanjanje obojenih dijelova iz recikliranog materijala [13].



Slika 10 *Shema procesa za recikliranje HDPE boca [13]*

Svojstva recikliranog HDPE-a

Prednosti recikliranog HDPE-a dobivenog od boca mlijeka i soka su sljedeće:

- njihova visoka prepoznatljivost (jednostavno razdvajanje) i velika dostupnost
- reciklirani HDPE ima jednak MFR i gustoću bez obzira na broj ponovnih postupaka recikliranja.
- recikliranje HDPE boca od mlijeka daje neobojenu sirovinu [14]

Nadalje, krajnja reciklirana sirovina ima u osnovi ista reološka svojstva kao i primarna sirovina, budući da ne dolazi do nikakve značajne termičke razgradnje tijekom recikliranja.

Postoje i prepreke kojima se ograničava široka upotreba ovakvih proizvoda:

- reciklirana sirovina je materijal prilagođen za izradu boca za mlijeko i sokove procesom puhanja
- povremena varijacija boja zbog čepova i boca šampona čini ga neprikladnim za svijetlo pigmentirane primjene

Primjena recikliranog HDPE-a

Reciklirani HDPE, koji se dobije iz upotrijebljenih boca za mlijeko, koristi se za izradu boca za motorna ulja, vrećice, cijevi za odvod, držače opranog suđa, palete, vrećice za smeće, kante za smeće i sl [14].

Veliki spremnici

Ispitane su različite polimerne mješavine recikliranog i primarnog polietilena kako bi se zadovoljili uvjeti mehaničke izvedbe i oblikovanja predmeta u kućanstvu izrađenih od recikliranog polietilena. Reciklirana sirovina ne bi trebala pokazivati značajno smanjena svojstva vlačne čvrstoće u usporedbi s primarnom sirovinom. Također, ne bi trebala imati veću viskoznost od primarnog materijala.
Mobilni spremnici za smeće trenutno su jedan od najuspješnijih proizvoda izrađenih od recikliranog HDPE-a.

Slika 11. *Kanta za smeće 120L-proizvod tvrtke Halko d.o.o. [15]*

Boce dobivene puhanjem

HDPE boce dobivene puhanjem koriste se za kućnu upotrebu i industrijske kemikalije kao što su boce za šampone, izbjeljivače, deterdžente i tekuće sapune te čine najveću primjenu recikliranog polietilena visoke gustoće. Prva tvornica koja je predstavila proizvode od 100 % recikliranog HDPE-a bila je Procter and Gamble u Americi, a to je bila boca za omekšivač

(slika 12). Većina HDPE boca za deterdžente sadrži reciklirani HDPE kao srednji sloj između dva sloja čistog polietilena [14]. Čisti polietilen koji se nalazi s unutarnje i vanjske strane boce je obojen i izdržljiv. Boce za motorna ulja idealno je raditi od recikliranog polietilena visoke gustoće jer su najčešće sive pa zahtijevaju nizak stupanj čistoće.

Slika 12. *Boca za omekšivač od recikliranog polietilena (Ultra Downy® April Fresh™)[16]*

Višeslojni spremnici izrađeni od recikliranog HDPE

Vrlo je važno od kakvog je materijala izrađena ambalaža za pakiranje hrane stoga se ne može u bilo kakv reciklirani proizvod pakirati hrana. Ambalaža mora biti čista, neotrovna, ne smije se s vremenom razgrađivati ili otpuštati otrovne tvari i slično.
Postoji kriterij za recikliranu HDPE ambalažu koja se koristi za pakiranje hrane,a to je ocjena DMDS-1200 NTP koja se koristi kod višeslojne izrade proizvoda za pakiranje hrane gdje je onaj prvi sloj koji je u kontaktu s hranom čisti, odnosno primarni polietilen visoke gustoće. Najčešće se ovakvi proizvodi koriste za pakiranje proizvoda za osobnu njegu kao što su losioni za tijelo, kreme i šamponi. Ovakvi proizvodi često nisu ekonomski isplativi jer zahtijevaju dodatne korake čišćenja, stoga su skuplji od proizvoda izrađenih samo od primarnog polietilena visoke gustoće.

