

ŠTEFAN TISOVSKI¹
VLADIMIR VALENT²

¹Traming, Zemun, Srbija
²Tehnološko-metalurški fakultet,
Univerzitet u Beogradu, Beograd,
Srbija

STRUČNI RAD

UDK 678.742.2/1.3:504.5:628.4:628.477

DOI: 10.2298/HEMIND0806361T

RECIKLOVANJE POLIOLEFINSKOG OTPADA DO ENERGENTA

Poliolefinski otpad (polietilen, polipropilen) izvor je zagađivanja okoline. Razvijen je veliki broj postupaka za reciklovanje poliolefinskog otpada. U ovome radu je prikazan tehnološki postupak pod oznakom T-tehnologija[®] za termičku depolimerizaciju poliolefinskog otpada u reaktoru pod atmosferskim pritiskom pri čemu se dobija smeša ugljovodonika C₁-C₃₄. Frakcija C₁-C₇ tokom prerade otpada sagorevanjem obezbeđuje temperaturni režim rada reaktora. Postrojenje je automatizovano i energijski visokoefikasno. Za rad postrojenja za depolimerizaciju potrebna je mala električna snaga. Otpad depolimerizacije ne zagađuju okolinu. Frakcija C₇-C₃₄ služi za komercijalne svrhe ili kao energent u elektrani u sklopu postrojenja za depolimerizaciju poliolefinskog otpada.

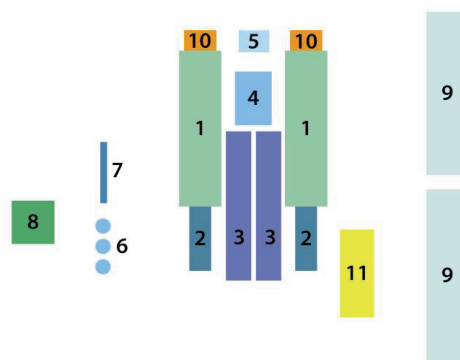
Raspolaganje podacima o masi, geografskom rasporedu i učestalosti javljanja organskog otpada na prostorima Republike Srbije sabrano je radom specijalizovanih službi [1]. Značajan udeo u organskom otpadu ima poliolefinski otpad (polietilen, PE i polipropilen, PP). Ovakvi otpadi su spororazgradljivi ako su izloženi samo dejstvu prirodnih uslova, pri skladištenju na deponijama. Njihovo odlaganje na deponije sa otpadom čije razlaganje prate egzotermne hemijske reakcije skopčano je sa opasnošću paljenja i sagorevanja, kao i dodatnog zagađivanja lokalne okoline nastalim gasovitim produktima. Zbog toga je takva deponija izvor kako fizičkog tako još i hemijskog zagađivanja.

Rešavanja pitanja prerade čvrstog organskog otpada skopčano je sa pojavljivanjem, učestalošću i masom takvog otpada. Pojava otpada neposredno je vezana za ekonomski razvoj i konzumiranje svih vrsta proizvoda. Može se reći da tamo gde je veća ekonomska razvijenost lokalne zajednice raste i potrošnja. Narastanje potrošnje prati porast mase otpada. Stoga i masa čvrstog poliolefinskog otpada će biti veća na onim mestima na kojima dominira ekonomska razijenost i njoj primerana potrošnja. U takva područja spadaju razvijeni industrijski, administrativni i drugi centri lokalne, regionalne jedinice ili države. Upravo na tim mestima postoji potreba za organizovanim sakupljanjem i preradom čvrstog poliolefinskog otpada.

T-TEHNOLOGIJA[®] – TEHNOLOŠKI POSTUPAK

Da bi se poliolefinski otpad mogao koristiti kao energent potrebno ga je prestrukturirati u ugljovodonična jedinjenja pogodna za sagorevanje [2]. Prestrukturiranje čvrstog poliolefinskog otpada, čije tehničko-tehnološko rešenje razrešava pitanja nastajanja energenata pogodnog hemijskog sastava, označena je kao T-tehnologija[®] [3]. Blok šema postrojenja za depolimerizaciju data je na slici 1 na kojoj oznake imaju sledeća značenja: 1 - reaktor, 2 - manuelno hranjenje reaktora,

3 - kondenzaciona jedinica, 4 - ležište samočistača, 5 - samočistač, 6 - razmenjivači toplote kondenzacione jedinice, 7 - rekuperatori energije dimnih gasova, 8 - dimnjak, 9 - skladišta, 10 - energana, 11 - kontrolni pult.



