

Dr. HUSEIN DŽANIĆ  
Dr. DAMIR BOŽIČEVIĆ  
Fakultet prometnih znanosti  
Zagreb, Vukelićeva 4

Prometna tehnika

Stručni rad

UDK: 629.11.012.5.002.58: 678.046.1

Primljeno: 27.09.1991.

Prihvaćeno: 18.11.1991.

# MOGUĆNOSTI KORIŠTENJA OTPADNIH GUMA CESTOVNIH VOZILA

## SAŽETAK

U radu je opisan sastav i količine otpadnih guma cestovnih motornih vozila i mogućnosti njihova korištenja kao sekundarne sirovine. Analizirane su potencijalne količine u svijetu, Jugoslaviji i gradu Zagrebu. Utvrđene su potencijalne količine otpadnog pneumatika u godini 1991: u svijetu  $1,7 \times 10^8$  komada od čega je 84% na osobnim motornim vozilima, u Jugoslaviji 9 631 466 komada ili 267 049 t, te u Zagrebu 862 780 komada ili 18 635 t, gdje se prikuplja tek nešto manje od 10%. Utvrđeno je da se radijalne gume osobnih automobila na cestama Hrvatske troše na prijedjenih 50 000 km 8,2%, radijalne kamionske gume na 60 000 km 15,1% i dijagonalne 17,1%.

Od mnogobrojnih načina korištenja otpadnoga gumenog pneumatika ekološko-ekonomski najveću prednost ima obnavljanje i prerada kriogenim postupkom u gumeno brašno (regenerat).

## 1. UVOD

Svjetska automobilska industrija proizvela je u godini 1986. oko 45,4 milijuna cestovnih motornih vozila. Taj broj u 1990. godini se povećao na 48,2 milijuna. Za ta vozila trebalo je minimalno proizvesti 192,8 milijuna guma (1).

Procjenjuje se da će isto toliko otpadnih guma biti nakon pet godina korištenja. U Jugoslaviji se u godini proizvede 117 144 komada pneumatika za cestovna motorna vozila, a potroši 93 744 komada, što znači za 23 436 vozila. Procjenjuje se da je u Jugoslaviji u godini oko 90 000 komada otpadnih guma s cestovnih motornih vozila (2).

Svjetske i domaće količine otpadnih pneumatika za cestovna motorna vozila ekstremno su velike i njihova regeneracija predstavlja zanimljiv ekološko-ekonomsko-kemijski potez u suvremenom postindustrijskom svijetu.

Cilj rada je proučiti mogućnosti iskorištavanja otpadnih guma cestovnih motornih vozila kao sekundarne sirovine iz ekološko-ekonomskih razloga.

## 2. RAZVOJ PROIZVODNJE KAUCUKA I KONSTRUKCIJE PNEUMATIKA

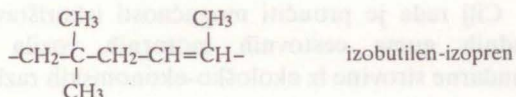
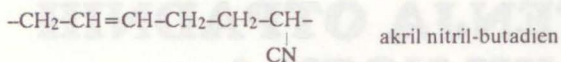
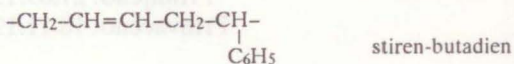
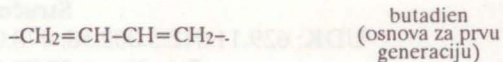
### 2.1. Razvoj proizvodnje kaučuka i gume

Škotski veterinar John. B. Dunlop je godine 1887. prvi zamijenio pune gume na biciklu zračnicama, te tako omogućio mnogo udobniju vožnju biciklima. Mnogo prije J.B. Dunlops, točnije godine 1839. Charles Goodyear je izumio vulkanizaciju prirodnoga kaučuka i tako omogućio gumarskoj industriji multimilijunske zarade. Iako je G. Williams godine 1860. utvrdio da je prirodni kaučuk sastavljen od izoprena,  $C_5H_8$  sintetički kaučuci praktično sve do godine 1950. nisu postignuli zadovoljavajuće prednosti za opću primjenu u proizvodnji pneumatika. Prvi pneumatik od sintetičke gume izraden je za Kaiserov automobil godine 1912. U proizvodnji današnjih pneumatika za cestovna motorna vozila najvažnije mjesto imaju kopolimeri butadien i stiren (SBR), akrilonitril-butadienski kaučuk (NBR), polikloropren (CR), etilen-propilenski kopolimer (EPM) klorbutilni kaučuk, neopren itd., što je kemijski pokazano na slici 1 (3).

