

UTICAJ UDELA RECIKLIRANE GUME NA SVOJSTVA GUMENIH SMEŠA*

Mehaničkim recikliranjem gumenog otpada dobija se gumeni granulati različite finoće, koji se može koristiti kao zamena za crna punila. Cilj ovog rad je bio da se ispita uticaj udela reciklirane gume na statička (tvrdoća, habanje, odbojna elastičnost, trajna deformacija istezanjem, trajna deformacija sabijanjem) i dinamička (dinamički modul elastičnosti, prigušenje, histerezis, stepen elastičnosti po Yerzley) svojstva smeše. Istraživanjem je određen uticaj udela reciklirane gume na statička i dinamička svojstva smeše.

Procenjuje se da u Evropskoj Uniji broj otpadnih pneumatika ove godine iznosi oko 250.000.000, dok je u istočnoj Evropi, Severnoj Americi, Južnoj Americi, Aziji i na Srednjem istoku ta količina oko milijardu. Materijal dobijen reciklažom pneumatika se sve češće upotrebljava kao vredna sirovina i njegovom upotrebom doprinosi se postizanju održivog razvoja. Preradom otpadnih pneumatika se dobija drobljena guma ili šred (komadići preko 10 mm), granulati (veličina čestica od 0,5 do 10 mm) i gumeni prah (do 0,5 mm) [1].

Gumeni prah se najčešće koristi kao zamena za crna punila ili čađ. Od udela gumenog praha zavise mehaničke i hemijske karakteristike gume. Pronalaženjem optimalnog odnosa između čađi i gumenog praha, možemo da obezbedimo da gumene smeše zadržavaju tražene karakteristike i da se tako dobijeni proizvodi mogu koristiti u procesu eksploatacije tokom istog perioda kao i nereciklirane gumene smeše.

EKSPERIMENT

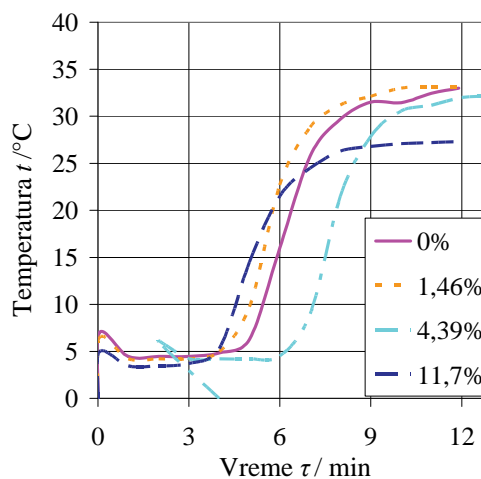
Da bi se odredio optimalan odnos gumenog praha i čađi izrađeno je nekoliko tipova smeša: jedna smeša bez reciklirane gume, u odnosu na koju su poređene ostale smeše sa različitim udelom gumenog praha. Čađ je zamenjena sa 5, 15 i 40 mas% gumenog praha odnosno 1,46, 4,39 i 11,7 mas% (u nastavku teksta maseni procenti su označavani sa %) u odnosu na ukupnu masu gumene smeše. Sastav ispitivanih gumenih smeša je prikazan u tabeli 1.

Parametri vulkanizacije su određeni na osnovu reometarskih kriva, koje su prikazane na slici 1. Na osnovu ovih merenja je izabrano vreme vulkanizacije smeša za ispitivanje u trajanju od 15 min i temperatura vulkanizacije od 140 °C. Za ispitivanje statičkih i dinamičkih svojstava gumenih smeša [2] u ovom radu korišćene su standardne metode koje su navedene u tabeli 2.