Slika 1. Blok šema postrojenja za depolimerizaciju.
Figure 1. Schematic presentation of the depolymerization unit.

T-tehnologija[®] koristi katalitički postupak depolimerizacije poliolefina. Depolimerizacija se odvija na atmosferskom pritisku. Termički režim depolimerizacije teče u opsegu temperature, θ , od 193 do 560 °C; razlaganje makromolekula teče uz odsustvo kiseonika. Pod ovim uslovima depolimerizacije poliolefinskog otpada, obezbeđuje se nastajanje smeše C₁-C₃₄ ugljovodoničnih jedinjenja.

Postupak depolimerizacije je zaštićen autorskim pravima [4].

T-tehnologija[®] prerađuje poliolefinski otpad, koji se u komunalnom otpadu najčešće javlja u obliku sledećih proizvoda: kese i vreće za jednokratnu upotrebu, materijali za pakovanje hrane i drugih proizvoda, boce za sredstva za čišćenje i kozmetiku, materijali u domaćinstvu, stari radio aparati, TV i drugi uređaji, dečje igračke, kancelarijski i otpad računarskih uređaja, rezervoari od poliolefina, cevi i izolacija kablova, industrijski tekstil, itd.

Da bi se postupak katalitičke depolimerizacije odvijao potrebno je da otpad na ulazu u modul (modul čine dva paralelno postavljena reaktora) bude prethodno se-

Autor za prepisku: Š. Tisovski, Traming, Zemun, Srbija.

E-pošta: tisoovski@eunet.rs

Rad primljen: 10. septembar 2008.

Rad prihvaćen: 2. novembar 2008.

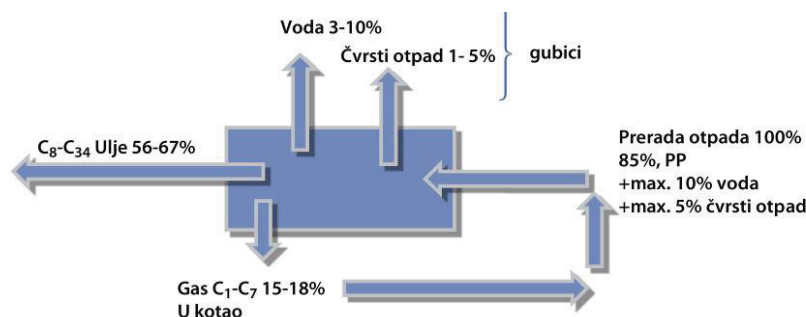
lekcionisan. T-tehnologija[®] zahteva otpad sledećeg porekla i masenog sastava:

- poliolefinski materijal za pakovanje različitih boja, debljine i sastava,
- poliolefinski materijal za pakovanje sa štampanim tekstom,
- različite geometrijske forme polietilena i polipropilena u svim masenim odnosima u smeši,
- poliolefinske folije sa aluminijumskim slojem,
- mineralne nečistoće (pesak, staklo, sitan metalni otpad), najviše 5 mas% i
- druge nečistoće ili tečna faza vode, najviše 10 mas%.

S obzirom na postupak i tehnološke uslove za prestrukturiranje poliolefinskih makromolekula T-tehnologija[®] nije pogodna za preradu sledećih materijala:

- organski materijali onečišćeni organskim supstancama koje sadrže hlor, sumpor, azotna i karbonatna jedinjenja,
- metali, metalna ambalaža sa organskim slojem i
- eksplozivni i brzo goreći materijali.

Šema tehnološkog postupka T-tehnologije[®] data je na slici 2.



Slika 2. Šema tehnološkog toka učesnika depolimerizacije.

Figure 2. Schematic presentation of the technological flow of substances during the depolymerization.

