

PROIZVODNJA GORIVA PIROLIZOM OTPADNE PLASTIKE /PRODUCTION OF FUEL BY PYROLYSIS OF WASTE PLASTIC

Marko Jarić¹, Slavko Đurić², Zdravko Božicković²

¹Internacionalni univerzitet Travnik u Travniku,

²Internacionalni univerzitet Travnik u Travniku,

²Internacionalni univerzitet Travnik u Travniku,

e- mail: mjaric25@gmail.com, slavko.djuric@sf.ues.rs.ba, zdravko.bozickovic@gmail.com

UDK / UDC 665.6:668.98

Stručni članak

Sažetak

U radu se razmatra piroliza otpadne plastike. Otpadna plastika je uzorkovana sa regionalne deponije u Doboju. Uzorkovano je 1kg mješavine otpadne plastike. Mješavina se sastojala od raznih vrsta plastike kao što su: PET (polietilen tereftalat), HDPE (polietilen visoke gustine), PVC (polivinil hlorid), LDPE (polietilen niske gustine), PP (polipropilen), PS (polistiren) i ostalo (najlon kjese). Uzorkovana plastika je osušena i mehanički pripremljena (isjeckana na približnu veličinu od 5cm). Pripremljena otpadna plastika termički je tretirana u šaržnom reaktoru u temperaturskom opsegu 200-500°C. Obavljeno je tri ispitivanja pri približno istim procesnim uslovima. Dobijeno je oko 60% pirolitičkog ulja (tečnog goriva). Ispitivanja su obavljena u laboratoriji za Sagorijevanje i Zaštitu životne sredine pri Saobraćajnom fakultetu u Doboju.

Ključne riječi:

Otpadna plastika, Piroliza, Temperatura, Pirolitičko ulje

JEL klasifikacija rada: Q Ekonomija poljoprivrede i prirodnih resursa; Ekonomija životne sredine i ekološka ekonomija

Abstract

The paper considers the pyrolysis of waste plastic. Plastic waste was sampled from the regional landfill in Doboj. 1 kg of the waste plastic mixture was used. The mixture consisted of various types of plastics such as: PET (polyethylene terephthalate), HDPE (high-density polyethylene), PVC (polyvinyl chloride), LDPE (low-density polyethylene), PP (polypropylene), PS (polystyrene), and others (nylon bags). The sampled plastic was dried and mechanically prepared (shredded to an approximate size of 5 cm). The prepared waste plastic was thermally treated in a batch reactor at a temperature range of 200-500°C. Three tests were performed under approximately the same process conditions. About 60% of pyrolytic oil (liquid fuel) was obtained. The tests were carried out in the Combustion and Environmental Protection laboratory at the Faculty of Traffic in Doboj.

Keywords:

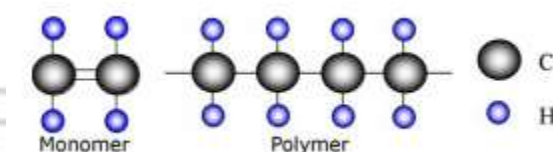
Waste plastic, Pyrolysis, Temperature, Pyrolytic oil

JEL claficion: Q Agricultural and Natural Resource Economics; Environmental and Ecological Economics

UVOD

Plastika je materijal visoke molekularne težine koji je izumeo Aleksandar Parkes u 1862. Plastične mase se nazivaju i polimeri (slika 1.1). Plastika je jedan od najčešće korišćenih materijala u svakodnevnom životu koji se može klasifikovati na mnogo načina kao što su na osnovu njegove hemijske strukture, procesa sinteze, gustine i druga svojstva.

Plastični materijali se danas proizvode od sirove nafte koja je neobnovljivi izvor energije i zemnog plina, dok se u prošlosti koristio od ugljena. Sirova nafta crpi se i prevozi do rafinerija kako bi se rafinirala i preradila u naftu, propan i butan. Prirodni plin zajedno s etanom također daje propan, iz kojeg se dobivaju kemijski poluproizvodi kao što su etilen, propilen, benzen i praksilen, koji su glavni izvori za izradu različitih tipova plastike.



Slika 1.1. Lanac polimera [1]

Plastika je lagana, izdržljiva i otporna na vlagu i posjeduje korisne karakteristike gdje je nepropusna za većinu plinova, može se oblikovati u svim veličinama i oblicima, miješati s drugim materijalima, tako da je njena upotreba neograničena.

U cilju pomoći reciklaži otpadne plastike potpadna plastika može se klasifikovati na sedam grupa na osnovu hemijske strukture i primene:

- PET (polietilen tereftalat)
- HDPE (polietilen visoke gustine)
- PVC (polivinil hlorid)
- LDPE (polietilen niske gustine)
- PP (polipropilen)
- PS (polistiren)
- Ostalo

Gore navedenih sedam vrsta plastike su označene na različitim plastičnim proizvodima (slika 1.2).