Tabela 1. Sastav ispitivanih gumenih smeša
Table 1. Composition of the tested rubber mixtures

Komponente smeša	Udeo gumenog praha, %			
	0	1,46	4,39	11,7
SMR 10	735 ^a	735	735	735
ZnO	30	30	30	30
Stearin	10	10	10	10
4010 Na	12	12	12	12
Faktis S	25	25	25	25
Parafin	12	12	12	12
Harpo 620 HM	16	16	16	16
CB-30	9	9	9	9
S	16	16	16	16
PVI	4,5	4,5	4,5	4,5
Čađ N-330	360	342	306	216
Gumeni prah	0	18	54	144

^aMasa, g



Slika 1. Reometarske krive.
Figure 1. Rheometric curves.

Statička svojstva gume

Pre svakog ispitivanja epruvete su kondicionirane u standardnoj atmosferi C, SRPS G.S0.050. Epruvete su izrađene prosecanjem profilisanim nožem iz ploče, slika 2.

Tvrdoća gume. Ispitivanje tvrdoće gumenih smeša je izvršeno tvrdomerom tipa „Shor A“. Na svakom uzorku tvrdoća je merena na tri mesta, pre i posle starenja.

*Rad saopšten na skupu „Osma konferencija mladih istraživača“, Beograd, 21–23. decembar 2009.

Autor za prepisku: G.M. Radenković, Mašinski Fakultet Univerziteta u Nišu, Aleksandra Medvedeva 14, Niš, Srbija.

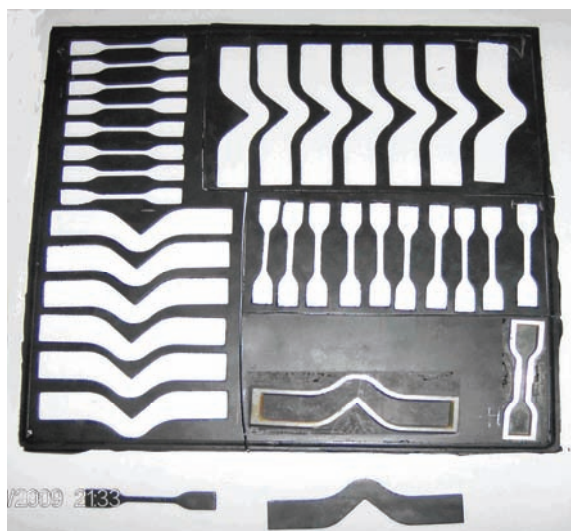
E-pošta: rgoran@masfak.ni.ac.rs

Rad primljen: 21. decembar 2009.

Rad prihvaćen: 29. januar 2010.

Tabela 2. Izvedena ispitivanja gumenih smeša
Table 2. Conducted testing of rubber mixtures

Svojstvo	Standard
Statička svojstva	
Tvrdoća	SPRS G.S.125
Habanje	SPRS G.S.301
Zatezna svojstva	SPRS G.S.127
Trajna deformacija sabijanjem na određenu visinu	SPRS G.S.130
Otpornost prema cepanju	SPRS G.S.735
Odbojna elastičnost	SPRS G.S.131
Dinamička svojstva	
Stepen elastičnosti po Yerzley	ASTM D-945-92
Histerezis po Yerzley	ASTM D-945-92
Efektivni dinamički modul elastičnosti	ASTM D-945-92



Slika 2. Prosecanje epruveta.
Figure 2. Cutting specimen.

Otpornost prema habanju gume. Otpornost prema habanju gumenih smeša je ispitivana po metodi „Shopper“. Korišćene su epruvete cilindričnog oblika prečnika (16 ± 2) mm, najmanje debljine 6 mm; ispitivana su po tri uzorka od svake gumene smeše.

Određivanje trajne deformacije pri izduženju od 100%. Ispitivanje je izvedeno u skladu sa standardom SPRS.G.S.125, korišćene su po tri zvonaste epruvete tipa „2“, tačka 5.1.3 navedenog standarda, slika 3, u trajanju od 24 h, pri sobnoj temperaturi u uređaju koji je prikazan na slici 4.



