

IZBOR OPTIMALNOG PROCESA RECIKLAŽE OTPADNIH PNEUMATIKA

Petar S. Đekić *

Mašinski fakultet Univerziteta u Nišu

Dr Dragan Temeljkovski

Mašinski fakultet Univerziteta u Nišu

Dr Stojanče Nusev

Tehnički fakultet "Sveti Kliment Ohridski" Univerziteta u Bitolju

Ovaj rad je baziran na najnovijim podacima iz oblasti prerade i reciklaže otpadnih pneumatika. U radu su objašnjene najzastupljenije metode reciklaže u svetu, susedstvu i kod nas. Analizirani su različiti procesi drobljenja otpadnih pneumatika i proces pirolize. U radu su dati i podaci o mogućnosti primene proizvoda dobijenih procesom reciklaže. Metodom težinskih koeficijenata su analizirani procesi reciklaže i izabran je optimalan metod reciklaže. Ocenjivanje je izvršeno na osnovu više kriterijuma i sagledane su sve prednosti i nedostaci datih procesa prerade otpadnih pneumatika, da bi se na kraju došlo do procesa „pirolize“. Na kraju su navedene prednosti optimalnog procesa u odnosu na ostale metode.

Ključne reči: otpadni pneumatik, reciklaža, drobljenje, piroliza, granulat, gumeni prah, metod težinskih koeficijenata

UVOD

Ubrzan industrijski razvoj i nemaran odnos prema životnoj sredini, uticali su da nastajanje velikih količina otpada postane jedan od najvećih problema našeg vremena. Suočeni sa nedostatkom prostora za skladištenje otpada s jedne, i ograničenošću prirodnih resursa s druge strane, rešenje je neophodno tražiti u reciklaži. Poslednje decenije razvijeni su mnogi postupci za reciklažu svih vrsta materijala, a upravljanje otpadom svuda u svetu poprima sve veći značaj. Polimerni materijali, u koje spada i guma, cine svega cca 10% ukupnog otpada, ali se njihovoj reciklaži pridaje veliki značaj iz više razloga. Jedan od njih je to što se radi o materijalima male gustine a velike voluminoznosti pa proizvodi od njih zauzimaju mnogo mesta na deponijama (npr. 1 tona automobilskih pneumatika zauzima oko 6 m³ prostora), s obzirom da se proizvode iz nafte, polimeri poseduju visoku eksergijsku vrednost.

Proizvodnja i prodaja pneumatika u svetu u zadnjih nekoliko godina veoma blago rastu. U periodu od 2004. do 2008. godine primetan je godišnji porast od 6,7 %. [1]

U periodu od 2004. do 2005. godine u Evropi je reciklirano skoro 1.000.000 tona automobilskih i kamionskih pneumatika. Razvoj reciklaže pneumatika u periodu od 1992. do 2005. godine, beleži stabilan rast recikliranja od 1992. godine, kada je 62% pneumatika odlagano na deponije i samo 5% materijalno reciklirano, do 2005. godine, kada je 62% ili materijalno reciklirano ili iskorišćeno za dobijanje energije. U tom periodu, količina nastanka otpadnih pneumatika je takođe rasla, sa 2 miliona tona u 12 država, na 3.1 milion tona u 25 država. Danas se samo 12% celih guma podvrgava minimalnoj preradi, kao što je baliranje, odstranjivanje žica ili bokova, ili jednostavno sečenje itd., dok se oko. 76% pneumatika sakupljenih za reciklažu prerađuje u tri različite kategorije materijala: šred, granulat i prah [2,7].

U Srbiji s`obzirom da je prosečan radni vek automobilskog pneumatika oko 8 godina i da je godišnja proizvodnja oko 1.100.000 komada odnosno oko 15-18.000 tona i doda li se tome otpadna guma iz gumeno tehničkih proizvoda dolazi se do količine od oko 30.000 tona otpadne gume.

