

Jakub CZAKAJ<sup>a)</sup>, Maria RAJKIEWICZ<sup>b)</sup>

<sup>a)</sup> AIB Spółka z ograniczoną odpowiedzialnością sp.k.,  
email: jc@aibsc.com.pl

<sup>b)</sup> IMPiB Oddział Elastomerów i Technologii Gumy w Piastowie

## Wykorzystanie odpadów poprodukcyjnych w masach uszczelniających

**Streszczenie:** Zagospodarowanie odpadu poprodukcyjnego i poużytkowego jest istotnym problemem przemysłu gumowego. Recykling materiałowy wymaga nakładów czasu i energii, a uzyskany materiał ze względu na gorsze właściwości, nie pozwala na całkowitą zamianę kauczuku regeneratem. Komercyjnie dostępny odpad w postaci regeneratu lub pyłu jest potencjalnie atrakcyjnym ekonomicznie substytutem bazy elastomerowej kauczukowych mas uszczelniających. W niniejszej pracy zbadany został wpływ podmiiany bazy elastomerowej regeneratem butylowym oraz dodatku poprodukcyjnych odpadów z mieszanek oponowych, na właściwości mieszanek. Mieszanki zostały przygotowane za pomocą współbieżnej wylączarki dwuślimakowej oraz miksera typu sigma, następnie wykonano badania ich właściwości użytkowych oraz przetwórczych.

**Słowa kluczowe:** odpady gumowe, uszczelniacz termoplastyczny

### THE USE OF SCRAP RUBBER IN SEALANTS

**Abstract:** The use of production scrap and post-consumer rubber waste is an essential problem of rubber industry. Material recycling is both time and energy consuming, resulting in a material with inferior properties unable to fully replace virgin rubber. Commercially available scrap in powder or regenerate form is potentially attractive economical substitute of rubber in sealants. Current work investigates the effects of substitution of butyl rubber with butyl reclaim on sealant properties. The compositions were prepared using a corotating twin screw extruder and sigma type mixer. The application and processing properties were tested.

**Keywords:** rubber scrap, sealant, hot melt

## 1. WPROWADZENIE

Mieszanki kauczuku butylowego są szeroko stosowane w przemyśle. Mieszanki butylowe w formie zwulkanizowanej pełnią głównie rolę uszczelniającą w oponach, węzłach parowych, uszczelkach i membranach dachowych. Ze względu na małą przepuszczalność wilgoci, mieszanki butylowe znalazły zastosowanie jako izolator w instalacjach elektrycznych. Dzięki dobrym właściwościom tłumiącym oraz niskiemu modułowi zachowawczemu, surowe mieszanki kauczuku butylowego mają zastosowanie w produkcji przekładek wibroizolacyjnych oraz materiałów samoprzylepnych [1-4].

Komercyjne mieszanki uszczelniające na bazie kauczuku butylowego (IIR) dostępne są na w formie rozpuszczalnikowych kitów (jedno lub dwukomponentowych), wytłoczonych taśm oraz w postaci półproduktu do dalsze-

go przetwórstwa. W zależności od wskaźnika szybkości płynięcia oraz spływności, mieszanki w formie półproduktu rozlewa się do beczek (objętość 200 l) lub przechowuje w postaci wytłocznym w kształcie walca. Ze względu na postępującą troskę o ochronę środowiska, badania przemysłowe skupiają się na ograniczeniu zawartości lotnych substancji organicznych (volatile organic compound – VOC) w mieszankach, uwalnianych do atmosfery w czasie aplikacji produktu. Prowadzi to do stopniowego wypierania z rynku uszczelniaczy rozpuszczalnikowych na rzecz samoprzylepnych uszczelniaczy termoplastycznych.

Termoplastyczne butylowe mieszanki uszczelniające, charakteryzuje wysoka odporność na starzenie pod wpływem warunków atmosferycznych. Wynika to z niskiego nienasylenia łańcucha głównego (zawartość merów izoprenowych < 3%).

