

# Upravljanje korišćenim gumama, dometi u svetu i stanje u Srbiji

Dušan D. Stanojević<sup>1</sup>, Miloš B. Rajković<sup>2</sup>, Dragan V. Tošković<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u istočnom Sarajevu, Istočno Sarajevo, Tehnološki fakultet Zvornik, BiH

<sup>2</sup>Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet Zemun, Beograd, Srbija

## Izvod

U radu je razmatrano upravljanje korišćenim gumama u nekim od najrazvijenijih zemalja sveta i Srbiji, sa ciljem da se ukaže na očekivana kretanja u ovoj oblasti u budućnosti. U mnogim zemljama se sa korišćenim gumama nekontrolisano postupa; gume se odlažu na deponije, pa su česti požari sa ozbiljnim posledicama po životnu sredinu. U zemljama gde je pitanje korišćenih guma rešeno na bezbedan način, deo korišćenih guma se direktno ili posle obnavljanja ponovo koristi na vozilima, a ostatak (otpadne gume) prerađuje se u vredne sirovine i proizvode, ili se koristi kao energent. Ovakvim postupanjem rešava se problem odlaganja otpadnih guma i otklanjanju brojni rizici takve prakse. U svetu, u bezbednom upravljanju otpadnim gumama prednjači EU koja sa Norveškom i Švajcarskom zbrinjava 95% otpadnih guma, a slede Japan sa 91% i SAD sa 89%. U Srbiji korišćenim gumama se upravlja na bezbedan način, saobražen sa praksom kakva se primenjuje u razvijenim zemljama. Zbog ubrzanog globalnog iscrpljivanja sirovina, posebno nafte, očekuje se da će otpadne gume u budućnosti imati značaj dragocenog resursa.

*Ključne reči:* korišćene gume; upravljanje; recikliranje guma.

Dostupno na Internetu sa adrese časopisa: <http://www.ache.org.rs/HI/>

Savremena civilizacija, u kojoj nesmetana komunikacija u najširem smislu predstavlja uslov daljeg razvoja, pa i opstanka, ne može se ni zamisliti bez razvijenog saobraćaja u kome drumski saobraćaj u mnogim elementima ima vodeću ulogu. Procenjuje se da na planeti postoji više od 700 miliona automobila od kojih je 550 miliona u svakodnevnoj upotrebi, što za čovečanstvo ima svoju ne malu cenu [1]. Posledice masovnog korišćenja drumskih vozila su, pored emisije ugljen-dioksida, azotnih oksida, čađi i drugih oblika aerozagađenja koje ostaje kao rezultat sagorevanja derivata nafte, i oko 1,4 milijarde korišćenih guma godišnje, u čemu SAD, zemlje EU, i Japan, zajedno, učestvuju sa oko 44%. Manji deo ovih guma još je upotrebljiv, pa se ponovo koriste (kao polovne gume), deo guma se prvo obnavljaju (protektiraju), a zatim koriste kao nove gume što je za teretna vozila u nekim državama i obavezno. U razvijenim zemljama, gume koje se više ne mogu koristiti na vozilima smatraju se otpadnim gumama, i kao takve, koriste za različite svrhe: prerađuju se u gumene sirovine i proizvode, koriste se kao gorivo, a manji deo se odlaže na deponije [1]. Karakteristični su podaci iz država u kojim se automobili tradicionalno veoma mnogo koriste: Sjedinjene Američke Države beleže godišnju produkciju od preko 290 miliona komada korišćenih guma, na teritoriji EU godišnje se sakupi oko 250 miliona, a u Japanu 80 miliona ovakvih guma [2].

Prepiska: D. Stanojević, Tehnološki fakultet Zvornik, Karakaj bb, 56000 Zvornik, BiH.

E-pošta: [ducca@sbb.rs](mailto:ducca@sbb.rs)

Rad primljen: 29. jul, 2011

Rad prihvaćen: 14. septembar, 2011

STRUČNI RAD

UDK 628.4.043:628.477

*Hem. Ind.* 65 (6) 727–738 (2011)

doi: 10.2298/HEMIND110729061S

Procenjuje se da se na uređenim i neuređenim deponijama svetu nalazi preko četiri milijarde otpadnih guma, od čega u SAD između 2 i 3 milijarde [2,3], što predstavlja uglavnom nasleđe iz prošlosti pošto se poslednjih godina najveći deo otpadnih guma prerađuje ili koristi kao energent.

Otpadne gume kada su pravilno deponovane, ne izazivaju zagađenje tla, vode i vazduha jer su u pogledu interakcije sa svim ovim sredinama inertne [4–6]. Derivati koji nastaju preradom otpadnih guma, koriste se za izgradnju sportskih terena [7–9], kao energent [10–13], u industriji i građevinarstvu [14,15]. Na primer, u SAD je 2005. godine 52% otpadnih guma upotrebljeno kao gorivo, 16% u građevinarstvu, 2% izvezeno, 4% utrošeno na druge različite načine, a 14% odloženo na deponije [16].

Postoji međutim niz realnih, posebno akcidentnih situacija, kada je moguć štetan uticaj otpadnih guma na životnu sredinu, što se posebno odnosi na laku zapaljivost guma i mogućnost nastajanja požara na deponijama. Ovakvi požari generišu veoma štetne produkte po životnu sredinu, pa se u razvijenim državama duži niz godina čine sistematski naponi da se problem zbrinjavanja otpadnih guma celovito i bezbedno reši [17,18]. Na ozbiljnost rizika od izbijanja požara, čak i na uređenim deponijama otpadnih guma, duhovito ukazuje D. Clack, jedan od vodećih stručnjaka u oblasti zaštite od požara iz Washington State Department of Ecology, koji kaže: „Deponije otpadnih guma dele se u dve grupacije: deponije koje su već gorele, i one koje čekaju da se zapale“ [17].

Uprkos nastojanjima da se proverena i uspešna rešenja upravljanja korišćenim gumama, prvenstveno u

domenu ponovnog korišćenja, reciklaže, prerade, primene kao goriva i dr., masovnije primenjuju, i dalje u svetu, posebno u manje razvijenim državama, deo ovih guma završava na uređenim i neuređenim deponijama, uz sve rizike koje takva praksa nosi.

U Srbiji su do pre nekoliko godina otpadne gume odlagane na legalne i divlje deponije, korišćene kao gorivo na nedozvoljen i tehnički primitivan način u ciglanama, krećanama itd., i zato su predstavljale ozbiljan ekološki problem. Od 2009. godine, kada je došlo do usaglašavanja zakonske regulative u ovoj oblasti sa zakonima EU, uvodi se praksa da se otpadne gume tretiraju kao važan resurs za proizvodnju različitih gumenih proizvoda ili energent u cementarama, dok je praksa odlaganja na deponije prekinuta.

U ovom radu se analizira problematika tradicionalnog tretmana korišćenih guma u svetu, savremeni pristup upravljanju korišćenim gumama u razvijenim zemljama i situacija u Srbiji, s ciljem da se kroz uočene razlike i paralele ukaže na očekivana kretanja u ovom domenu u budućnosti.

### STO GODINA OD POJAVE EFIKASNIH KOMERCIJALNIH PNEUMATIKA

Prirodna guma poznata je više vekova kao proizvod kaučukovog drveta. Južnoamerički domoroci koristili su je pre više od dve stotine godina za izradu predmeta otpornih na vodu, ali ovakav materijal nije imao fizičku čvrstinu i stabilnost, pa je bio veoma ograničeno upotrebljiv. Tek pronalaskom procesa vulkanizacije (C. Goodyear 1839. g) prirodna guma postaje cenjena industrijska sirovina. Kao materijal za izradu pneumatika, gumu je prvi upotrebio J. Dunlop 1888. g. pokušavajući da dečji bicikl učini udobnijim za vožnju, a primitivne pneumatike za automobile, prvi je (sa slabim uspehom) načinio i testirao A. Michelin 1895. g. na auto-trci od Pariza do Bordoa dugoj oko 560 km. Tek 1911. g. počela je proizvodnja pneumatika koji su sadržavali i unutrašnju i spoljašnju gumu, što je prva uvela Hardman Tire Company. U novom izumu spoljašnja guma je svojom ojačanom konstrukcijom efikasno štitila unutrašnju gumu, što je pneumaticima davalo trajnost i pouzdanost. *Tubeless* pneumatici su patentirani već 1903. g. (Hardman Tire Comp.) ali su se tek 1954. g. pojavili na tržištu kao komercijalni proizvod. Utiskivanje „šara“ u gazeći sloj spoljašnje gume radi poboljšanja upravljivosti i bolje adhezije u različitim vremenskim uslovima, počelo je 1908. g. (Goodyear Tire Company), a od 1910. g. u gumenu masu za pneumatike dodaje se čađ, da bi se smanjilo habanje gume u eksploataciji. Uz primenu pomenutih pronalazaka, već 1920. g. automobili su prosečno prelazili oko 20.000 kilometara sa tadašnjim gumama [18].

