

Wanda Parasiewicz\*, Jan Meżyński\*, Karol Niciński\*,  
U. Ostaszewska\*, Dariusz Bieliński\*

## Kompozyty termoplastyczne dewulkanizatu terpolimeru etyleno- wo-propylenowo-dienowego z polipropylenem izotaktycznym

*W artykule przedstawiono technologię produkcji kompozytów termo-elastoplastycznych poprzez jednoczesną dewulkanizację odpadów gumowych i ich reaktywne mieszanie z polimerem termoplastycznym za pomocą współbieżnej wylączarki dwuślimakowej zaprojektowanej i wykonanej w Instytucie IMPIB. Na podstawie przeprowadzonych prób dokonano optymalizacji parametrów procesu.*

*Otrzymano kompozyty termoplastyczne dewulkanizatu EPDM/PP o szerokim spektrum twardości, niewymagające wulkanizacji, kształtowane w procesie wytłaczania metodami stosowanymi w przetwórstwie tworzyw sztucznych. Kompozyty mogą być poddawane granulacji i powtórnie przetwarzane. Materiał może być stosowany do produkcji detali dla przemysłu motoryzacyjnego, nawierzchni sportowych, elementów antywibracyjnych, konfekcji drogowej, rur i węży nawadniających.*

**Słowa kluczowe:** dewulkanizacja, wytłaczanie, kompozyt termoplastyczny

## Thermoplastic composites of devulcanizate of ethylene-propylene- -diene terpolymer with isotactic polypropylene

*The present paper is related to technology of production of thermo-elastic composites through simultaneously devulcanization of rubber wastes and their reactive mixing with thermoplastic polymer in co-rotating twin-screw extruder. The prototype of machinery was designed and made at Institute for Engineering of Polymer Materials & Dyes.*

*On the basis of conducted tries the process was optimized. Thermoplastic composites of EPDM devulcanizate with PP were obtained in a wide spectra of hardness. These composites do not require vulcanization and can be processed with methods commonly used for plastics. The composites can be regranulated and reused. Such materials can be exploited in production of automotive parts, sport surfaces, antivibration systems, road confection, pipes or tubes.*

**Key words:** devulcanization, extrusion, thermoplastic composite

### I. Wstęp

W ramach projektu badawczego nr 20802903 opracowano technologię dewulkanizacji miazgi gumowego za pomocą współbieżnej wylączarki dwuślimakowej zaprojektowanej i wykonanej w Instytucie IMPIB. Charakterystykę wylączarki, sposób dewulkanizacji miazgi gumowego oraz właściwości dewulkanizatu przedstawiono w poprzednim artykule [1]. Otrzymany w tym procesie produkt może być stosowany jako dodatek do mieszanek gumowych zastępując częściowo elastomer.

Zastosowana przez nas technologia daje również możliwość produkcji termoplastycznych kompozytów z wykorzystaniem odpadowej gumy z kauczuku EPDM poddanej dewulkanizacji. W trakcie tego procesu wraz z miazgą gumowym wprowadza się do wylączarki izotaktyczny polipropylen (iPP) w temperaturze, w której prowadzona jest dewulkanizacja i w tych warunkach

powstaje materiał termoplastyczny. Naprężenia ścinające i podwyższona temperatura, w jakiej prowadzi się proces dewulkanizacji, powodują pękanie wiązań sieci przestrzennej kauczuku w kierunku prostopadłym do kierunku ścinania [2]. Polimer termoplastyczny wprowadzony do wylączarki w wysokiej temperaturze, w wyniku częściowego stapiania przede wszystkim fazy amorficznej, działa jak środek smarujący i spęczniający kauczuk, umożliwiając zwiększenie szybkości obrotów ślimaka i ułatwiając kontrolowanie temperatury w wylączarce. Makrorodniki powstające na skutek działania sił ścinających na sieć dewulkanizatu i fazę krystaliczną polimeru termoplastycznego ulegają rekombinacji podwyższając w ten sposób „kompatybilność” fazową kompozytu, co w konsekwencji daje materiał mikroheterogeniczny o lepszych właściwościach mechanicznych.

Opisane wyżej zjawiska uwzględniono w naszych badaniach, których celem było opracowanie skutecznej i łatwej do wdrożenia technologii wytwarzania termoplastycznych kompozytów EPDM/iPP z wykorzystaniem wykonanego w Instytucie IMPIB prototypu urządzenia produkcyjnego. Inspiracją do podjęcia prac w tym kierunku były opisane wcześniej w literaturze przedmiotu

\* Instytut Inżynierii Materiałów Polimerowych i Barwników, Oddział Zamiejscowy Elastomerów i Technologii Gumy, Piastów

doświadczenia z wykorzystaniem urządzeń laboratoryjnych [3 – 6] i układów modelowych [17].