Vulkanizacijom nastaju gume (elatomer) koje su osnovne sirovine za proizvodnju pneumatika za cestovna motorna vozila. Kvaliteta gotovog pneumatika mnogo ovisi o kemijskom sastavu kaučukove smjese u kojoj su uz kaučuk sredstvo za vulkanizaciju (najčešće sumpor), ubrzivač vulkanizacije i kativator ubrzivača. Osim toga, u smjesi su još punilo (kreda), pigmenti (čada), sredstvo protiv starenja i ostali aditivi kojima se podešavaju specifična svojstva (4).

Klorobutilne gume manje propuštaju plinove, pa se od njih poslije godine 1960. izrađuju zračnice i unutarnja postava automobilskih guma (5). Danas

PRVA GENERACIJA



DRUGA GENERACIJA

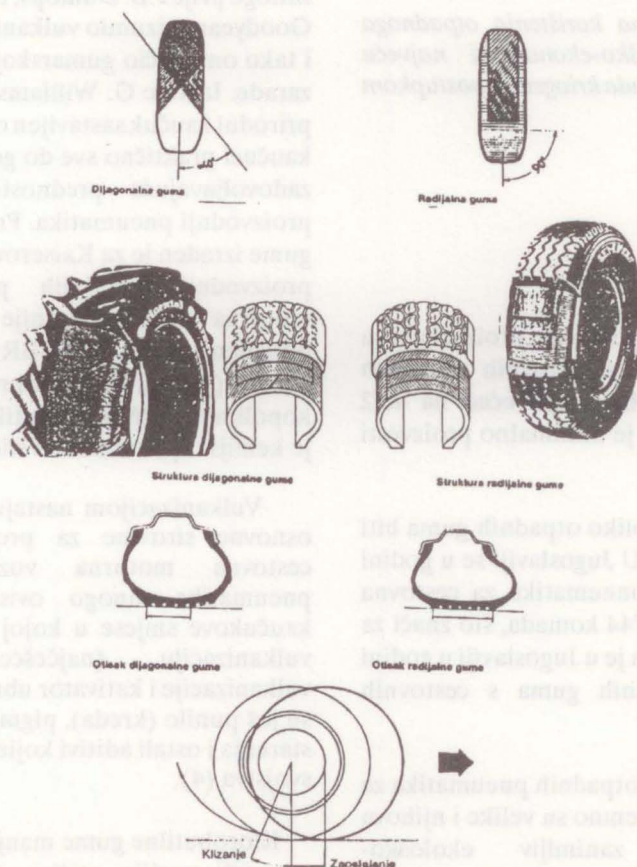


Slika 1. Kaučuci prve i druge generacije

sintetički elastomeri podmiruju više od 80% potreba za pneumatikom. Proizvode se sa svojstvima prema zahtjevima namjene, pa se na tržištu pojavljuju sve kvalitetniji kaučuci za izradbu automobilskih guma.

2.2. Razvoj konstrukcije automobilskih guma

U zadnjih stotinu godina, od J.B. Dunlopa, pred konstrukciju guma cestovnih motornih vozila postavljaju se sve teži zahtjevi. Gume su izvrnute velikim napreznjima. Da bi sigurnost u vožnji bila što veća, s unutarne strane pneumatika nalazi se 4 do 6 slojeva niti poput armature tzv. karkase odnosno korda. Niti korda su obično od najlona i/ili čelika. Ako su niti u slojevima pod kutom od 40°, govori se o dijagonalnim gumama, a ako je taj kut 90°, onda su to radijalne gume. Ispitivanja su pokazala da je profil radijalne gume 35 do 50% trajniji od dijagonalne. To je stoga što su ukršteni kordni slojevi krući u dijagonalnih guma. Stoga je i pri svakom okretaju kotača s dijagonalnom gumom prijedeni put 2 do 3% manji od njegoa opsega. Klizanje s radijalnom gumom iznosi svega 0,5 do 1% pa je i trošenje manje. Pri vrtnji kotača troši se dio energije na pomicanje kordnih niti, pa se pod istim uvjetima na radijalnim gumama troši manje