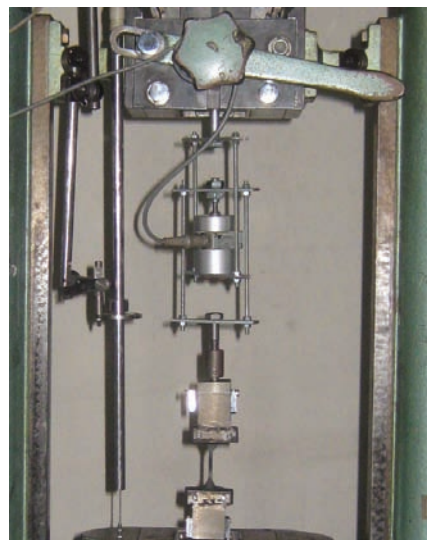
Slika 3. Zvonasta epruveta tipa „2“.
Figure 3. Dumbbell specimen type „2“.



Slika 4. Uređaj za određivanje trajne deformacije pri konstantnom izduženju.

Figure 4. Device for determination of permanent deformation under constant elongation.

Prekidna jačina. Određivanje prekidne jačine izvršeno je na mernom mestu, koje je prikazano na slici 5, tako što su zvonaste epruvete istežane do kidanja. Za eksperiment je korišćena kidalica, merni uređaj „Spider 8“, senzor puta WK 100 mm, senzor sile Q11 i odgovarajući softer za obradu podataka. Brzina razmicanja čeljusti je iznosila 230 mm/min.



Slika 5. Merno mesto.

Figure 5. Measurement point.

Trajna deformacija sabijanjem na određenu visinu. Sabijane su po tri cilindrične epruvete prečnika $(29 \pm 0,5)$ mm i visine $(12 \pm 0,5)$ mm, slika 6, u uređaju koji je prikazan slici 7, za 25% od prvobitne visine, sve u skladu sa standardom SRPS G.S2.130. Epruvete su starene 24 h pri temperaturi od 110 °C. Trideset minuta nakon rasterećenja izmerena je visina epruvete.



Slika 6. Izgled epruveta za određivanje trajne deformacije sabijanjem.

Figure 6. Appearance of specimens for determination of permanent deformation by compression.



Slika 7. Uređaj za ispitivanje sabijanjem.
Figure 7. Compression tester.

Otpornost na cepanje. Ispitivanje je izvedeno u skladu sa standardom SPRS G.S2.735 na tri epruvete tipa „A“, tačka 4.34, koje su prikazane na slici 8. One su istezane do kidanja na prethodno prikazanom mernom mestu, slika 5, pri čemu je brzina pomeranja čeljusti bila konstantna i iznosila 230 mm/min.



Slika 8. Epruveta za ispitivanje otpornosti na cepanje, tip „A“.
Figure 8. Specimen for testing tear resistance, type „A“.

Odbojna elastičnost. Na udarnom klatnu prema „Shob“ ispitivane su po tri epruvete debljine 6 mm i prečnika 40 mm. Izvedene su dve serije ispitivanja, prva serija sa početnim uglom klatna od 90° u odnosu na vertikalnu i druga serija sa početnim uglom od 45°.

Dinamička svojstva gume

Dinamička svojstva su ispitivana na klatnu po „Yerzley“, slika 9. Za eksperiment je korišćena kidalica, merni uređaj „HBM Spider 8“, senzor puta „HBM WK 100 mm“, senzor sile „HBM Q11“ i odgovarajući softer za obradu podataka. Brzina razmicanja čeljusti je iznosila 230 mm/min. Ispitivane su po četiri cilindrične epruvete prečnika (29±0,5) mm i visine (12±0,5) mm, prikazane na slici 10, pri čemu je svaka pre ispitivanja sabijana za 25 % od prvobitne visine. Epruvete su ispitivane posle starenja na temperaturi od 110 °C u trajanju od 24 h.



Slika 9. Yerzley klatno.
Figure 9. Yerzley oscillograph.



Slika 10. Cilindrične epruvete za ispitivanje po „Yerzley“.
Figure 10. Cylindrical specimen for Yerzley testing.