Mieszanki komercyjne zawierają 5–20% bazy elastomerowej (IIR, również poliizobutylen PIB), 5–20% plastyfikatorów (oleje parafinowe, polibuteny), 5–30% żywic węglowodorowych, 30–70% napęniacza mineralnego (najczęściej mielony węgiel wapnia). Oprócz wymienionych substancji ważną grupę stanowią dodatki funkcyjne, jak np. modyfikatory reologii, napęniacze ekspandujące, barwniki itp. Z powodu znacznego wzrostu cen kauczuków w latach 2001–2010, ekonomicznie uzasadnione stało się wykorzystanie odpadów gumowych w produkcji mieszanek. Dodatkowo, regulacje prawne [5, 6] zabraniające składowania zużytych opon, wspomagają poszukiwania efektywnych metod utylizacji i recyklingu. W Polsce, ustawa o odpadach z 27 kwietnia 2001 wprowadza zakaz składowania opon oraz ich części na wysypiskach.

W gospodarce oponami zużytymi wyróżnia się 3 główne kierunki – zastosowanie odpadów jako paliwo, piroliza oraz granulacja [7]. Podczas procesu granulacji, odpad gumowy jest cięty na kawałki umożliwiające ich łatwe przetworstwo. Z materiałowego punktu widzenia, opona składa się z włókna, stali oraz mieszanki gumowej. Aby odseparować elementy metalowe i włókna, pocięte kawałki przepuszcza się przez separatory magnetyczne i powietrzne. Redukcję rozmiarów cząstek wulkanizatu uzyskuje się w procesie mielenia. Najpopularniejsze metody obejmują mielenie w temperaturze pokojowej, dla której praktycznym limitem rozdrobnienia jest 40 mesh (0,40 mm). W tym procesie uzyskuje się cząstki o nieregularnym kształcie, a ciepło powstające podczas ścinania może powodować degradację kauczuku. Aby uzyskać mniejsze uziarnienie cząstek, stosuje się mielenie kriogeniczne. Odbywa się w temperaturze niższej od temperatury zeszklenia mieszanki gumowej. Oprócz możliwości uzyskania rozdrobnienia nawet 100 mesh (0,149 mm), w uzyskanym proszku nie występuje stal ani włókna [8].

Zastosowanie regeneratu gumowego lub miazgi w mieszankach gumowych z reguły pogarsza ich właściwości mechaniczne. Powodem obniżenia właściwości mechanicznych jest degradacja matrycy polimerowej w procesie regeneracji.

Z tego względu powszechnie stosowane metody recyklingu sprowadzają się do wykorzystania przemiału lub regeneratu w aplikacjach wymagających relatywnie niższej jakości tworzywa niż produkt pierwotny. Przykładem mogą być tu wycieraczki wytworzone poprzez prasowanie przemiału gumowego pokrytego powierzchnio-wo elastycznym klejem poliuretanowym. Analogiczną metodą otrzymuje się nawierzchnie bieżni lekkoatletycznych lub kortów tenisowych.

Najkorzystniejszą metodą, pozwalającą na powtórne wykorzystanie odpadów gumowych, byłaby dewulkanizacja. Teoretycznie, w przypadku mieszanek wulkanizowanych za pomocą siarki, różnica energii wiązań siarczkowych oraz węgiel-węgiel (odpowiednio 34 kcal/mol oraz 80 kcal/mol [9]) powinna pozwolić na selektywny rozpad mostków siarczkowych bez degradacji łańcucha głównego. W praktyce, obecny stan techniki pozwala na przetworzenie gumy w plastyczny regenerat, jednak wiąże się to z degradacją polimeru.

W 2012 roku opatentowany został proces recyklingu i dewulkanizacji odpadów gumowych z wykorzystaniem wyciarki dwuślimakowej [10]. Metoda ta polega na rozdrobnieniu odpadów gumowych za pomocą młyna, do przemiału o wielkości ziarna 5–15 mm. Następnie przemiał jest dozowany do leja głównego wyciarki dwuślimakowej współbieżnej o długości ślimaków  $L/D = 64$ . Konstrukcja ślimaków umożliwia kontrolę energii cieplnej i mechanicznej (siły ścinające) dostarczanej w celu uplastycznienia przemiału. W strefie znajdującej się w odległości przynajmniej 48D od początkowej strefy dozowana jest woda pod ciśnieniem. Przed wytłoczeniem, mieszanka jest odgazowana próżniowo, co pozwala ograniczyć zawartość pozostałości lotnych powstałych w procesie oraz ograniczyć zapach [10]. Według autora patentu, mieszankę cechują właściwości podobne do mieszanki surowej, w szczególności lepkość Mooneya pozostaje w zakresie  $\pm 5\%$  w stosunku do mieszanki surowej. Metoda jest ekonomiczna ze względu na brak dodatków. Do przeprowadzenia procesu wymagany jest jedynie rozdrobniony odpad gumowy sieciowany metodą siarkową oraz energia elektryczna (0,1–0,4 kWh/kg).