Sintetička guma – kopolimer na bazi nafte („hemiguma“) pojavila se pred II Svetski rat, 1937. g. (Good-

year Tire Company i Rubber Company). U toku rata hemiguma je imala stratešku važnost jer je u proizvodnji pneumatika korišćena umesto prirodne gume, koja je u ratnim uslovima bila teško dostupna. Pedesetih godina XX veka, polovina pneumatika u svetu proizvodila se od sintetičke gume, a početkom XXI veka udeo pneumatika od sintetičke gume ustalio se na oko 60%. Sirovine za proizvodnju sintetičke gume su: derivati nafte, ugljenik, ulje, prirodni gas i acetilen. Sintetička guma ima osobine slične prirodnoj gumi ali bolje podnosi različite klimatske uslove, duže traje, otpornija je na dejstvo sredine (ulje, rastvarači, kiseonik, ozon), a podnosi više temperature pri livenju u kalupe. Najznačajniji nedostatak sintetičke gume u odnosu na prirodnu gumu je veća osetljivost na oštećenja u zagrejanom (radnom) stanju, što je posebno važno za bezbednost u saobraćaju [18].

U Srbiji proizvodnja gumeno-tehničkih proizvoda počela je u fabrici „Tigar“ u Pirotu 1935. g. Proizvodnja pneumatika u ovom preduzeću uspostavljena je 1959. g, prvenstveno za potrebe domaće auto-industrije. Od 1972. g. uveden je program tada savremenijih auto-guma radijalnog tipa, dok danas ovo preduzeće proizvodi savremene licencne programe auto-guma za renomirane strane kompanije.

Današnje gume za vozila predstallaju visokotehno- loški proizvod u čiju proizvodnju ulazi niz komponenta: prirodna guma, sintetička guma, pigmenti, sumpor, čelična žica, najlonska i poliesterska vlakna, aromatična, naftenska i parafinska ulja, tkanina, čađ, masne kiseline, silicijum-dioksid i kaolin. U pogledu udela komponentata, ovakva guma prosečno sadrži 85% ugljovodnika, 10–15% čelika, a ostatak čine druge hemijske materije. Konstrukcija savremene (*tubeless*) gume objedinjuje tri osnovna dela: telo (karkasa) koje gumi daje čvrstinu i elastičnost, gazeću površinu sa bočnim zidovima, i petu (stopu) ojačanu čeličnim žicama kojom se guma hermetizuje za naplatak („felnu“). Telo pneumatika je sastavljeno od višeslojne gumirane tkanine koje se izrađuje od rajona, najlona ili poliestera, dok su gazeći sloj i bočni zidovi od hemijski tretirane prirodne gume [2,18].

Na slici 1 prikazani su glavni delovi savremenog pneumatika.

### PROBLEMATIKA ODLAGANJA OTPADNIH GUMA

Savremena guma u eksploataciji obično prelazi od 60.000 do 130.000 km, što najviše zavisi od uslova korišćenja, a zatim se iz razloga bezbednosti mora zameniti novom. Prirodni proces raspadanja odbačene otpadne gume, prema proceni, traje oko 150 godina. Prema današnjem stepenu korišćenja drumskih vozila, broj i veličina deponija odbačenih otpadnih guma veoma brzo bi se povećavao, pa se ulažu sistematski napor da se problem otpadnih guma reši u smislu održivog raz-

voja, uvažavajući doktrinu: ponovna upotreba, ponovni promet, reciklaža, obnovljiva energija (engl. *reuse, re-trading, recycling, energy recovery*), u čemu poslednjih decenija prednjače najrazvijenije zemlje.



Slika 1. Struktura savremenog pneumatika. 1. gazaći sloj; 2. telo (karkasa); 3. peta (stopa).

Figure 1. Structure of modern pneumatic. 1. tyre tread; 2. body (carcass); 3. heel (foot)

Odlaganje celih guma, čak i na uređene deponije, u dugogodišnjoj praksi u svetu pokazalo se kao veoma loše rešenje. Pored toga što deponija guma često postaje životni prostor glodara, a ponekad i zmija, gume se zbog specifične gustine (oko  $1.150 \text{ kg/m}^3$ ) i oblika ne mogu odlagati tako da se raspoloživi prostor efikasno koristi, što zahteva obezbeđenje deponija veoma velikih površina. Statistički, nenaslagane gume na deponiji, sadrže od 50 do 75% praznog prostora. Kod naslaganih guma ispunjenost prostora je nešto bolja, ali i dalje veoma nepovoljna [1]. Istovremeno, unutrašnjost gume na deponiji tokom toplog kišnog perioda delimično se napuni vodom, i postaje izvanredno efikasan „inkubator“ za razvoj komaraca. Utvrđeno je da se komarci četiri stotine puta brže razmnožavaju u ovim uslovima, nego u prirodnim uslovima, u šumi [11,19], što je nepoželjno, pa čak i opasno. Poznato je da su u subtropskim i tropskim predelima komarci potencijalni prenosioci ozbiljnih bolesti koje kod ljudi mogu imati i smrtni ishod [17,20]. Pokušaji da se presovanjem i vezivanjem gumama smanji zapremina čime bi se delom rešio i problem prostora, kod odlaganja pokazali su se neefikasnim. Zbog trajne elastičnosti, gume već posle 6 do 12 meseci počnu da se spontano „oslobađaju“ veza i vraćaju na originalne dimenzije. S druge strane, prekrivanje zemljom radi trajne rekultivacije deponije celih ili usitnjenih guma pokazalo se nepraktično jer je takav teren nestabilan („plivajući“), ima minimalnu nosivost, pa se ne može koristiti ni za kakve svrhe. Ako se guma usitni (iseče) na komadiće veličine 2,5–5 cm, postiže se smanjenje potrebne zapremine za odlaganje od oko 20% u odnosu na cele gume. U ovom slučaju, međutim, povećava se rizik od izbijanja požara, jer u slojevima usitnjene gume debljim od 3 m može doći do spontan

egzotermnih pirolitičkih reakcija uz razvijanje zapaljivih gasova, i njihovog paljenja [17].

Požar, posebno na deponijama otpadnih guma gde ih najčešće ima u velikom broju, predstavlja ozbiljan akcident zbog specifičnog ponašanja zapaljene gume i veoma otrovnih (kancerogenih i čak mutagenih) produkata takvog (slobodnog) sagorevanja. Takav požar je veoma teško ugasiti, a polutanti nastali kao produkti slobodnog sagorevanja guma su veoma raznovrsni: čvrste čestice, ugljen-dioksid i ugljen-monoksid, oksidi sumpora ( $\text{SO}_x$ ), oksidi azota ( $\text{NO}_x$ ), isparljiva organske jedinjenja (VOCs), brojni opasni zagađivači kao: policiklični aromatični ugljovodonici (PAHs), dioksini, furani, benzen, polihlorovani bifenili (PCBs), hlorovodonik; metali (cink, arsen, kadmijum, nikal, živa, hrom i vanadijum). Ovi produkti pokazuju akutno i odloženo dejstvo na ugroženo stanovništvo i vatrogasce koji takve požare gase. U zavisnosti od stepena i dužine izloženosti gasovitim produktima slobodnog sagorevanja otpadnih guma, uticaj na zdravlje obuhvata: iritaciju kože, očiju i sluzokože, negativne respiratorne efekte, nervne poremećaje, pa i kancer. Laboratorijska ispitivanja nekontrolisanog sagorevanja guma pokazala su da produkti ovakvog sagorevanja oslobađaju oko 16 puta više mutagenih materija nego drvo koje sagoreva u kaminu, a 13.000 puta više nego pri sagorevanju uglja u dobro podešenom ložištu [3].

Pri nekontrolisanom sagorevanju guma zbog visokih temperatura javljaju se i tečni polutanti koji nastaju topljenjem guma, a koji prodiru u tlo i mogu biti opasni zagađivači ukoliko dopru do površinskih i/ili podzemnih voda [3]. Da bi se smanjili rizici od paljenja i olakšalo gašenje zapaljenih guma, na uređenim deponijama u nekim saveznim državama SAD otpadne gume se slažu na prostor bez vegetacije u obliku kvadra, s tim što se visina naslaganih guma ograničava na 6 m, a dimenzije polja za odlaganje na  $76 \text{ m} \times 6 \text{ m}$  uz obavezan prolaz između susednih polja širine minimalno 6 m [17].

### Praksa razvijenih država u upravljanju otpadnim gumama

Otpadne gume su u mnogim državama odlazu na deponije, što je praksa koja se u razvijenim zemljama ubrzano napušta, pa je u mnogim zemljama i zakonom ograničena ili zabranjena.

Zemlje Evropske Unije i druge razvijene zemlje, a posebno SAD, suočile su se pre više decenija sa problemom upravljanja otpadnim gumama, jer se praksa nekontrolisanog odlaganja otpadnih guma javila kada i masovno korišćenje automobila.

