

Wpływ modyfikacji powierzchni węgla popirolitycznego na właściwości mechaniczne i trybologiczne gumy

Rafał Anyszka¹⁾
Jan Mężyński²⁾
Dariusz M. Bieliński^{1,2)}
Jacek Grams³⁾

W pracy przedstawiono efekty modyfikacji plazmą niskotemperaturową lub fluorem stałych produktów pirolizy opon. Uzyskany materiał został wykorzystany do napełnienia mieszanek elastomerowych opartych na kauczuku butadieno-styrenowym (SBR). Wykonano analizę węgla popirolitycznego poddanego działaniu plazmy niskotemperaturowej oraz fluorowaniu z fazy gazowej. Zbadano morfologię, gęstość usieciowania, a także właściwości mechaniczne i trybologiczne wulkanizatów w różnym stopniu napełnionych modyfikowanym i niemodyfikowanym węglem popirolitycznym.

Słowa kluczowe: węgiel popirolityczny, modyfikacja powierzchni, napelniacz, właściwości gumy

Influence of the surface modification of pyrolytic carbon black on mechanical and tribological properties of rubber

In the work effects of low temperature plasma treatment or gas fluorination applied to pyrolytic carbon black have been presented on the example of styrene butadiene rubber (SBR) vulcanizates. Analysis of the carbon black before and after the modifications have been performed and the results discussed. Morphology, crosslink density, as well as mechanical and tribological properties of vulcanizates containing various amounts of the modified fillers have been studied.

Key words: pyrolytic carbon black, surface modification, filler, rubber properties

1. Wprowadzenie

Zagospodarowanie zużytych opon samochodowych stanowi ważny problem natury ekologicznej, między innymi dlatego, że składowanie ich w dużych skupiskach grozi samozapłonem. Tego typu pożary są wyjątkowo trudne do ugaszenia, a szkodliwe produkty spalania (bezwodniki kwasów siarkowych, węglowodory aromatyczne, gazy cieplarniane, np. CO₂) zanieczyszczają atmosferę i glebę. Uwzględniając przy tym fakt, że światowa produkcja wyrobów gumowych jest szacowana na około 35 mln ton rocznie [1 – 3], z czego

opony stanowią 60 – 70%, natomiast udział zużytych opon w całkowitej ilości odpadów gumowych wynosi około 80% [2, 4], można zdać sobie sprawę ze skali problemu, jakim jest składowanie tego typu materiałów.

Do dnia dzisiejszego opracowano wiele technologii pozwalających powtórnie wykorzystać gumowe odpady, głównie zużyte opony. Jedną z możliwości jest spalanie ich w piecach cementowniczych (wartość energetyczna jednej tony opon jest zbliżona do wartości energetycznej tony dobrego jakościowo węgla [5]), czyli odzysk energii.

Kolejną metodą jest rozdrabnianie opon za pomocą różnych technik w celu uzyskania drobnoziarnistego granulatu bądź ściery. Powstały w ten sposób materiał można stosować do napełniania mieszanek elastomerowych, jako dodatek do asfaltu lub do wytwarzania mat i chodników z dodatkiem lepiszcza. Niestety, sporządzone z takich mieszanek wulkanizaty charakteryzują się gorszymi właściwościami, szczególnie gdy chodzi o wytrzymałość na wielokrotne obciążenia mechaniczne

¹⁾ Instytut Technologii Polimerów i Barwników Politechniki Łódzkiej

²⁾ Instytut Inżynierii Materiałów Polimerowych i Barwników, OZ Elastomerów i Technologii Gumi w Piastowie

³⁾ Instytut Chemii Ogólnej i Ekologicznej Politechniki Łódzkiej

ne o charakterze dynamicznym. Cena granulatu jest dużo wyższa niż cena kruszywa stosowanego przy produkcji asfaltu. Poza tym guma ulega starzeniu pod wpływem czynników atmosferycznych i promieniowania słonecznego [kautczuk naturalny (NR), butadienowy (BR) i butadienowo-styrenowy (SBR), które są najczęściej stosowane do produkcji opon, nie wyróżniają się wysoką odpornością na starzenie], jak również pęcznienie podczas kontaktu z cieczami organicznymi, których obecność na drodze może być spowodowana nieszczelnościami w silnikach samochodowych, bądź wszelkiego rodzaju wyciekami powstałymi jako następstwa wypadków drogowych. Z tego powodu nawierzchnia asfaltowa wykonana z dodatkiem takiego recyklatu będzie zmieniała swoje właściwości w czasie, co nie jest zjawiskiem pożądanym.

Wszystkie wyżej wymienione metody powtórnego wykorzystania odpadów gumowych mają jeszcze jedną wspólną wadę, mianowicie wymagają wstępnego rozdrobnienia materiału. Ze względu na duże ilości wydzielającego się w trakcie tego procesu ciepła oraz silną polaryzację powierzchni gumy mechaniczne rozdrabnianie jest trudne oraz wymaga dużych nakładów energetycznych. Ponadto materiał ulega termicznemu starzeniu i utlenianiu. Częściowym rozwiązaniem tego problemu może okazać się technologia granulacji bieżnika zużytych opon za pomocą strumienia wody o dużym ciśnieniu [6]. Powstające w wyniku tego procesu ciepło jest szybko odprowadzane przez wodę, co zapobiega negatywnym efektom działania wysokiej temperatury w atmosferze powietrza.

Dobrym sposobem zagospodarowania zużytych opon może być ich piroliza w specjalnych piecach niewymagających wstępnego rozdrabniania materiału. Instalacja tego typu, według patentu [7], pozwala na niskociśnieniową pirolizę całych opon samochodowych o maksymalnym rozmiarze R18. W wyniku niskotemperaturowego krakingu otrzymuje się trzy podstawowe frakcje produktów:

- frakcję stałą składającą się z węgla popirolitycznego zawierającego złom (drutówkę i kord), substancje mineralne i ciężkie oleje;
- frakcję ciekłą, w skład której wchodzi olej popirolityczny;
- frakcję gazową zawierającą lotne węglowodory.

Każdy z tych produktów może zostać ponownie wykorzystany, np. jako paliwo (gaz, oleje) lub do napełniania mieszanek kauczukowych (oleje, węgiel) [8].

2. Charakterystyka węgla popirolitycznego

Uzyskany w wyniku pirolizy opon samochodowych węgiel, po wstępnym oczyszczeniu ze złomu, został poddany analizie, której wyniki zestawiono w tabeli 1.

Stwierdzono znaczny udział frakcji mineralnej, której obecność jest spowodowana stosowaniem tlenku cynku jako aktywatora oraz krzemionki jako napełniacza opon. Obecność znacznej ilości frakcji organicznej w ogólnej masie węgla popirolitycznego była powodem, dla którego przeprowadzono ekstrakcję próbek za pomocą acetonu i toluenu. Istniało bowiem prawdopodobieństwo, że cząsteczki węglowodorów obecne na powierzchni węgla popirolitycznego mogą wpływać na wyniki analizy. Po przeprowadzeniu ekstrakcji oznaczono ponownie powierzchnię właściwą badanego węgla. Wyniki przedstawiono również w tabeli 1.