Koeficijent efikasnosti katalitičke depolimerizacije zavisi i od hemijskog sastava i molekulske strukture ulaznih poliolefina (polietilen niske gustine – LDPE ili visoke gustine – HDPE, amorfni ili izotaktički polipropilen).

Ovim postupkom katalitičke depolimerizacije poliolefinskog otpada dobijaju se proizvodi:

- smeša ugljovodonika C_1-C_7 sa udelom od 15 do 18 mas%,
- smeša ugljovodonika C_8-C_{34} sa udelom od 65 do 77 mas%,
- vodenena para sa udelom od 3 do 10 mas% i
- čvrst otpad sa udelom od 1 do 5 mas%.

Udeo pojedinih frakcija ugljovodonične smeše u proizvodima depolimerizacije zavisi od hemijskog sastava poliolefinskog otpada na ulazu u reaktor.

Budući da u ugljovodoničnoj frakciji C_8-C_{34} nisu prisutna jedinjenja sa hlorom i sumporom moguće je smešu nastalih ugljovodonika koristiti za različite namene kao sekundarnu petrohemijsku sirovinu.

Hemijskim analizama proizvoda depolimerizacije nije dokazano prisustvo benzena niti jedinjenja sa karbonilnim ili alkoholnim grupama.

Smeša ugljovodonika C_8-C_{34} može se frakcionom destilacijom razdvojiti na frakcije korisne za industriju. Ako se sa 100 mas% označi smeša ugljovodonika C_8-C_{34} tada se može očekivati sledeći sastav proizvoda frakcione destilacije:

- na temperaturama u opsegu od 105 do 140 °C javljaju se benzini i organski razređivači sa udelom od 15 do 20 mas%;

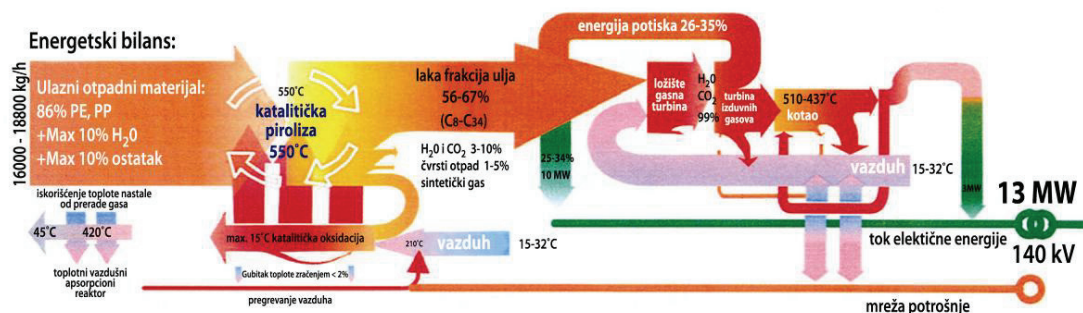
- na temperaturama u opsegu 220 do 280 °C izdvaja se frakcija sa udelom od 60 do 70 mas%, koja se može koristiti kao ulje za loženje i dizel gorivo;

- na temperaturama u opsegu 300 do 360 °C izdvajaju se »makromolekulske« frakcije sa udelom od 15 do 20 mas%, koje se npr. mogu koristiti kao voskovi.

Tehnološko rešenje obezbeđuje potrebe za toplotom i termičkim režimom rada reaktora, sagorevanjem depolimerizacijom nastale smeše ugljovodoničnih jedi-

njenja C_1-C_7 . Zahvaljujući tome tehnološki postupak je energijski samodovoljan. S druge strane, za kapacitet prerade otpada od 480 do 560 t/mesec koji se u reaktoru depolimerizuje sa koeficijentom efikasnosti $\eta = 80-95\%$, potrebna električna snaga za rad jednog modula je samo 30 kW. Angažovanje te snage ukazuje na to da rad postrojenja svodi na minimum opterećenje lokalne električne mreže i potrebu za trafo-stanicom. Sa te tačke gledišta kako rad modula tako i ceo postupak depolimerizacije može biti označen kao energetski visokoefektivan i veoma profitabilan.