U EU, radi ograničavanja deponovanja otpadnih guma, Direktivom Evropske Komisije 1999/31/EC (*Directive on the Landfill of Waste*), od 2003. g. zabranjeno je odlaganje celih otpadnih guma na deponije, a od 2006. g. i isečenih (usitnjenih) guma. U pravcu smanjivanja količine ove vrste otpada na deponijama deluje i

Direktiva 2000/53/EC, (*Directive on End of Life Vehicles (ELV)*) koja se odnosi na obavezu da se od 2006. g. 85% mase starih automobila mora reciklirati, dok se od 2015. g. ovaj procenat povećava na 95%. Uz Direktivu 2000/76/EC (*Directive on Incineration of Waste*) kojom se od 2008. g. nalaže primena starih guma kao dodatnog energenta u cementnoj industriji, i još nekim drugim merama, upravljanje korišćenim gumama na teritoriji zemalja EU zakonodavno je u potpunosti uređeno [1].

U SAD ne postoji savezni zakon koji se bavi otpadnim gumama, ali 48 saveznih država, od 51 u SAD, imaju svoje zakone i praksu koja se bavi ovim pitanjem. Mada svaka od saveznih država ima sopstvena specifična rešenja, u mnogim elementima postoje i sličnosti, pa tako, u svim državama prednost se daje obnavljanju korišćenih guma, preradi (reciklaži) i primeni otpadnih guma kao energenta, dok se odlaganje na deponije ili zabranjuje, ili veoma ograničava, pri čemu se zbog rizika od požara pitanjima bezbednosti takvih deponija posvećuje posebna pažnja. Zakonskim rešenjima se precizno određuje ko se, na koji način, i pod kojim uslovima može baviti sakupljanjem, transportom, preradom ili upotrebom otpadnih guma u energetske svrhe. Takva preduzeća dobijaju različite vidove državnih subvencija, i pod strogom su kontrolom nadležnih inspeksijskih organa u pogledu ispunjavanja zakonskih odredbi, pri čemu su kazne za prekršioce često veoma oštre. Najveći deo otpadnih guma u SAD se prerađuje (reciklira) ili koristi kao energent, dok se odlaganje na deponije sve više smanjuje [18,20].

### Otpadne gume kao energent

Gume spadaju u visoko-energetske materijale. Prosečna toplotna moć gume putničkog automobila je oko 30,2 MJ/kg, a gume od kamiona oko 26,4 MJ/kg što je značajno imajući u vidu da su prosečne toplotne moći komunalnog smeća 8,1 MJ/kg, lignita 16,2 MJ/kg, novinskog papira 17,2 MJ/kg, drvene piljevine 18,4 MJ/kg, kamenog uglja 28 MJ/kg, petrol-koksa 32 MJ/kg, benzina 35,4 KJ/kg, a lož-ulja do 41,8 MJ/kg [1,10,11,18]. Ovi podaci, kao i činjenica da pneumatik sadrži od 20 do 30% prirodne gume koja je obnovljivi energetski izvor pa svojim sagorevanjem ne zagađuje životnu sredinu dodavanjem CO<sub>2</sub>, doveli su do primene otpadnih guma kao alternativnog ili osnovnog energenta [1]. U Japanu i SAD, korišćenje guma kao energenta započeto je sedamdesetih godina prošlog veka, dok je Evropa tu praksu prihvatila znatno kasnije [18].

Pri kontrolisanom sagorevanju guma, što je laboratorijski ispitivano uz veoma široko variranje eksperimentalnih uslova, dokazano je da se produkti sagorevanja guma ne razlikuju od produkata sagorevanja konvencionalnih fosilnih goriva, izuzev značajno veće emisije cinka. Razlog povećanog prisustva cinka u produktima sagorevanja guma je dodavanje cink-oksida u pro-

cesu proizvodnje gume (u fazi vulkanizacije), u količini od 1 do 1,5% (masenih). Pri kontrolisanom sagorevanju gume cink delom prelazi u gasovite produkte sagorevanja, gde je prisutan u obliku praškastog ZnO, dok se ostatak cinka zadržava kao oksid u pepelu. Dokazano je, takođe, da se prah cink-oksida može efikasno eliminisati iz gasovitih produkata sagorevanja na filterskom postrojenju sa filter-vrećama ili elektrostatičkim filterima. Posle povoljnih rezultata laboratorijskih ispitivanja, izvedeni su testovi na 22 industrijska postrojenja, od čega dve peći za cement, jedna peć za kreč, 19 industrijskih energana opšte namene, i u energani u industriji papira. Sva ispitivanja su pokazala da, uz korišćenje pravilno konstruisanih gorionika i podešeno sagorevanje, bez ikakvih štetnih uticaja na sam tehnološki proces i bez ugrožavanja životne sredine produktima sagorevanja, otpadne gume (usitnjene, ili cele) mogu biti korišćene kao dodatni energent. Obično, otpadne gume se tada dodaju u količini od oko 20% u bilansu oslobođene energije, ali se mogu koristiti i kao jedino gorivo, čime postaju važan industrijski energent [3]. U industriji cementa koja važi za najvećeg potrošača otpadnih guma kao alternativnog energenta, cena adaptacije rotacione cementne peći za korišćenje otpadnih guma kreće se do maksimalno milion dolara, a investicija se vraća za oko godinu dana zbog značajnih ušteda u osnovnom gorivu (prirodnom gasu, petrol koksu, itd), i velike razlike u cenama otpadnih guma i primarnog goriva [10,13,14].

U tabeli 1, pored sastava otpadnih guma, uporedno je prikazan sastav uzorka uglja kakav se koristi kao osnovno gorivo na jednom od testiranih postrojenja (u fabrici papira Champion Facility, Bucksport, ME, USA, za proizvodnju pregrejanje zasićene vodene pare kapaciteta 220 t/h). Ovo postrojenje jedno je od najvećih u industriji papira u Sjedinjenim Američkim Državama, a koje još od 1990. g. koristi otpadne gume u proizvodnji energije (u količini od 3,5 t/h, što odgovara udelu od 14,5% u količini proizvedene toplote) [21].

Iz podataka u tabeli 1 može se zapaziti da u odnosu na sastav uglja, guma iz koje je odstranjena čelična komponenta ima približno dvostruko niži sadržaj vezanog ugljenika, a dvostruko viši sadržaj isparljivih komponenta, približan sadržaj nesagorivog ostatka, a značajno niži sadržaj vlage, što uz gotovo dvostruko veću toplotnu moć gume u odnosu na ugalj, otpadne gume preporučuje kao veoma pogodan energent.

U tabeli 2 prikazana je uporedna analiza uzoraka pepela nastalog sagorevanjem uglja kao osnovnog energenta, celih otpadnih guma, i otpadnih guma iz kojih je odstranjena čelična žica [21].

Rezultati analize pepela prikazani u tabeli 2, ako se posmatra pepeo od uglja i pepeo nastao sagorevanjem gume iz koje je čelična komponenta uklonjena, pokazuju da su sadržaji gotovo svih analiziranih elemenata

Tabela 1. Sastav uglja, otpadnih guma (celih), i otpadnih guma iz kojih je odstranjena čelična žica (%) [21]  
 Table 1. The composition of coal, whole end of life tyres and end of life tyres with steel wire removed (%) [21]

Componenta	Ugalj	Otpadna guma (cela)	Otpadna guma oslobođena od čelične žice
Vezani ugljenik	47,14	21,85	22,93
Ispaljive komponente	34,05	54,23	67,31
Pepeo (nesagorivo)	11,05	23,17	8,74
Vlaga	7,76	0,75	1,02
Ukupno	100,00	100,00	100,00

Tabela 2. Usporedna analiza pepela od uglja, otpadnih guma (celih), otpadnih guma iz kojih je izvađena čelična žica [21]  
 Table 2. Comparable analysis of coal ashes, whole end of life tyres, end of life tyres with steel wire removed [21]

Element (u oksidu)	Sadržaj, %		
	Ugalj	Otpadna guma (cela)	Otpadna guma bez čelične žice
Aluminijum	20,70	1,93	13,11
Kalcijum	3,30	0,56	3,80
Gvožđe	18,89	0,35	2,37
Magnezijum	0,79	0,10	0,68
Fosfor	0,62	0,10	0,68
Kalijum	2,06	0,14	0,95
Titan	0,82	0,14	0,95
Silicijum	47,98	5,16	35,05
Natrijum	0,48	0,13	0,88
Sumpor	4,33	0,99	6,72
Cink	0,02	5,24	34,81

istog reda veličine, s tim što su uglavnom nešto niži u pepelu od gume. Izuzetak je sadržaj cinka koji se u pepelu od gume kreće oko 34%, u odnosu na 0,02% u pepelu od uglja, što je razlika od četiri reda veličine, a što se može objasniti dodavanjem cink-oksida u procesu proizvodnje pneumatica. Uz adaptaciju gorionika za sagorevanje guma, i obavezno otprašivanje gasovitih produkata sagorevanja, otpadne gume postaju odličan energent, a pepeo mogući cink-sekondar. Imajući dodatno u vidu cenu i raspoloživost otpadnih guma na brojnim deponijama gde predstavljaju potencijalnu opasnost po životnu sredinu, gume postaju povoljniji industrijski energent u mnogim oblastima od fosilnih goriva.