Sportska oprema-Kajaci

Danas se kajaci proizvode od 100 % recikliranog polietilena visoke gustoće koji se dobiva iz boca za deterdžente. Reciklirani polietilen visoke gustoće prvo se prerađuje ekstruzijom, a potom termički obrađuje i proizvodi kajak. Kajak se termički obrađuje u nekoliko koraka; gornja i donja polovica te dio za sjedenje.

Slika 13. *Perception Sundance Touring Kayak[17]*

Vrećice za trgovine

Veliku primjenu reciklirani polietilen pronalazi kod izrade vrećica za trgovine. Prednost primjene recikliranih vrećica prvenstveno je njihova manja cijena što privlači kupce. Najkritičnija svojstva ovakvih vrećica su njihova izdržljivost i udarna snaga te su jako lagane. Zbog česte upotrebe, lako dospijevaju u prirodu te onečišćuju okoliš, a vrlo ih je teško prikupljati.

Slika 14. *Plastične vrećice za trgovinu [18]*

Recikliranje HDPE automobilskih spremika za gorivo

U Belgiji je, u suradnji s Renaultom razvijen proces mehaničkog recikliranja HDPE spreminka za gorivo [19]. Uključuje nekoliko specifičnih izazova koji se odnose na ovu primjenu polimera:

- polimer mora biti premazan antikorozivnim sredstvom koje se koristi za zaštitu podnice automobila
- polimer može sadržavati ostatke goriva

- onečišćenja u recikliranom HDPE polimeru, kao što su prljavština i razne čestice, mogu dovesti do rupa u kalupu
- plastični spremnici za ulje najčešće sadrže metalne dijelove što podrazumijeva i nastajanje korozije stoga je potrebno zaštiti te dijelove podložne koroziji

Postupak recikliranja PE spremnika za gorivo uključuje grubo usitnjavanje, uklanjanje metala pomoću preklopnih magneta i vrtložnih strujnih bubnjeva, vruće pranje i brušenje na 70 °C, centrifugiranje, restabilizaciju i filtriranje taline.[13]

Recikliranje proizvoda izrađenih od polietilena niske gustoće (LDPE)

Najviše otpada izrađenog od polietilena niske gustoće dolazi iz industrije. Iako je vrlo rasprostranjen, nije u tolikoj mjeri kao HDPE.

Recikliranje rastezljivih folija

Značajni izvori LDPE otpada za recikliranje dolaze od rastezljivih folija kojima se umataju palete robe. Skoro svaka distribucija koristi takve LDPE folije kako bi stabilizirali teret na paletama. Glavna karakteristika ovakve folije je da nema pigmenta stoga se može upotrebljavati u skoro svim proizvodima širokog raspona boja.
Jedan od glavnih proizvođača rastezljive folije Mobil Chemical Co. ujedno se bavi i recikliranjem iste. LDPE foliju prikupljaju od svojih kupaca te ju baliraju. Tako pakiranu foliju prevoze do centra za recikliranje kako bi je prenamijenili u drugu vrstu proizvoda. Najčešći proizvodi recikliranih LDPE folija su vreće za smeće. Mobil Chemical Co razvila je konstrukcijski materijal koristeći 50 % recikliranih LDPE folija i 50 % prašine dobivene od mljevenja drvenih paleta. Ovaka dobivena građa može se koristiti kao zamjena za drvenu građu što predstavlja prednost u područjima gdje je drvena građa izložena vanjskim utjecajima koji dovode do oštećenja i starenja iste kao i upijanje vode i vlage.

Slika 15. *Stroj za pripremu rastezljivih folija [20]*

4.5. PRIMJENA RECIKLIRANOG POLIETILENA – PRIMJER IZ PRAKSE

Zbog izrazito raširene primjene polimernih materijala, nastaje sve veća količina polimernog otpada koji predstavlja veliki problem za zbrinjavanje. Ovi razlozi glavni su povod novim istraživanjima zbrinjavanja plastičnog otpada. Plastični otpad reciklira se kako bi se proizvela nova sirovina, tj.na ovaj način pruža se mogućnost rješavanja problema plastičnog otpada, smanjuje se ekološko onečišćenje te se sprečava gubitak prirodnih resursa. Reciklirana plastična sirovina može se koristiti kao novi ambalažni materijal, kao komponenta konstrukcijskih materijala (npr. betona ili cementa), no može imati i brojne druge primjene.