Za energetska analizu korisno je raposlagati tokovima energije i mase učesnika procesa. Radi vizualizacije tih tokova na slici 3 dat je Senkijev dijagram T-tehnologije[®]. Gradnjom elektrane u okviru pogona (slika 3), koja kao energente koristi proizvode depolimerizacije, celo postrojenje postaje energijski još profitabilnije.



Slika 3. Senkijev dijagram protoka energije T-tehnologije®.
Figure 3. Sankey's diagram of the energy flow in T-Technology®.

EKOLOŠKI ZNAČAJ

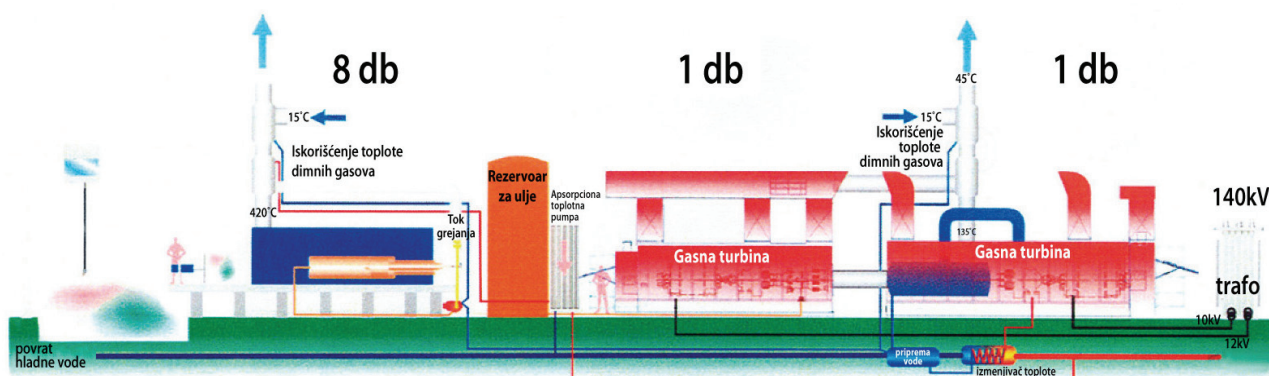
Poliolefinski otpad zbog male gustine i često u obliku šupljih tela zauzima značajan prostor na već popunjenim i skupim deponijama. Stoga njegoa prerada različitim postupcima reciklovanja, kako bi se u najširem tehničko-tehnološkom smislu mogla označiti i T-tehnologija®, doprinose značajnom smanjenju zapremine komunalnog otpada na deponijama. Istovremeno, preradom poliolefinskog otpada T-tehnologijom® u energente ili cenjene petrohemijske sirovine doprinosi se ostvarenju zapaženih ekonomskih, energijskih i socijalnih efekata. T-tehnologija® predstavlja tehničko-tehnološku automatizovanu, kontrolisnu proizvodnu celinu sa vrlo malim nepovoljnim uticajem na okolinu, koji se ogleda u nastajanju odgovarajuće količine CO₂ i potrebe odlaganja nastalog čvrstog otpada pirolize.

Razgradnjom poliolefinskog otpada nastaje smeša proizvoda depolimerizacije. Nastala smeša ugljovodnika ima veliku energijsku vrednost. Zbog toga se pored frakcije C₁-C₇, koja se koristi u postupku procesa depolimerizacije i čini ga energetski samoodrživim, može se ugradnjom parnog kotla, gasne i parnih turbina i frakcija C₈-C₃₄ koristiti kao energent za proizvodnju električne energije uz pogon za katalitičku depolimerizaciju (slike 3 i 4). Korišćenjem i viših frakcija depolimerizacije poliolefinskog otpada zatvara proizvodni ciklus, tako

što se svi nastali proizvodi koristi na jednom mestu i to sa jedne strane za održavanje procesa pirolize i sa druge strane za proizvodnju električne energije. Energetska jedinica pogona – lokalna elektrana – konzumnom području može da isporuči energiju najvećeg termodinamičkog kvaliteta – eksergiju. Ostvarivanjem takvog tehničko-tehnološkog rešenja, zatvorenjem toka svih učesnika procesa – proizvodnim ciklusom – doprinosi se očuvanju prirodnih, nezagađenih, resursa lokalnog i ne samo lokalnog okruženja.