Očigledno je iz ovih podataka da uprkos raznim

načinima ponovne upotrebe otpadne gume to postaje globalni problem. Postoje dve glavne alternative: odlaganje ili uništavanje i prerada. Odlaganje je dugo vremena bilo glavni jednostavan i jeftin način rešavanja problema sve dok problem nije dostigao velike razmere. Imajući u vidu relevantne količine stare gume za otklanjanje dominantan položaj u novije vreme ima spaljivanje a posebno reciklaža, sa opadajućom tendencijom deponovanja.

Recikliranje otpadnih pneumatika u granulat odnosno prah zahteva priličan ekonomsko tehnički utrošak jer mnogi gumeni proizvodi kao i automobilske gume, se sastoje iz višeslojnih materijala (uglavnom od gumenih, čeličnih, tekstilnih, poliuretanskih, staklenih i drugih komponenta). Ponovna primena tih komponenta po pravilu pretpostavlja čisto odvajanje međusobno po vrstama komponenta. Svi ovi aspekti trenutno limitiraju korišćenje stare reciklirane gume u velikoj industriji i materijalno iskorišćavanje stoga ima samo ekološku funkciju. S obzirom na aktuelnost očuvanja životne sredine i sve strožih ekoloških propisa reciklaža će se kretati u smeru osvajanja novih tehnologija koje će biti ekonomski i ekološki prihvatljivije.

METODE RECIKLAŽE I PRERADE PNEUMATIKA

Cilj nam je bio da istražimo one metode koje su najzastupljenije u svetu, našem okruženju i Srbiji ali postoje i razne metode prerade i reciklaže otpadnih pneumatika koje nisu obuhvaćene ovim radom (hemiska, mikrotalasa, ultrazvučna reciklaža, pulverizacija i itd). Odabrane metode ne zagađuju okolinu, u svojim procesima ne sadrže upotrebu opasnih kiselina i baza, i predstavljaju najjeftinije oblike reciklaže. Ovim radom obuhvaćene su sledeći procesi reciklaže:

- drobljenje (mlevenje),
- piroliza.

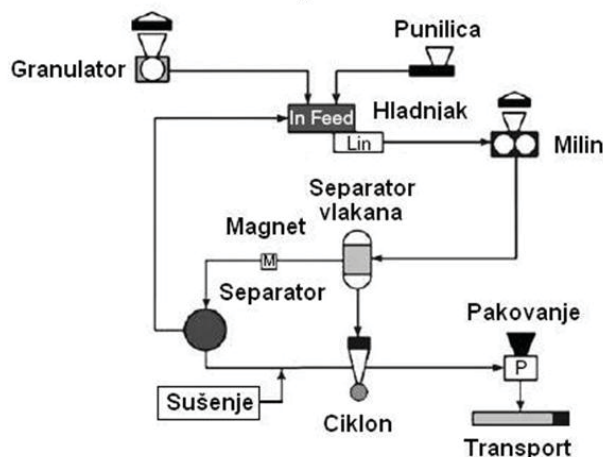
U zavisnosti od vrste procesa drobljenja, kao i temperature na kojoj se vrši drobljenje razlikuju se dve metode prerade otpadnih pneumatika:

- kriogeno drobljenje,
- mehaničko (ambijentalno) drobljenje.

Recikliranje otpadnih pneumatika metodom kriogenim drobljenjem

Proces kriogenog drobljenja vrši se na tempe-

raturama do -100°C , tj na temperaturi koja je za jedan stepen viša od tačke staklaste promene. Kao medijum za hlađenje se najčešće koristi inertni gas azot. Na ovaj način guma postaje krhka tako da dolazi do staklastog loma materijala i vrlo lako se odvaja platno i metalni delovi od gume. Proces kriogenog drobljenja se odvija iz niza pod procesa koji su prikazani na slici 1.