Jedna od uspešnije realizovanih industrijskih metoda korišćenja otpadnih guma kao primarnog (jedinog) energenta ostvaren je primenom reaktora sa fluidizacionim slojem u kome sagoreva usitnjena guma. Posteljicu ovakvog reaktora čini pesak koji fluidizira zagrejan na oko 800 °C, a u koji se kontinualno dodaje gumeni strugotina koja se spontano pali, i potpuno sagoreva. Zbog prisustva sumpora u materijalu pneumatika (maksimalno 1,5%), gasoviti produkti sagorevanja sadrže i sumpor-dioksid. Emitovana količina sumpor-dioksida u gasovima na izlazu iz reaktora kontroliše se dodavanjem krečnjaka u posteljicu pri čemu se formira prah gipsa koji se zadržava u sistemu ciklona i vrećastih filtara. Ovaj metod eliminiše oko 90% SO<sub>2</sub>, pa u izlaznim

gasovima iz reaktora, sadržaj sumpor-dioksida opada sa prosečnih 630 na 60 mg/kg. Ovakva peć za spaljivanje, zahvaljujući niskom sadržaju azota u gumama (do 0,8%) i relativno niskoj radnoj temperaturi, karakteriše niska emisija NO<sub>x</sub> (prosečno oko 220 mg/kg), koja se može dodatno smanjiti na 45 mg/kg dodavanjem amonijaka u reaktor primenjujući selektivnu nekatalitičku redukciju azotnih oksida. U izlaznim gasovima ovakvog postrojenja isparljiva organska jedinjenja (VOCs), kao ni HCl, nisu detektovani. Recikliranje čelične komponente guma ostvaruje se povremenim izdvajanjem i hlađenjem dela posteljice iz reaktora kada je komadiće čelične žice iz posteljice moguće izdvojiti na magnetnom separatoru, a posteljica (pesak) zatim se vraća u reaktor [11].

Primena otpadnih guma kao energenta naročito je vezana za industriju cementa. Guma u cementnim pećima sagoreva na temperaturi od oko 1450 °C uz dovoljno zadržavanje gasova u peći (od 4 do 12 s) da bi organski polutanti u potpunosti sagoreli. Pri tome, gasoviti produkti sagorevanja ostaju u granicama propisanih standarda pošto je reč o kontrolisanom sagorevanju (prisustvo krečnjaka u sirovinama obezbeđuje vezivanje SO<sub>2</sub>), a čvrsti produkti sagorevanja (inertni sastojci i čelična komponenta guma) ostaju ugrađeni u cementnom klinkeru u obliku silikata ili oksida, ne umanjujući mu kvalitet [13]. U zavisnosti od toga da li se spaljuju cele gume ili gumeni granulat nastao sečenjem i sitnjenjem guma, adaptacije cementne peći se razli-

kuju, pa se cele gume ubacuju u peć posebnim sistemom u zonu kalcinacije, a sečena guma (maksimalno do 5 cm×5 cm), dodaje se na kraju peći, pre sistema za hlađenje klinkera [2,10,13]. Dodatno, značajna ušteda ostvaruje se u produkciji CO<sub>2</sub> pošto se deo fosilnih goriva zamenjuje gumama u kojim deo energije potiče iz obnovljivog izvora (prirodne gume). Na osnovu potrošnje starih guma u cementarama u EU, procenjuje se da je na ovaj način u 2009. g. ostvarena ušteda od 1,95 miliona tona ekvivalentnog CO<sub>2</sub>, što proizvođačima cementa omogućuje da se uključe u tzv. šemu „trgovine emisijama EU“, i ostvare dodatnu korist [1]. U pogledu primene starih guma kao goriva u cementarama, postoje i dalje velike, neiskorišćene mogućnosti. Naime, evropska industrija cementa iskazuje bilansne potrebe od 3,2 miliona tona otpadnih guma kao alternativnog goriva. To je toliko velika mogućnost „upijanja“ otpadnih guma, da kada bi sve otpadne gume u EU bile upotrebljene u cementnoj industriji, to bi bilo tek 10% ukupnih energetskih potreba ove industrije [1].

### Reciklaža otpadnih guma

Imajući u vidu broj pneumatika koji se u svetu godišnje izbacuje iz upotrebe, i podatke da prosečna masa gume teškog kamiona iznosi 42,5 kg, kamioneta 18,5 kg, putničkog vozila 6,8 kg, a motocikla 1,5 kg, očigledno je da se na godišnjem nivou radi o veoma velikoj masi materijala koji treba zbrinuti na bezbedan način. Pri tome, razmatraju se one namene koje bi bile održive, posebno u pogledu očuvanja i unapređenja kvaliteta životne sredine i racionalnog utroška energije za postizanje optimalnog kvaliteta reciklata ili prirodozadržavanja. Optimizacija postupka prerade otpadnih guma u kome su najvažniji procesi drobljenja, mlevenja i prosejanja, složena je zbog različitih tipova procesa koji se mogu primeniti, različite namene reciklata (s tim u vezi, i poželjne granulacije), različitog sastava otpadnih guma koje se recikliraju, različite potrebe za energijom u različitim pristupima reciklaži itd., pa je preporučljivo primeniti modelovanje procesa reciklaže da bi se došlo do optimalnih rezultata [22].

Početak XXI veka u SAD su obavljena opsežna istraživanja, koja su se bavila analizom celokupnog životnog ciklusa pneumatika. Rezultati istraživanja pokazuju, da uprkos činjenici da korišćene gume sakupljene u SAD na godišnjem nivou sadrže energiju od oko milion barela ekvivalentne nafte, najekonomičnije ih je obnoviti i ponovno koristiti za osnovnu namenu, što se u SAD posebno strogo sprovodi kad su u pitanju pneumatiki teških mašina, kamiona, aviona i sl. Proces obnavljanja korišćenog pneumatika, naime, zahteva najmanje dodatne energije i materijala, ekološki najmanje opterećuje životnu sredinu a značajno produžava životni vek pneumatika, pa daje najbolje rezultate kada se integralno analizira problematika održivosti procesa. Sve drugi pristupi (prerada reciklažom, korišćenje guma

kao energenta, i dr.) daju slabiji ukupni efekat, ili zbog ulaganja značajne dodatne energije u složen proces dekompozicije pneumatika, ili ulaganja u sisteme za sprečavanje mogućih negativnih efekata vezanih za ekološku problematiku kod spaljivanja [23].

Jedna od važnih oblasti u kojoj se za sada troši mali deo otpadnih guma je primena celih guma za različite namene. Cele gume se koriste u specifične svrhe kao što su zaštita obale, izgradnja erozionih barijera, veštačkih podvodnih grebena, lukobrana, skloništa od lavina, za stabilizovanje odrona, formiranje odbojnika na putevima, postavljanje zvučnih barijera, i sl. [1,15,16]. Na primer, u SAD (u oblasti grada Fort Laudersdal na Floridi), u priobalju se na određenim lokacijama odlaže po oko milion celih otpadnih pneumatika godišnje radi izgradnje i proširivanja veštačkog podvodnog grebena. Istraživanja su pokazala da ovakve grebene vremenom naseljava morska fauna i flora, a ribe ga prihvataju kao prirodno stanište. Smisao ovog projekta je povratak nekih sada iščezlih vrsta faune i flore u pomenutoj oblasti, a prvi rezultati su veoma ohrabrujući. Cena ovakvog grebena je neuporedivo niža od veštačkog podvodnog grebena izgrađenog od betonskih, ili ma kojih drugih prihvatljivih materijala. Slična praksa postoji i u Japanu i Južnoj Koreji, ali nema bližih podataka o obimu ovih aktivnosti [19].

Dominantna usmerenja u primeni otpadnih guma u različitim zemljama uslovljena su specifičnostima potreba. Tako, Japan, najveću količinu otpadnih guma koristi kao energent (još devedestih u Japanu su oko 37% otpadnih guma trošile industrije cementa i papira), dok Južna Koreja zbog pretežno planinskog, ali nestabilnog zemljišta, gotovo 75% otpadnih guma troši za erozionu kontrolu u niskogradnji (zaštita saobraćajnica) [19].