3. Modyfikacja węgla popirolitycznego

Węgiel popirolityczny poddano trzem różnym modyfikacjom:

Tabela 1. Charakterystyka węgla popirolitycznego przed i po modyfikacjach
Table 1. Characteristic of pyrolytic carbon black before and after modifications

Rodzaj oznaczenia	Węgiel				Jednostki	Metoda badania
	niemodyfikowany	fluorowany	modyfikowany plazmą 40 W	modyfikowany plazmą 100 W		
liczba DBF	31,9	25,7	27,8	27,9	cm ³ /100g	BN-79/6048-02.09
liczba jodowa	7,5	13	12,4	12,5	g/kg	ASTM D1510-2003
powierzchnia właściwa	8,7	9,5	9,8	10,8	m ² /g	„One point” – ISO 5794-1
ekstrakt acetonowy	19,4	22,1	21,9	22,3	%	BN-79/6048-02.03
ekstrakt toluenowy	20,6	25,6	25,8	25,6	%	
pow. wł. po ekstr. acetonem	34,5	40,9	41,7	41,1	m ² /g	„One point” – ISO 5794-1
pow. wł. po ekstr. toluenem	49,6	49,2	55,1	48,5	m ² /g	
zaw. subst. węglowych	61,2	60,1	59,8	60,2	%	QPB.30/BLC wyd. 6 z dnia 30.07.2008
zaw. subst. mineralnych	10,2	9,9	9,7	10	%	
zaw. subst. organicznych	28,5	30	30,5	29,8	%	

- fluorowaniu z fazy gazowej,
- modyfikacji powierzchni za pomocą plazmy niskotemperaturowej poprzez wyładowanie jarzeniowe w złożu fluidalnym, przy dwóch różnych mocach wyładowania: 100 W i 40 W (do reakcji zastosowano metan, który przepływał przez komorę z prędkością 6 cm³/min).

Tak zmodyfikowany napełniacz poddano analogicznym oznaczeniom, jakie wcześniej wykonano w odniesieniu do próbek przed modyfikacją; otrzymane wyniki zestawiono w tabeli 1.

Zastosowane modyfikacje wpłynęły na zwiększenie powierzchni właściwej, a szczególnie liczby jodowej, natomiast wartość liczby DBF uległa zmniejszeniu. Zawartość substancji węglowych, organicznych i mineralnych nie uległa zmianie w wyniku dokonanych modyfikacji, natomiast wielkość ekstraktu toluenowego i acetonowego wzrosła. Prawdopodobnie jest to efekt desorpcji substancji organicznych zaadsorbowanych na powierzchni sadzy wchodzącej w skład węgla popirolitycznego.

Dodatkowo została przeprowadzona analiza powierzchni węgla za pomocą spektrometru mas jonów wtórnych z analizatorem czasu przelotu (ToF-SIMS). Zasada pomiaru polega na detekcji czasu przelotu jonów wtórnych powstałych w wyniku bombardowania powierzchni próbki impulsowym strumieniem ciężkich jonów. Dzięki oznaczeniu składu chemicznego zjonizowanych cząstek możliwe było ustalenie, czy zastosowana modyfikacja miała charakter chemiczny, a także quasi – ilościowa analiza badanej próbki (jeżeli różnica w ilościach zliczeń poszczególnych jonów po-

między badanymi substancjami jest znaczna). Wyniki uzyskane metodą ToF-SIMS zestawiono na rysunkach 1 – 6 (na osi rzędnych przedstawiono znormalizowane ilości zliczeń charakterystycznych jonów). Jako standard wewnętrzny przyjmowano liczbę zliczeń jonów, która nie ulegała większym zmianom w ramach badanej serii materiałów.

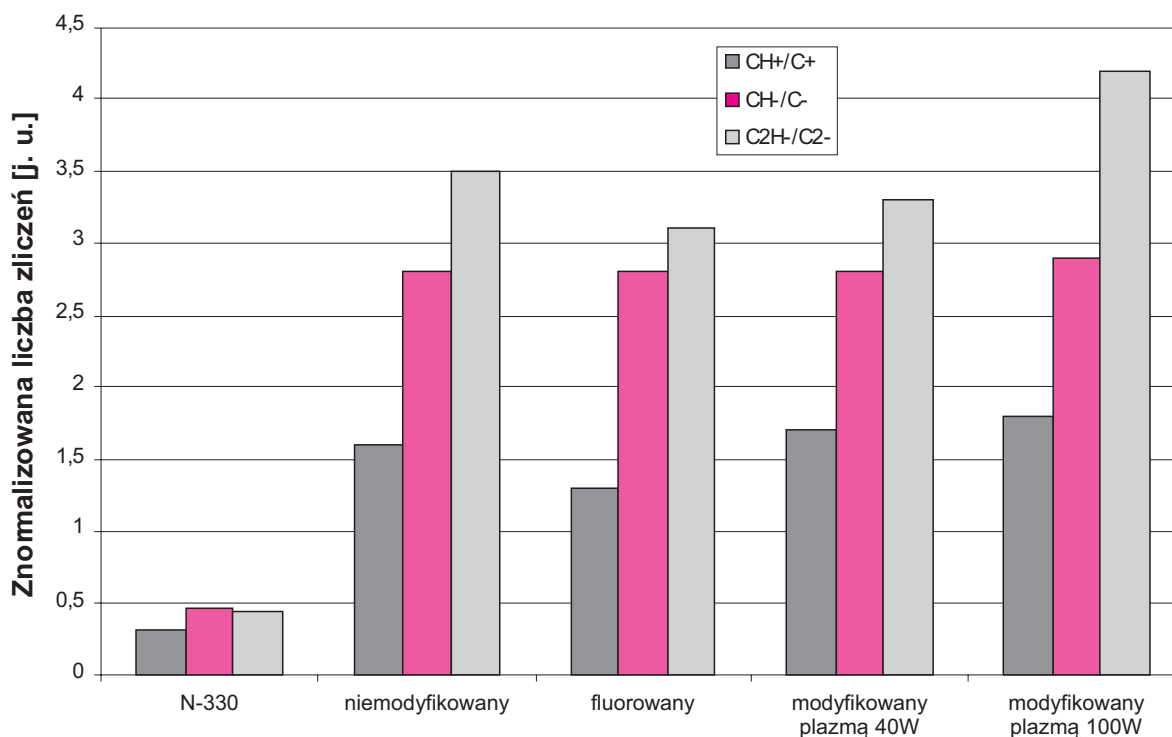
Podczas analizy napełniacza poddanego fluorowaniu wykryto sygnały od jonów CF⁻, co świadczy o chemicznej modyfikacji powierzchni węgla. W węglu popirolitycznym wykryta została również obecność jonów Zn⁺, najprawdopodobniej pochodzących od ZnO – aktywatora wulkanizacji siarkowej.

4. Skład mieszanek

Za pomocą walcarki laboratoryjnej sporządzono dziesięć mieszanek kauczukowych, z których zwulkanizowano próbki do badań właściwości mechanicznych, trybologicznych oraz analizy morfologii i gęstości usieciowania. Skład mieszanek przedstawiono w tabeli 2.