Slika 1. Šema kriogenog procesa reciklaže

Prvo se pneumatiki drobe u drobilici na veće komade veličine oko 50 mm a zati se hlade tečnim azotom na odgovarajuću temperaturu. Hlađenje se može izvesti na nekoliko načina direktno na pokretnoj traci, u ekstruder, u tunelu (stilu komora), ili u kadi sa tečnim azotom. Indirektno hlađenje se vrši u izmenjivaču toplote. Tečni azot može se ubrizgavati u mlin pre i za vreme procesa drobljenja. Postoje udarni i čekić mlinovi za drobljenje gume (slika 2), raspad čestica gume je prouzrokovan uticajem između samih čestica gume ili sa različitim delovima opreme za drobljenje.



Slika 2. Izgled čekića u mlinovima

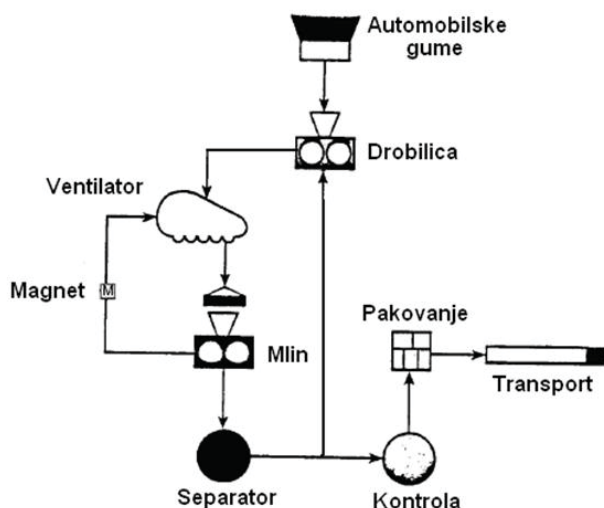
Veličina čestica koja se može postići je u rasponu od 0,4 do 0,6 mm. Na izlazu iz mlina granulat prolazi kroz sistem sita tj. separacija gde jedan deo odlazi na ponovno drobljenje pakje, a drugi deo se suši, zatim uz pomoć ventilatora vrši odvajanje čelika, tekstila i čestice prašine da bi se na kraju pakova i transportovao do kupaca [4-7].

Reciklaža otpadnih pneumatika metodom mehaničkog (ambijentalnog) drobljenja

Proces mehaničkog drobljenja se odvija na spoljašnjoj temperaturi, pa se ovaj proces naziva i ambijentalni jer je radna temperatura ustvari temperatura ambijenta, tako da se obezbeđuje homogenost strukture i stabilnost procesa. Radna temperatura se postiže unutrašnjim trenjem u mlinovima.

Ovaj proces se sastoji od niza pod procesa prikazanim na slici 3. Prvo se zbog razlike u veličini čeličnog jezgra kod teretnih i traktorskih pneumatika, gde određene niti mogu imati prečnik i do 8 mm pneumatici moraju isecati po dužini kako bi se čelične niti mogle ukloniti [2]. Zatim se tako pripremljeni pneumatici ubacuju u drobilicu sa ozubljenim valjcima na osovina koje se vrte u suprotnim smerovima slika 4 čime se postiže veličina komada od 4x5 mm. Ovaj postupak se ponavlja dva do tri puta kako bi se postigla odgovarajuća veličina komada.

Zatim se u drobilici sa uzdužnim ozubljenjem na valjcima koji se okreću u suprotnom smeru vrši drobljenje na manje komade. Nakon ovog procesa se uz pomoć magneta odstranjuju metalne



Slika 3. Šema ambijentalnog procesa reciklaže

primese, a uz pomoć ventilatora se odstranjuje tekstil i sitna prašina. Poslednji proces je finalno mlevenje na traženu veličinu čestice u rasponu od 0,1 do 5 mm [4,6].