W literaturze jak dotąd nie opisano metody recyklingu pozwalającej na użycie w jednym procesie przemiału gumowego o wielkości cząstek w zakresie 5–15 mm do otrzymania termoplastycznego uszczelnacza.

## 1.2 CEL BADAŃ

Celem badań jest doświadczalne określenie wpływu substytucji kauczuku butylowego regeneratem oraz odpadem poprodukcyjnym pochodzącym z opon na właściwości użytkowe (penetracja, odporność na odrywanie pod kątem 180°) oraz przetwórcze (wskaźnik szybkości płynięcia) mieszanek uszczelniających. Uzyskana mieszanka powinna być zdatna do zastosowania jako uszczelnienie połączenia pomiędzy kręgami betonowymi. Badania były prowadzone przy stałej wydajności dozowania składników mieszanki do wyciskarki dwuślimakowej. Parametrami zmiennymi są prędkość obrotu ślimaków, miejsce i ilość dozowanego napelnacza (lej główny lub dozownik boczny), ilość kauczuku zastąpiona regeneratem, ilość odpadu poprodukcyjnego.

## 2. CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

### 2.1. MATERIAŁY

Surowce wykorzystane do przygotowania mieszanek, wymienione w tab. 1, są następujące:

- kauczuk butylowy BK1675 o lepkości Mooneya ML(1+8, 125 °C)  $51 \pm 3$  i stopniu nienasyceń 1,6% dostarczony przez firmę Konimpex
- regenerat butylowy Ecorr RBR70 o lepkości Mooneya ML(1+4, 100 °C)  $37 \pm 7$  MU i zawartości kauczuku  $53 \pm 3\%$ , dostarczany przez firmę Rubber Resources B.V.;
- polibuten Polybut 30 dostarczony przez firmę Brenntag
- olej parafinowy KVG 150 o lepkości 150 cSt (40 °C) dostarczony przez firmę Torimex
- żywicę węglowodorową C5 o temperaturze mięknięcia 99 °C dostarczoną przez firmę AIB
- węgiel wapnia Omycarb 2t mielony, dostarczony przez firmę Omya

- węgiel wapnia strącany Viscoexcel 30, dostarczony przez firmę Omya
- sadza N-220, dostarczana przez firmę Konimpex
- gumowy odpad poprodukcyjny z mieszanek oponowych (mieszanki podsieciovane, odpady produkcyjne) dostarczony przez firmę Kabat

### 2.2 WYKORZYSTANY SPRZĘT

Mieszanki zostały przygotowane przy użyciu wyciskarki dwuślimakowej współbieżnej TM92MV prod. Maris 2015 oraz miksera 8ZEMX prod. Winkworth 2012.

Wskaźnik szybkości płynięcia zbadany został przy użyciu plastometru MF20 prod. Instron 2015.

Penetracja została zbadana przy użyciu penetrometru igłowego prod. Frowag 2015

Siła klejenia została zbadana przy użyciu maszyny wytrzymałościowej Zwick Z2.5/TN 1P.

Gęstość została zbadana metodą zanurzeniową przy użyciu wagi analitycznej A&D HA 180M.

### 2.3. PRZYGOTOWANIE PRÓBEK

Regenerat oraz odpad poprodukcyjny zostały zmielone za pomocą młyna frezowego do wielkości ziarna  $<15$  mm w obecności środka obniżającego kleistość ( $\text{CaCO}_3$ ) w czasie mielenia. Do przygotowania części próbek (SE53–2 do 6 receptury w tab. 1, wyniki badań w tab. 2) użyta została wyciskarka dwuślimakowa współbieżna. Profil temperatur znajduje się w tab. 3. Mieszanka zmielonego regeneratu wraz z odpadem poprodukcyjnym, sadzą, kredą mieloną była dozowana do głównego leja zasypowego wyciskarki. Plastyfikatory oraz kreda strącana dozowana była za pomocą dozowników bocznych. Zmieszana masa odbierana była w postaci walcowatych wycisk.

