

**RECIKLIRANJE OTPADNIH GUMA PROCESOM AMBIJENTALNOG USITNJAVANJA
RECYCLING OF WASTE TYRES BY THE PROCESS OF AMBIENT SHREDDING**Nikolina Savić, Bojan Batinić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – INŽINJERSTVO ZAŠTITE ŽIVOTNE
SREDINE**

Kratak sadržaj – U okviru rada proučavane su osnovne karakteristike gume kao materijala, način njenog dobijanja, kao i različiti načini njenog tretiranja u momentu kada postane deo sistema upravljanja otpadom. Proučavanje ove teme sprovedeno je na osnovu analize naučnih radova drugih autora i istraživača i na osnovu konkretnog primera jednog postrojenja. Kao glavna metoda tretmana otpadnih guma izabrana je ambijentalna metoda usitnjavanja. Proučavanjem ove teme analiziran je celokupan postupak primene mehaničkog usitnjavanja otpadnih guma i izveden je samostalan zaključak o značaju proučavane metode recikliranja otpadnih guma.

Ključne reči: *Pneumatici, recikliranje, mehaničko usitnjavanje, gumeni granulati*

Abstract – This paper studies the basic characteristics of rubber as a material, the method of its production, as well as different ways of its treatment at the moment when it becomes part of the waste management system. The study of this topic was conducted by analysing different scientific papers of other authors and researchers and on the basis of a specific example of one tyre recycling plant. As the main method of waste tyre treatment, the ambient shredding method was chosen. By studying this topic, the entire process of ambient (mechanical) shredding of waste tyres was analyzed and an independent conclusion was made about the importance of the researched method of waste tyre recycling.

Keywords: *Pneumatics, recycling, mechanical shredding, rubber granulate*

1. UVOD

Porast stanovništva, brza industrijalizacija i poboljšanje životnog standarda danas ima za posledicu porast korišćenja proizvoda od gume i samim tim i rast količine otpada. Prema zapremini, auto-gume čine vodeću pojedinačnu stavku u otpadu. „Eco recycling” d.o.o. sa sedištem u Novom Sadu predstavlja najveću fabriku u Srbiji koja se bavi isključivo ambijentalnim (mehaničkim) procesom recikliranja otpadnih automobilskih i teretnih pneumatika, kao i ostalog gumenog otpada. Samo postrojenje, koje se nalazi na nekih 20 km od Novog Sada, u naselju Sirig, započelo je sa radom 2009. godine.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Bojan Batinić, vanr. prof.

Recikliranjem gumenog otpada ambijentalnom (mehaničkom) metodom prerade koja se primenjuje u fabrici „Eco-recycling” sve je upotrebljivo, a proizvodnjom gumenog granulata, koji ulazi u ponovni ciklus upotrebe, čuvaju se prirodni resursi.

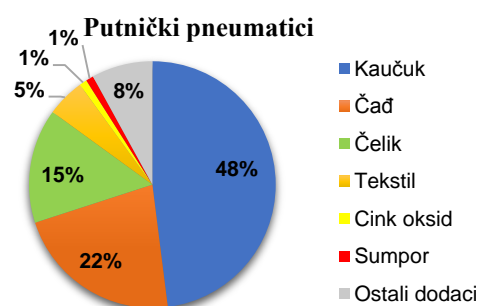
2. OSNOVE O GUMI

Guma je proizvod koji se izrađuje od prirodnih i veštačkih sirovina. Zbog svojih izuzetnih osobina, među kojima su dominantne elastičnost i izdržljivost, ima već duži niz godina široku primenu u svim vidovima proizvodnje. Prirodna guma tzv. kaučuk, dobija se iz biljke - Stablo kaučuka (lat. *Hevea brasiliensis*) čije je poreklo Južna Amerika. Prirodni kaučuk je čvrsta, amorfna supstanca, svetložute boje i karakterističnog mirisa. Biljke koje u sebi sadrže lateks se zasecaju, jer u sebi sadrže 30-40 % kaučuka, dok ostatak čine voda, smole, enzimi i belančevine [1]. Osnovna podela kaučuka je na:

- prirodni kaučuk i
- sintetički kaučuk

2.1. Sastav putničkih i teretnih pneumatika

Kada je reč o dva osnovna tipa pneumatika, razlikuju se putnički (eng. *Passanger's Vehicles*, PV) i teretni pneumatiki (eng. *Truck Vehicles*, TV). Sastav putničkih pneumatika u procentima, prikazan je na dijagramu 1. Glavna razlika između ova dva tipa pneumatika je u metalnom ojačanju, gde putnički pneumatiki sadrže 15 % čelika, dok teretni sadrže 27 % čelika [2].