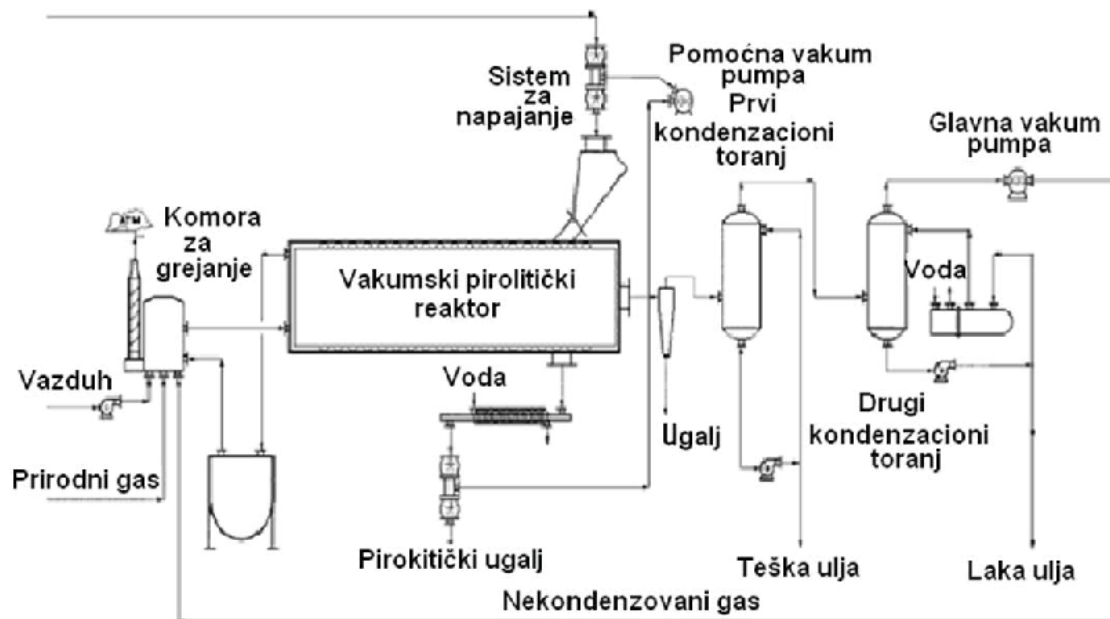
Slika 4. Ozubljeni valjci

Prerada pneumatika postupkom pirolize

Piroliza se zasniva na toplotnom razdvajanju makromolekula sa očuvanjem ugljo vodoničnih veza. Procesi se ostvaruju na višim temperaturama u reaktoru (rotacione peći) i u vakumu (slika 5). Određeni sastojci odvajaju se kondenzacijom dok se drugi dobijaju fizičko-hemijskim procesima. Kvalitet i količina izlaznih proizvoda zavisi od tipa tehnologije i uslova pirolize. U nekim slučajevima se pirolitički prerađuje smeša otpadnih pneumatika i otpadne plastike. Usitnjeni otpadnin pneumatici u rotacionim kružnim pećima prelaze u gasovito stanje pod dejstvom visoke temperature i u vakumu. Ovako dobijen gas prelazi u sledeći deo sistema, gde se izdvajaju čvrste frakcije. Gas se postepeno hladi, dolazi do promene pritiska i prelazi u tečno stanje. Pirolitički gas koji pri tom nastaje se koristi kao izvor toplotne energije, a u slučaju realizacije kogeneracione jedinice, i kao izvor električne energije, pa praktično postrojenje samo proizvodi određenu količinu neophodne energije [4].

Proizvodi dobijeni procesom reciklaže i njihova moguća primena

Postoji mogućnost široke primene reciklirane gume. Dobijeni proizvodi se mogu koristiti u građevinskoj industriji, kao podloge za puteve slika 6, veci komadi (šred) se mogu koristiti kao zvučni izolacioni materijali. Gumeni granulat se može dodavati betonu kao ispuna čime



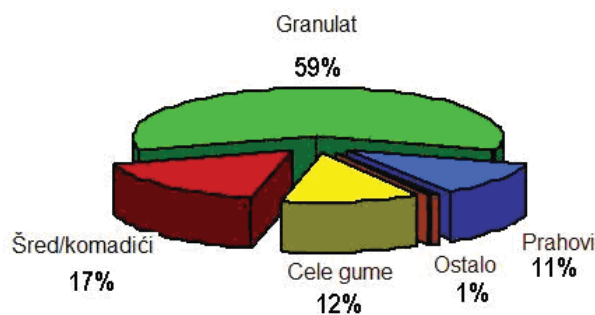
Slika 5. Šema procesa pirolize

se poboljšavanju njegova svojstva. Moguće je proizvoditi i dilatacione razdelnice kod mostova kao i pružne prelaze. Gumeni prah može se koristiti i kao dodatak asfaltu jer povećava trenje pri kočenju.