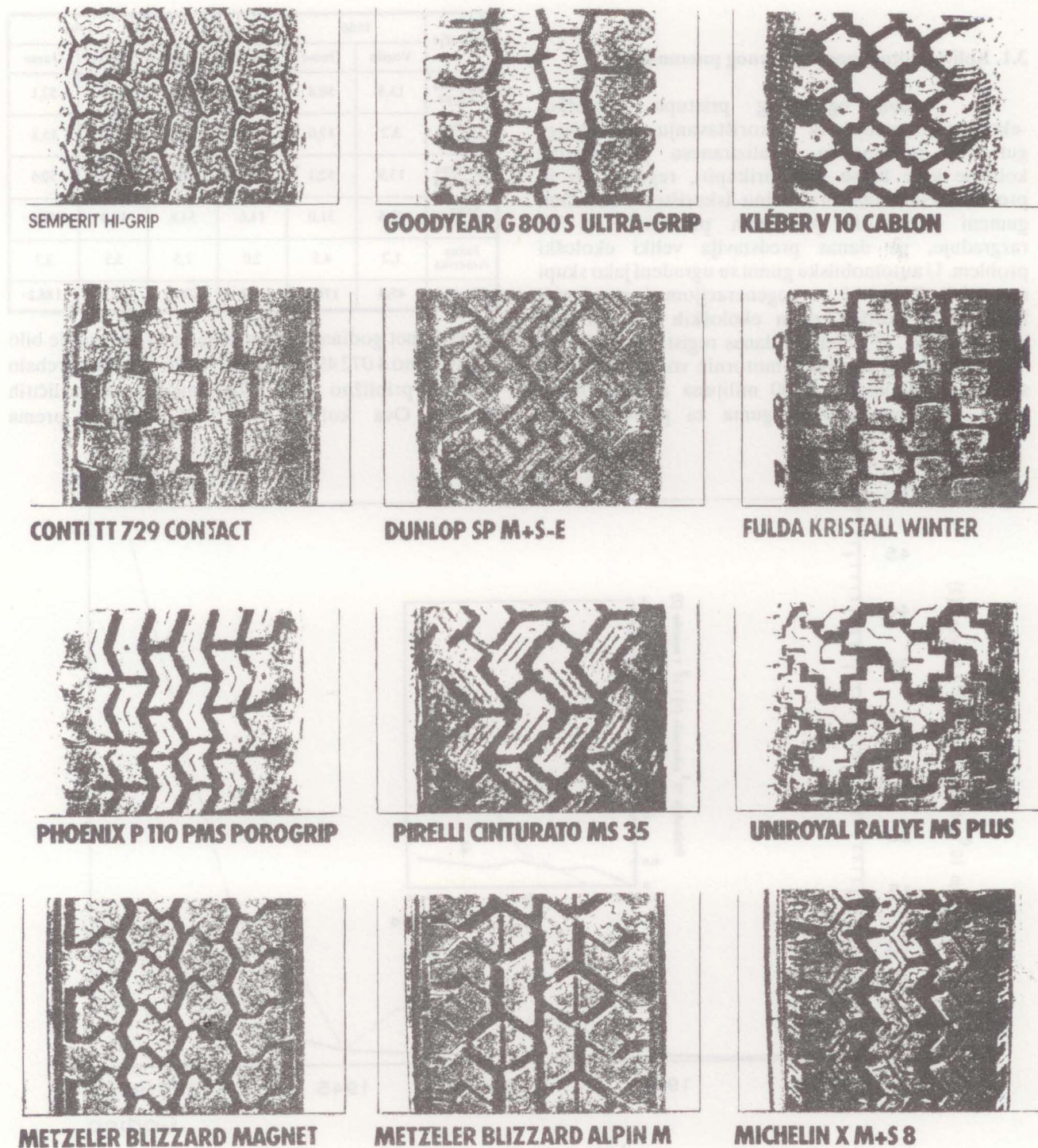
Slika 2. Konstrukcija i otisak dijagonalnog i radijalnog automobilskog pneumatika

## H. Džanić, D. Božičević: Mogućnosti korištenja otpadnih guma cestovnih vozila

4 do 12% goriva, jer dijagonalne gume imaju manju gazuću površinu i veći otpor u kotrljanju, kao što je vidljivo na slici 2.

Na eksploatacijske značajke dijagonalne i radijalne gume, osim fizikalno-kemijskih svojstava materijala ugrađenih u gumu, znatno utječe i dizajn gazišta,

istrošenost profila i sl. Danas u svijetu najveći proizvođači pneumatika (Goodyear-USA, Michelin-Francuska, Dunlop-Velika Britanija, Sumitomo-Japan, Pirelli- Italija) postižu vrijeme sigurne eksploatacije čak do 160 000 km, što se prije nekoliko godina nije moglo ni pretpostaviti. Tu kvalitetu treba zahvaliti novim elastomerima. Na tržištu postoji velika ponuda



Slika 3. Dizajn gazišta pneumatika nekih važnijih proizvođača

automobilskih guma tehnički predviđenih za 20 000 km ili najčešće za 60 000 km koje mogu imati i gazište različito dizajnirano za primjenu u ljetnim i zimskim uvjetima, kao što se vidi na slici 3.