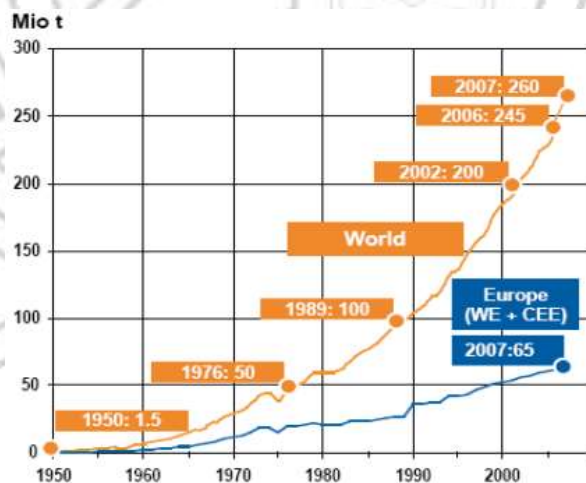
Slika 1.2. Oznake sedam vrsta plastike na raznim plastičnim proizvodima [2]

Na slici 1.3 prikazana je klasifikacija i upotreba pojedinih vrsta plastike.

1 PETE	2 HDPE	3 PVC	4 LDPE	5 PP	6 PS	7 OTHER
Polietilen Tereftalat (PET)	Polietilen visoke gustine	Polivinil Hlorid	Polietilen niske gustine	Polipropilen	Polistiren	Ostale vrste plastike
Bioce od napitaka: vode, sokova, mleka, posude za hranu, zatvarači, tegle...	Bioce od deterdženata i šampona, pesticida, hemikalija, sakvoje, kene za razdvajanje...	Ambalaža od hemikalija, folije za pakovanje, najeprije na licima od mlečnih proizvoda, cevi, prozori i stakla...	Kene i kesice, folija, oblaganje kartonskih kutija ili kesa, najlon...	Posude od mlečnih proizvoda, čaše, šapci, staklo, ofingeni, tanjiri...	Posude za katering, tanjiri za meso i delicije, čaše za tople napitke...	Polikarbonat, ABS, akril, CD...
						
RECIKLIRA SE	DELIČNO SE RECIKLIRA	NE RECIKLIRA SE	RECIKLIRA SE	DELIČNO SE RECIKLIRA	NE RECIKLIRA SE	DELIČNO SE RECIKLIRA
Proizvod: PET flekove koje se izvoze i koriste dalje za proizvodnju poliesterskog vlakna ili PET folije.	Proizvod: granulat se koristi u proizvodnji posuda i ambalaza, kanti, gubli, cevi, Energije.	Ne postoji mogućnost reciklaže, ne koristi se ni za energetsko iskorišćanje.	Proizvod: granulat za proizvodnju folije, kesa za smeće, najlona, Energije.	Proizvod: granulat se koristi u proizvodnji ambalaza, automobila, raznog ambalaza, plastičnih posuda.	Negativne se skupljanje.	Uglavnom se izvozi radi dalje prerade, i to samo otpad od EE uređaja i auto branici.

Slika 1.3. Klasifikacija otpadne plastike [3]

Zbog pogodnosti proizvodnje i upotrebe, svetska proizvodnja plastike je rasla od kada je prvi put komercijalno proizveden, sa 1,5 miliona tona 1950. do 260 miliona tona u 2007. kao što je prikazano na slici 2.4. [4] Jedna od glavnih briga za široku upotrebu plastike je odlaganje otpadne plastike. Osim toga plastika se proizvodi od nafte ili uglja, pa je stoga neodrživa proizvodnja. U SAD je 2007. proizvedeno 30,7 miliona tona otpadne plastike, što čini 12,1% ukupnog čvrstog komunalnog otpada. [5] U Velikoj Britaniji 4,9 milionatona plastike potrošeno je 2007. [6] Evropa troši oko 25% svetske proizvodnja plastike, što je ekvivalentno 60 miliona tona godišnje. [4]

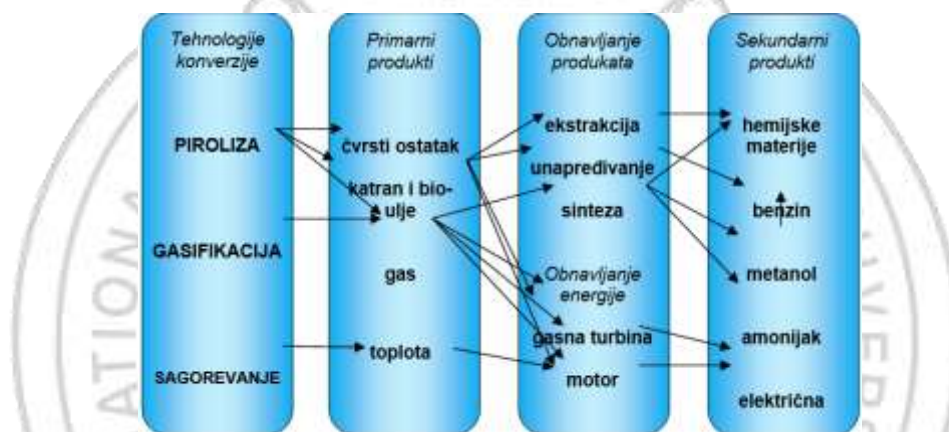


Slika 1.4. Proizvodnja plastike u svetu i Evropi od 1950. do 2007. [4]