Najširu primenu ima gumeni granulati slika 7, koji se koristi u industriji za proizvodnju podnih obloga za sportske terene, dečija igrališta, staje, hale, itd. Gumeni prah se može koristiti kao dodatak pri proizvodnji gumenih smeša radi pojeftinjenja proizvoda u tabeli 1, prikazana je zavisnost primene reciklata od veličine čestice [8].



Slika 6. Podloga za puteve









Slika 7. Učešće frakcija reciklaže

IZBOR OPTIMALNOG PROCESA RECIKLAŽE PRIMENOM METODE TEŽINSKOG OCENJIVANJA

Težinsko ocenjivanje bodovanjem izvodi se bodovanjem varijantnih rešenja što omogućuje detaljno upoređenje rešenja. Pre svakog ocenjivanja vrši se analiza svih procesa i svih njegovih parametara. Nakon detaljne analize varijantnih rešenja i saznanja da data rešenja zadovoljavaju potrebne zahteve, vrši se izbor kriterijuma po kom će se varijantna rešenja ocenjivati. U radu tim ocenjivača je zajednički ustanovio sledeće kriterijume ocenjivanja:

- troškovi procesa reciklaže,
- složenost i stabilnost procesa reciklaže
- iskorištenost produkata reciklaže.

Tabela 1. Primena proizvoda reciklaže otpadnih pneumatika

Veličina čestice	Metod prerade otpadne gume	Primena
 0-1,0 mm	Gumeni prah dobijen mlevenjem i prosejavanjem frakcija	Đonovi za obuću, dihtung ploče, gumena creva , točkovi za kosilice, kante za smeće, kolica, zaptivne mase, duroplasti, ...
 1,0-2,0 mm	Gumeni granulat dobijen drobljenjem	Sportske podloge, zamena za veštačku travu, obloge u stajama, ležeći policajci, stubici na autoputu, stubici za parkiranje...
 2,0-4,0 mm	Gumeni granulat dobijen drobljenjem	Gumene elastične podloge, gumene trake protiv vibracija, antistres podloge za dečija igrališta, poklopci za kanalizaciju...
 4,0-6,0 mm	Gumeni granulat dobijen drobljenjem	Zaštitne barijere pored puta, pružni prelazi , ležeci policajci, dilatacione razdelnice, podne ploče za izolaciju...
 10-50 mm	Šred ili komadici dobijeni sečenjem otpadnih pneumatika	Lake ispune u građevinarstvu, drenaže, izgradnja pločnika, građenje i održavanje deponija, potporni stubovi mostova, ...
 50-300 mm	Šred ili komadici dobijeni sečenjem otpadnih pneumatika	Lake ispune za osnove puteva, nasipi, drenaže, tolotna izolacija u putevima i zgradama, zvučne rampe,

Kriterijum troškovi procesa reciklaže zasniva se na proceni koliko je energije, resursa i drugih materijala (azota, topljene soli, vode, itd) neophodno za proces reciklaže. Kriterijum složenost i stabilnost procesa reciklaže sagledava složenost i stabilnost samog procesa kao i postrojenja mogućnost kontrole, otkaza, havarije i tačnost izrade produkata reciklaže. Kriterijum iskorištenost produkata reciklaže sagledava u kojoj meri se produkti mogu iskoristiti i kojom brzinom kako ne bi došlo do zastoja u proizvodnji i gomilanju zaliha.