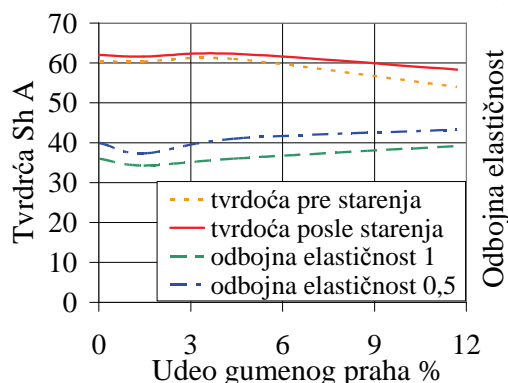
REZULTATI MERENJA

Ispitivanja su izvođena, po pravilu, pre i posle starenja. U tabeli 3 i na slici 11 prikazani su rezultati ispitivanja svojstava gumenih smeša pre starenja kao što su: tvrdoća, otpornost prema habanju i odbojna elastičnost.

Tabela 3. Rezultati ispitivanja statičkih svojstava pre starenja
Table 3. Test results of statical properties before aging

Udeo gumenog praha, %	Tvrdoća ^a Sh A	Habanje ^b mm ²	Odbojna elastičnost ^a	
			1	0,5
0	60,3	109,0	36,0	40,0
1,46	60,3	98,0	34,3	37,0
4,39	61,3	109,0	35,6	41,0
11,7	56,0	123,5	39,0	43,3

^aSrednje vrednosti za tri merenja; ^bsrednje vrednosti dva merenja



Slika 11. Uticaj udela gumenog praha na svojstva gumenih smeša.

Figure 11. Influence of rubber powder share on properties of rubber mixtures.

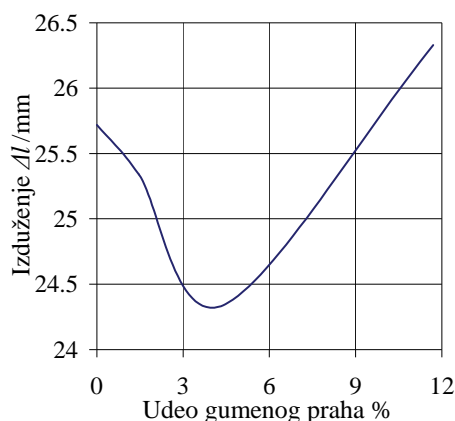
Tvrdoća je merena i posle starenja epruveta pri temperaturi od 110 °C u trajanju od 24 h. Tvrdoća posle starenja gumenih smeša je prikazana na slici 11.

Rezultati određivanja trajne deformacije od 100% prvobitne merne dužine prikazani su u tabeli 4, dok je

na slici 12 prikazana zavisnost ovog izduženja od udela gumenog praha.

Tabela 4. Trajna deformacije pri istezanju od 100%
Table 4. Permanent deformation at elongation of 100%

Udeo gumenog praha, %	Dužina mernog dela posle ispitivanja, mm			
	Izmerene vrednosti		Srednja vrednost	
0	25,75	25,72	25,70	25,7
1,46	25,34	25,35	25,34	25,34
4,39	25,39	25,34	25,53	25,53
11,7	26,25	26,22	26,2	26,2

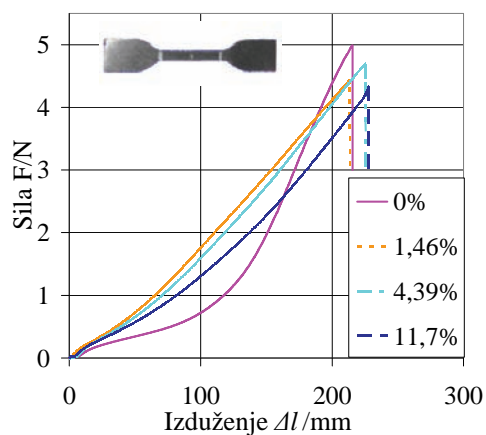


Slika 12. Zavisnost trajne deformacije pri 100% izduženja od udela gumenog praha.