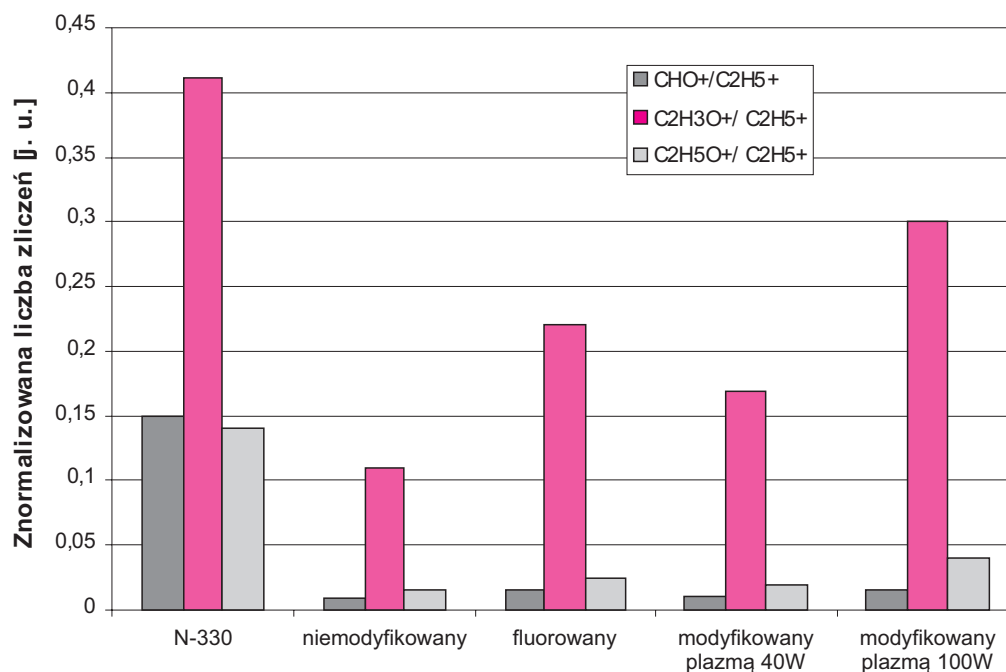
5. Właściwości mechaniczne wulkanizatów

Oznaczono wytrzymałość na rozciąganie (PN-ISO 37:1998), wydłużenie przy zerwaniu (PN-ISO 37:1998), wytrzymałość na rozdzieranie – próbki kąto-



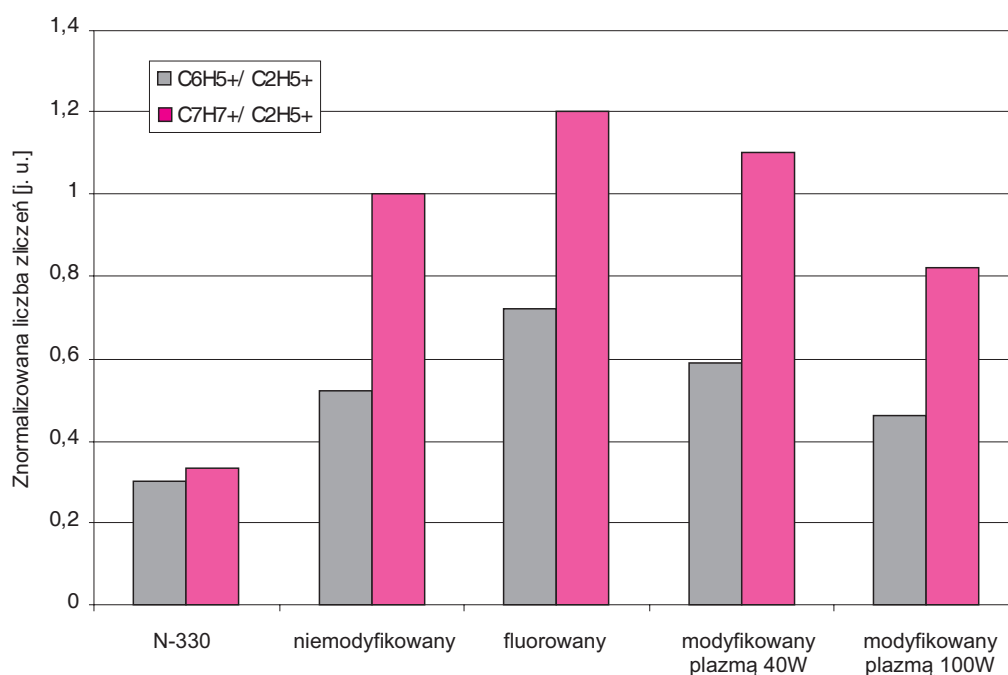
Rys. 1. Sygnały pochodzące od jonów świadczące o obecności alifatycznych łańcuchów węglowodorowych na powierzchni sadzy i węgla popirolitycznego

Fig. 1. Signals indicating the presence of aliphatic hydrocarbon chains on the surface of carbon black



Rys. 2. Sygnały pochodzące od kationów świadczących o obecności tlenu na powierzchni sadzy i węgla popirolitycznego

Fig 2. Signals indicating the presence of oxygen on the surface of carbon black



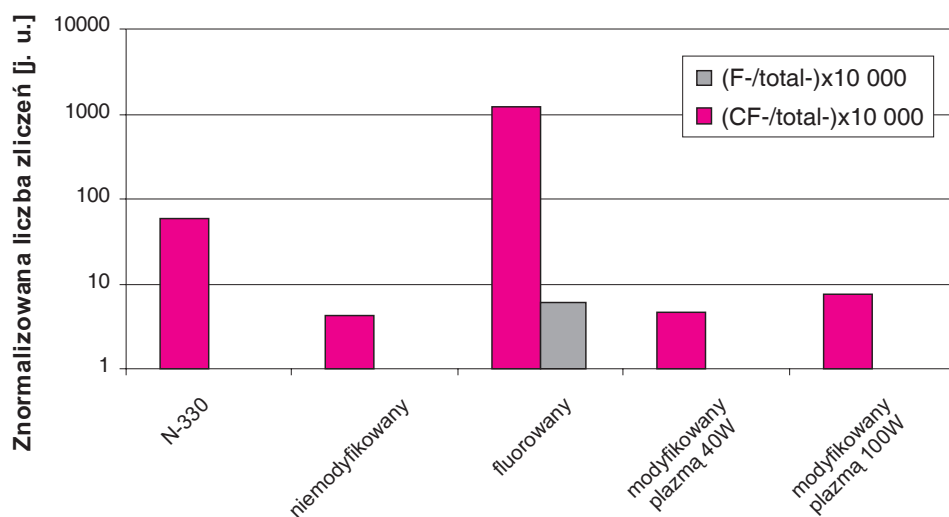
Rys. 3. Sygnały pochodzące od kationów świadczących o obecności grup aromatycznych na powierzchni sadzy i węgla popirolitycznego

Fig. 3. Signals indicating the presence of aromatic groups on the surface of carbon black

we (PN-ISO 34-1:98) oraz twardość w skali Shore'a A (PN-80/C-04238) zwulkanizowanych próbek. Uzyskane wartości przedstawiono na rysunkach 6 – 9.