Zatim se pristupilo određivanju težinskih koeficijenata, gde je svaki član tima odredio težinske koeficijente (q_i) za svaki od kriterijuma prema svojoj subjektivnoj proceni, pri čemu je naravno suma težinskih koeficijenata jednaka 1. Težinski koeficijenti predstavljaju numerički izraženu vrednost pojedinih kriterijuma.

Dalje je usledila nezavisna analiza pojedinih osobina svakog varijantnog rešenja j . Svaku od varijanti j ocenjuje svaki član ocenjivačkog tima pojedinačno (nezavisno od težinskog koeficijenta) bodovima P_{ij} , pri čemu oni uzimaju vrednosti od 1 do 10, a bodovi se množe težinskim koeficijentom q_i . Za svaku varijantu proizvodi se sabiraju po svim kriterijumima. Na taj način se za svaku varijantu dobija suma bodova na osnovu koje se donosi odluka.

Težinski koeficijenti tek tada imaju smisla, ako se za različite kriterijume značajno razlikuju, tako da najvažnije osobine budu adekvatno ocenjene.

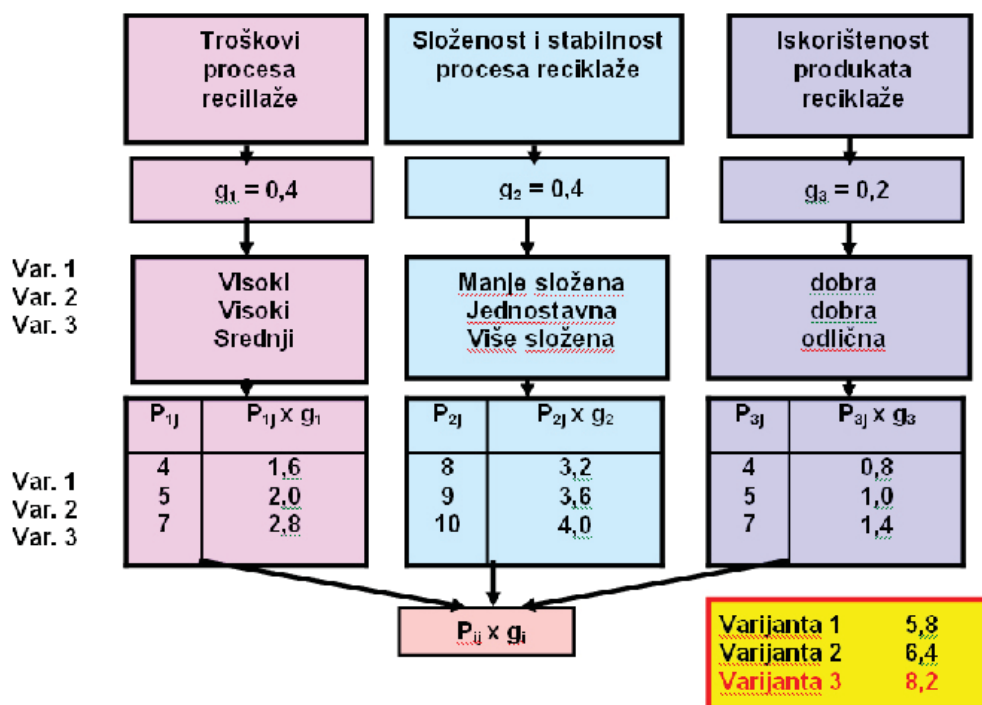
Ocenjivački tim je zajednički ustanovio kriterijume, a onda je svaki od ocenjivača prema svom subjektivnom mišljenju određivao težinske koeficijente i vršio ocenjivanje datih rešenja. Na dijagramu 1 prikazano je zbirno ocenjivanje varijantnih rešenja.