Mehaničkim sitnjenjem celih guma dobijaju se komadi veličine od 250 do 300 mm (sečene gume). Neki od ovih agregata koriste se kao osnova kod izgradnje puteva i pruga – kao materijal za drenažu (gumeni agregat je lakši za 30 do 50% od šljunka, oko deset puta efikasnije drenira vodu nego šljunak, a oko osam puta je bolji izolator od šljunka). Produkti prerade starih guma koriste se i kod izgradnje deponija, u izgradnji nasipa, kao ispuna za sendvič-zidove, kao materijal za dilatacione spojnice kod izgradnje puteva, mostova i dr.[1].

Alternativu klasičnom, (isključivo) mehaničkom sitnjenju otpadnih guma, predstavlja primena kombinovanog kriogeno–mehaničkog dejstva. Karakteristika ovako usitnjene gumene mase je veoma visoka disperznost koja se ne može dostići klasičnim sitnjenjem, a koja može biti važna u nekim oblastima primene ovakvog reciklata, kao što je proizvodnja efikasnog, a jeftinog uljnog adsorbensa [16,24].

Za određene svrhe, iz isečenih guma se otklanja čelična komponenta (žica) i kord (tkanina), a komadi gume se dalje sitne do različitih granulacija sve do praha,

nazvanog gumeno brašno. Praškasta gumena faza se koristi za livenje tehničkih gumenih proizvoda kao što su: točkovi za kontejnere i kante za smeće, točkovi za viljuškare i baštenska kolica, za izradu urbanog mobilijara i dr. Gumeni granulati se koriste za izradu sportskih staza, podloga za dečja igrališta, sportske i rekreativne površine sa veštačkom travom, staze u halama oko bazena, za krovne pokrivače i sl. [19,20,25].

Gumom modifikovani asfalt predstavlja jedno od polja primene finijih frakcija gumenog granulata. Ovakav asfalt odlikuje poboljšana elastičnost, povećana bezbednost kod vožnje po mokrom kolovozu, veliki kapacitet apsorpcije zvuka, i s tim u vezi, primena kod izgradnje frekventnih saobraćajnica u urbanim sredinama [1,15,16,22].

Visok sadržaj ugljenika u usitnjenim gumama dozvoljava primenu ovog materijala umesto antracita u proizvodnji čelika u elektrolučnim pećima. Dokazano je da 1,7 kg gumene mase zamenjuje kilogram antracita, uz približno podjednak uticaj produkata procesa na životnu sredinu. Tehnologija se primenjuje u Francuskoj, Belgiji i SAD, a kapacitet primene starih guma u ove svrhe je praktično neograničen [1].

Čađ, koja u masi pneumatika učestvuje sa 27 do 33%, a služi da ojača gumu, ima slične osobine kao aktivni ugalj u pogledu efikasnosti adsorpcije organskih jedinjenja. Opsežna istraživanja pokazala su da jedan deo praškaste faze dobijene mlevenjem otpadnih guma bez čeličnih delova (veličina čestica oko 850  $\mu\text{m}$ ) efikasno adsorbuje 2,2 dela motornog ulja (maseni odnos), i da se proces adsorpcije može uspešno ponoviti preko 100 puta. Proces se pokazao pogodnim za eliminaciju ulja iz morske i slatke vode, a gumena faza zasićena uljem se regeneriše mehaničkim ceđenjem, propuštanjem između valjaka. U poređenju sa efikasnim komercijalnim adsorbensima za uljnu fazu (npr. Ecosol), gumeni prah je dvostruko efikasniji, moguće ga je višekratno regenerisati i na kraju upotrebiti kao gorivo, a istovremeno je gotovo hiljadu puta jeftiniji. Izdvajanje tone ulja adopcijom uz pomoć gumenog praha košta 0,295 USD, a uz pomoć Ecosola 630 USD [16].

U svetu se duže vremena eksperimentiše sa preradom guma postupcima pirolize, devulkanizacije i gasifikacije. Pirolizom, od otpadnih guma nastaju uljni i gasoviti produkti, čađ i čelik, a postupkom devulkanizacije, iz gumene mase se izdvaja sumpor i dobija masa koje se može koristiti kao dodatak u proizvodnji novih guma. Gasifikacijom, otpadne gume se prevode u gasovite produkte koji se mogu koristiti kao gorivo za pokretanje gasnih turbina u proizvodnji električne energije. Sva tri pomenuta procesa u ovoj razvojnoj fazi su neekonomični i pokazuju izvesne tehnološke nedostatke, pa se njihovo usavršavanje nastavlja [1,10,17,19,26].

Izvedena su ispitivanja sastava i toplotne moći gasovite faze iz pirolitičke prerade otpadnih guma, kao i sastava produkata sagorevanja nastale gasovite faze. Pokazalo se da gasovita faza nastala pirolizom u reaktoru na 600 °C ima visoku toplotnu moć (35,5 MJ/m<sup>3</sup>), a predstavlja uglavnom mešavinu lakih ugljovodonika, ugljen-dioksida, ugljen-monoksida, i vodonika. Sagorevanjem ovakve mešavine gasova u pogodnom reaktoru na 850 °C uz praćenje sadržaja CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, praškaste faze, ukupnog organskog ugljenika, sadržaja metala (As, Sb, Hg, Pb, Sn, Cd, Ni, Cr, Co, Va, Tl, Cu i Mn), HF, HCl, furana i dioksina, dokazano je da jedino ukupni organski ugljenik, HCl i SO<sub>2</sub> prekoračuju važeće standarde EU. Primenom sistema za prečišćavanje gasovitih produkata sagorevanja, uz prilagođen način sagorevanja (adekvatan gorionik), ova odstupanja iznad propisanih vrednosti sa lakoćom se mogu otkloniti [27,28].

U nastojanju da se proces pirolize učini ekonomičnijim zabeleženi su uspešni primeri termičkog razlaganja mešavine usitnjenje otpadne gume i otpadnog motornog ulja pri čemu nastaju gasovita, tečna i čvrsta faza. Gasovita i tečna faza koriste se kao gorivo, dok je čvrsti ostatak – čađ koja se može ponovo koristiti u procesu proizvodnje pneumatika. Ovakav proces predstavlja napredak jer istovremeno rešava i problem zbrinjavanja otpadnih motornih ulja, koja spadaju u grupaciju opasnog otpada [29].

Poseban interes vlada za uspešno rešavanje procesa devulkanizacije jer postoji potreba da se poveća udeo reciklirane prirodne gume u proizvodnji novih pneumatika pošto od sadašnje proizvodnje prirodne gume već 70% ide za ove potrebe, a procenjuje se da će se potrošnja prirodne gume u narednih trideset godina udvostručiti [1].

### Dostignuća u upravljanju otpadnim gumama u Evropskoj Uniji

Prema izveštaju za 2009. g. Evropska Unija je vodeća u svetu u pogledu uspešnosti upravljanja otpadnim gumama pošto ih (sa pridodatkom Norveškom i Švajcarskom) zbrinjava sa prosečnom stopom do 95%. Među zemljama članicama EU, veliki broj ih u potpunosti zbrinjava svoje korišćene gume i ne odlaže ih na deponije. Portugalija zbrinjava ukupnu godišnju produkciju otpadnih guma i čak dodatno, uzima otpadne gume sa deponija pa je 2009. g. zbrinula 4% otpadnih guma više od godišnje produkcije, smanjujući tako postojeće zagađenje. Najslabije efekte u ovom pogledu beleže Bugarska i Kipar koje sve svoje gume odlažu na deponije, sledi Slovenija gde je 2009. g. na deponije odloženo 46% otpadnih guma [1].

Na slici 2 prikazana je opšta šema upravljanja korišćenim gumama koja je prihvaćena od Evropske Unije i drugih razvijenih država, a od 2009. g. i od Srbije [10].

Na slici 3 prikazana je struktura upravljanja sakupljenim korišćenim gumama na teritoriji Evropska Unije sa pridodatim Švajcarskom i Norveškom u 2009. g.

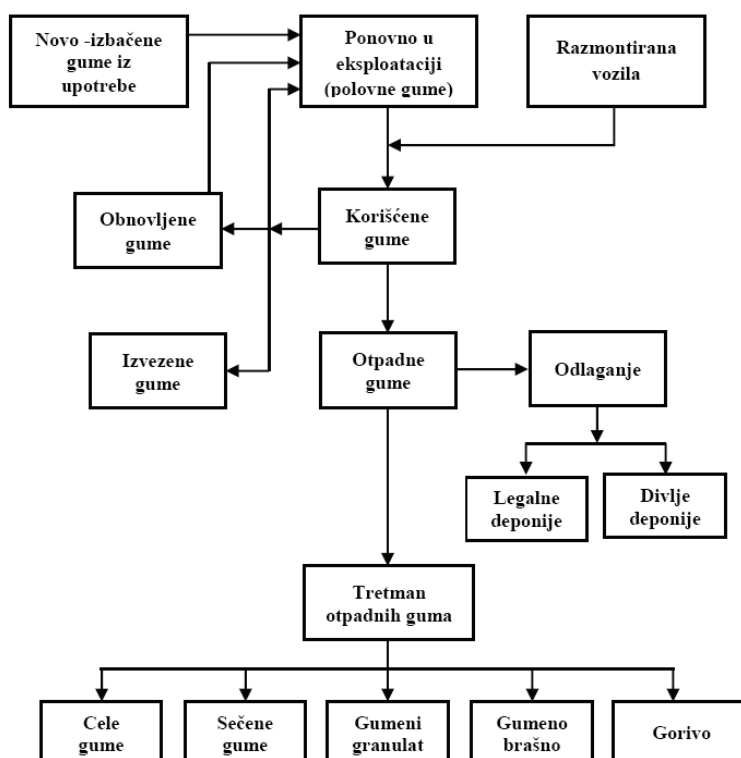
Razmatranjem podataka sa šeme prikazane na slici 3 zaključuje se da je samo 5% otpadnih guma (125.000 t) u EU uključujući Norvešku i Švajcarsku odloženo na deponije, dok se 95% otpadnih guma (2.496.000 t) reciklirano, ili utroši kao gorivo.