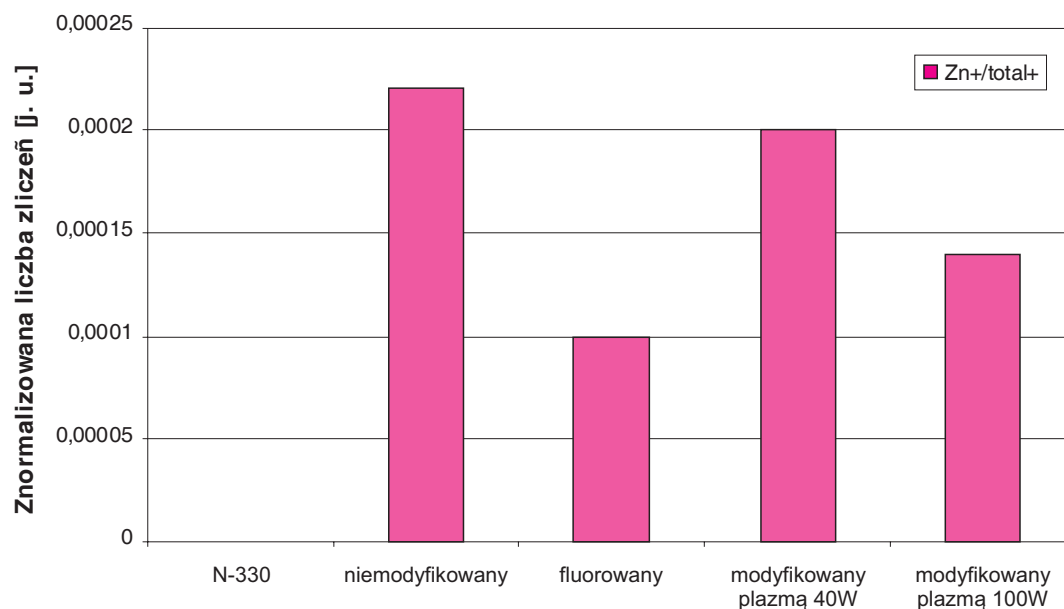
W następstwie zamiany 10 cz. wag. sadzy N-330 / 100 cz. wag. SBR na niemodyfikowany węgiel popirolityczny – REG-1D, odnotowano znaczny, sięgający 25%, spadek wytrzymałości na rozciąganie gumy,

który został niemal całkowicie skompensowany po zastosowaniu takich samych ilości zmodyfikowanego węgla, niezależnie od sposobu obróbki. W przypadku próbek, w których połowę sadzy N-330 zastąpiono węglem popirolitycznym, korzystniejsza z punktu widzenia właściwości wzmacniających wydaje się obróbka węgla przez fluorowanie związkami w fazie gazo-



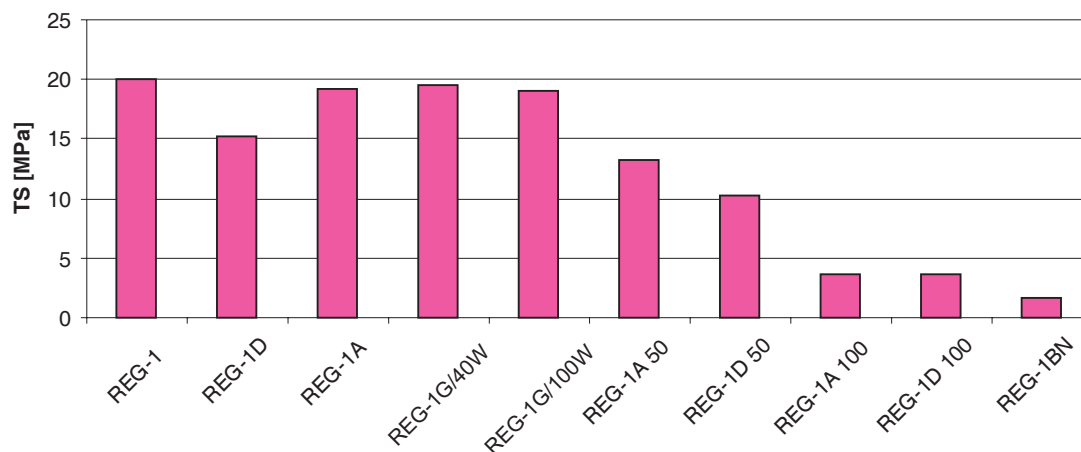
Rys. 4. Sygnały pochodzące od jonów świadczących o obecności fluoru na powierzchni sadzy i węgla popirolitycznego

Fig. 4. Signals indicating the presence of fluorine on the surface of carbon black



Rys. 5. Sygnały pochodzące od jonów Zn⁺ na powierzchni sadzy i węgla popirolitycznego

Fig. 5. Signals indicating the presence of Zn⁺ on the surface of carbon black



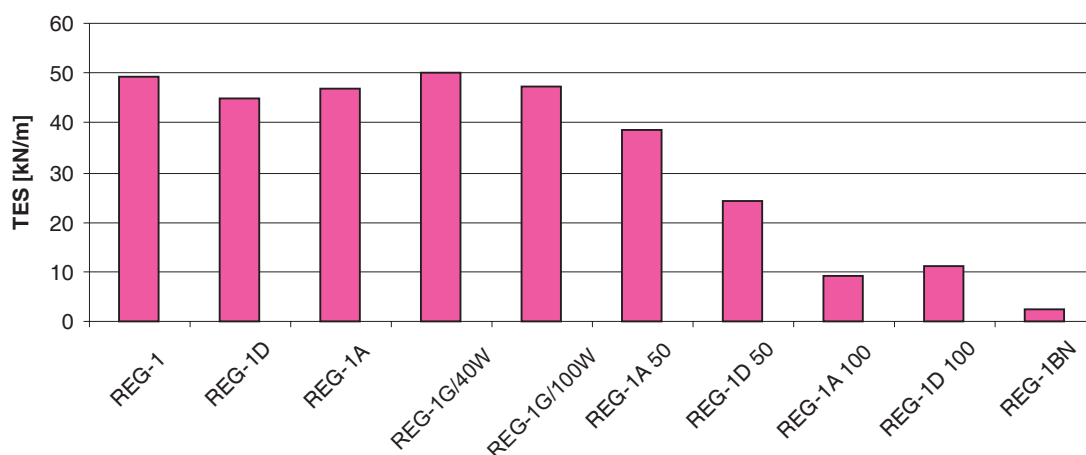
Rys. 6. Wytrzymałość na rozciąganie badanych wulkanizatów

Fig. 6. Tensile strength of tested rubber vulcanizates

Tabela 2. Skład mieszanek do badań właściwości wulkanizatów zawierających modyfikowany i niemodyfikowany węgiel popirolityczny, cz. wag.

Table 2. Composition of rubber mixes containing modified and unmodified pyrolytic carbon black, phr

Skład mieszanki wzorcowej	REG-1	REG-1D	REG-1A	REG-1G/40W	REG-1G/100W	REG-1A 50	REG-1D 50	REG-1A 100	REG-1D 100	REG-1BN
KER 1500 (SBR)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Stearyna	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Biel cynkowa	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
N-330	60	50	50	50	50	30	30	-	-	-
Węgiel popirolityczny niemodyfikowany	-	10	-	-	-	-	30	-	60	-
Węgiel popirolityczny fluorowany	-	-	10	-	-	30	-	60	-	-
Węgiel popirolityczny modyfikowany plazmą, 40W	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-
Węgiel popirolityczny modyfikowany plazmą, 100W	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-
PG-12	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
IPPD	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
TMQ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
CBS	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
TMTD	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Siarka	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8