2. TERMIČKI POSTUPCI PRERADE OTPADNE PLASTIKE

Otpadna plastika (OP) se može konvertovati u različite oblike energije brojnim procesima. Izbor procesa prerade zavisi od tipa i količine OP, željenog oblika krajnjeg produkta, kao i drugih uslova propisanih standardima o zaštiti životne sredine, ekonomskih uslova i slično. Postupci prerade OP kao i biomase se dele na: direktne konverzije procese (dobijanje toplotne energije sagorevanjem) i indirektne konverzije procese.

Direktnim sagorevanjem OP se dobija toplota koja se kao toplotni izvor energije koristi za proizvodnju električne energije i vodene pare. Konverzionim procesima prerade dobijaju se gasoviti, tečni i čvrsti produkti sa širokom primenom, a dele se na termohemijske, biohemijske i hemijske. Termohemijski procesi prerade sirovina i dobijeni produkti šematski su prikazani na slici 2.1.



Slika 2.1. Termohemijski procesi prerade OP [5]

2.1. Piroliza

Piroliza je termohemijski proces konverzije biomase koji se odvija u odsustvu kiseonika, a dobijeni proizvodi su: tečnost (pirolitičko ulje), gasovi i koksni ostatak. Piroliza predstavlja prvu fazu pri sagorevanju i gasifikaciji biomase pri kojima se odvija potpuna ili parcijalna oksidacija primarnih produkata [1]. Prinos pojedinih produkata pirolize zavisi od hemijskog sastava biomase i uslova odvijanja procesa pirolize. Komponente biomase termički se razlažu različitom brzinom. Pri pirolizi drvene biomase prvo dolazi do razlaganja najnestabilnije komponente, hemiceluloze, pri temperaturi od 200 do 280 °C, dok se lignin kao najstabilnija komponenta razlaže poslednji, pri temperaturi između 280 i 500 °C. Teško je precizno odrediti donju granicu temperature pri kojoj počinje termohemijsko razlaganje drveta, ali se pri manjim brzinama zagrevanja mogu uočiti sledeće faze procesa pirolize [6]:

1. faza (do 200 °C): Osim uklanjanja vlage, oslobađaju se i druge isparljive materije, kao što su etanska (sirćetna) i metanska (mravlja) kiselina.

2.faza (200 do 280 °C): Dolazi do daljeg razlaganja drvene biomase. Razlaganje je intenzivnije uz oslobađanje piroliznih kiselina, vode i nekondenzibilnih gasova (CO, CO₂). Izdvaja se pirolitičko ulje.

3. faza (280 do 500 °C): Oslobađanje sagorljivih isparljivih produkata, kao što su CO, CH₄, H₂, metanal, metanska kiselina, metanol i etanska kiselina.

4. faza (iznad 500 °C): Proces karbonizacije je završen. Ukoliko se produkti reakcije ne uklone iz reakcione zone odmah nakon formiranja, počinju sekundarne reakcije i reakcije koksnog ostatka sa gasom.

Ako je cilj pirolize biomase dobijanje maksimalnog prinosa tečnog proizvoda, tada se proces vodi na niskim temperaturama, pri velikim brzinama zagrevanja i kratkim vremenom boravka isparene biomase u reakcionoj zoni.

Da bi se ostvario veliki prinos koksnog ostatka, proces se vodi pri niskim temperaturama i malim brzinama zagrevanja, a za veliki prinos gasovitog produkta (pirolitičkog gasa), proces se vodi pri visokim temperaturama, malim brzinama zagrevanja i dugim vremenom boravka gasovite faze u reaktoru.

2.1.1. Sastav produkata pirolize i njihova primena

Pirolitičko ulje, odnosno tečni proizvod, predstavlja homogenu mešavinu organske komponente i vode (15–30%, maseni udeo). Voda potiče od prisutne vode u polaznoj sirovini i takođe se stvara tokom reakcije pirolize. Prisutna voda utiče na smanjenje toplotne vrednosti i temperature paljenja pirolitičkog ulja, kao i na smanjenje viskoznosti. Prisutna voda se ne može ukloniti postupkom destilacije.

Pirolitičko ulje ima široku primenu i može se koristiti kao:

- gorivo za sagorevanje u kotlovima, pećima i za proizvodnju energije
- gorivo ili komponenta za namešavanje sa fosilnim dizelom za dizel motore i
- sirovina za dobijanje hemijskih komponenata, adhezionih sredstava, anhidrovanih šećera.