Figure 12. Dependence of permanent deformation at 100% elongation of rubber powder share.

Primeru radi, najmanje rasipanje rezultata je bilo za gumenu smešu sa 1,46% gumenog praha (25,34; 25,35 i 25,34) a najveće za smešu sa 4,39% gumenog praha (25,34; 25,35 i 25,34).

Prekidna jačina smeše u zavisnosti od udela praha prikazana je u slici 13, dok su vrednosti sile kidanja navedene u tabeli 5.

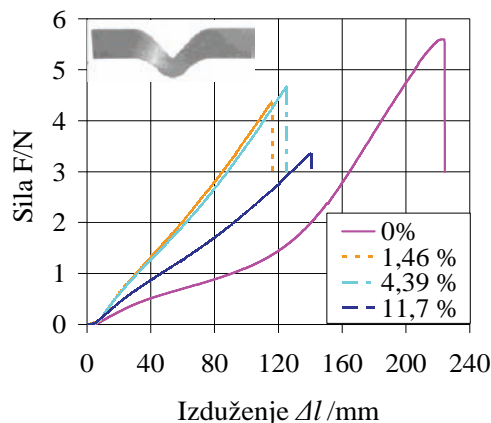


Slika 13. Zavisnost prekidne jačine smeše od udela praha.
Figure 13. Dependence of mixture tension force on rubber powder share.

Tabela 5. Vrednost sile kidanja epruveta
Table 5. Value of tension force of specimens

Udeo gumenog praha, %	Sila kidanja, N
0	4,995
1,46	4,417
4,39	4,695
11,7	4,338

Rezultati ispitivanja ugaonog cepanja epruveta prikazani su u slici 14 i u tabeli 6.



Slika 14. Zavisnost ugaonog cepanja od udela gumenog praha.
Figure 14. Dependence of angular tear force on rubber powder share.

Tabela 6. Vrednost sile cepanja epruveta
Table 6. Value of specimen tearing force

Udeo gumenog praha, %	Sila cepanja, N/cm
0	27,9
1,46	21,5
4,39	23,0
11,7	16,5

Rezultati trajne deformacije sabijanjem za 25% od prvobitne visine epruvete dati su u tabeli 7.

Tabela 7. Trajna deformacija nakon sabijanja
Table 7. Permanent deformation after compression

Udeo gumenog praha, %	Visina epruvete ^a , mm		Trajna deformacija C %
	Pre opterećenja	Posle opterećenja	
0	11,50 ^a	9,69 ^a	16,055
1,46	11,55	9,80	17,695
4,39	11,53	9,73	16,12
11,7	11,54	9,69	16,05

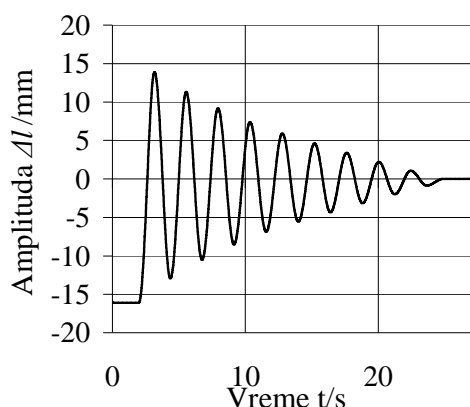
^aSrednja vrednost četiri merenja

Ispitivanje po „Yerzley“. Vrednosti dinamičkih svojstava određenih pomoću klatna po „Yerzley“ su prikazane u tabeli 8.

Tabela 8. Dinamička svojstva gumenih smeša
Table 8. Dynamic properties of rubber mixtures

Udeo gumenog praha, %	E_y / %	H_y / %	K_c / N mm ⁻²
0	74,55	25,45	3,75
1,46	72,66	27,34	3,04
4,39	73,90	26,10	3,33
11,7	77,87	22,13	2,60

Pre određivanja dinamičkih svojstava gumenih smeša utvrđena je učestalost klatna bez tegova od 0,4031 Hz osnovu sopstvenih oscilacija klatna, slika 15.