### 3. ANALIZA KOLIČINA I SASTAVA OTPADNOGA GUMENOG PNEUMATIKA

#### 3.1. Količine otpadnog gumenog pneumatika

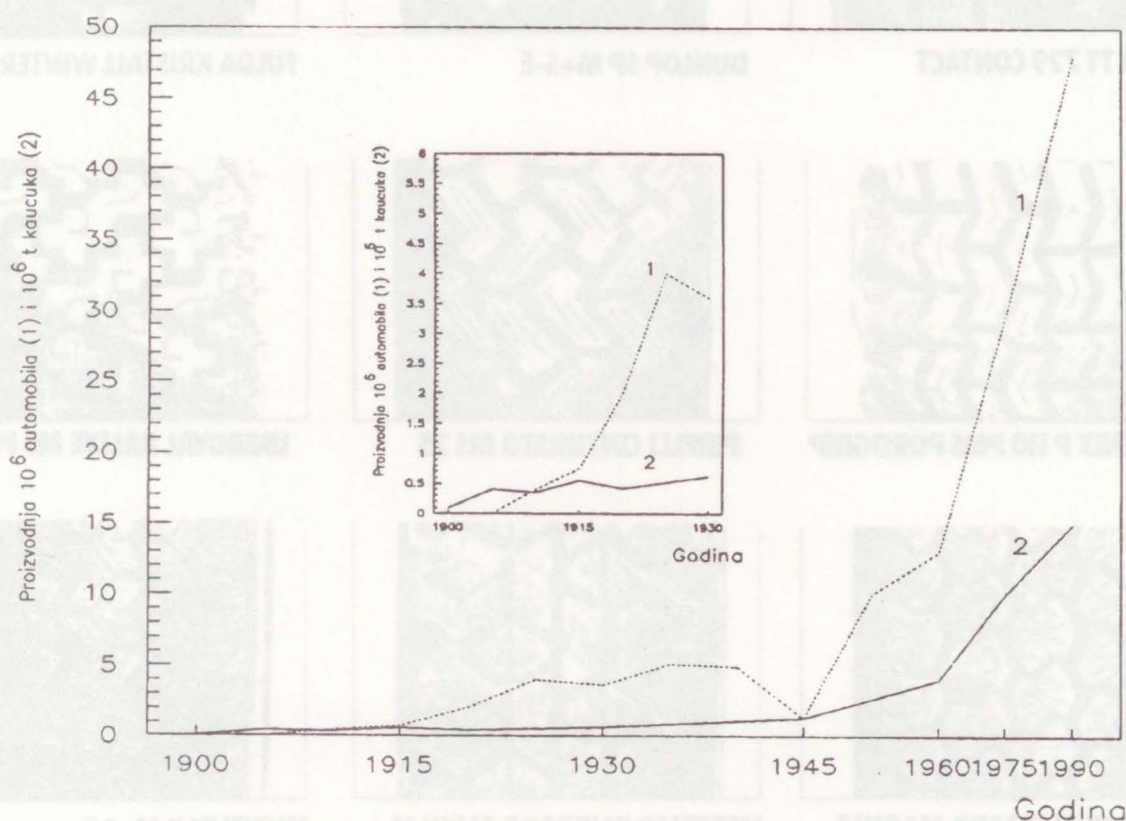
Radi egzaktnog pristupa ekološko-ekonomsko-kemijskom iskorištavanju otpadnog gumenog pneumatika, analiziranesu potencijalne količine koje bi se dale prikupiti, regenerirati ili preraditi u sekundarnu sirovinu. Iskorišteni i odbačeni gumeni pneumatik prirodnim procesima se ne razgrađuje, pa danas predstavlja veliki ekološki problem. U automobilsku gumu su ugrađeni jako skupi materijali čijom bi se regeneracijom i ponovnim korištenjem postigli, osim ekoloških i ekonomski korisni učinci. U svijetu je danas registrirano više od 450 milijuna (6) cestovnih motornih vozila na kojima se nalazo minimalno 1800 milijuna automobilskih guma, od čega je 84% guma za potrebe lakih

automobila. Svjetska proizvodnja novih cestovnih vozila raste po stopi 1,23% i sada je godišnje oko 48,2 milijuna komada, kao što je vidljivo u tablici 1. Analogno tomu raste proizvodnja pneumatika, a time i gumenog otpada, što je pokazano na slici 4.