Dijagram 1. Sastav putničkih pneumatika [2]

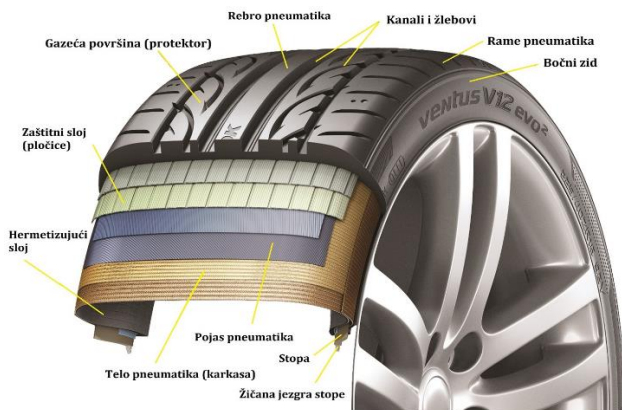
2.2. Struktura pneumatika

Svaki savremeni pneumatik se strukturno sastoji od tri osnovna dela:

1. Gazeća površina (protektor, gazište) – spoljašnji sloj pneumatika koji je napravljen od čvrstog i debelog sloja gume, najčešće hemijski tretirane prirodne gume, koji je u direktnom kontaktu sa podlogom. Predstavlja

- sloj koji je izuzetno otporan na habanje kako bi zaštitio telo pneumatika i pojas koji čine slojeve ispod.
2. Telo pneumatika (karkasa) – najvažniji deo pneumatika koji mu daje čvrstinu i elastičnost. Čine ga svi slojevi koji sadrže gumirani kord (vlakna) koji se izrađuju od rajona, najlona ili poliestera.
 3. Peta (stopa) pneumatika – sloj pneumatika koji je ojačan čeličnim žicama i koji hermetizuje gumu na naplatak (felnu) [3].

Tri osnovna dela i ostali strukturni elementi i slojevi pneumatika prikazani su na slici 1.



Slika 1. Struktura radijalnog pneumatika [4].

2.3. Označavanje pneumatika

Danas postoji veliki broj različitih tipova pneumatika namenjenih za ispunjavanje potreba širokog spektra potrošača i vozila. Adekvatan izbor i način korišćenja određenog tipa pneumatika zavisi upravo od poznavanja oznaka koje se nalaze na njima. U pitanju su oznake koje su utisnute na bočni zid i koji obezbeđuju sve neophodne informacije za korisnika (slika 2).



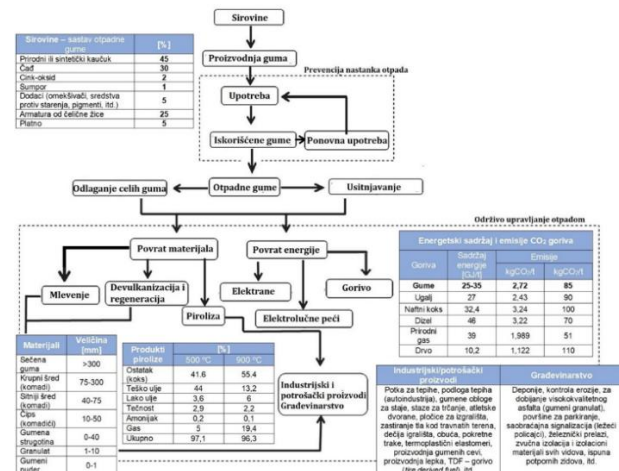
Slika 2. Osnovne i dodatne oznake na pneumaticima [4]