Na slici 4 prikazana je tendencija rasta količine zbrinutih otpadnih guma u EU sa Švajcarskom i Norveškom, u periodu 1994–2009. g.

Iz podataka sa slike 4 može se zapaziti da je za petnaest godina, od 1994. do 2009. g. količina zbrinutih otpadnih guma u EU rasla po prosečnoj godišnjoj stopi od 25%, povećavajući se sa 503.000 tona, na gotovo 2,5 miliona tona.

Na slici 5 prikazana je tendencija izmene strukture zbrinjavanja korišćenih guma u EU od 1996. do 2009. g.

Dijagram na slici 5 pokazuje da se količina otpadnih guma koje se odlažu na deponije izrazito smanjila, količine guma koje se ponovno koriste kao polovne gume ili kao obnovljene gume stagnira, dok su se



Slika 2. Opšta šema upravljanja korišćenim gumama.

Figure 2. General schematic presentation of used tyre management.

Distribucija guma		Masa, t
Korišćene gume	Ponovno korišćenje (polovne gume)	173.000
	Izvoz	122.000
	Obnavljanje (protektiranje)	286.000
	Otpadne gume	2.621.000
	<b>UKUPNO</b>	<b>3.202.000</b>

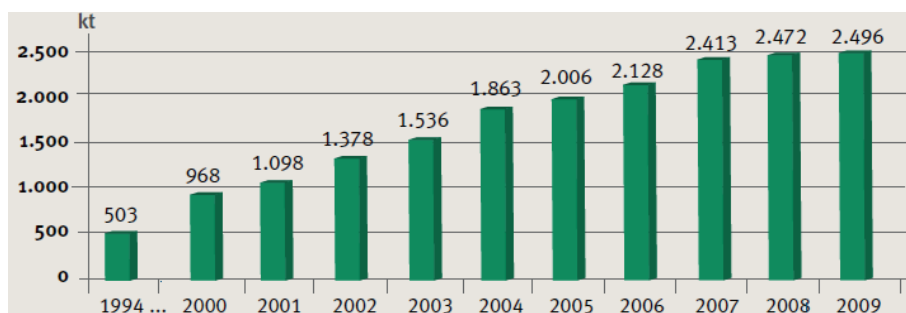
  

Otpadne gume (2.621.000t)		
Recikliranje, t	Energent, t	Odlaganje, t
1.203.000	1.293.000	125.000

Slika 3. Šema upravljanja korišćenim gumama u 2009. g u EU sa Švajcarskom i Norveškom [1].

Figure 3. Schematic presentation of used tyre management in EU with Switzerland and Norway in 2009 [1].





Slika 4. Tendencija rasta količine zbrinutih otpadnih guma u EU sa Švajcarskom i Norveškom od 1994. do 2009. g. (u hiljadama tona) [1].  
Figure 4. Rising trend of settled end of life tyres in EU with Switzerland and Norway from 1994 to 2009 (in thousand of tonnes) [1].

povećale količine guma koje se prerađuju u druge proizvode ili koriste kao energent.

#### UPRAVLJANJE KORIŠĆENIM GUMAMA U SRBIJI

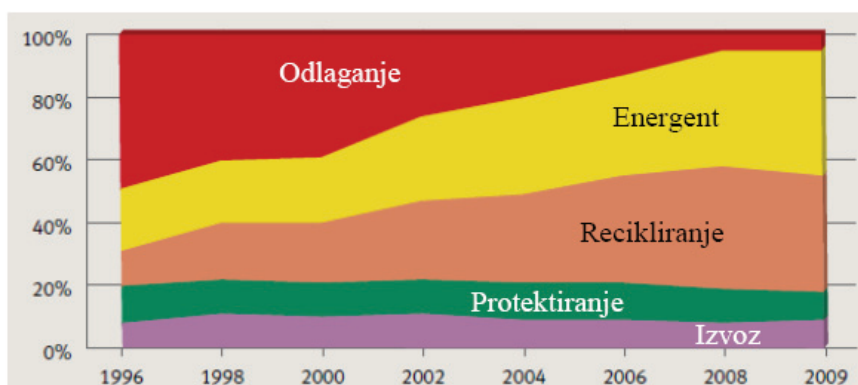
U Srbiji do 2009. g. nije postojalo organizovano upravljanje korišćenim gumama, pa se sa gumama postupalo stihijski i nekontrolisano. Od 2009. g. u okviru usaglašavanja domaćih propisa sa propisima EU, Zakonom o upravljanju otpadom (Sl. Gl. RS br 36/2009 i 88/2010) ovaj proces je zaustavljen, a uvedene su sistemske mere u upravljanju otpadnim gumama pri čemu je odlaganje otpadnih guma na deponije zabranjeno. Procene ukazuju da se zagađenje (ranije sakupljene i odložene otpadne gume) u Srbiji, računato samo na mesta sa količinama preko 500 t, kreće oko 50.000 t. U ovu procenu nisu uračunate količine iz rudnika uglja (Koluvara), i bakra (Bor i Majdanpek), gde se javljaju otpadni gumeno-tehnički proizvodi (gumene transportne trake, i dr.) [30]. Sve to ukazuje da je zagađenje veće od navedenog, ali nema dovoljno elemenata za pouzdaniju procenu.

Na tržište Srbije gume dolaze kao: gume uvezene, proizvedene i protektirane (obnovljene); gume koje su sastavni deo uvezenih motornih vozila; korišćene gume uvezene radi protektiranja; ilegalno uvezene korišćene gume. Procenjuje se da se u Srbiji godišnje nađe oko 26.000 t korišćenih guma koje se saglasno Pravilniku o

načinu i postupku upravljanja otpadnim gumama (Sl.Gl. RS br. 104/2009), recikliraju u različite gumene sirovine i proizvode (minimalno 80%), i koriste kao energent (maksimalno 20%). Za 2010. g. ovaj odnos, Pravilnikom i izmenama i dopunama Pravilnika o načinu i postupku upravljanja otpadnim gumama (Sl.Gl. RS br. 81/2010), promenjen je, tako se do 30% otpadnih guma moglo utrošiti u energetske svrhe, a 70% usmereno je u reciklažu. Ovakvim rešenjima težište zbrinjavanja korišćenih guma u Srbiji usmerava se ka reciklaži što je i pravac kojim se kreću i razvijene zemlje. Odnos količina otpadnih guma koje se recikliraju, u odnosu na količine koje se usmeravaju u energetske potrebe u razvijenim zemljama za sada je pomećen ka energetske upotrebi otpadnih guma, ili približno izjednačen, što je slučaj u zemljama EU, a što se vidi sa slike 5 [1,2].

Protektiranje (obnavljanje) guma u Srbiji vrši se za teretni i poluteretni program vozila, ali za sada ne postoji razvijena mreža za sakupljanje dovoljnog broja istrošenih guma pogodnih za protektiranje, pa se dozvoljava kontrolisan uvoz jedne količine takvih guma isključivo za potrebe protektiranja (do 50% godišnjeg kapaciteta zainteresovane protektirnice) [30].