Na sveučilištu u Iraku proveden je eksperiment u kojem je pomiješan otpadni polietilen visoke gustoće i portland cement kako bi se dobio tzv. plastični cement [21]. Korištenje reciklirane plastike u betonu ima velik broj prednosti. Na ovaj način uklanja se otpad s odlagališta na duži period, poboljšava se kvaliteta betona, a pod tim se misli na poboljšanu tlačnu snagu, veću kemijsku otpornost, produžen vijek trajanja betona te smanjivanje sužavanja betona tijekom sušenja. Znanstvenici su osmislili nove tehnologije kako bi smanjili potrošnju prirodnih resursa. Svrha ovakvih procesa je da se minimalizira negativan utjecaj plastike na okoliš dok se istovremeno povećava ekonomski prihod te zaštita prirode. U novije se vrijeme želi prebaciti na kružni sustav proizvodnje tako da proizvod nakon nekog vremena ne završava na otpadu, nego direktno ide u postrojenje za recikliranje i proizvodnju nove iskoristive sirovine.

Eksperiment je proveden tako da su varirani volumni udjeli cementa i dodanog plastičnog otpada. Dobiveno je nekoliko vrsta betona (Tablica 4.) koji su se razlikovali po svojstvima čiji

je uzrok ponajprije bio postotak dodanog otpadnog polietilena. Plastika ima mnogo svojstava kojima, u konačnici, pridonosi poboljšanju betona. Ima izrazitu otpornost na koroziju, dobra izolacijska svojstva, veliku izdržljivost, ekonomičnost, vrlo je lagan materijal te ima dug životni vijek. Miješanjem otpadnog polietilena visoke gustoće s portland cementom željela se istražiti mogućnosti proizvodnje plastičnog cementa te proučiti što se događa i kako to utječe na svojstva materijala.

<u>Eksperimentalni dio</u>

U istraživanju je korišten HDPE otpad koji je prikupljen na gradskim odlagalištima, tj. korišteni su polietilenski sanduci koji su nakon skupljanja usitnjeni pomoću strojeva za rezanje i mljevenje te su dobivene fine čestice polietilena. (Slika16)

Slika 16. *Otpadni polietilenski sanduci prije i poslije mljevenja [21]*

Tako dobivena otpadna polietilenska prašina pomiješana je s portland cementom i vodom u različitim omjerima kako je prikazano u Tablici 4.

Tablica 4. *Prikaz mješavina s različitim udjelima polietilenskog otpada visoke gustoće, portland cementa i vode [21]*

Broj eksperimenta	HDPE %	Portland cement %	Voda %
1	15	85	25
2	20	80	25
3	25	75	25
4	30	70	25
5	35	65	25
6	40	60	25
7	50	50	25
8	60	40	25
9	80	20	25

Portland cement i polietilenski otpad pomiješani su s vodom kako bi se dobila homogena smjesa betona koju je ulivena u kalupe. Uzorci u kalupima osušeni su te su nakon toga stavljeni u vodu kako bi beton sazrio. Na ovaj način, postiže se bolja kohezija svih sastojaka betona. Nakon toga uzorci su ponovno sušeni te su testirana njihova svojstva. Drugi korak je ponovno stavljanje uzoraka u vodu na duži period, točnije 7-28 dana, a zatim je ispitana stabilnost betona i utjecaj vode na svojstva betona.

Izgled mokrog plastičnog cementa prije i poslije stavljanja u kalup prikazan je slikom 17, a osušeni cement slikom 18. Materijali su lijevani u kalupe bez vibracija ili nabijanja.

Slika 17. *Mokri plastični cement [21]*

Slika 18. *Osušeni cement [21]*

Gustoća proizvoda dana je u tablici 5. U tablici se može vidjeti da materijal s 30 % HDPE-a postiže najveću gustoću dok materijal s 60 % HDPE-a postiže najmanju gustoću.

Tablica 5. *Prikaz gustoća proizvoda s obzirom na udio svih sastojaka unutar mješavine [21]*

Broj eksperimenta	HDPE %	Portland cement %	Voda %	Gustoća (g/cm^3)
1	15	85	25	1.458
2	20	80	25	1.660
3	25	75	25	1.678
4	30	70	25	1.972
5	35	65	25	1.708
6	40	60	25	1.662
7	50	50	25	1.537
8	60	40	25	1.375

Vlažnost plastičnog cementa u ovom istraživanju ispitivana je potapanjem proizvoda u vodu u periodu od 7 do 28 dana. Rezultati su pokazali da je nakon 28 dana potopljenosti u vodi postotak vlažnosti manji nego kada je materijal bio potopljen 7 dana. Smatra se da je došlo do ravnoteže adsorpcija-desorpcija nakon više od 7 dana potopljenosti u vodu. Najbolji postotak vlažnosti dobiven je kada je postotak polietilena u betonu između 25 i 30 %.