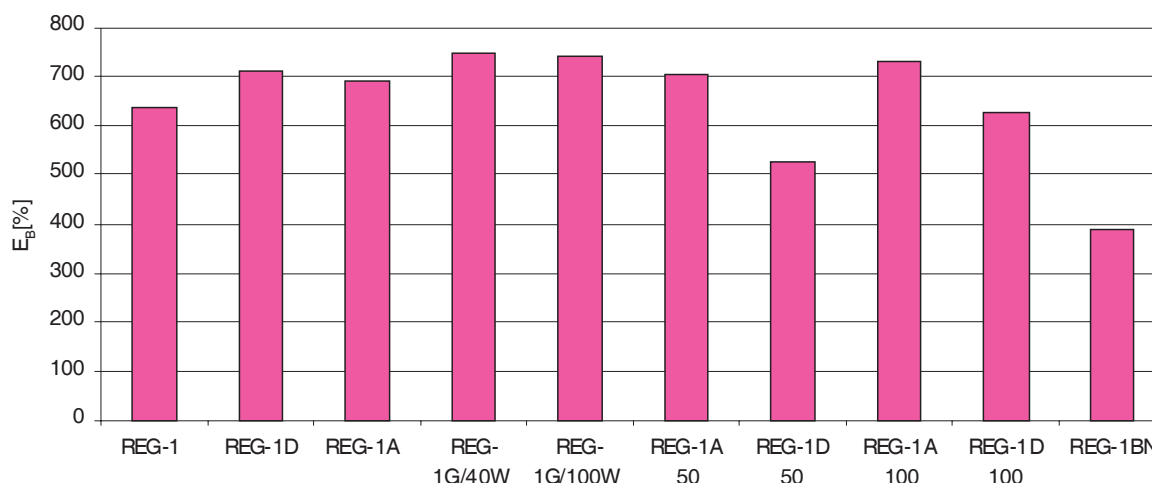
Rys. 7. Wytrzymałość badanych wulkanizatów na rozdzieranie
Fig. 7. Tear strength of tested rubber vulcanizates

wej. Natomiast próbki zawierające jedynie węgiel popirolityczny są nieznacznie bardziej odporne na naprężenia rozciągające niż wulkanizat nienapełniony.

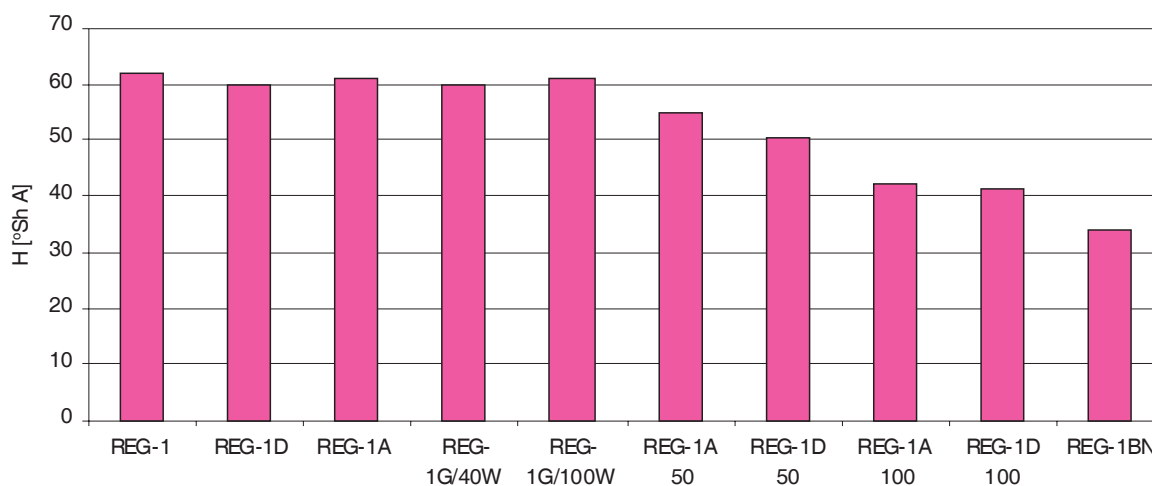
Wartości wytrzymałości na rozdzieranie kształtują się bardzo podobnie jak w przypadku wytrzymałości na rozciąganie z tym, że zmiany tego parametru są tutaj mniejsze, a próbka całkowicie napełniona węglem fluorowanym posiada gorszą odporność na naprężenie punktowe niż wulkanizaty zawierający węgiel niepodany jakiegokolwiek modyfikacji.

Ogólnie wartość wydłużenia przy zerwaniu rośnie po zastosowaniu dodatku węgla z pirolizy opon, wyjątek stanowi próbka REG-1D 50, w przypadku której odnotowano spadek tego parametru o około 100%.

Twardość wulkanizatów zmienia się nieznacznie po zastąpieniu 10 cz. wag. sadzy N-330 / 100 cz. wag. SBR węglem popirolitycznym, maleje natomiast w miarę zwiększania jego zawartości do 50% i 100% ilości sadzy, zbliżając się do wartości oznaczonej dla próbki nienapełnionej. Każdorazowo jednak twardość



Rys. 8. Wydłużenie przy zerwaniu badanych wulkanizatów
Fig. 8. Elongation at break of tested rubber vulcanizates



Rys. 9. Twardość badanych wulkanizatów
Fig. 9. Hardness of tested rubber vulcanizates

próbek napełnionych węglem fluorowanym jest większa niż odpowiadających im próbek z niemodyfikowanym produktem pirolizy.

6. Właściwości trybologiczne wulkanizatów

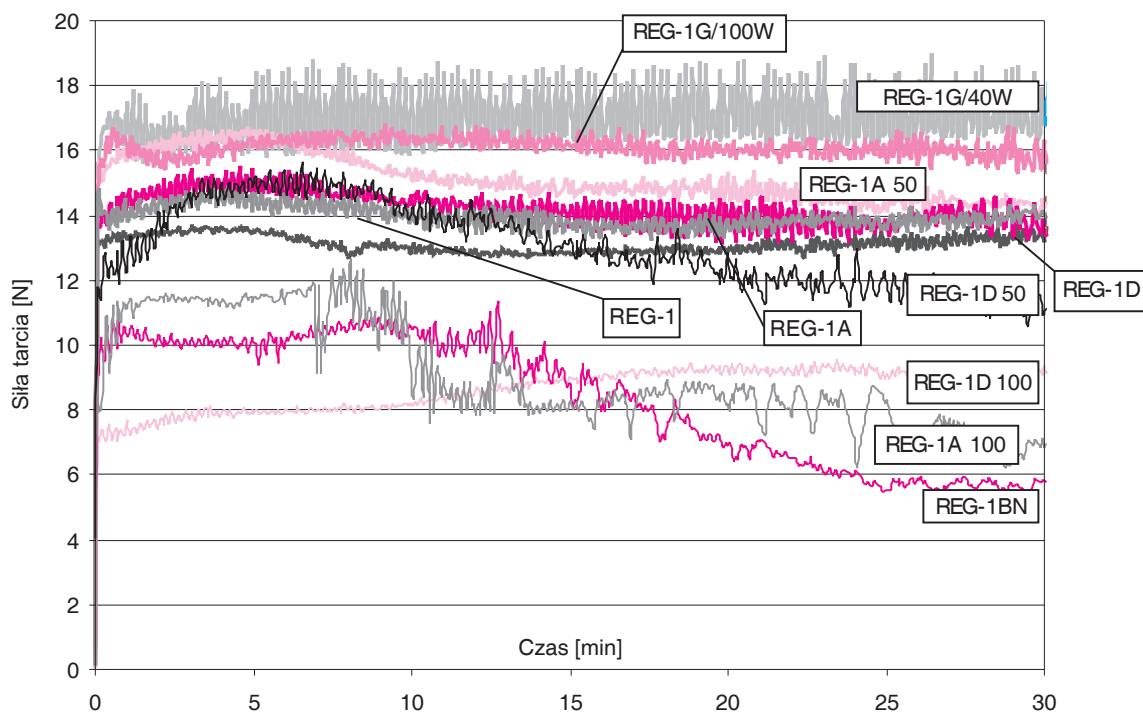
Badania właściwości trybologicznych zostały przeprowadzone na aparacie T-05 produkcji Instytutu Technologii Eksploatacji w Radomiu, o skojarzeniu ciernym typu gumowa rolka ($\varnothing=35$ mm) – klocek. Pomiar trwał każdorazowo 30 minut, przy dwóch obciążeniach styku: 5 N lub 10 N, oraz prędkości obrotowej 60 obr./min. Zmiany siły tarcia w czasie zostały przedstawione na rysunkach 10 i 11.