Próbki SE53–2, 4, 15, 17, 19, 22 przygotowane zostały za pomocą miksera typu sigma, wyniki badań próbek znajdują się w tab. 1. Próbki receptur SE53–2 do 6 wykonane zostały przy użyciu wyciskarki, wyniki badań próbek znajdują się w tab. 2.

Próbki do badań siły klejenia wykonano poprzez prasowanie mieszanek w temperaturze 50 °C do grubości 1 mm przy użyciu prasy hydraulicznej. Aby zapobiec przyleganiu mieszanki do powierzchni stempli, zastosowano papier silikonowany. Następnie na jedną ze stron wytłoczki naklejono folię poliestrową i wycięto paski o szerokości 24 mm.

Próbki do badania penetracji wykonano poprzez prasowanie mieszanek do grubości 24 mm przy użyciu prasy hydraulicznej.

### 3. BADANE WŁAŚCIWOŚCI

Wskaźnik szybkości płynięcia został oznaczony zgodnie z normą ISO1133:2002, przy obciążniku 5 kg, w temperaturze 140 °C i zastosowaniu dyszy 2 mm.

Siła klejenia (odklejanie pod kątem 180°) zmierzona została zgodnie z normą FINAT 1.

Penetracja została zmierzona zgodnie z normą zakładową BS 27 firmy AIB, przy użyciu stożka

o wadze 150 g, grubość próbki 24 mm. Norma zakładowa bazuje na normie PN EN 1426.

Gęstość została zmierzona metodą zanurzeniową zgodnie z normą ISO 1183.

Energia właściwa została wyrażona jako moc silnika/wydajność wytłaczania. Wydajność wytłaczania jest określona jako suma wydajności dozowników grawimetrycznych dozujących składniki mieszanki.

### 4. OMÓWIENIE WYNIKÓW

W tab. 1 przedstawione zostały składy mieszanek wykorzystanych w badaniach. Bazą elastomerową każdej z mieszanek jest kauczuk butylowy lub regenerat butylowy. Przygotowanie mieszanek zawierających poprodukcyjne odpady gumowe, za pomocą miksera typu sigma, nie było możliwe ze względu na słabą homogenizację. Występujące w uzyskanych mieszankach cząstki odpadu o wielkości ok. 5 mm nie pozwalały na uzyskanie miarodajnych wyników.

**Tab. 1 Receptury mieszanek podane w częściach masowych na sto części kauczuku (ang parts per hundred rubber, PHR) . Podane zostały właściwości mieszanek przygotowanych w mieszalniku typu sigma.**

**Tab. 1 Formulation data given in mass parts per hundred rubber (PHR). Given properties are for formulations prepared in sigma type mixer.**

	SE53-17	SE53-15	SE53-2	SE53-3	SE53-22	SE53-19	SE53-4	SE53-5	SE53-6
<b>Surowce</b>	<b>PHR</b>	<b>PHR</b>	<b>PHR</b>	<b>PHR</b>	<b>PHR</b>	<b>PHR</b>	<b>PHR</b>	<b>PHR</b>	<b>PHR</b>
BK1675	100	50	-	-	100	50	-	-	-
Ecorr RBR70	-	100	200	200	-	100	200	200	200
żywica AIB	50	50	50	50	20	20	20	20	20
Polybut 30	50	50	50	50	-	-	-	-	-
Olej KVG 150	20	20	20	20	120	120	120	120	120
Omyacarb 2t	60	60	60	60	700	700	700	700	700
Viscoexcel 30	20	20	20	20	-	-	-	-	-
Odpady gumowe	-	-	-	10	-	-	-	20	40
sadza N220	-	-	-	-	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5
<b>Właściwości</b>									
MVI [ml/10min]	20	29	73	-	9	6	5	-	-
Siła klejenia [N/24mm]	103	101	46	-	20	10	13	-	-
Typ oderwania	koh	koh	koh	-	adh	adh	adh	-	-
Penetracja [1/10mm]	60	60	58	-	37	35	30	-	-
Gęstość [g/cm <sup>3</sup> ]	1,02	1,07	1,14	-	1,71	1,72	1,69	-	-