Tlačna sila plastičnog cementa proizvedenog miješanjem polietilenskog otpada i portland cementa izmjerena je nakon potapanja cementa u vodi 7 i 28 dana. Nakon 7 dana potapanja u vodi izmjereno je da se točka izdržljivosti uzoraka nalazi u rasponu od 568 do 971 N, a nakon 28 dana u rasponu od 571 do 2352 N. Sve je izrazito ovisno u udjelu polietilenskog otpada.

U konačnici su rezultati sljedeći: maksimalna gustoća proizvoda je 1.972 g/cm^3 kako se vidi prema tablici 5, odnosno materijal s 30 % HDPE-a postiže najveću gustoću. Vlažnost plastičnog cementa proizvedenog u ovom istraživanju iznosila je do 23,4 % za proizvode koji su bili uronjeni 7 dana u vodu. Najbolja vlažnost za proizvode je 3,6 i 3,79 % i to za materijale s 25 % i 30 % otpadnog polietilena.

Ovakav proces iskorištavanja otpadne plastike ima mnoge prednosti, uključujući štednju novca i energije te reciklažu otpada čime se štiti okoliš. Iz dobivenih informacija na temelju eksperimenata, može se zaključiti da je najbolji i najprikladniji postotak otpadnog polietilena u ovakvoj vrsti materijala od 25 do 35 % [21].

5. ZAKLJUČAK

- Procesima recikliranja polietilena može se znatno utjecati na očuvanje okoliša te na ekonomsku dobit.
- Pravilnim zbrinjavanjem otpada štiti se okoliš, a ujedno se taj zbrinuti otpad može reciklirati.
- Kada je riječ o plastičnom otpadu, njegovim recikliranjem dobiva se nova sirovina koja se tada koristiti za izradu novih sekundarnih proizvoda.
- Sekundarni proizvodi imaju manju cijenu te to privlači kupce, stoga je i njihova upotreba sve češća.
- Recikliranjem polietilenskog proizvoda visoke gustoće kao što su boce za mlijeko ili sok, dobiva se vrlo dostupna sirovina koja se zatim koristi za izradu raznih proizvoda.
- Od recikliranog HDPE-a mogu se izraditi kante za smeće, boce za deterdžente, spremnici za ulja ili motorna goriva, kajaci, plastične palete te mnogi drugi proizvodi.
- Recikliranjem polietilena niske gustoće također se dobivaju nove jeftinije sirovine.
- LDPE rastezljive folije koje se koriste kod fiksiranja tereta na paletama nakon korištenja mogu se reciklirati te nakon toga ponovno upotrijebiti i to najčešće za izradu vreća za smeće.
- Od 70 do 90 % recikliranog LDPE-a, koristi se za izradu vreća za smeće.

6. POPIS SIMBOLA

Simbol	Puno ime na hrvatskom jeziku	Puno ime na engleskom jeziku
DNA	deoksiribonukleinska kiselina	deoxyribonucleic acid
FT-NIR	Fourierove transformacije u bliskom infracrvenom području	Fourier transform near-infrared
HDPE	polietilen visoke gustoće	high density polyethylene
IUPAC	Međunarodna unija primijenjene kemije	International union of pure and applied chemistry
LDPE	polietilen niske gustoće	low density polyethylene
LLDPE	linearni polietilen niske gustoće	linear low- density polyethylene
MSP	magnetski separacijski proces	magnetic separation process
PA	poliamid	polyamide
PE	polietilen	polyethylene
PET	poli(etilen-tereftalat)	poly(ethylene terephthalate)
PS	polistiren	polystyrene
PVC	poli(vinil-klorid)	poly(vinyl-chloride)
RNA	ribonukleinska kiselina	ribonucleic acid
UHMWPE	polietilen visoke gustoće i vrlo velikih molekulskih masa	ultra high molecular weight polyethylene