Slika 15. Samostalne oscilacije klatna.
Figure 15. Independent oscillograph oscillations.

Efektivni dinamički modul elastičnosti je izračunat po obrascu (1) prema ASTM D-945-92:

$$K_c = 0,0996I f^2 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (1)$$

gde je I moment inercije klatna sa tegovima i epruvetom, a f učestalost oscilovanja klatna sa epruvetom.

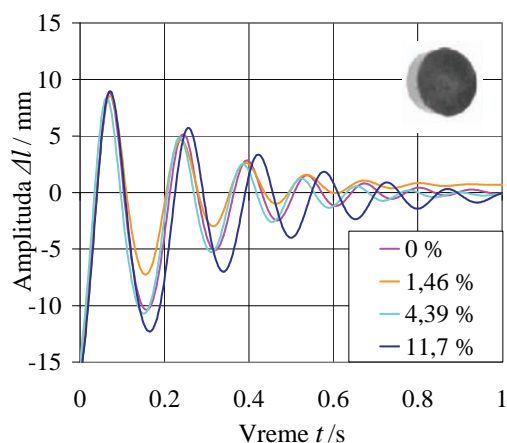
Moment inercije klatna izračunava se po obrascu (2):

$$I = 0,2813 + (n_F + n_H)0,00788 + 0,03153n_G \quad (2)$$

gde je 0,2813 – moment inercije klatna bez tegova (kg mm²), n_F broj jediničnih masa na poziciji klatna F, n_H broj jediničnih masa na poziciji klatna H, n_G broj jediničnih masa na poziciji klatna G, 0,00788 – moment inercije jedinične mase na poziciji F i H (kg mm²) i 0,03153 – moment inercije jedinične mase na poziciji G (kg mm²).

Da bi ostvarili početnu deformaciju epruvete od 20% stavljeno je 12,6 jediničnih masa na poziciji G.

Za razliku od sopstvenih oscilacija klatna bez tegova i epruvete, usled prigušenja pri oscilovanju klatna sa epruvetom (i tegovima) manji je broj oscilacija klatna i učestanost. Oscilacije klatna sa epruvetom izrađenom od gumenih smeša sa različitim udelom gumenog praha su prikazane na slici 16.



Slika 16. Oscilacije klatna sa epruvetama različitog udela praha.

Figure 16. Oscillograph oscillations with specimens of various powder shares.

ANALIZA I DISKUSIJA

Na osnovu rezultata ispitivanja može se konstatovati da tvrdoća i habanje blago rastu sa povećanjem udela gumenog praha do 4,39%, a onda sa daljim porastom udela do 11,7% dolazi do značajnijeg pada ovih svojstava.

S druge strane, odbojna elastičnost blago pada u oblasti do 4,39% udela gumenog praha da bi sa daljim porastom udela do 11,7% pokazivala primetan porast.

Trajno izduženje i sabijanje, slično tvrdoći, rastu do 4,39% udela gumenog praha da bi ponovo sa porastom udela do 11,7% došlo do značajnijeg pada ovog svojstva. Prekidna jačina neznatno opada do 1,46% udela, nakon čega raste do 4,39% udela, a zatim sa porastom udela do 11,7% ponovo dolazi do pada prekidne jačine.

Otpornost prema cepanju blago opada do udela od 1,46% a zatim do 4,39% raste. Sa daljim povećanjem udela gumenog praha do 11,7% dolazi do osetnijeg pada otpornosti prema cepanju.

Kod dinamičkih svojstava uočavamo da stepen elastičnosti po „Yerzley“ kao i efektivni dinamički modul elastičnosti blago padaju do udela od 1,46%, zatim rastu do udela od 4,39% da bi na kraju sa povećanjem udela došlo do njihovog većeg rasta. Takođe se uočava da najbolje prigušenje oscilacija ostvaruju gumene smeše sa oko 4,39% gumenog praha.