3. REKILIRANJE OTPADNIH GUMA

3.1. Životni ciklus gumenih proizvoda i pneumatika

Kada je reč o životnom ciklusu jednog gumenog proizvoda koji je prikazan na slici 3, on započinje upotrebom sirovina za dobijanje gumenog proizvoda, a završava se recikliranjem, ponovnom upotrebom ili preradom otpadnih guma. Na ovaj način otpadni gumeni proizvodi se ponovo vraćaju u proces proizvodnje i upotrebe [9]. Neka od metoda prerade i tretmana kojima se otpadna guma može podvrgnuti je:

- Mehaničko usitnjavanje i mlevenje
- Sagorevanje procesom ko-insineracije
- Piroлиза
- Devulkanizacija gume
- Regeneracija



Slika 3. Etape u životnom ciklusu pneumatika i gumenih proizvoda

4. REKILIRANJE OTPADNIH GUMA PROCESOM AMBIJENTALNOG USITNJAVANJA

4.1. Klasifikacija procesa za usitnjavanje otpadne gume

Tretman otpadnih pneumatika i drugih gumenih proizvoda u vulkanizovanom stanju najčešće zahteva prethodno smanjenje veličine čestica u cilju dobijanja usitnjenog gumenog proizvoda koji se naziva CRM (eng. *Crumb rubber materials*). Danas postoje dva osnovna procesa usitnjavanja otpadnih guma:

- kriogeno usitnjavanje i
- ambijentalno (mehaničko) usitnjavanje

Ambijentalno usitnjavanje predstavlja proces u kome se guma usitnjava pri ambijentalnim uslovima, dok kriogeno usitnjavanje predstavlja proces koji zahteva upotrebu tečnog azota, čija je uloga zamrzavanje gume na temperaturi od oko $-120\text{ }^{\circ}\text{C}$, što je dalje praćeno mlevenjem i prosejavanjem [10].

4.2. Ambijentalno (mehaničko) usitnjavanje otpadnih guma

U pitanju je proces mehaničkog usitnjavanja koji se vrši pomoću rotirajućih sečiva i noževa, pri čemu je ključni korak odvajanje čelika i tekstila od gume. Jednom odvojena od čelika i tekstila, guma se usitnjava u cilju proizvodnje CRM-a sa veličinom čestica u rasponu od 0,6 do 10 mm. Ambijentalno usitnjavanje je najčešće korišćena i verovatno najisplativija metoda recikliranja otpadnih guma. Ambijentalno usitnjavanje predstavlja proces koji je svoj naziv dobio po tome što se njegove faze obrade odvijaju na ili blizu ambijentalnoj temperaturi.

Međutim, u praksi ovo često nije slučaj. Zapravo, samo početak procesa proizvodnje se odvija na ambijentalnoj temperaturi, a tokom prerade otpadne gume u mlinu,

temperatura može da poraste na 130 °C, nekada i više [11].

Ambijentno usitnjavanje može da obuhvata dva osnovna procesa obrade:

- granulacijski proces
- proces mlevenja

4.3. Proizvodi recikliranja otpadnih pneumatika procesom ambijentalnog (mehaničkog) usitnjavanja

Otpadni pneumatici, kao i ostala gumeno-tehnička roba, poseduju mnoga svojstva i komponente koje se mogu iskoristiti kada se recikliraju u svrhu dobijanja TDM-a (eng. *Tire-derived materials*). TDM obuhvata tri osnovna proizvoda tj. tri osnovne frakcije recikliranja pneumatika, a to su:

- Gumena frakcija TDM-a
- Čelična frakcija (15-30 % mase otpadnog pneumatika)
- Tekstilna frakcija (15 % mase otpadnog pneumatika)

U tabeli 1 je dat detaljniji prikaz svih tipova gumenih frakcija TDM-a koji se mogu dobiti recikliranjem otpadnih pneumatika mehaničkom metodom.

Tabela 1. Klasifikacija i okvirne dimenzije gumene frakcije TDM-a [12].