Karakteristike pirolitičkog ulja date su u tabeli 2.1.. Veliki sadržaj kiseonika u pirolitičkom ulju ukazuje na prisustvo brojnih polarnih grupa u prisutnim jedinjenjima, što uslovlja veliku viskoznost, termičku nestabilnost i korozivno dejstvo. Pomenute osobine se mogu poboljšati različitim postupcima obrade pirolitičkog ulja kao što su:

- hidrideoksigenacija u prisustvu katalizatora Co-Mo, Ni-Mo i njihovih oksida na nosaču Al₂O₃, u atmosferi H₂ ili CO; prisutan kiseonik se uklanja kao H₂O i CO₂ i

- katalitičko kreiranje pirolitičkog ulja u prisustvu različitih katalizatora pri čemu se kiseonik uklanja kao H_2O , CO_2 ili CO .

Tabela 2.1. Karakteristike pirolitičkog ulja dobijenog pirolizom drvene biomase [7, 8]

Karakteristika	Raspon vrednosti
Sadržaj vlage (maseni udeo, %)	15–30
Gustina (kg/l)	1.2
Viskoznost na 40 °C sa 25% vode (Pa·s)	0.04–0.10
Ostatak posle destilacije (maseni udeo, %)	< 50
pH vrednost	2.5
Pepeo (maseni udeo, %)	0–0.2
Gornja toplotna moć, (MJ/kg)	16–19
Elementarni sastav (maseni udeo, %):	
C	55–58
O	35–40
H	5.5–7
N	0–0.2

Gasovita komponenta – se uglavnom sastoji od CO , CO_2 i CH_4 . U manjem sadržaju su prisutni H_2 , etan, propan, propilen, butan, buten, pentan i dr. U poređenju sa gasom dobijenim procesom gasifikacije pirolitički gas ima veću toplotnu vrednost i može se koristiti kao gorivo za sagorevanje u gasnim turbinama u industrijske svrhe i kao gorivo u domaćinstvima [6].

Koksni ostatak – se sastoji od elementarnog ugljenika sa vodonikom i njegov prinos u procesu pirolize najčešće iznosi od 20 do 26% [6]. Može se koristiti:

- kao čvrsto gorivo u kotlovima, samostalno ili u mešavini sa biomasom
- za dobijanje aktivnog ugljenika i
- u gasifikacionim procesima za dobijanje gasa bogatog vodonikom.

2.1.2. Procesi pirolize

U zavisnosti od brzine zagrevanja kao i drugih parametara procesa postoje različite vrste pirolize. U tabeli 2.2. prikazana je podjela spore i brze pirolize.

Tabela 2.2. Podjela pirolize [7]

Vrsta pirolize	Brzina zagrevanja	Period kontakta pare-čvrsti ostatak	Gas	Pirolitičko ulje maseni udeo (%)	Koksni ostatak
Torefakcija	<50 °C/min	8-25 min	10-20	0	80-90

Spora piroliza	Karbonizacija	0.01-2 °C/min	sat-dani	35	30	35
	Konvencionalna spora piroliza	2-10 °C/min	0.5-5 min	25	50	25
Brza piroliza	Konvencionalna brza piroliza	10-1000 °C/min	~0.5-10 s	13	75	12
	Fleš piroliza	1000-10000 °C/min	30-1500 ms	do 80	-	-
	Ultra brza piroliza	≥10000 °C/min	≤1500 ms	do 90	-	-

Navedeni procesi se razlikuju po hemizmu, prinosu i kvalitetu dobijenih proizvoda kao što su: pirolitički gas, pirolitičko ulje i koksni ostatak. Postoje i pirolize koje se odvijaju u atmosferi određenog gasnog medijuma: piroliza vodenom parom, piroliza vodonikom i piroliza metanom. Pirolitičko ulje dobijeno procesima spore, brze i fleš pirolize po svojim karakteristikama ne zadovoljava uslove za direktno namešavanje sa fosilnim dizelom pa su potrebni dodatni procesi kojima bi se smanjio sadržaj kiseonika i vlage da bi se postiglo smanjenje viskoznosti, povećala oksidaciona stabilnost i smanjila korozivna delovanja. Međutim, dodatni procesi kod navedenih procesa pirolize, utiču na povećanje cene dobijanja pirolitičkog ulja. Katalitičkom pirolizom biomase sa različitim tipovima zeolitnih katalizatora može se dobiti pirolitičko ulje sa karakteristikama koje zadovoljavaju uslove za namešavanje sa dizelom što omogućava direktno korišćenje u motorima. Najveći prinos pirolitičkog ulja, koje se koristi kao komponenta za namešavanje sa fosilnim dizelom ili kao gorivo, dobija se postupkom brze pirolize.