## 2. Część doświadczalna

### 2.1. Urządzenia

Podstawą prac doświadczalnych było zaprojektowanie i wykonanie w Instytucie Inżynierii Materiałów Poli-merowych i Barwników IMPiB prototypu współbieżnej wylączarki dwuślimakowej przeznaczonej do dewulkanizacji odpadów gumowych. Jej cechą charakterystyczną jest konstrukcja ślimaków zapewniająca naprężenia w poszczególnych strefach cylindra. Charakterystykę wylączarki podano we wcześniejszej pracy [1]. Do celów niniejszej pracy, urządzenie zostało dodatkowo wyposażone w wannę chłodzącą i granulator, również

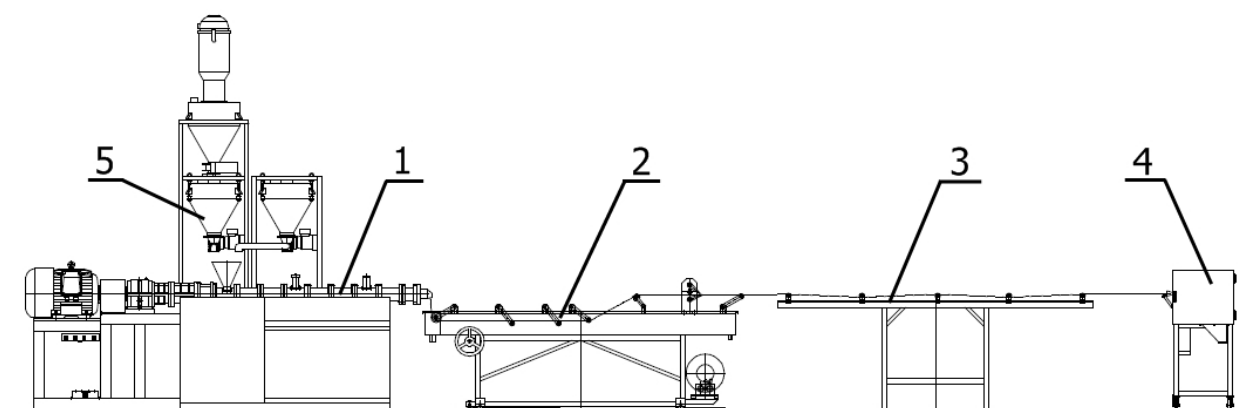
wykonane w Instytucie IMPiB. Schemat linii wylączania przedstawiono na rys. 1.

### 2.2. Materiały

— Polipropylen izotaktyczny (iPP): Moplen EP440G (prod. Basell Orlen);  $M_n$ : 50 000, wskaźnik płynięcia: 2,12 (190 °C × 5 kg × 10 min)

— Guma z kauczuku EPDM pochodząca od dwóch różnych dostawców; próbki oznaczono odpowiednio jako: Granulat EPDM-W i Granulat EPDM-GH. W obu przypadkach były to rozdrobnione odpady poprodukcyjne z uszczelek szyb samochodowych wytwarzanych na bazie kauczuku etylenowo-propylenowego (EPDM). Charakterystykę granulatów podano w tabeli 1.

Jak widać z tabeli, granulaty mają zbliżony skład chemiczny, a różnią się głównie stopniem rozdrobnienia.



Rys. 1. Schemat linii do wytwarzania kompozytów: 1 – wylączarka dwuślimakowa współbieżna, 2 – wanna chłodząca z osuszaczem, 3 – stół prowadzący żyłki, 4 – granulator, 5 – dozownik gravimetryczny surowca

Fig. 1. Scheme of the line for production of composites: 1 – co-rotating twin-screw extruder; 2 – cooling bath with a dryer; 3 – table conducting composite threads, 4 – granulator; 5 – gravimetric feeder

Tabela 1. Charakterystyka granulatów EPDM użytych do badań

Table 1. Characteristics of used EPDM granulates

Granulacja w [mm] wg PN-EN 933-1	Granulat-GH	Granulat-W
>1,25 mm, %	22,3	0
1,25-1,00; %	7,1	0
1-0,71; %	11,3	0,1
0,71-0,5; %	11,7	1,4
<0,5; %	47,6	98,5
Skład chemiczny [% wag.]		
Zawartość polimerów*	27,9	33,2
Małocząsteczkowe* substancje organiczne	27,7	26
Zawartość sadzy*	21,6	25,2
Zawartość popiołu	22,8	15,6
Ekstrakt acetonowy	26,7	20,1

\*oznaczona metodą termogravimetryczną

### 2.3. Metodyka badań

#### Dewulkanizacja gumy z kauczuku EPDM

W celu ustalenia parametrów wylączania i dewulkanizacji określono optymalne warunki pracy wylączarki: rozkład temperatury w poszczególnych strefach cylindra, szybkość obrotów ślimaka i szybkość zasilania. Przeprowadzono próbę dewulkanizacji obydwu granulatów i zbadano właściwości otrzymanych produktów. Dewulkanizat granulatu GH, o wyższej zawartości cząstek o większych rozmiarach i mniejszej zawartości kauczuku, charakteryzował się gorszymi właściwościami – tabela 2.