Analiza dobijenih rezultata pokazala je da se neka od svojstva blago menjaju što može biti posledica nehomogenosti gumenih smeša [3], grešaka pri merenju i malog uticaja gumenog praha na predhodno navedena svojstva.

Dinamička svojstva se značajno menjaju sa porastom udela gumenog praha. Ovo se može objasniti različitim karakteristikama čestica gumenog praha u odnosu na karakteristike čađi, koje se zamenjuju gumenim pra-

hom, razlikom u veličini čestica gumenog praha i čađi kao i eventualno nekim drugim uticajima koji nisu sagledani u ovom radu. Raspodela čestica gumenog praha i eventualno grupisanje ovih čestica unutar gumene smeše može da utiče na ona svojstva koja su povezana sa koncentracijom napona usled oblika epruvete, kao što je otpornost prema cepanju, [3,4].

Kod gumenih smeša kod kojih je deo čađi zamenjen gumenim prahom smanjuje se tvrdoća, manje je prigušenje oscilacija, javlja se veći broj oscilacija a kao posledica toga je smanjenje efektivnog dinamičkog modula elastičnosti.

ZAKLJUČAK

Na osnovu izvedenih ispitivanja može se zaključiti sledeće:

– Tvrdoća, odbojna elastičnost, otpornost prema habanju, prekidna jačina, trajno izduženje i sabijanje se malo menjaju sa povećanjem udela gumenog praha.

– Prigušenje i histerezis po „Yerzley“ se umereno menjaju a ugaono cepanje i efektivni dinamički modul

elastičnosti se značajno menjaju sa povećanjem udela gumenog praha.

– Za one oblasti primene gumenih smeša gde su bitne karakteristike: tvrdoća, otpornost na habanje, prekidna jačina, trajno izduženje i sabijanje, poželjan je dodatak gumenog praha jer bitno ne utiče na ova svojstva tj. ne menja radne karakteristike gumene smeše, a smanje cenu i delimično rešava problem otpadne gume.

U slučaju kada su za primenu gumenih smeša bitne dinamičke karakteristike nije poželjno dodavati gumeni prah bez ozbiljne analize radnih uslova, jer se znatno menjaju ova svojstva.

LITERATURA

- [1] J. Hodolić, M. Stević, Đ. Vukelić, A. Zajac, Reciklaža i prerada otpadnih pneumatika, 3. Konferencija o kvalitetu – Festival kvaliteta 2008, Univerzitet u Kragujevcu, Mašinski fakultet, Centar za kvalitet, Kragujevac, 2008, CD-ROM.
- [2] Y. Ikeda, J. Appl. Polym. Sci. **87** (2003) 61–67.
- [3] Y. Ikeda, J. Polym. Sci. B **40** (2002) 358–364.
- [4] E. Bilgili, J. Elastom. Plast. **34** (2002) 239–264.
- [5] E. Bilgili, Polym. Polym. Compos. **12** (2004) 221–224.

SUMMARY

THE INFLUENCE OF THE SHARE OF RECYCLED TIRE ON THE RUBBER MIXTURE PROPERTIES

Petar S. Đekić, Goran M. Radenković

Faculty of Mechanical Engineering, University of Niš, Niš, Serbia

(Scientific paper)

Rubber granules of different sizes were obtained by mechanical recycling of waste rubber, which can be used as a substitute for black fillers. The aim of this paper is to estimate the influence of the share of recycled rubber in the static (hardness, wear, repulsive elasticity, permanent deformation by stretching, compression permanent deformation) and dynamic (dynamic modulus of elasticity, damping, hysteresis and Yerzley's elasticity) properties of mixtures. The study determined the proportion of recycled rubber which does not significantly change the properties of mixtures.

Ključne reči: Smeše • Gumena prašina • Statička svojstva • Dinamička svojstva • Yerzley uređaj
Key words: Mixtures • Rubber dust • Static properties • Dynamic properties • Yerzley device