3. EKSPERIMENTALNO ISPITIVANJE PIROLIZE OTPADNE PLASTIKE

3.1. Priprema uzorka

Eksperimentalno ispitivanje procesa pirolize otpadne plastike (OP) vršeno je na uzorcima uzetih sa komunalnih deponije Doboj (DD)(slika 3.1). Ukupna masa otpadne plastike sa razmatrane deponije iznosila je 5kg i dopremljena je u zatvorenim plastičnim kjesama u Laboratoriju za Sagorijevanje i zaštitu životne sredine Saobraćajnog fakulteta u Doboju. Uzorci otpadne plastike isječeni su na dimenzije približno 5cmx5cm, ručno miješani, homogenizovani i sušeni fenom i ambijentalnim vazduhom u laboratoriji.



Slika 3.1. Fotografski prikaz regionalne deponije Doboj sa koje je uzorkovana otpadna plastika

Elementarna i tehnička analiza otpadne plastike prikazana je u tabeli 3.1. Uočava se veliki udio ugljenika i kiseonika što utiče na vrednost toplotne moći otpadne plastike.

Tabela 3.1. Elementarna i tehnička analiza mešavine otpadne plastike korišćene pri eksperimentalnom ispitivanju [9]

Tehnička analiza				
W	VM	A	C _{fix}	Donja toplotna moć H _d $\left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$
	maseni udio (%)			
0.01	99.77	0.22	0	44125
Elementarna analiza				
C	H	N	S	O*
	maseni udio (%)			
86.99	12.12	0.27	0.07	0.56

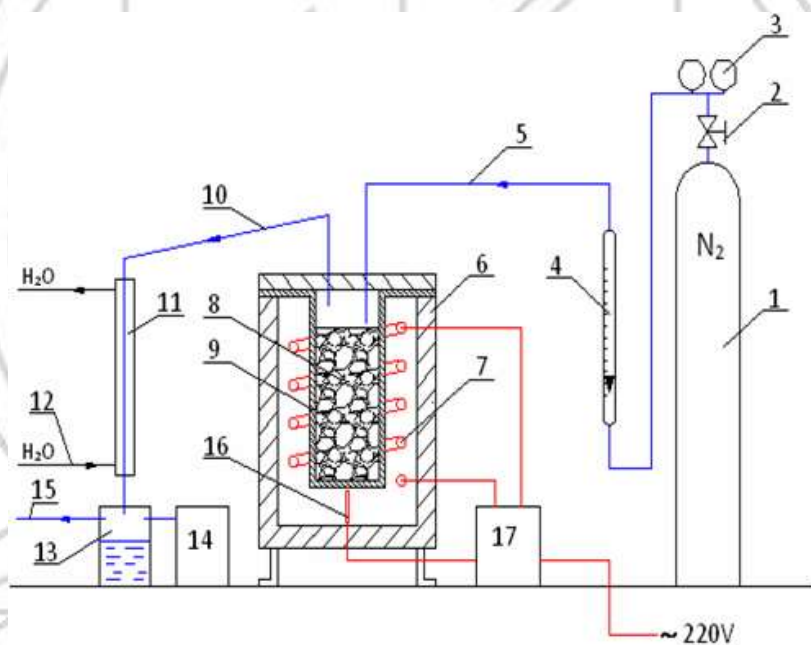
* Vrijednost dobijena iz materijalnog bilansa

3.2. Eksperimentalno postrojenje i postupak mjerenja

Ispitivanje je sprovedeno na laboratorijskom postrojenju sa fiksnim slojem (šaržni tip reaktora)(slika 3.2). Pripremljeni uzorak otpadne plastike (8) (isječeni na dimenzije približno 5cmx5cm, ručno miješani, homogenizovani i sušeni fenom i ambijentalnim vazduhom u laboratoriji) smješteni su u posudu (9) i u sistem se pušta gas azot pritiska oko 1,2bar pomoću ventila (2) i protoka oko 1L/min (4). Gasnim analizatorom (14) mjeri se udio O₂ u gasu sve dotle

dok udio O_2 u gasu ne bude nula ili blizak nuli. Time se postiže inertna atmosfera u reaktoru. Uz pomoć PID regulatora (17) koji je podešen na temperaturski interval od 420-480°C uključuju se grejači peći (6). Termo sonda (16) regulatora smješena je u donjem dijelu reaktora ispod suda sa otpadnom plastikom. Ovako izabran temperaturski interval u skladu je sa brojnim eksperimentalnim spitivanjem. Tokom procesa ispitivanja rezultati mjernih parametara bilježeni su u mjernu listu. Ispitivanje se završava kada više ne bude produkcija gasa iz reaktora i traje oko 50min. Kad temperatura u reaktoru spadne ispod 50°C pristupa se rasklapanju peći (vađenje reaktora), vrši se njegova vaganje i vađenje i mjerenje čvrstog ostatka. Takođe se vrši odvajanje posude za prihvata kondenzata i njegovo vaganje. Protok inertnog gasa (azota) (1) mjeri se rotametrom (4). Mjerenja su ponavljana 3 puta.