7. LITERATURA

1. Janović, Z., Struktura i svojstva, u: Janović, Z., Polimerizacije i polimeri, Zagreb, HDKI-Kemija u industriji, (1997), 1-70
2. Hrnjak-Murgić, Z., Polimerni otpad, u: Hrnjak-Murgić, Z., Gospodarenje polimernim otpadom, Zagreb, FKIT, (2016), 60-69
3. Hrnjak-Murgić, Z., Uvod, u: Hrnjak-Murgić, Z., Prirodni i sintetski polimeri, Zagreb, FKIT, (2004), 1-7
4. Hrnjak-Murgić, Z., Sintetski polimeri, u: Hrnjak-Murgić, Z., Prirodni i sintetski polimeri, Zagreb, FKIT, (2004), 30-34
5. Janović, Z., Polimeri radikalnih polimerizacija, u: Janović, Z., Polimerizacije i polimeri, Zagreb, HDKI-Kemija u industriji, (1997), 317-368
6. Andrews, G.D., Dawson, R.L., Ethylene polymers, u: Mark, H.F., Bikales, N.M., Overberger, C.G., Menges, G., Encyclopedia of Polymer Science and Engineering, New York, John Wiley & Sons, 6, (1986), 383-522
7. Kratofil Krehula, Lj., Recikliranje plastičnog otpada, u: Zagreb, HDKI-Kemija u industriji, 64(7-8),(2015), 417-420
8. Shehu, S.I., Separation of Plastic Waste from Mixed Waste: Existing and Emerging Sorting Technologies Performance and Possibilities of Increased Recycling Rate with Finland as Case Study, Lappeenranta, Lappeenranta university of technology, (2017)
9. http://biomassmagazine.com/articles/14796/covanta-dublin-efw-facility-has-begun-commercial-operations (pristup 27.kolovoza 2018.)
10. https://www.thermofisher.com/blog/materials/density-and-copolymer-content-in-polyethylene-samples-by-ft-nir-spectroscopy-part-1/ (pristup 15.kolovoza 2018.)
11. http://www.polychem-usa.com/polyethylene-recycling/ (pristup 15.kolovoza 2018.)
12. https://www.azocleantech.com/article.aspx?ArticleID=255 (pristup 20.kolovoza 2018.)
13. Scheirs, J., Recycling of Polyolefins, u: Scheirs, J., Polymer Recycling, New York, John Wiley & Sons, (2001), 183-217
14. Hrnjak-Murgić, Z., Recikliranje plastike i gume, u: Hrnjak-Murgić, Z., Gospodarenje polimernim otpadom, Zagreb, FKIT, (2016), 98-113
15. http://halko.ba/proizvod/kanta-za-smece-120l/ (pristup 20.kolovoza 2018)
16. https://www.walmart.ca/en/ip/ultra-downy-april-fresh-liquid-fabric-conditioner-fabric-softener/6000016938132 (pristup 20.kolovoza 2018)

17. https://www.brighton-canoes.co.uk/productpages/perception/sundance.htm (pristup 23.kolovoza 2018)
18. http://poslovnipuls.com/2016/04/04/europska-unija-pokusava-iskorijeniti-plasticne-vrecice/ (pristup 24.kolovoza 2018)
19. Yernaux, J.M., De Canniere, J., Mehanical recycling of plastic wastes:polyethylene fule tanks from used cars, Switzerland, (1995)
20. https://www.polystarco.com/en/products_i_Stretch_film_Recycling_Machine.html (pristup 28.kolovoza 2018)
21. Jassim, A.K., Recycling of Polyethylene Waste to Produce Plastic Cement, u: Procedia Manuf, **8 ,** (2017), 635-642

8. ŽIVOTOPIS

OSOBNI PODACI

Ime i prezime	Helena Pišonić
	[redacted]

ŠKOLOVANJE

Datum	2009.-2013.
Mjesto	Nova Gradiška
Ustanova	Gimnazija Nova Gradiška

Datum	2013.-2018.
Mjesto	Zagreb, Trg Marka Marulića 19
Ustanova	Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, preddiplomski studij „Kemija i inženjerstvo materijala“

OSOBNE VJEŠTINE I KOMPETENCIJE

Materinji jezik	hrvatski

Strani jezici

Jezik	engleski
Govori	Da
Piše	Da
Čita	Da
Jezik	njemački
Govori	Malo
Piše	Malo
Čita	Da
Računalne vještine i kompetencije	Poznavanje MS Worda i MS Excela