W przypadku próbek zawierających po 10 cz. wag. węgla popirolitycznego i 50 cz. wag. N330 na 100 cz. wag. SBR nie odnotowano większych zmian w oporach tarcia w stosunku do wartości oznaczonych dla próbki wzorcowej REG-1, bez względu na zastosowane mo-

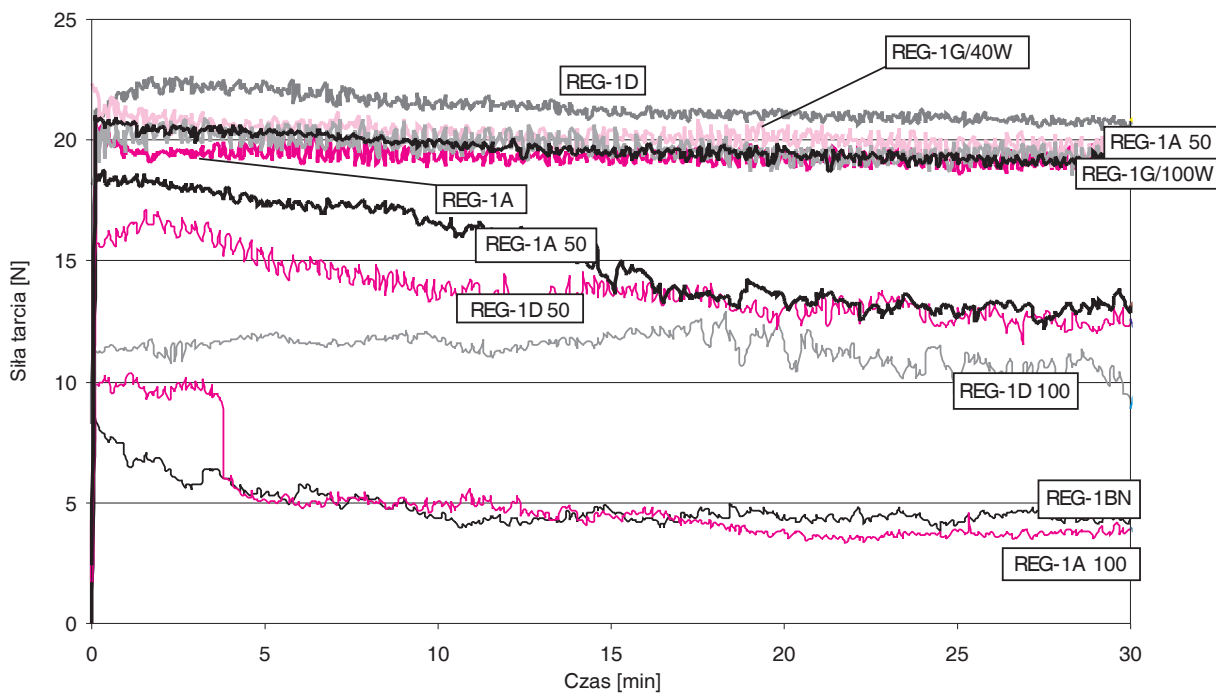
dyfikacje oraz wartość obciążenia styku. Natomiast dla próbek, w których sadzę N330 zastąpiono węglem popirolitycznym w 50% i 100%, zauważono spadek oporów tarcia w czasie. Jest on spowodowany zużyciem ściernym powierzchni próbki, tworzeniem się drobnych gumowych produktów zużycia i w konsekwencji zmianą charakteru tarcia ze ślizgowego na toczne, które przyjmuje wartości dużo niższe niż tarcie ślizgowe.

7. Stopień dyspersji i dystrybucji napełniaczy w kauczuku

Za pomocą mikroskopu sił atomowych (AFM) – Metrology 2000 (Molecular Imaging, USA) wykonano zdjęcia powierzchni próbek gumy w trybie dynamicznym (tapping mode). Porównano ze sobą morfologię próbek, w których 10 cz. wag. węgla popirolitycznego wprowadzono w miejsce sadzy N-330 oraz próbki



Rys. 10. Przebieg siły tarcia w czasie dla badanych wulkanizatów obciążonych siłą 5 N
 Fig. 10. Friction vs time characteristic of tested rubber vulcanizates, loaded with 5 N

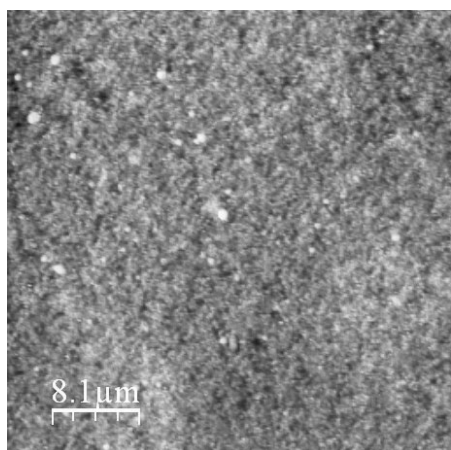


Rys. 11. Przebieg siły tarcia w czasie dla badanych wulkanizatów obciążonych siłą 10 N
 Fig. 11. Friction vs. time characteristic of tested rubber vulcanizates, loaded with 10 N

odniesienia REG-1. Do analizy obrazów zastosowano procedurę zaproponowaną przez Horcasa i in. [9].

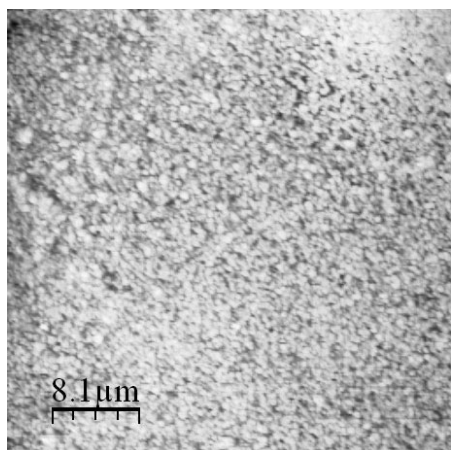
Jak widać na załączonych zdjęciach, stopień dyspersji i dystrybucji napelnaczy w wulkanizatach zawierających modyfikowany węgiel popirolityczny jest bardzo dobry, podobnie jak w przypadku próbki wzor-

cowej zawierającej sadzę aktywną. Natomiast w przypadku próbki REG-1D (zawierającej 10 cz. wag. niemodyfikowanego węgla popirolitycznego) obserwujemy występowanie dużych agregatów i aglomeratów, wpływających ujemnie na właściwości mechaniczne wulkanizatów.