W przypadku mieszanek SE53–15 oraz 2, w porównaniu do mieszanki SE53–17, kauczuk został zastąpiony odpowiednio w 50% i 100% regeneratem. Ilość regeneratu potrzebna do zastąpienia kauczuku butylowego została oszacowana na podstawie zawartości polimeru w regeneracie. Zgodnie z oczekiwaniami, zwiększanie zawartości regeneratu w mieszance powoduje wzrost wskaźnika szybkości płynięcia. Jest to spowodowane niższą lepkością Mooneya regeneratu w porównaniu do lepkości zastosowanego kauczuku. Zaskakująco, zastąpienie 50% kauczuku regeneratem nie wpłynęło w znaczący sposób na wynik pomiaru siły klejenia. Jest to najprawdopodobniej spowodowane dwoma efektami. Zdegradowana matryca elastomero-wa regeneratu wykazuje gorsze właściwości mechaniczne w porównaniu do kauczuku (niższa siła klejenia próbki SE53–2 w porównaniu do SE53–17), jednocześnie jednak regenerat jest źródłem sadzy [11]. Wzmacniające działanie sadzy może równoważyć spadek siły klejenia spowodowany zastąpieniem kauczuku regeneratem. Nieznaczny wzrost twardości (niższa wartość penetracji) mieszanki SE53–2 w stosunku do SE53–17 oraz 15 jest najprawdopodobniej spowodowany relatywnie większą zawartością napełniaczy w wymienionych mieszankach, na co wskazuje wyższa gęstość.

Analogicznie jak w przypadku mieszanek SE53–15, 2 i 17, w mieszankach SE53–19 oraz 4 odpowiednio 50% i 100% kauczuku zastąpione zostało regeneratem. Wskaźnik szybkości płynięcia tych mieszanek maleje wraz ze wzrostem zawartości regeneratu. W odniesieniu do mieszanek SE53–15, 2 i 17, mieszanki SE53–22, 19 i 4 zawierają większą ilość napełniaczy. Uwzględniając, że tylko 50% masy regeneratu stanowi polimer, podmiana kauczuku regeneratem skutkuje zwiększeniem zawartości napełniaczy w mieszance. Mieszanki SE53–22, 19 oraz 4 zawierają odpowiednio 50%, 55% i 59% objętościowo napełniaczy. Hipotetycznie, w wymienionych mieszankach zostało przekroczone krytyczne stężenie objętościowe napełniaczy (KSON) [12–15]. Skutkuje to spadkiem wskaźnika szybkości

płynięcia mieszanek oraz relatywnie większym wzrostem twardości w stosunku do mieszanek SE53–17, 15, 2. Potwierdzeniem krytycznego stężenia objętościowego napełniaczy może być obserwowany spadek gęstości mieszanki SE53–4 w stosunku do SE53–19. Taka zmiana gęstości może być spowodowana obecnością powietrza w mieszance [15].

Mieszanki zawierające odpady gumowe zostały przygotowane z wykorzystaniem wyciarkarki dwuślimakowej. Mieszanki wykonano ze stałą wydajnością linii – 300 kg/h, przy jednakowych nastawach temperatury. Uplastycznianie następuje w strefie 2 oraz strefie 3 wyciarkarki. W tabeli 2 podano rzeczywiste odczyty temperatur w tych strefach. Odczyty temperatury w pozostałych strefach wyciarkarki były identyczne dla wszystkich prób. Receptura SE53–2 różni się od receptury SE53–3 zawartością 10 części odpadu gumowego. Dla mieszanki SE53–2 zbadany został wpływ obrotów ślimaków oraz miejsca dozowania mielonego węgla wapnia na właściwości mechaniczne oraz wskaźnik szybkości płynięcia mieszanki. Zgodnie z oczekiwaniami, wraz ze wzrostem obrotów ślimaków przy stałej wydajności, energia właściwa rośnie. Zwiększenie obrotów przy stałej wydajności powoduje zmniejszenie wypełnienia masą zwojów ślimaka, obniża lepkość mieszanki ze względu na zwiększenie szybkości ścinania oraz obniża moment obrotowy ślimaków [16, 17]. W przypadku prób nr 1 do 4 (tab. 2), napełniacz dozowany był w całości do uplastycznionej masy, za pomocą dozownika bocznego. W przypadku prób 5 do 7, mielony węgiel wapnia dozowany był do leja głównego. Odczytane niższe wartości temperatur w strefach 2 i 3 w porównaniu do prób 1–4 są najprawdopodobniej spowodowane większym wypełnieniem ślimaków i krótszym czasem przebywania mieszanki w strefach uplastyczniających. Wraz ze wzrostem obrotów ślimaka w wyniku większej szybkości ścinania, przy niezmiennym czasie przebywania mieszanki w danej strefie, wartości temperatury rosną. Wskaźnik szybkości płynięcia mieszanek ma tendencję do wzrostu razem z prędkością