U Srbiji rade dva postrojenja sa dozvolama za reciklažu otpadnih gumenih proizvoda, i to „Hemigum doo“ iz Gornjeg Milanovca koji prerađuje otpadnu gumeno-tehničku robu i radi od polovine 2010. g. i „Eco Recyc-



Slika 5. Prikaz upravljanja korišćenim gumama u EU sa Švajcarskom i Norveškom od 1994. do 2009. g. [1].  
Figure 5. Used tyre management in EU with Switzerland and Norway from 1994. to 2009 [1].

ling“, iz Novog Sada (postrojenje je locirano u Sirigu) koje prerađuje otpadne gume, a radi od 2008. g. Preduzeće „Hemigum“ je za šest meseci, koliko je radilo u toku 2010. g. prerađilo 90 t otpadne gumeno-tehničke robe, dok je preduzeće „Eco Recycling“, u toku 2010. g. prerađilo 14.800 t otpadnih guma, a od trenutka početka proizvodnje, do 2010. g. oko 12.000 t otpadnih guma. Oba preduzeća preradom različitih sirovina proizvode finalni proizvod – gumeni granulati, ali su tehnološke mogućnosti i kapacitet postrojenja u Sirigu neporedivo veći. Po potrebi, sporedni proizvodi „Eco-Recyclinga“ – krupno sečeni komadi gume sa ostacima čelične sajle i tekstila („šred“), ili strugotona (sečena guma oslobođena čelika), mogu biti i glavni proizvodi kada se i kapacitet postrojenja uvećava, jer je stepen obrade guma manji u odnosu na proizvodnju gumenog granulata. Dobijeni gumeni granulati se u dozvoljenoj količini dodaje sirovoj gumi i revulkanizuje, a takođe koristi za izradu gumeno-tehničkih proizvoda, atletskih staza, sportskih terena, ležećih policajaca i druge namene o čemu je napred bilo reči.

U energetske svrhe otpadne gume, kao i komponente koje nastaju reciklažom korišćenih guma (gumirani i najlonski kord, nekvalitetan krupno sečeni gumeni otpad, gumena prašina i sl.) koriste kao alternativno gorivo u cementarama u Popovcu („Holcim-Srbija“) i Beočinu („Lafarge BFC“), koje inače koriste petrol-koks kao osnovno gorivo. Oba operatera su u postupku za dobijanje integrisane dozvole za rad.

Nadležno ministarstvo je 2006. g. odobrilo preduzeću „Holcim-Srbija“ upotrebu guma kao alternativnog goriva u rotacionoj peći za klinker u količini od 12% u odnosu na ukupnu godišnju količinu potrebnog energenata. Ovaj operater je u postupku dobijanja integralne dozvole za skladištenje i tretman otpadnih guma. Otpadne gume se u ovoj cementari koriste cele i ubacuju se na ulazu u peć preko dvostrukog zatvarača (klapne), ručno. U toku 2010. g. ovaj operater je utrošio 7.270 t otpadnih guma, od čega oko 1.500 t ranije odlaganih otpadnih guma sa sopstvene parcele, što predstavlja oko 11% u odnosu na ukupnu količinu utrošenih energenata.

Preduzeće „Lafarge BFC“ dobilo je dozvolu za korišćenje starih guma kao alternativnog goriva u količini do 12% u odnosu na ukupnu količinu energenata 2008. g. Operator poseduje integralnu dozvolu za skladištenje i tretman otpadnih guma. Dodavanja guma u peć izvodi se, kao i na postrojenju u Popovcu, na ulaznom delu, preko dvostrukog zatvarača, ručno. U toku 2010. g. na postrojenju je utrošeno 6.450 t otpadnih guma, što u odnosu na ukupnu količinu energenata iznosi oko 8%.

Tržišna zainteresovanost domaćih preduzeća – prerađivača za nabavku otpadnih guma u porastu je, jer raste mogućnost plasmana proizvoda reciklaže i na domaćem, a još više na stranom tržištu. Pošto i proizvo-

đači cementa iskazuju zainteresovanost za primenu otpadnih guma u funkciji alternativnog energenta, može se očekivati da će se nagomilane otpadne gume na deponijama u Srbiji, u narednim godinama postepeno utrošiti na bezbedan i zakonski dozvoljen način.

## ZAKLJUČAK

U svetu se godišnje sakupi oko 1,4 milijarde otpadnih guma koje se u nerazvijenim zemljama najčešće odlazu na uređene i neuređene deponije, a u razvijenim, direktno ili posle obnavljanja (protektiranja), koriste na vozilima, prerađuju (recikliraju) u korisne proizvode, ili koriste kao energent.

U pogledu upravljanja korišćenim gumama, u 2009. g. u svetu prednjače zemlje EU koje sa Norveškom i Švajcarskom zbrinjavaju 95% otpadnih guma, sledi Japan sa 91% i SAD sa 89%. Preostale gume (razlika do 100%) odlazu se na deponije. Ova tri entiteta zajedno participiraju sa oko 44% u svetskoj godišnjoj produkciji korišćenih guma.

Odlaganje otpadnih guma na uređene ili neuređene deponije samo po sebi ne ugrožava životnu sredinu, ali ovakve deponije u slučaju požara mogu biti uzročnik velikog zagađenja vazduha, tla i podzemnih voda, pri čemu se opasno ugrožava životna sredina.

U pogledu ukupne održivosti, najcelishodnije je korišćene gume obnavljati (protektirati) i ponovo koristiti za osnovnu namenu. Za program teretnih vozila u većini razvijenih zemalja korišćene gume se obavezno protektiraju, a tek posle više ponovljenih protektiranja, odbacuju kao otpadne gume, dok kod putničkih vozila zbog različitog sastava guma i većih brzina kojim se kreću, to nije moguće.

Otpadne gume (cele) ograničeno se primenjuju, i to u nekim specifičnim oblastima, dok se recikliranjem otpadnih guma dobijaju sirovine i proizvodi koji se primenjuju u građevinarstvu i proizvodnji gumeno-tehničkih proizvoda, proizvodnji čelika i td., zbog čega tržište gumenih reciklata raste.

Primena otpadnih guma kao energenta ekološki je prihvatljivija od korišćenja klasičnih fosilnih goriva jer u pneumatik ulazi do 30% prirodne gume koja predstavlja obnovljiv izvor energije, a zbog hemijskog sastava, pri sagorevanju u kontrolisanim uslovima, ne zagađuju životnu sredinu više od fosilnih goriva.

Otpadne gume (cele ili sečene) koriste se kao bezbedno alternativno gorivo u cementarama i kao osnovno gorivo u termoelektranama. Zbog povoljnih ekonomskih efekata potražnja cementara za otpadnim gumama kao dodatnim energentom kontinualno raste, a količine guma koje bi cementare mogle da potroše su praktično neograničene.

U Srbiji se godišnje prikupi oko 26.000 t korišćenih guma, dok se procenjuje da je na većim deponijama odloženo oko 50.000 t otpadnih guma. Zakonskim pro-

pisima o upravljanju otpadom i pratećim podzakonskim aktima kojim je u Srbiji regulisano upravljanje otpadnim gumama, od 2009. g. odlaganje otpadnih guma na deponije nije dozvoljeno.

Korišćenim gumama se u Srbiji upravlja na isti, bezbedan način, kao i u zemljama EU: ponovnim korišćenjem, reciklažom i korišćenjem kao goriva (u cementarama).

Zbog značajnog i konstantnog rasta potražnje za otpadnim gumama s ciljem prerade ili primene kao alternativnog goriva, može se očekivati da će se postojeće deponije otpadnih guma u Srbiji, u narednim godinama postepeno isprazniti.

Prema svemu rečenom, otpadne gume će u budućnosti biti tretirane kao dragoceni resurs koji se može upotrebiti kao sirovina za različite proizvodnje, ili kao energent. Očekuje se da će zbog nužnosti da se u većem stepenu u sastav novih pneumatika uključi reciklirana prirodna guma, procesi industrijske hemijske dekompozicije guma u dogledno vreme biti usavršeni i postati ekonomični u komercijalnoj primeni.