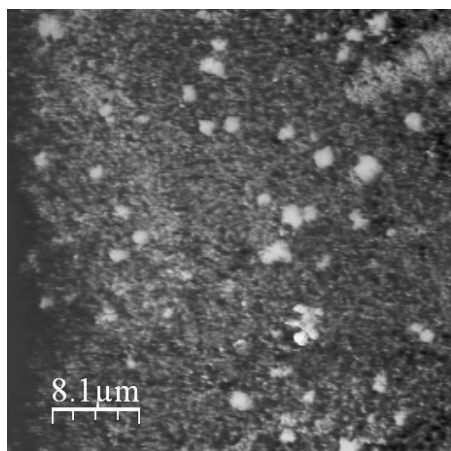
Rys. 12. Morfologia próbki wzorcowej, napelnionej sadzą N-330 (REG-1)

Fig. 12. Morphology of standard rubber sample, filled with N-330 carbon black (REG-1)



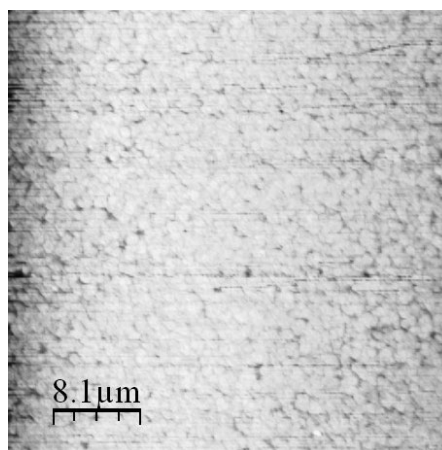
Rys. 13. Morfologia próbki REG-1A, w której 10 cz. wag. sadzy N-330 zostało zastąpione fluorowanym węglem popirolitycznym

Fig. 13. Morphology of REG-1A sample, for which 10 phr of N-330 carbon black has been replaced with fluorinated pyrolytic carbon black



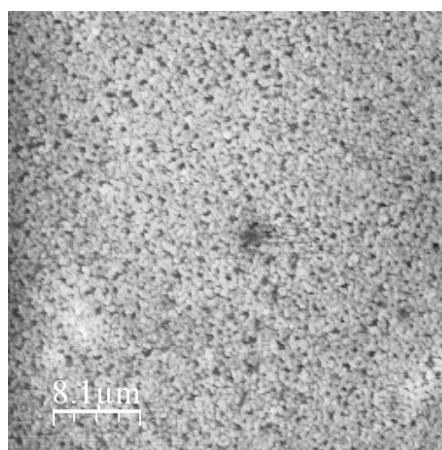
Rys. 14. Morfologia próbki REG-1D, w której 10 cz. wag. sadzy N-330 zostało zastąpione niemodyfikowanym węglem popirolitycznym

Fig. 14. Morphology of REG-1D sample, for which 10 phr of N-330 carbon black has been replaced with unmodified pyrolytic carbon black



Rys. 15. Morfologia próbki REG-1G 40W, w której 10 cz. wag. sadzy N-330 zostało zastąpione węglem popirolitycznym modyfikowanym plazmą o mocy 40 W

Fig. 15. Morphology of REG-1G 40W sample, for which 10 phr of N-330 carbon black has been replaced with pyrolytic carbon black modified by 40 W plasma



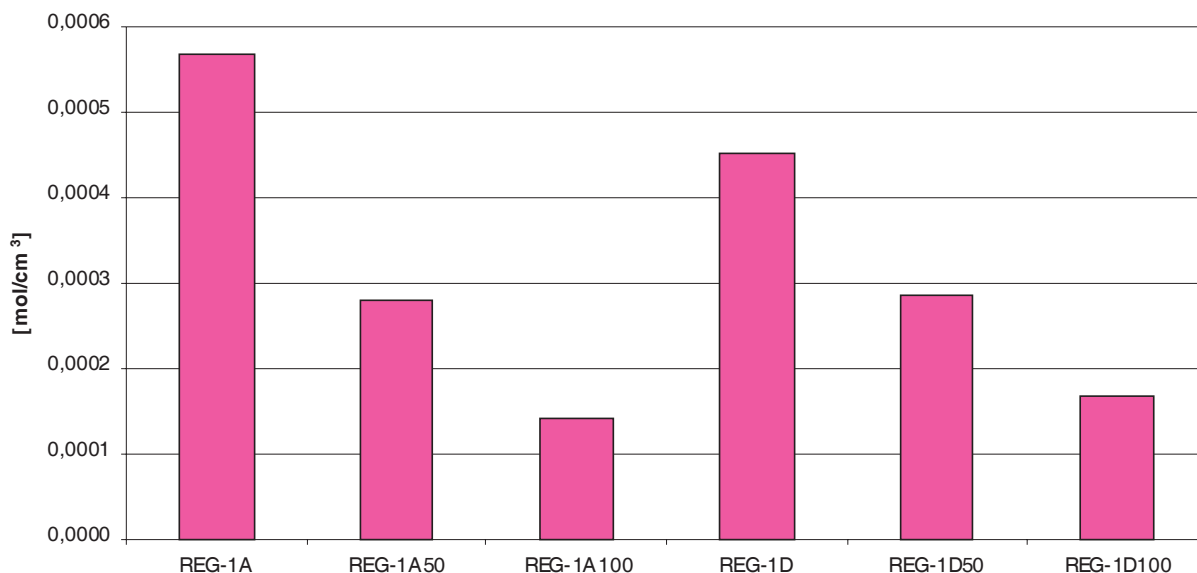
Rys. 16. Morfologia próbki REG-1G 100W, w której 10 cz. wag. sadzy N-330 zostało zastąpione węglem popirolitycznym modyfikowanym plazmą o mocy 100 W

Fig. 16. Morphology of REG-1G 100W sample, for which 10 phr of N-330 carbon black has been replaced with pyrolytic carbon black modified by 100 W plasma

8. Wpływ użytych napelniczy na gęstość usieciowania wulkanizatów

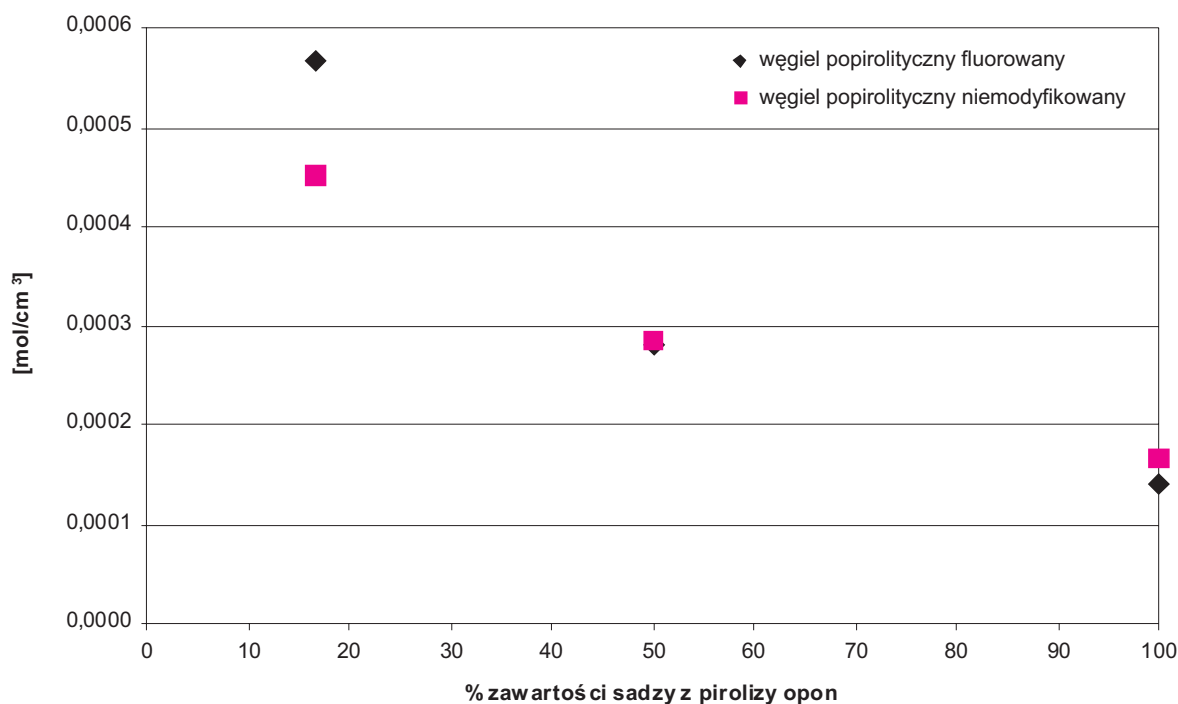
Metodą pęcznienia równowagowego w toluenie oznaczono gęstość usieciowania poszczególnych wulkanizatów, korzystając z równania Flory'ego – Rehnera [10].