Tablica 1. Procjena svjetske proizvodnje cestovnih motornih vozila i količina otpadnog pneumatika u 10<sup>6</sup> komada

Područje	1986		1991		1996	
	Vozila	Gume	Vozila	Gume	Vozila	Gume
Zapadna Europa	13,5	50,6	13,9	52,1	13,9	52,1
Istočna Europa	3,2	12,0	3,8	14,2	4,2	15,8
Sjeverna Amerika	13,9	52,1	13,9	52,1	13,5	50,6
Azija - Pacifik	13,6	51,0	14,6	54,8	16,9	63,4
Južna Amerika	1,2	4,5	2,0	7,5	3,5	3,3
Ukupno	45,4	170,2	48,2	180,7	52,0	185,2

Prije pet godina, točnije 1986, u Jugoslaviji je bilo registrirano 4 072 491 motorno vozilo za koja je trebalo osigurati približno 16 651 878 komada guma različitih profila. Ova količina iz 1986. godine prema



Slika 4. Rast svjetske proizvodnje automobila (1) i kaučuka (2)

tehničko-tehnološkim svojstvima trebala bi se u 1991. nalaziti na deponijima kao otpadne gume (tablica 2). Uzimajući u obzir mogućnost prikupljanja otpadnih guma u Jugoslaviji, na deponijima bi se trebalo naći oko 9 631 466 komada guma, što je približno 267 049 t.

Tablica 2. Registrirana motorna i priključna vozila i procjena otpada od pneumatika cestovnih motornih vozila

	1986 /7/	Procjena otpada 1991. godine			
		Komada	Mogućnost prikupljanja (%)	Komada	Količina (t)
Motocikli	102 233	204 446	20	40 889	143
Automobil i	1 957 116	11 828 464	50	5 914 232	52 045
Automob. spec.	15 691	62 764	50	31 382	276
Autobusi	29 009	174 054	80	139 243	8 076
Ter. vozila	203 011	1 218 066	80	974 453	56 518
Ter. vozila sp.	51 160	306 960	80	245 568	14 243
Radna vozila	9 590	38 360	80	30 688	1 779
Traktori	496 609	1 986 436	80	1 589 149	95 349
Priklj. vozila	208 082	832 328	80	665 862	38 620

Struktura proizvodnje u industriji gume u svijetu i u nas je: 55% gumenog pneumatika, 24% gumenotehničke robe, 14% reprodukcijских materijala i 7% u obući. Gumeni otpad rasut je po cijelom teritoriju, a prikupljanje je najbolje organizirano u razvijenim zemljama. Tako se npr. u SAD prikuplja 75% od ukupnoga gumenog otpada, u razvijenoj Njemačkoj oko 60%, dok se u Jugoslaviji u zadnjim godinama prikuplja svega nešto manje od 10%. Nasuprot tomu, gumeni regenerat se uvozi najčešće kao gumeno brašno (2).

Iz tablice 3. je vidljivo da je u godini 1986. proizvedeno 117 144 t odnosno 6 476 244 komada vanjskih guma od čega je u zemlji potrošeno 4 026 761 komada odnosno 133 744 t. Od te potrošnje valja očekivati da se u godini 1991. dobije 96 976 t otpadne gume, što je 36,3% od očekivanih 267 049 t. Dakako, ti proračuni vrijede ako se prikupljaju vanjske gume sa 72% odnosno ukupni pneumatik sa 42%. Međutim, u Jugoslaviji se prikuplja i koristi kao sekundarna sirovina nešto manje od 10% pneumatika. Netragom na protorima Jugoslavije nestaje 10 308 t automobilskih guma.

Samo u Zagrebu godine 1986. registrirana su 215 694 motorna vozila koja su bila opskrbljena s 862 780 komada guma, što je 18 635 t otpadne gume u godini 1991. Samo na temelju te sekundarne sirovine u Zagrebu bi se moglo podignuti nekoliko pogona za

Tablica 3. Proizvodnja pneumatika, potrošnja i procjena otpada iz te proizvodnje u Jugoslaviji u godini 1986.