Klasifikacija	Dimenzije gumene frakcije TDM-a	
	Donja granica [mm]	Gornja granica [mm]
Sečena guma	Neodr. dimenzije	Neodr. dimenzije
Krupni gumeni šred	50 x 50 x 50	762 x 50 x 100
Gumeni agregati	12	305
Sitniji gumeni šred	50	305
Gumeni čips	12	50
Gumeni granulati	0,425	12
Gumeni puder	-	<0,425

5. RECIKLIRANJE OTPADNIH GUMA PROCESOM AMBIJENTALNOG (MEHANIČKOG) USITNJAVANJA U FABRICI ECO-RECYCLING D.O.O. U SIRIGU

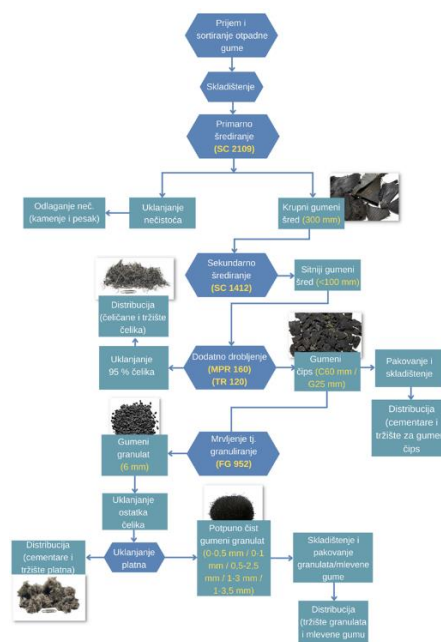
5.1. Proces ambijentalnog (mehaničkog) usitnjavanja otpadnih guma u postrojenju

Tok mehaničkog tretmana otpadnih guma u postrojenju se može podeliti u više faza sečenja kojim se gumeni otpad sa početka tretmana redukuje na sve sitnije frakcije, sve dok ne dođe do poslednje faze, dobijanja primarnog proizvoda tj. čistog gumenog granulata različite dimenzije. Sekundarni i tercijarni proizvodi, žica i tekstil respektivno, se tokom mehaničkog procesa usitnjavanja postepeno izdvajaju što rezultira proizvodnjom gumenog granulata čistoće do 99%. Glavni i jedini energent koji ovaj proces koristi je električna energija. Za obavljanje mehaničkog procesa usitnjavanja ne koriste se nikakvi hemijski reagensi ili termički postupci, tako da ne postoje negativni uticaji na životnu sredinu. Na slici 4 su prikazani svi koraci mehaničkog tretmana u postrojenju,

zajedno sa mašinama koje se primenjuju i dimenzijama proizvoda.

Mehanički tretman otpadnih guma u postrojenju obuhvata 6 osnovnih koraka:

1. Prijem otpadnih guma od generatora ili sakupljača
2. Skladištenje otpadnih guma
3. Sečenje (rezanje) otpadne gume i dodatno drobljenje
4. Mrvljenje (granuliranje) otpadne gume
5. Pakovanje proizvedene gumene frakcije TDM-a
6. Distribucija primarnih, sekundarnih i tercijarnih proizvoda kupcima



Slika 4. Šematski prikaz faza ambijentalnog recikliranja otpadnih guma u fabrici „Eco-recycling“ d.o.o. Sirigu

5.2. Šematski prikaz postrojenja i značaj poluautomatskog režima rada u postrojenju

Redosled procesa mehaničkog tretmana otpadne gume u postrojenju prikazan je na slici 5. Ovakav redosled omogućava da se isključi potpuni automatski rad postrojenja. Takav poluautomatski rad postrojenja daje mogućnost da se svaki deo mehaničkog procesa u postrojenju odvija nezavisno i u različitim vremenskim intervalima.



Slika 5. Ilustracija faza mehaničkog procesa recikliranja otpadnih guma u fabrici „Eco-recycling“ u Sirigu

5.3. Glavni proizvodi mehaničkog recikliranja otpadnih guma u postrojenju

Proizvode mehaničkog recikliranja otpadnih guma u postrojenju Eco-recycling moguće je podeliti u tri osnovne grupe:

1. Primarni proizvodi
2. Sekundarni proizvodi
3. Tercijarni proizvodi

U primarne proizvode spada prvenstveno gumeni granulati. Dimenzije gumenog granulata koje se proizvode u postrojenju su: gumeni granulati dimenzija 0-0,5 mm, 0-1 mm, 0,5-2,5 mm, 1-3 mm i granulati dimenzija 1-3,5 mm. U grupu primarnih proizvoda recikliranja u postrojenju spada i gumeni čips dimenzija 60 mm koji je namenjen za spaljivanje u cementarama. U sekundarne proizvode spada čelična žica I kategorije, čistoće do 98%. U tercijarne proizvode spadaju tekstilna vlakna koja su namenjena za spaljivanje u cementarama.