Jak łatwo zauważyć, wartości gęstości usieciowania maleją w miarę zwiększania się udziału węgla z pirolizy opon w ogólnej ilości napelniczy – rys. 17. Zakres zmian jest większy w przypadku zastosowania węgla popirolitycznego poddanego fluorowaniu (próbki REG-1A). W przypadku próbek zawierających tak zmodyfikowany napelnicz gęstość usieciowania,



Rys. 17. Wpływ ilości i sposobu modyfikacji węgla popirolitycznego na gęstość usieciowania wulkanizatów SBR z jego udziałem

Fig. 17. Influence of the amount and kind of modification of pyrolytic carbon black on crosslink density of SBR vulcanizates



Rys. 18. Wpływ fluorowania powierzchni węgla popirolitycznego na gęstość usieciowania wulkanizatów SBR z jego udziałem

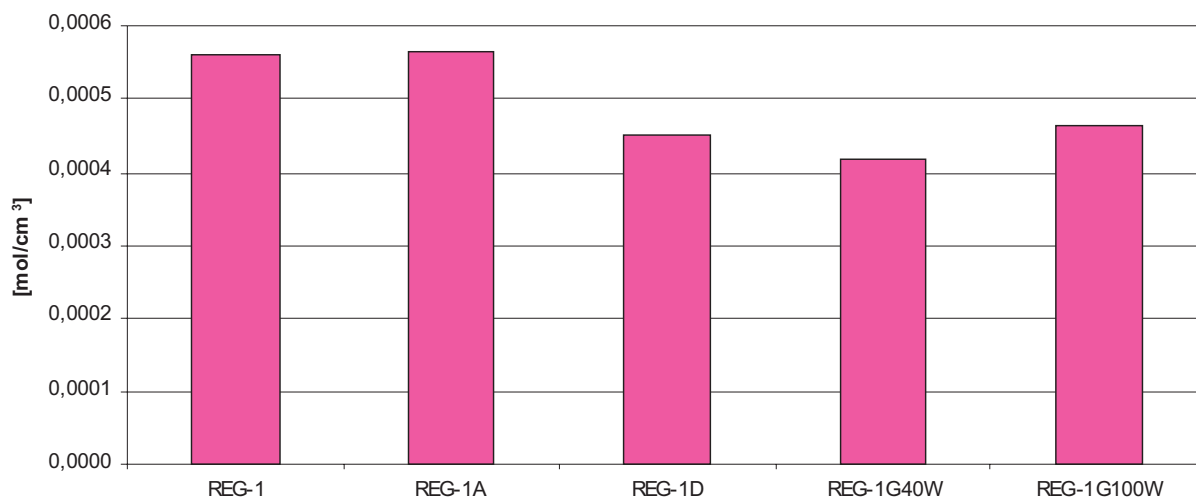
Fig. 18. Influence of gas fluorination applied to the surface of pyrolytic carbon black on crosslink density of SBR vulcanizates

początkowo większa niż gęstość usieciowania wulkanizatu napełnionego węglem niemodyfikowanym, maleje szybciej w funkcji ilości zastosowanego węgla popirolitycznego – rys. 18. Zastąpienie do 10 cz. wag. sadzy aktywnej węglem popirolitycznym poddanym fluorowaniu z fazy gazowej nie wpływa na gęstość usieciowania wulkanizatów SBR. Natomiast zastosowanie węgla poddanego obróbce w płazmie bądź niemodyfi-

kowanego powoduje nieznaczny spadek gęstości usieciowania – rys. 19.

9. Wnioski

- Modyfikacja powierzchni węgla popirolitycznego na drodze obróbki plazmą niskotemperaturową



Gęstość usieciowania wulkanizatów zawierających po 10 phr węgla z pirolizy opon

Rys. 19. Wpływ częściowego zastąpienia sadzy N-330 węglem popirolitycznym lub produktami jego modyfikacji na gęstość usieciowania gumy z SBR

Fig. 19. Influence of partial replacement of N-330 carbon black with pyrolytic carbon black or products of its modification, on crosslink density of SBR vulcanizates

bądź fluorowania z fazy gazowej poprawia stopień dyspersji napełniacza w SBR.

- Największy wzrost powierzchni właściwej węgla popirolitycznego, sięgający 25%, uzyskano w wyniku jego obróbki plazmą.
- Zastąpienie 10 cz. wag. sadzy N-330 modyfikowanym węglem popirolitycznym nie powoduje pogorszenia właściwości mechanicznych wulkanizatów
- Wbrew oczekiwaniom, obróbka powierzchni nie spowodowała usunięcia obecnych na powierzchni substancji organicznych i mineralnych (ok. 40% wag.), osłabiła jednak oddziaływania między sadzą i zaadsorbowanymi na jej powierzchni cząsteczkami węglowodorów, o czym świadczy wzrost wielkości ekstraktów acetonowego i toluenowego w przypadku węgla poddanego modyfikacjom.
- Właściwości węgla popirolitycznego, nawet po poddaniu go obróbce powierzchniowej plazmą lub fluorowaniu gazowemu (silny środek utleniający), są dalekie od parametrów nawet sadzy półaktywnej. Należałoby stworzyć odrębną klasyfikację dla tej grupy produktów wobec stale rosnącego obszaru ich zastosowań.

Literatura

1. Pyskło L., Parasiewicz W., *Elastomery* 2004, **8**, nr 2, 18-24
2. Olędzka E., Pyskło L., Sobczak M., Łuska A., *Poli-mery* 2006, **51**, nr 6, 405-482
3. *Materiały Konferencji Naukowej „EkoGuma”*, Warszawa listopad 1993
4. Łuska A., Olędzka E., Sobczak M., Dębek C., *Elastomery* 2005, **2**, nr 1, 25
5. Parasiewicz W., Pyskło L., Magryta J., *Poradnik. Recykling zużytych opon samochodowych. IPGum „Stomil”, Piastów 2005, ISBN: 83-917671-1-6*
6. Moldován G., *Műanyag és Gumi* 2008, **45**, nr 10, 402-403
7. Szewczyk M., Przybyłowicz J., Kondlewski T., *Patent P-368005 (14-05-2004)*
8. Magryta J., Dębek C., Stępkowski R., Kondlewski T., *Elastomery* 2009, **13**, nr 3, 21- 31
9. Horcas I., Fernandez R., Gomez-Rodriguez J.M., Colchero J., Gomez-Herrero J. and Baro A.M., *Review of Scientific Instruments* 78, 013705 (2007)
10. Flory P. J., *J. Chem. Phys.* 1942, **10**, 51