obrotową ślimaków. Właściwości mechaniczne (siła klejenia) obniżają się ze wzrostem obrotów ślimaków oraz z ilością kredy dozowanej do leja głównego. Mieszanka SE53-3 (próba nr 8) zawierająca 10 części odpadu poprodukcyjnego, wykazuje niższy wskaźnik szybkości płynięcia oraz gorsze właściwości mechaniczne w stosunku do mieszanki SE53-2 (próba nr 2). Zaskakująco, mielony odpad poprodukcyjny uległ częściowej

homogenizacji lub rozdrobnieniu. Po wyprasowaniu za pomocą prasy hydraulicznej, na powierzchni wyprasek przeznaczonych do badania siły klejenia, nie było widocznych zgrubień mogących pochodzić z odpadu poprodukcyjnego. W przypadku analogicznych mieszanek przygotowanych za pomocą mieszalnika typu sigma, uzyskanie wyprasek bez widocznych zgrubień nie było możliwe.

**Tab. 2 Wyniki badań mieszanek przygotowanych przy użyciu wylączarki dwuślimakowej**

**Tab. 2 Test results of formulations prepared using twin-screw extruder**

Nr próby	wydajność	obroty	Kreda dozowana do leja głównego	Receptura	Siła klejenia	typ odierwania	Wskaźnik płynięcia (5kg / 140°C)	Temperatura strefy 2	Temperatura strefy 3	Energia właściwa
	[kg/h]	rpm	[%]	-	[N/24mm]	[adhezyjny / kohezyjny]	[ml/10min]	[°C]	[°C]	[kWh/kg]
1	300	100	0	SE53-2	46,8	koh	59	66	66	0,19
2	300	200	0	SE53-2	39,2	koh	73,3	67	67	0,35
3	300	250	0	SE53-2	37,2	koh	70,7	68	70	0,38
4	300	300	0	SE53-2	37,3	koh	80,3	69	73	0,35
7	300	200	15	SE53-2	33,8	koh	69,3	65	65	0,34
6	300	250	15	SE53-2	30,8	koh	72	65	66	0,39
5	300	300	15	SE53-2	33,3	koh	45,1	67	67	0,47
8	300	200	0	SE53-3	34,8	koh	40,9	68	69	0,29
11	300	200	5	SE53-4	7,4	adh	26,4	68	71	0,4
10	300	200	5	SE53-5	7,3	adh	14,65	68	75	0,4
9	300	200	5	SE53-6	7,3	adh	11,4	68	65	0,42

**Tab. 3 Nastawy temperatur stref wylączarki dwuślimakowej. Odczyty temperatury stref 2 oraz 3 są zmienne dla poszczególnych próbek i znajdują się w tab. 2**

**Tab. 3 Temperature settings of twin screw extruder zones. Temperature readings for zone 2 and 3 vary for each sample. Zone 2 and 3 temperatures are included in tab. 2**

Strefa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Nastawa [°C]	20	60	60	60	60	60	50	50	50	50	40	40	40
Odczyt [°C]	27	x	x	64	66	64	57	55	55	59	49	47	47

W stosunku do receptury SE53–4, receptury SE53–5 oraz 6 zawierają odpowiednio dodatek 20 raz 40 części odpadów gumowych. Ze względu na wysoką lepkość mieszanki oraz jej znaczne napełnienie kredą, energia właściwa jest relatywnie wyższa niż w przypadku receptury SE53–2 oraz 3. Zwiększenie zawartości odpadów powoduje obniżenie wskaźnika szybkości płynięcia materiału. Hipotetycznie kohezja mieszanek maleje, jednak ze względu na adhezyjny typ oderwania nie potwierdza tego pomiar siły klejenia.