Naziv proizvoda	Proizvodnja		Potrošnja		Procjena otpada	
	komada	t	komada	t	%	t
<b>1. PNEUMATIK - VANJSKE GUME</b>						
Motocikli	1 134 571	3 971	9 020	3 157	20	631
Automobili	4 140 682	36 438	3 089 432	27 187	50	13 593
Autobusi i kamioni	844 828	49 000	659 379	38 244	80	30 595
Traktori	354 550	21 273	267 450	16 047	80	12 837
Damperi	1 613	242	1 480	222	95	211
Ostalo		6 220		48 887	80	39 109
UKUPNO	6 476 244	117 144	4 026 761	133 744	72	96 976
<b>2. PNEUMATIK - UNUTARNJE GUME - ZRAČNICE - POJASEVI</b>						
Velo		1 007		737	50	368
Zračnica		12 343		10 164	50	5 082
Pojasevi		1 845		1 327	50	663
UKUPNO		15 195		12 228	50	6 113
UKUPNO 1+2		132 339		238 311		103 089
<b>3. OBNOVLJENE GUME</b>						
		7 312		5 390	100	
UKUPNO 1+2+3		139 651		12 228	42	103 089

korištenje otpadnog pneumatika što je zanimljivo za mnoge velike transportne organizacije ili kemijsku industriju.

### 3.2. Sastav otpadnog pneumatika

Radi egzaktnijeg pristupa korištenju otpadnog pneumatika analiziran je sastav najčešće korištenih radijalnih guma za osobna motorna vozila, te dijagonalnih radijalnih guma za teretna cestovna motorna vozila.

#### 3.2.1. Analiza sastava radijalne gume 155 SR 14 bez zračnice

Nova radijalna guma osobnog automobila bez zračnice s čeličnim pojasom mase je 8,8 kg. Sastavljena je od oko 82% gume, 5% korda i 13% čeličnih dijelova. Tijekom eksploatacije na prijeđenih 50 000 km masa pneumatika na gumi smanji se za 8,2%, odnosno otpadna guma teži 8,08 kg. Otpadna guma je po radijusu izrezana na 6 jednakih dijelova, ohlađena tekućim dušikom na oko 190 K, smljevena u prethodno ohlađenom tarioniku, te dobiveni proizvodi temperirani u eksikatoru i vagani. Dobiveni su sljedeći rezultati:

6 350 g gume ili 78,6%

1 080 g čelika ili 13,4%

450 g karkasa ili 5,5%

200 g vlaknanaca i ostalo ili 2,5%

8 080 g otpadne gume 100%

Iz analize je vidljivo da se iz jedne otpadne gume 155 SR 14 može dobiti 6 350 g gume, 1080 g kvalitetnog čelika i 650 g tekstilnog otpada.

#### 3.2.2. Analiza sastava dijagonalne i radijalne kamionske gume

Najčešće korištene kamionske gume su mase 58 kg. Sastavljene su od 81% kaučuka, 13% korda i 6% čelika. U prosjeku se bez teškoća, s dobrom sigurnošću, koristi za 60 000 km. Analizom trošenja habanjem nakon 60 000 km standardne eksploatacije ustanovljen je gubitak mase za 17,2%, te je stara guma težila 48 kg. Analizom takve otpadne dijagonalne gume opisanom metodom dubokog zamrzavanja dušikom ustanovljeno je da sadrži:

30,4 kg ili 63,8% gume,

11,9 kg ili 24,7% korda i

5,7 kg ili 11,5% čelika

Ukupno 48,0 kg 100,0%

Radijalna kamionska guma jednakih izmjera s čeličnim pojasom mase je 57 kg. Sastavljena je od 71,9% gume, 23,7% čelika i 4,4% korda. Analizom trošenja habanjem utvrđeno je da je za prijeđenih 60 000 km gubitak mase 15,1%, te je stara guma težila 48,4 kg. Analizom otpadne radijalne gume opisanom metodom dubokog zamrzavanja dušikom ustanovljeno je da sadrži:

32,4 kg ili 66,9% gume,

13,3 kg ili 27,9% čelika i

2,5 kg ili 5,2% korda

Ukupno 48,3 kg 100,0%

Iz analize sastava jedne kamionske gume je vidljivo da se recikliranjem može dobiti 30,4 - 32,4 kg gume, 2,5 - 11,9 kg korda i 5,7 - 13,3 kg kvalitetna čelika.