Laboratorijsko postrojenje je projektovano i napravljeno u Laboratoriji za Sagorijevanje i zaštitu životne sredine Saobraćajnog fakulteta u Doboju. Pri izgradnji eksperimentalnog postrojenja korišćeni su materijali otporni na visoke temperature i na temperatursku koroziju. Konstrukcija peći i reaktora omogućava ispitivanje šaržnih procesa pirolize biomase radne temperature do 1200 °C. Laka izolacija peći i mala masa reaktora omogućavaju mjerenje promene mase uzorka tokom ispitivanja.



Slika 3.2. Šema laboratorijskog postrojenja za pirolizu plastike

1. Boca azota, 2. Ventil, 3. Regulator pritiska i protoka, 4. Protokomjer (rotametar), 5. Dovod azota u reaktor, 6. Peć za pirolizu, 7. Električni grijači, 8. Otpadna plastika, 9. Reaktor, 10. Izlaz gasa iz reaktora, 11. Kondenzator gasa, 12. Ulaz hladne vode u kondenzator, 13. Posuda za kondenzat, 14. Gasni analizator, 15. Izlaz ne kondenzovanog gasa, 16. Termo sonda, 17. Regulator temperature

Na sledećim fotografijama (slika 3.3) prikazana je peć za pirolizu, posuda za prihvata kondenzata, i gasni analizator.



Slika 3.3. Fotografski prikaz peći za pirolizu, posudu za prihvata kondenzata i gasni analizator

Za mjerenje navedenih procesnih veličina korišćeni su mjerni instrumenti čiji je opis prikazan u tabeli 3.2.

Tabela 3.2. Opis mjernih instrumenata korišćenih tokom eksperimentalnog ispitivanja

MJERNI INSTRUMENT	OPIS MJERENJA	OPSEG MJERENJA INSTRUMENTA	J
Digitalna precizna vaga METTLER P1000	Mjerenje mase uzorka poljoprivredne biomase	0–1000 g	1000 g ± 1 g



Digitalni pokazivač temperature
 Testo 925 sa sondom tipa K
 (NiCr - Ni)



Mjerenje temperature pirolitičkog gasa	-50–1000 °C	±0.2%
---	-------------	-------

Gasni analizator G 750
 POLYTECTOR II



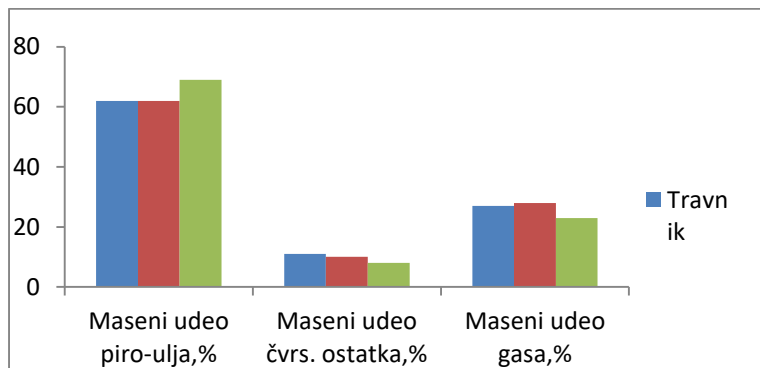
Mjerenje zapreminskog udela CO na izlazu iz reaktora	0–0.05%	±0.0003%
Mjerenje zapreminskog udela H ₂ na izlazu iz reaktora	0–4%	±0.03%
Mjerenje zapreminskog udela CO ₂ na izlazu iz reaktora	0–100%	±0.03%
Mjerenje zapreminskog udela O ₂ na izlazu iz reaktora	0–25%	±0.2%
Mjerenje zapreminskog udela CH ₄ na izlazu iz reaktora	0–100%	±1.0%

3.3. Rezultati i diskusija eksperimentalnog ispitivanja

Piroliza otpadne plastike odvija se kroz više različitih procesa, uključujući i egzotermni proces tokom koga se dobijaju tri proizvoda: smeša gasova, pirolitičko ulje i koksni ostatak. Osnovne reakcije do kojih dolazi pri odvijanju procesa pirolize drveta mogu se podeliti na primarne i sekundarne reakcije. Primarne reakcije najčešće podrazumevaju reakcije fragmentacije i dehidratacije. Pri temperaturi ispod 300 °C, preovlađuje reakcija fragmentacije koja podrazumeva depolimerizaciju biomase u primarni ter. Sekundarne reakcije odvijaju se pri povišenim temperaturama (iznad 600 °C) između produkata primarnih reakcija (koksno gas, pirolitičko ulje i gas). Mogu biti homogene i heterogene. Pirolitičko ulje se razlaže putem homogenih i heterogenih reakcija na koksni ostatak i gas. Navedene reakcije obuhvataju reakcije repolimerizacije i reakcije krekovanja. Reakcijama repolimerizacije pirolitičko ulje se razlaže pretežno na gas, a krekovanjem na koksni ostatak [10].