## LITERATURA

- [1] End of life tyres - a valuable resource with growing potential, European Tyre and Rubber's Manufacturers Association (ERTMA), 2010 Edition, Bussels, 2010. [http://www.etrma.org/pdf/20101220%20Brochure%20ELT\\_2010\\_final%20version.pdf](http://www.etrma.org/pdf/20101220%20Brochure%20ELT_2010_final%20version.pdf) (pristupljeno 30.04.2011)
- [2] Managing End-of-Life Tires (ELTs), European Tyre and Rubber's manufacturers association (ETRMA), <http://www.etrma.org/public/activitieseoflts.asp> (pristupljeno 27.04.2011)
- [3] Air emission from scrap tire combustion, EPA -600/R-97-115, United States Environmental Protection Agency, Washington DC, 1997
- [4] D.N. Humphrey, L.E.Katz, Field study of water quality effects of tire shreds placed below the water table, [http://www.rma.org/publications/scrap\\_tires/index.cfm?PublicationID=11119](http://www.rma.org/publications/scrap_tires/index.cfm?PublicationID=11119), (pristupljeno 20.04.2011)
- [5] D.N. Humphrey, Water quality results for whitter farm road tired shred field trial, Departman of civil and environmental engineering, University of Main, Orono, Main, 1999, [http://www.rma.org/publications/scrap\\_tires/index.cfm?PublicationID=11163](http://www.rma.org/publications/scrap_tires/index.cfm?PublicationID=11163), (pristupljeno 19.04.2011)
- [6] J.L. Zeliber, Twin city testing corporation study waste tires for roadbed fill, *Scrap Tire News* **4** (5) (1990) 17–18
- [7] Evaluation of health effects of recycled waste tires in playground and track products, Public Affairs Office, California Integrated Waste Management Board, Sacramento, 2007. [www.ciwmb.ca.gov/Publications](http://www.ciwmb.ca.gov/Publications), (pristupljeno 18.04.2011)
- [8] Review of the human health & ecological safety of exposure to recycled tire rubber found at playground and synthetic turf fields, Ruber Manufacturers Association, ChemRisk Inc, Pittsburgh, PA, Washington DC, 2008, [http://www.rma.org/publications/scrap\\_tires/index.cfm?PublicationID=11496](http://www.rma.org/publications/scrap_tires/index.cfm?PublicationID=11496), (pristupljeno 25.03.2011)
- [9] E. Denly, K. Rutkowski, K. Vetrano, A review of the potential health and safety risks from synthetic turf fields containing crumb rubber infill, Project No 153896, New York City Department of Health and Mental Hygiene, New York, NY, 2008. <http://www.rma.org/getfile.cfm?ID=980&type=publication> (pristupljeno 19.04.2011)
- [10] Tires as a Fuel Supplement: Feasibility study, Report to the Legislature, California Integrated Waste Management Board, January 1992. <http://www.rma.org/getfile.cfm?ID=488&type=publication> (pristupljeno 17.04.2011)
- [11] K. Pope, Tires to energy in a fluidized bed combustion system, Energy Products of Idaho, Inc., <http://www.rma.org/getfile.cfm?ID=485&type=publication> (pristupljeno 24.04.2011)
- [12] Air emissions from scrap tire combustion, Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency, Washington DC, 1997. [http://www.rma.org/publications/scrap\\_tires/index.cfm?PublicationID=11268](http://www.rma.org/publications/scrap_tires/index.cfm?PublicationID=11268) (pristupljeno 20.04.2011)
- [13] M. Blumenthal, The use of scrap tyres in the US cement industry, World Cement, 1992, [http://www.rma.org/publications/scrap\\_tires/index.cfm?PublicationID=11213](http://www.rma.org/publications/scrap_tires/index.cfm?PublicationID=11213) (pristupljeno 20.04.2011)
- [14] A.C. Bell, Delta Air Quality Services, Inc, AB2588 Emission testing at California portlan Cement Company's Colton plant; Coal firing and Coal with tires firing, California Portland Cement Company, (1999), <http://www.rma.org/getfile.cfm?ID=483&type=publication> (pristupljeno 24.04.2011)
- [15] T.B. Edil, P.J. Bosscher, Evaluation of shredded and whole tires for highway applications and development engineering criteria, Wisconsin Department of Transportation, 1989, <http://www.rma.org/getfile.cfm?ID=720&type=publication> (pristupljeno 12.04.2011)
- [16] C. Lin, C.-L. Fuan, C.-C. Shern, Recycling waste tire powder for the recovery of oil spills, *Resour. Conserv. Recy.* **52** (2008) 1162–1166
- [17] US EPA, Region 5, Waste, Pesticides and Toxic Division, Chicago, Illinois & Illinois EPA Bureau of land, Springfield, Illinois, Scrap Tire Cleanup Guidebook, Chicago, 2006, [http://www.rma.org/publications/scrap\\_tires/index.cfm?PublicationID=11484](http://www.rma.org/publications/scrap_tires/index.cfm?PublicationID=11484) (pristupljeno 14.04.2011)
- [18] Tire Pile Fires, Prevention, Response, Remediation, Environmental Engineering and Contracting, Inc, Santa Ana California, USA, 2002, <http://www.rma.org/getfile.cfm?ID=944&type=publication> (pristupljeno 12.04.2011)
- [19] J.-W. Jang, T.-S. Yuu, J.-H. Oh, I. Iwasaki, Discarded tyre recycling practices in United States, Japan and Korea, *Resour. Conserv. Recyc.* **22** (1998) 1–14
- [20] D. Mitchell, Used tires: Reuse, Recycle, Retreaded, <http://volunteerguide.org/volunteer/fewhours/used-tires.htm> (pristupljeno 30.04.2011)
- [21] T.A. Gray, Tire Derived Fuel: An Environmental Friendly Resource, Tire Derived Fuel Seminar, Austin, Texas, Texas Natural Resource Conservation Commission, 1996, pp 65-81, [http://www.rma.org/publications/scrap\\_tires/index.cfm?CategoryID=572](http://www.rma.org/publications/scrap_tires/index.cfm?CategoryID=572) (pristupljeno 08.09.2011)

- [22] A. Pehlken, D.H. Müller, Using informatioomn of the separation process of recycling scrap tires for process modelling, *Resour. Conserv. Recy.* **54** (2009) 140–148
- [23] T. Amari, N.J. Temelis, I.K. Wernick, Resource recovery from used rubber tires, *Resour. Policy* **25** (1999) 179–188
- [24] A.P. Smith, H. Ade, C.C. Koch, R.J. Spontak, Cryogenic mechanical alloying as an alternative strategy for the recycling of tires, *Polymer* **42** (2001), 4453–4457
- [25] P.J.H. van Beukering, M.A. Janssen, Trade and recycling of the used tires in Western and Eastern Europe, *Resour. Conserv. Recyc.* **33** (2001) 235–265
- [26] R. Murillo, E. Aylón, M.V. Navarro, M.S. Callén, A. Aranda, A.M. Mastral, The application of thermal processes to valorise waste tyre, *Fuel Process. Technol.* **87** (2006) 143–147
- [27] E. Aylón, R. Murillo, A. Fernández-Colino, A. Aranda, T. García, M.S. Callén, A.M. Mastral, Emissions from the combustion of gas-phase products at tyre pirolysis, *J. Anal. Appl. Pyrol.* **79** (2007) 210–214
- [28] M. Arroyo, I. San Martin, S. Olivella, M.W. Saaltink, Evaluation fo self-combustion risk in the tire derived aggregate fills, *Waste Manage.* **31**(2011) 2133–2141
- [29] M.E. Abdul-Raouf, N.E. Maysour, A.-A. A. Abdul-Azim, M.S. Amin, Thermochemical recycling of mixture of scrap tyres and waste lubricating oil into high caloric value products, *Energ. Convers. Manage.* **51** (2010) 1304–1310
- [30] Ministarstvo zaštite životne sredine, rudarstva i prostornog planiranja, <http://www.ekoplan.gov.rs/src/search.php> (pristupljeno 02.05.2011).

## SUMMARY

### MANAGEMENT OF USED TYRES, ACCOMPLISHMENTS IN THE WORLD, AND SITUATION IN SERBIA

Dušan D. Stanojević<sup>1</sup>, Miloš B. Rajković<sup>2</sup>, Dragan V. Tošković<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*University of East Sarajevo, East Sarajevo, Faculty of Technology, Zvornik, BIH*

<sup>2</sup>*University of Belgrade, Faculty of Agriculture, Zemun – Belgrade, Serbia*

(Professional paper)

It is estimated that there are more than 550 million road vehicles in the world in everyday use. Annually, 1.3 billion used tyres are dismantled from these vehicles due to safety reasons. A small number of these tyres end up reused as second-hand tyres or, after being retreated, as new ones. The rest are end of life tyres, which are recycled or used as tire derived fuels under controlled combustion conditions. Modern vehicle tyres are a high-technological product containing, on the average, 85% hydrocarbon, 10–15% steel, as well as some other chemical materials. Tyres are high caloric materials, with a calorific value of a passenger car tyre of approximately 30.2 MJ/kg, which is more than of hard coal and comparable to the calorific value of petrol-coke. Having this in mind, many countries use end of life tyres as safe alternative fuel in cement works or power plants. Undeveloped countries dump end of life tyres on legal and illegal scrap stockpiles. End of life tyres, if disposed of correctly, do not endanger the environment because they are chemically inert. However, since they can easily be burnt, there is a real possibility of tyre dump fires, which in effect can lead to harmful products emission that extremely pollute the environment. End of life tyres represent a very important secondary material, which, when recycled, is transformed into a number of raw materials used in rubber industry, for road construction, sports facilities, residential and business buildings, artificial fish habitats in shallow seas, sea walls, steel production, etc. By the industrial procedures of controlled degradation, which have been uneconomical up until now, gaseous and liquid fuel can be obtained by natural rubber, steel and soot recycling. The countries of the EU, together with Norway and Switzerland, were the world leaders in the field of effective end of life tyre management in the year 2009. Out of 2.62 million tonnes of end of life tyres, 95% were restored or used as energents, and 5% settled on dumps. About 26.000 t of used tyres are collected in Serbia each year. In accordance with adopted legal legislations, up to 30% can be used as tire derived fuels while 70% are being recycled. Serbia belongs to the group of countries that have solved the problem of used tyres in a modern way, and in accordance with EU Legislation practice.

*Keywords:* Used tyres • Management • Rubber recycling