6. ZAKLJUČAK

U radu su analizirane različite metode prerade otpadne gume, ali je akcenat stavljen na ambijentalni (mehanički) tretman otpadnih guma koji je primenjen u fabrici za recikliranje otpadnih guma "Eco-recycling" u Sirigu. Analizom primenjenog postupka dolazi se do sledećih zaključaka:

- Procesi mehaničke prerade otpadnih guma su ekološki tj. čuvaju izvore neobnovljivih resursa i energije.
- Svi proizvodi mehaničkog recikliranja otpadnih guma imaju svoje tržište i određenu komercijalnu vrednost.
- Preradom otpadnih guma mehaničkom metodom se smanjuju negativni uticaji deponovanja otpadnih guma na ŽS.

7. LITERATURA

- [1] Savić M. 2007. Postupci za recikliranje gume. Mr. teza, Fizički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd.
- [2] Markl E, Maximilian L, Richard W. 2020. Devulcanization Technologies for Recycling of Tire-Derived Rubber: A Review 13 (5). Vienna. Austria.
- [3] Jevremović V. 2007. Izbor tehnološke strategije za recikliranje proizvoda od gume. Doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad.
- [4] <https://www.hankooktire.com/us/services-tips/tire-guide/structure.html> - slika (May 16, 2022.)
- [5] Drobny J.G. 2014. Processing Methods Applicable to Thermoplastic Elastomers. Handbook of Thermoplastic Elastomers: 33–173. Lowell MA. United States.
- [6] <https://www.britannica.com/science/rubber-chemical-compound/Processing> (May 16, 2022.)

- [7] Forrest, M.J. 2019. Recycling and Re-Use of Waste Rubber. Recycling and Re-Use of Waste Rubber. Shrewsbury, United Kingdom.
- [8] Reschner K. 2003. Scrap Tire Recycling. A Summary of Prevalent Disposal and Recycling Methods. Waste Management World, 1–16. Berlin. Germany.
- [9] Joseph A, Benny G, K.N Madhusoodanan, Rosamma A. 2015. Current Status of Sulphur Vulcanization and Devulcanization Chemistry: Process of Vulcanization. Rubber Sci 28 (1): 82–121. Kerala. India.
- [10] Lapkovskis V, Mironovs V, Kasperovich A, Myadelets V, Goljandin D. 2020. Crumb Rubber as a Secondary Raw Material from Waste Rubber: A Short Review of End-Of-Life Mechanical Processing Methods. Recycling: 1 – 20. Riga. Latvia.
- [11] Adhikari J, Das A, Sinha T, Saha P, Kim J. 2018. Grinding of Waste Rubber. Rubber Recycling: Challenges and Developments, 1-23.
- [12] Alfayez S, Suleiman A, Nehdi M. 2020. Recycling Tire Rubber in Asphalt Pavements: State of the Art. Sustainability: 1-16. London. Canada.

Kratka biografija:



Nikolina Savić rođena je u Novom Sadu 1997. god. Diplomski rad na temu „Recikliranje otpadnih guma primenom tehnologije devulkanizacije“ odbranila je 2020. godine na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu.



Bojan Batinić (1981) je vanredni profesor na Departmanu za inženjerstvo zaštite životne sredine u Novom Sadu. Dosadašnji naučno-istraživački rad orijentisan je na analizu fizičko-hemijskih karakteristika komunalnog otpada, modelovanje i projekciju budućih karakteristika otpada, analizu sistema sakupljanja i transporta otpada, mogućnosti iskorišćenja posebnih tokova otpada i sl. Stečena stručna znanja implementirao je kroz učestvovanje na preko 40 projekata saradnje sa privredom iz oblasti zaštite životne sredine i upravljanja otpadom. Rezultate svog naučno-istraživačkog rada publikovao je kroz 13 radova u međunarodnim časopisima sa SCI liste, kao i preko 50 saopštenja na skupovima međunarodnog i nacionalnog značaja.