Opšte gledano, povećanje temperature dovodi do povećanja udela gasa u krajnjem proizvodu pirolize. Razgradnja OP na većoj temperaturi rezultat je sekundarnih egzotermnih reakcija. Prinos tečne faze raste na temperaturi od 500 °C a zatim opada sa daljim porastom temperature. Analize pojedinih istraživača ukazuju da bi za veći prinos pirolitičkog ulja, temperatura trebalo da bude između 500 i 550 °C [11]. Nasuprot tome, proizvodnju gasa karakteriše suprotan trend. Prinos gasa se smanjuje do 500 °C a zatim značajno raste sa povećanjem temperature [11].

Rezultati ispitivanja (mjerjenja) procesa pirolize sa deponije Doboj i sa deponija Travnik i modriča prikazano je na slici 3.4.



Slika 3.4. Prinos produkata pirolize otpadne plastike pri završnoj temperature od 480°C i vremenu od 50min (protok azota 1L/min, brzina zagrijavanja oko 9K/min.)

Na sledećoj fotografiji prikazani su prinosi pirolize otpadne plastike (čvrsti ostatak i piro-ulje) sa deponije Doboj.



Slika 3.5. Pirolitičko ulje procesa pirolize otpadne plastike sa deponije Doboj

U tabeli 3.3. prikazani su prinosi pirolitičkog ulja, čvrstog ostatka i pirolitičkog gasa dobijeni na kraju procesa pirolize otpadne plastike i poređenje sa rezultatima datim u literaturi. Odstupanja prinosa pirolitičkog ulja, čvrstog ostatka (koksa) i gasa mogu se objasniti različitim vrstama otpadne plastike i uslovima odvijanja procesa pirolize, pre svega brzinom zagrevanja.

Tabela 3.3. Poređenje prinosa produkata pirolize otpadne plastike sa podacima iz literature

Maseni udio	Rezultati ispitivanja	Literaturni podaci	
	Deponija Doboј	[12]	[13]
Pirolitičko ulje (tečna faza) (%)	62	68.41	74.5
Čvrsti ostatak (%)	10	17.91	19.7
Nekondezovani gas	28	13.69	5.8

4. ZAKLJUČAK

U posljednjih 70 godina zbog pogodnosti proizvodnje i upotrebe, svetska proizvodnja plastike je rasla od kada je prvi put komercijalno proizveden, sa 1,5 miliona tona 1950. do 260 miliona tona u 2007. Jedna od glavnih briga za široku upotrebu plastike je odlaganje otpadne plastike. Osim toga plastika se proizvodi od nafte ili uglja, pa je stoga neodrživa proizvodnja. U SAD je 2007. proizvedeno 30,7 miliona tona otpadne plastike, što čini 12,1% ukupnog čvrstog komunalnog otpada. U Velikoj Britaniji 4,9 milionatona plastike potrošeno je 2007. Evropa troši oko 25% svetske proizvodnja plastike, što je ekvivalentno 60 miliona tona godišnje.

Otpadna plastika, predstavlja značajan problem u smislu odlaganja na deponije, može se pretvoriti u energiju. Mnoge studije istražuju mogućnost povrata energije iz otpadne plastike kao potencijalne opcije za ispunjavanje kružne ekonomije kao izvor goriva.

Otpadna plastika (OP) se može konvertovati u različite oblike energije brojnim procesima kao što su:

- Piroliza OP
- Gasifikacija OP
- Sagorijevanje OP

U radu je prikazano eksperimentalno ispitivanje procesa pirolize otpadne plastike (OP). OP je uzorkovana sa deponije Doboј. Uzorkovana plastika sa razmatrane deponije je mješavina raznih vrsta plastike kao što su: PP, PS, LDPE, PVC, PET, HDPE. Pripremljeni uzorak otpadne plastike isječen je na dimenzije približno 5cmx5cm, ručno miješan, homogenizovan i sušen fenom i ambijentalnim vazduhom. Uzorci su smješteni u šaržni pirolitički reaktor. Radna (pirolitička) temperatura uz pomoć PID regulatora podešena je na temperaturski interval od 420°C -480°C . Eksperimentalni rezultati pirolize OP doveli su do sledećih zaključaka:

1. Može se uočiti da termička razgradnja otpadne palstike uzorkovane na deponiji Doboј u temperaturskom intervalu 480-500°C je oko 90%.
2. Maseni udio pirolitičkog ulja nakon procesa pirolize OP iznosi 620g (62%)..

3. Maseni udio čvrstog ostatka (koksa) nakon procesa pirolize OP sa iznosi 100g (10%).
4. Maseni udio nekondezovanog gasa nakon procesa pirolize OP sa iznosi 280g (28%).
5. Sa povećanjem temperature pirolize od 320°C do 500°C razgradnja mase uzorka otpadne plastike u reaktoru teče brže uz značajnu redukciju čvrstog ostatka i značajno povećanje prinosa pirolitičkog gasa.
6. Čvrsti ostatak je bogat ugljenikom, čiji sadržaj iznosi 89.16%. Toplotna moć čvrstog ostatka iznosi 49895 kJ/kg što je iznad toplotne moći goriva otpadne plastike. Visoke vrednosti toplotne moći čvrstog ostatka doprinose ekonomskoj opravdanosti primene procesa pirolize otpadne plastike.