## 4. MOGUĆNOSTI KORIŠTENJA OTPADNIH GUMA CESTOVNIH MOTORNIH VOZILA

Cijeli timovi istraživača u svijetu rade na istraživanju reciklaže otpadnih automobilskih guma. Ni do danas nije nađen postupak koji bi reciklažom automobilsku gumu pretvorio u novu s istim svojstvima pneumatika proizvedenog od svježih sirovina. I pored toga, iskorištavanje otpadnog pneumatika ima veliko ekološko-ekonomsko-kemijsko značenje. Danas su u svijetu i u nas rašireni neki postupci prerade i iskorištavanja otpadnih guma kao što su:

- obnavljanje pneumatika,
- izravno iskorištavanje,
- spaljivanje
- postupci fizikalne prerade i procesi regeneracije te
- procesi pirolize.

#### 4.1. Obnavljanje pneumatika

Obnavljanjem starog pneumatika cestovnih motornih vozila štedi se 75% vrijednosti na sirovinama, 80% na energiji i 80% na radu u odnosu na proizvodnju

novog pneumatika. Obnavljanjem pneumatik dobiva približno istu uporabnu vrijednost, što je veliki ekološko-ekonomski doprinos iskorištavanju otpadnih guma cestovnih motornih vozila. U razvijenoj Njemačkoj obnavlja se više od 26% otpadnog pneumatika, a u Jugoslaviji se nešto manje od 10% otpadnih guma cestovnih motornih vozila podvrgava obnavljanju.

#### 4.2. Izravno iskorištavanje otpadnog pneumatika

Iskorištavanje otpadnog pneumatika u svom izvornom obliku je nevažno za industriju. Međutim, u mnogim djelatnostima našle su primjenu, primjerice za izradbu umjetnih podvodnih grebena, odbojnika u lukama, mrijestilišta za ribe, učvršćivanje tla od erozije, uređivanje eksterijera i sl.

#### 4.3. Spaljivanje otpadnog pneumatika

Otpadni pneumatik zbog velikog sadržaja ugljika, vodika, sumpora te klora daje spaljivanjem oko 35 Mj/kg toplinske energije. Izgaranje je potpuno tek iznad 2300 K, te je za njeno izgaranje potrebna posebna konstrukcija ložišta. Ujedno, ovaj je postupak korištenja otpadnih guma ekološki neprihvatljiv zbog veoma velikih količina nastalog sumpora(IV)-oksida i derivata klora koji uzrokuje nastajanje kiselih kiša (8).

#### 4.4. Postupci fizikalne prerade i regeneracije pneumatika

Fizički postupci usitnjivanja guma cestovnih motornih vozila zbog iznimnih mehaničkih svojstava troše velike količine energije. U praksi postoje dva načina usitnjivanja.

Usitnjivanje otpadnog pneumatika mehanički izvodi se u više tehnoloških faza. Uređaji za tu namjenu posebno su konstruirani. Pneumatik se razrezuje radi uklanjanja metalnih pojaseva, rasteže, siječe, predusitnjuje i melje u pločastom mlinu s nazubljenim pločama. Nastalo gumeno brašno transportnom trakom se dovodi do stroja s rotirajućim sitom s izdvajačem korda i vibrirajućim žlijebom za izdvajanje dijelova od čelika. Na rotirajućem situ separira se gumeni granulati u tri frakcije. U prvoj frakciji nalazi se 10% gumenog brašna promjera zrna do 2 mm, u drugoj 60% gdje je promjer zrna 2 do 4 mm i u trećoj frakciji

30%, gdje je gumeno brašno promjera zrna 4 do 10 mm. Regenerat dobiven klasičnim usitnjivanjem nije čist i sadrži čestice korda. Stoga ne može biti uporabljen u proizvodnji novog pneumatika. Međutim, našao je široku primjenu kao aditiv za asfalt u izgradnji kvalitetnih cesta na raskrižjima, izradbu sportskih terena (tartan), izradbu atletskih staza (polysport), školskih terena, igrališta itd.

Novija tehnologija usitnjivanja otpadne gume izvodi se namnogo energetski ekonomičniji način. Suha otpadna guma na giljotini se reže u nekoliko komada, unosi transportnom trakom u komoru gdje se uvodi tekući dušik. Ohlađeni otpadni pneumatik na oko 180 K ulazi u mlin čekičar i separator, gdje se također gumeno brašno separira na tri frakcije. Gumeni granulati proizvedeni ovim kriogenim postupkom potpuno je čist od korda i metalnih dijelova, što mu daje prednost u odnosu na granulati dobiveni klasičnim postupcima usitnjivanja. Gumeni regenerat nastao kriogenim postupkom usitnjivanja može se uporabiti u proizvodnji gumene tehničke robe, a jednim dijelom i supstituirati određeni dio gumene smjese u proizvodnji pneumatika i ostale gumene robe široke potrošnje.