Zbirna ocena svakog procesa dobija se izračunavanjem srednje ocene za svaku ocenjenu varijantu. Pod varijantom se podrazumevaju procesi reciklaže:

- Varijanto rešenje 1 - kriogeno drobljenje
- Varijanto rešenje 2 - mehaničko (ambijentalno) drobljenje
- Varijanto rešenje 3 – vakumska piroliza

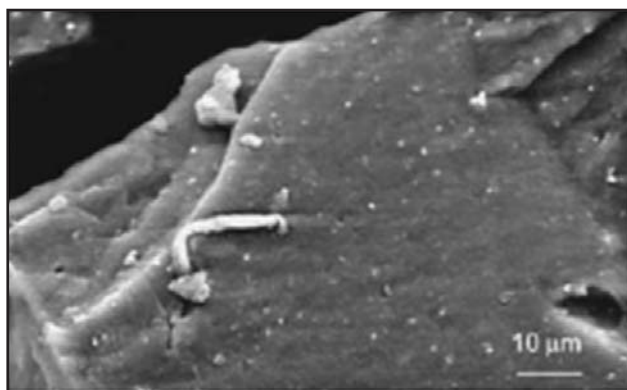
ANALIZA I DISKUSIJA

Osnovna razlika između kriogenog i mehaničkog drobljenja je u veličini i obliku čestice. Kriogena čestica slika 8, ima ravne i glatke ivice (pravilnog oblika) što dovodi do slabijeg umrežavanja koji utiče dalje na njenu primenu, za razliku od ambijentalne čestice (nepravilnog oblika), slika 9, koja ima razuđene ivice i lako se umrežava sa polimerima [4-6].

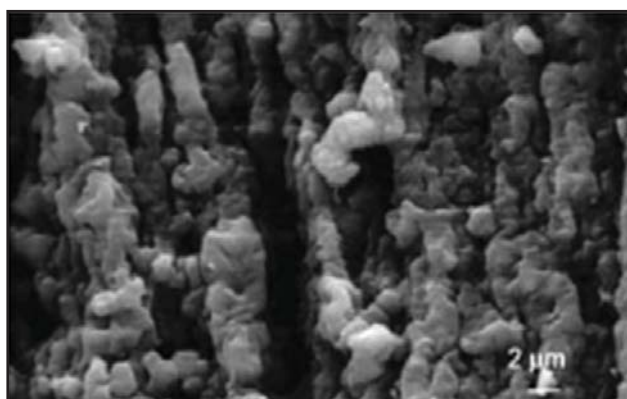


Dijagram 1. Težinsko ocenjivanje bodovanjem . Najbolje ocenjena varijanta je varijanta V3

Kao direktna posledica oblika i veličine čestice kriogene čestice se lako umešavaju i vezuju sa učvrstivačima u smeši za razliku od ambijentalne čestice koja ima pet puta veću površinu čestice. Gumeni prah dobijen mehaničkim drobljenjem sadrži do 0,5% vlakana i do 0,1% čelika, dok je kod gumenog praha dobijenog kriogenim postupkom ispod granice detekcije [4,5].



Slika 8. Izgled čestice dobijene kriogenim postupkom



Slika 9. Izgled čestice dobijene mehaničkim postupkom

Neophodna energija za sam proces drobljenja je manja kod kriogenog drobljenja nego kod mehaničkog drobljenja, ali je veća količina energije koja se troši na hlađenje i sušenje čestica. Potrošnja azota iznosi 0,5 kg tečnog azot za 1 kg otpadnog pneumatika za drobljenje sa 50 mm na 2 mm. Dok za drobljenje čestica sa 2 mm na 0,5 mm iznosi 0.7 kg.

Pri mehaničkoj reciklaži često dolazi i do pojave prašine usled procesa mlevenja. Reciklažom drobljenjem dobija se 66% gume, 17% tekstila i 16 % metala. Cena proizvodnje gumenog granulata i praha procesom kriogenog drobljenja je značajno veća od mehaničkog drobljenja [4-6].

Procesom pirolize dobijamo razne frakcije proizvoda i to:

- Gas
- Tečna goriva
- Ugljenični prah.