Ako se uzmu iskustva stranih zemalja u kojima su postrojenja za termičku preradu otpadne plastike u eksploataciji, i s obzirom na ekonomske mogućnost i sadašnju energetska situaciju u zemlji (B i H) (nestašica tečnih i gasovitih goriva), realno se može očekivati da bi se dobri efekti mogli postići primenom procesa gasifikacije i pirolize otpadne plastike.

Visoki prinosi pirolitičkog ulja od 62% dobijeni procesom pirolize otpadne plastike u šaržnom reaktoru pri završnoj temperaturi pirolize od 480°C kao i velika zastupljenost otpadne plastike na deponijama u Bosni i Hercegovini obećavaju primenu ovakvih tehnologija i mogućnost da Bosna i Hercegovina nadoknadi svoj deficit iz obnovljivih izvora energije a posebno korišćenjem otpadne plastike i komunalnog otpada.

Potpunija tehno-ekonomska analiza, a na osnovu toga i konkretan predlog rešenja korišćenja produkata pirolize OP može se dati tek nakon ispitivanja procesa termičke prerade OP na poluindustrijskim i industrijskim postrojenjima. Izgradnja komercijalnih postrojenja za termičku preradu OP trebalo bi vezati za domaću industriju, bez inostranih licenci i uvoza, jer se samo tako mogu naći najprihvatljivija rešenja koja odgovaraju našim energetske potrebama. Osim toga samo naša rešenja mogu nam omogućiti vremenski stalno nadograđivanje i razvoj izgrađenih sistema.

LITERATURA

- [1] Brydson, J., a. And Science Direct. Plastics materials, 1999.
- [2] The Society of the Plastic Industry, I. SPI MATERIAL CONTAINER CODING SYSTEM, 2008.
- [3] www.polychem-usa.com 2.7.2024.
- [4] Plastics Europe, The Compelling Facts About Plastics, 2007.
- [1] Bridgwater A. V. 1994. Catalysis in thermal biomass conversion. Applied Catalysis A: General 116: 5 - 57.
- [2] McKendry P. 2002. Energy production from biomass (part 2): conversion technologies. Bioresource Technology 83 (1): 47 - 54.
- [3] Mihajlović E, Mitić D, Stanojević M. 2005. Gasogenerator kao izvor toplotne i električne energije. Agronomska saznanja 6: 19 - 22.
- [4] Mitić D, Stanković M, Protić M. 2009. Biomasa za toplotnu energiju. Univerzitet u Nišu, Fakultet zaštite na radu, Niš.
- [5] Marsh R, Hewlett S, Griffiths T, Williams K. 2007. Advanced thermal treatment for solid waste - a waste manager's guide. Proceeding of the 22nd international conference on solid waste management and technology. Philadelphia, USA.
- [6] Tijana, K. Uticaj procesnih parametara na pirolizu drvene bionase, Doktorska disertacija, fakultet Tehničkih Nauka, Novi Sad, 2015.
- [7] Onay O, Koçkar O. M. 2004. Fixed-bed pyrolysis of rapeseed (Brassica napus L.). Biomass and Bioenergy 26: 289–299.
- [8] Goyal H. B, Diptendu S, Saxena R. C. 2008. Biofuels from thermochemical conversion of renewable resources: A review. Renewable and sustainable energy reviews 12: 504–517
- [9] Shafferina, D.A.S., Faisal, A., Wan, M.A.A.W.D., Mohamed, K.A.: Energy recovery from pyrolysis of plastics waste: Study on non-recycled plastics (NRP) data as the measure of plastic waste, Energy Conversion and Management, 2017, 148, 925-934.
- [10] Umesh, P., Jan, A., ...PYROLYSIS OF PLASTIC WASTE TO ENVIRONMENTALLY FRIENDLY PRODUCTS, WIT Transactions on Ecology and the Environment, 2020, Vol. 246.
- [11] Yin, L.J., Chen, D.Z., Wang, H., Ma, X.B., Zhou, G: M.: Simulation of an innovative reactor for waste plastics pyrolysis, Chemical Engineering Journal, 2014, 237, 229-235.
- [12] Lopez, A., de Marco, I., Caballero, B.M., ...: Catalytic pyrolysis of plastic waste with two different types of catalysts, Appl. Catal. B Environ., 2011, 104, 211-219
- [13] Li, K., Lee, S., W., ...: Investigation into the Catalytic Activity of Microporous and Mesoporous Catalysts in the Pyrolysis of Waste Polyethylene and Polypropylene Mixture, Energies, 2016, 9, 431