#### 4.5. Postupci pirolize

Piroliza je relativno novija tehnologija za recikliranje otpadnog pneumatika. Zagrijavanjem na komade izrezane otpadne gume u autoklavu bez pristupa zraka nastaje plin, ulje, čađa i kruti ostatak. Plin može biti iskorišten kao gorivo, ulje kao sirovina u proizvodnji novih sintetičkih polimera, čađa u industriji gume kao punilo odnosno pigment, a kruti ostatak u proizvodnji mnogobrojnih intermedijera za potrebe industrije plastičnih i elastomernih materijala.

## 6. ZAKLJUČCI

Provedena ispitivanja i istraživanja ukazuju na to da je rast proizvodnje automobila razmjerni rastu proizvodnje pneumatika. U svijetu je 1986. godine proizvedeno  $1,7 \times 10^8$  komada pneumatika, što predstavlja u 1991. godini potencijalni gumeni otpad. Isto tako, u godini 1986. u Jugoslaviji je registrirano 4 072 491 motorno vozilo, koja su tada imala u uporabi oko 16 651 878 komada guma različitih profila i koja u godini 1991. predstavljaju potencijalni gumeni otpad. Procijenjeno je da bi se od te količine moglo prikupiti 57,8% što iznosi 9 631 466 komada guma (267 049 t) cestovnih motornih vozila. Međutim, od te količine prikupi se svega 10%, a ostatak je razasut i nagrđuje

životni prostor čovjeka. Kad bi se prikupio i regenerirao sav procijenjeni otpadni pneumatik, moglo bi se proizvesti 209 900 t gumenog brašna, 35 784 t čelika i 21 364 t tekstilnog vlakna.

Utvrđeno je da se radijalna guma 155 SR 14 troši na 50 000 km 8,2%, kamionska radijalna na 60 000 km 15,1%, a dijagonalna 17,1%. Od mnogobrojnih načina korištenja otpadnog gumenog pneumatika u ekološko-ekonomskom smislu najveću prednost ima obnavljanje i prerada kriogenim postupkom u gumeno brašno (regenerat).

## SUMMARY

### POSSIBILITIES OF UTILIZATION OF WASTE MOTOR TIRES

The paper deals with the composition and quantities of waste tires of motor vehicles and possibilities of their utilization as possible potential secondary raw materials. The possible quantities available in the world, in the territory of former Yugoslavia, and the city of Zagreb have been reviewed. The possible available quantities of waste tires (pneumatics) in the year 1991 are as follows: in the world this comes to 1.7 x 10<sup>10</sup> pieces of which 84% is till on automobiles, in former Yugoslavia it comes to 9.637.466 pieces or 267.049 tons, and in Zagreb it comes to 862.780 pieces or 18.635 tons while only as little as less than 10% is collected. It has been established that radial tires on automobiles on the roads of Croatia are used up on covered 50.000 kilometers of journey, 8,2% of radial-ply truck tires after 60.000 kilometers 15% and cross-ply 17.1%.

*Out of a number of methods of utilization of waste rubber pneumatics the environmental and economic highest advantage rests in recycling and processing in criogenic procedure into rubber powder (recycler).*

## LITERATURA

- [1] B. DJUKIĆ: Primjena plastomera u svjetskoj automobilskoj industriji. Polimeri, 1987 8 (1-2) 51-52.
- [2] D. ČOP: Iskorištavanje gumenog otpada. Polimeri, 8 (1987) (1-2) 49-50.
- [3] R.B. SEYMOUR: Počeci razvoja duromera - Leo Baekeland (1863- 1944), Polimeri 4 (1983) (7-8) 238-239.
- [4] R.B. SEYMOUR: Aditives for Polymers. Polimeri, 7 (1986) (1-2) 3-9.
- [5] S.A.H. MUHAMMED, J.J. RIDLANE, J. TIMAR: Elastomerics, 113 (1981) (11) 34.
- [6] H. DŽANIĆ, E. DŽANIĆ: Alternativna goriva za pogon cestovnih motornih vozila i njihov doprinos smanjivanju zagađivanja čovjekova okoliša. Tehnika - Opšti deo, 45 (1990) 11-12, 672-677.
- [7] Anon.: Statistički godišnjak/87. 121-32, str. 313.
- [8] H. DŽANIĆ, J. BOŽIČEVIĆ, S. PERŠE: Ispušni plinovi cestovnih vozila kao posredni uzročnici kiselih padavina, Bilten JAZU Zagreb, 2 (2) (1989) 94-103.