Procesom pirolize prvo se dobija prirodni gas koji se koristi za grejanje. Tečna goriva se dobijaju kondenzacijom i to teški i laki derivati ulja. Po sastavu su slična lož ulju, tačka paljenja je na 65 °C, sadržaj čađi iznosi od 1,5% do 3,0%, sadržaj sumpora iznosi oko 0,6% i ima toplotnu moć 49500KJ/kg, pa se vrlo često mogu koristiti i za dalju preradu. Ugljenični prah sadrži primese metala i ostalih soli, ali se može koristiti kao aktivni ugalj u filterima, kao zamena u gumarskoj industriji za čađ N-220, N-330 ili za dalju preradu u hemijskoj industriji [5,7].

Efikasnost klasičnog postrojenja za pirolizu je 9500 tona plastike i pneumatika godišnje, pri korišćenju jednostavne linije (jedna zaostaje u srednjem delu). Kapacitet u zavisnosti od gumene frakcije iznosi od 0,3 do 1,5 t na 5 do 6 sati. Učinak je 92%. Pri punjenju 90% plastike i 10% pneumatika, dobija se 50% lož ulja, 37% gasa i 5% ugljeničnog praha. Gubitke predstavlja 2-3% pepela i 5-6% toplote. [1,7]. Potrebna energija za postrojenje iznosi 18 Kw. Sama cena postrojenja je oko 350.000 € godišnji rashodi su oko 150.8520 € dok se predviđa da bi godišnji prihod iznosio oko 588.00 € [3,9].

ZAKLJUČAK

U ovom radu smo došli do sledećih zaključaka:

- proces mehaničkog drobljenja je optimalniji od procesa kriogenog drobljenja jer je jeftiniji i brži,
- proces pirolize je optimalan proces reciklaže sa stanovišta ekonomske isplatljivosti i pored svoje složenosti,
- najbrži način i najveći stepen iskorišćenosti procesa reciklaže ima piroliza pri čemu nema nikakvih štetnih faktora koji negativno utiču na životnu sredinu.

Ovi radom smo želeli da podstaknemo razvoj ove industrijske grane u Srbiji i doprinesemo većem stepenu reciklaže i primene njenih proizvoda u domaćoj gumarskoj industriji.

LITERATURA

- 1) Gradimir Danon, Predrag Gavrić, Vladimir Momčilović, Steva Bunčić (2009) ,Eksploatacija i održavanje pneumatika komercijalnih vozova, Naučno-stručni časopis Istraživanja i projektovanja za privredu, br. 25, str 1-10.
- 2) J. Hodolič, M. Stević, Đ. Vukelić, A. Zajac (2008) Reciklaža i prerada otpadnih pneumatika, Festival Kvaliteta, 3 konferencija o kvalitetu života, Kragujevac.
- 3) James E. Mark, Burak Erman, Frederick R. Eirich(2005), Science And Technology of Rubber Third Edition, Elsevier Inc,
- 4) Sadhan K. De Avraam I. Isayev Klementina Khait (2005), RUBBER RECYCLING, Taylor & Francis Group,
- 5) The Recycling Technology Assistance Partnership (ReTAP) (1996), Best Practices in Scrap Tire and Rubber Recycling.
- 6) <http://www.ddrrecycling.blogspot.com/>
- 7) <http://www.etra-eu.org>
- 8) <http://www.gumiimpex.hr>
- 9) <http://www.volgrad.rs>

WASTE TIRE RECYCLING AND SELECTION OF THE MOST OPTIMAL PROCESS OF RECYCLING

This paper is based on the latest data from the field of processing and recycling of waste tires. The paper explained most common methods of recycling in world and in our contry. We have analyzed the processes of milling and process waste tires pirolize. U paper presents data on the possibility of applying the product obtained by recycling process. Method weights were analyzed recycling process and was chosen the most optimal method of recycling. Evaluation was conducted based on multiple criteria, and all the perceived advantages and disadvantages of the given processing waste tires, that would eventually come to the process of "pyrolysis". At the end of the listed advantages of the most optimal process compared to other methods.

Keywords: waste tires, recycling, milling, Pyrolysis, granulate, rubber powder, method of weights

Rad poslat na recenziju: 12.02.2010.

Rad vraćen sa recenzije: 19.03.2010.