## 5. WNIOSKI

W przypadku mieszanek zawierających małą ilość napełniacza (<< KSON), zastąpienie do 50% kauczuku regeneratem nie ma istotnego wpływu na siłę klejenia ani twardość mieszanek. Regenerat może być stosowany jako dodatek barwiący lub źródło sady wzmacniającej, a także dodatek obniżający lepkość. W przypadku wysoko napełnionych mieszanek (~KSON), dodatek regeneratu powoduje zwiększenie twardości oraz lepkości.

Rozdrobnienie odpadów poprodukcyjnych do wielkości pozwalającej na zastosowanie w masach uszczelniających (<1mm) nie jest możliwe przy zastosowaniu miksera typu sigma. Przygotowanie mieszanek zawierających odpady poprodukcyjne przy pomocy wyciskarki dwuślimakowej pozwala uzyskać wielkość ziarna <1mm, korzystne jest zastosowanie dużej ilości napełniaczy.

*Praca wykonana w ramach projektu „Opracowanie innowacyjnych mas elastomerowych służących do produkcji taśm i profili uszczelniających” w ramach Działania 1.4 Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, lata 2007–2013, nr. Ref. POIG.01.04.00–24–026/11.*

## LITERATURA

1. Petri E.: *Handbook of adhesives and sealants – 2<sup>nd</sup> ed.*, McGraw-Hill, New York, 2007, p.566–568.
2. Dick J.S.: *Rubber Technology Compounding and Testing for Performance 2<sup>nd</sup> Edition*, Carl Hanser Verlag, Munich, 2009.
3. Benedek I.: *Handbook of Pressure-Sensitive Adhesives and Products Fundamentals of Pressure Sensitivity*, Taylor&Francis Group, Boca Raton, 2009.
4. White J.R., S.K. De S.K.: *Rubber Technologist's Handbook*, RAPRA Technology Ltd. 2001, 6466, p.499–510.
5. Dyrektywa Rady nr 1999/31/WE z dnia 26.04.1999r. w sprawie składowania odpadów.
6. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady nr 2000/53/WE z dnia 18.09.2000r w sprawie pojazdów wycofanych z eksploatacji
7. Smejda-Krzewicka A. i inni: *Przegląd metod recyklingu wyrobów gumowych*, Przetwórstwo Tworzyw 2012, 5, 518–522
8. Dick J.S.: *Rubber Technology Compounding and Testing for Performance 2<sup>nd</sup> Edition*, Carl Hanser Verlag, Munich, 2009. S. 288–289
9. Rodgers B.: *Rubber Compounding: Chemistry and Applications, Second Edition*, Taylor & Francis group, Boca Raton, 2016. S. 454
10. Maris G., zgłoszenie patentowe *Process for recycling and de-vulcanizing rubber*, WO2012017414 A1, 2012
11. Debapriya D. i inni: *Reinforcing effect of reclaim rubber on natural rubber/polybutadiene rubber blends*, Materials and Design, 46, 2013, s. 142–150.
12. Asbeck W.K., Van Loo M.: *Critical Pigment Volume Relationships*, Ind. Eng. Chem., 1949, 41, 7, s. 1470–1475
13. Wypych G.: *Handbook of Fillers 3<sup>rd</sup> ed.*, ChemTec Publishing, Toronto, 2010 s. 249
14. Barnes H.A.: *A Review of the Rheology of Filled Viscoelastic Systems*, Rheology Reviews, 2003, s. 1–36
15. Kamińska-Tarnawska E., Zubielewicz M.: *Metody wyznaczania krytycznego stężenia objętościowego pigmentów (KSOP) i zasady formułowania farb w relacji do KSOP*, Farby i Lakiery, 2005, nr 5, s. 22–31.
16. Liang M., Huff H.E. and Hsieh F.-H.: *Evaluating Energy Consumption and Efficiency of a Twin-Screw Extruder*, JFS: Food Engineering and Physical Properties, Vol. 67, Nr. 5, 2002, p.1803–1807.
17. Hsieh F., Grenus K.M., Hu L., Huff H.E.: *Screw Extrusion of Rice Flour with Salt and Sugar*, Cereal Chem., 1993, 70, 5, s. 493–498

Publikację przyjęto do druku: 01.07.16