Poznato je da svako sagorevanje ugljovodnika doprinosi emisiji štetnih gasova. Sagorevanjem proizvoda depolimerizacije javlja se emisija vodene pare, ugljen-dioksida i drugih hetero molekula i višeatomnih gasova nastalih korišćenjen atmosferskog vazduha kao izvora kiseonika potrebnog za njihovo sagorevanje. Emisija navedenih štetnih gasova pri primeni T-tehnologije® je izborom dobre opreme i strogo kontrolisanom vođenju postupka svedena na najmanju moguću vrednost.

Na slici 4 dato je šematsko rešenje povezanosti T-tehnologije® sa jedinicom za proizvodnju naizmenične struje – prevođenjem toplotne energije sagorevanja nastalih ugljovodoničnih jedinjenja u električnu energiju. Na slici je naveden i efekat buke koja nastaje usled rada postrojenja.



Slika 4. Shema T-tehnologije® u sprezi sa energetsom jedinicom.
Figure 4. T-technology® and energy unit.

PRIZNANJA T-TEHNOLOGIJE®

T-Tehnologija® spada u najnoviju generaciju u toj oblasti tehničko-tehnoloških rešenja. Energijskom, ekološkom, ekonomskom i socijalnom sadržinom ta tehnologija je stekla osnove za sledeća priznanja:

– visoka ocena na skupu The Energy Word Leaders 2005 i

– Lion (Franuska); skup Pollutec – zlatna medalja u kategoriji IV. Ed. EEP.

ZAKLJUČAK

T-Tehnologija® je najnovija tehnologija reciklovanja poliolefinskog otpada u energiju u industrijskom obimu. T-Tehnologija® koristi postupak depolimerizacije (pirolize) na povišenoj temperaturi u prisustvu katalizatora i odsustvu kiseonika. Prerada otpada teče pod atmosferskim pritiskom. Depolimerizacijom poliolefina obezbeđuje se ugljovodonična frakcija koja služi za sagorevanje u reaktoru (frakcija C₁-C₇) i u znatno većem

masenom udelu nastala smeša ugljovodonika (C₈-C₃₄) za komercijalni plasman. Postupak depolimerizacije je energetski visoko efikasan i energijski samodovoljan.

Ugradnjom turbine energetska jedinica se priključuje na mrežu elektroenergetskog sistema. Tako postrojenje za preradu poliolefinskog otpada postaje nova, i posebna, celina.

Zatvarenjem toka svih učesnika procesa – proizvodnim ciklusom – doprinosi se očuvanju prirodnih, nezagađenih resursa okruženja i pomaže održiv razvoj.

LITERATURA

- [1] Dokumenta Agencije za reciklažu – Beograd i Servisa za sakupljanje otpada, Privredna komora Republike Srbije, Beograd.
- [2] B. Đorđević, V. Valent, S. Šerbanović, Termodinamika sa termotehnikom, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd, 2007.
- [3] Dokumentacija vlasnika T-tehnologije®.
- [4] P-85361 (2004), P-370314 (2004), WO 2005/078049 A1, Euro – PCT 1691917 (2006).

SUMMARY

POLYOLEPHINE WASTE RECYCLING AS SOURCE OF POWER ENERGY

Štefan Tisovsky¹, Vladimir Valent²

¹Traming, Zemun, Serbia

²Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade, Belgrade, Serbia

Professional paper

Polyolephine waste (polyethylene, polypropilene) is the main source of environmental pollution. Depolymerization of waste in reactor under atmospheric pressure yields hydrocarbon mixture C₁-C₃₄. In turn, combustion of C₁-C₇ fraction provides reactor temperature regime. The plant is automated and energetically highly efficient. Small electric power is required for operating the plant. The waste originating from depolymerazation does not pollute the environment. Fraction C₇-C₃₄ not only serves for commercial purposes but also as a power energy provider within the waste depolymerization plant.

Key words: Polyolephine waste • Recycling • Environmental protection
 Ključne reči: Poliolefinski otpad • Reciklaža • Zaštita životne sredine