#### Próby dewulkanizacji z jednoczesnym dodawaniem iPP

Obydwa składniki dozowano automatycznie z dozowników, w jakie została wyposażona wylączarka.

#### Badanie kompozytów

Otrzymane kompozyty o różnej zawartości iPP/EPDM poddawano następującym badaniom:

— oznaczanie wskaźnika płynięcia (190 °C × 5 kg × 10 min),

Tabela 2. Właściwości dewulkanizatów g-EPDM-GH i g-EPDM-W  
 Table 2. Properties of devulcanizates g-EPDM-GH and g-EPDM-W

Właściwości	EPDM-GH	EPDM-W	Metoda oznaczania
Lepkość wg Moneya ML(1+4)x100	48	39	PN-ISO 289-1
Ekstrakt acetonowy, %	15,2	13,5	PN-92/C04219, met. A
Zawartość zolu, %	29,2	32,7	PN-78/C-05053
Stopień dewulkanizacji, %	28	31	[1]
Reometr Monsanto, 160 °C			PN-ISO 3417
$\Delta M$ , dNm	61	58	j. w.
$t_{s2}$ , min	1,05	0,96	
$t_{90}$ , min	15,7	12,5	j. w.
Właściwości fizyczne			
TS <sub>b</sub> , MPa	5,5	7,2	PN-ISO 37:2007
E <sub>b</sub> , %	185	161	PN-ISO 37:2007
Wytrzymałość na rozdieranie, kN/m	7,8	8,1	PN-ISO 34-1:2007, met. B
Twardość, Sh A	59	61	PN-80/C -04238

- oznaczanie zawartości fazy krystalicznej metodą różnicowej kalorymetrii skaningowej (DSC),
- oznaczanie temperatury przemian fazowych i wielkości modułów dynamicznych metodą dynamicznej analizy termomechanicznej (DMTA),
- badanie morfologii kompozytów za pomocą skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM),
- badanie właściwości fizycznych kompozytów: wytrzymałości na rozciąganie (TS<sub>b</sub>), wydłużenia względnego przy rozciąganiu (E<sub>b</sub>), wytrzymałości na rozdieranie i twardości (H), odkształcenie trwałe, odporności na starzenie termiczne.

Badania te prowadzono zgodnie z obowiązującymi normami PN-ISO.

## 2.4. Wyniki badań i dyskusja

### Dewulkanizacja EPDM

Proces dewulkanizacji prowadzono analogicznie jak w przypadku miazgi gumowego z opon stosując odpowiednio wyższą temperaturę w poszczególnych strefach cylindra wylączarki. Rozkład temperatury podano na rys 2.

Dewulkanizaty po zhomogenizowaniu na walcach i wprowadzeniu zespołu sieciującego (ZnO 2,5; TMTD 0,5; MBT 0,3 ZDBC 0,5; siarka 1,5 cz. wag./100 cz. wag. kauczuku) poddawano ponownej wulkanizacji.

Właściwości dewulkanizatów g-EPDM-GH i g-EPDM-W podano w tabeli 2.

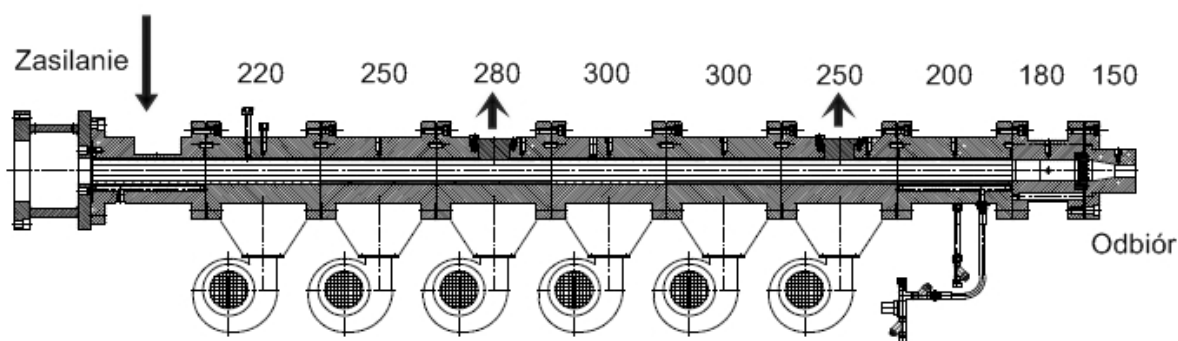
Z danych zamieszczonych w tabeli 2 wynika, że granulaty EPDM-W po dewulkanizacji daje materiał o lepszych właściwościach niż granulaty EPDM-GH. Mimo zbliżonego składu chemicznego granulaty te różnią się stopniem rozdrobnienia i wydaje się, że ten właśnie parametr decyduje o lepszych właściwościach dewulkanizatu.

### Kompozyty dewulkanizatów EPDM z iPP

Metodą SEM zbadano morfologię otrzymanych za pomocą wylączarki kompozytów iPP/EPDM.

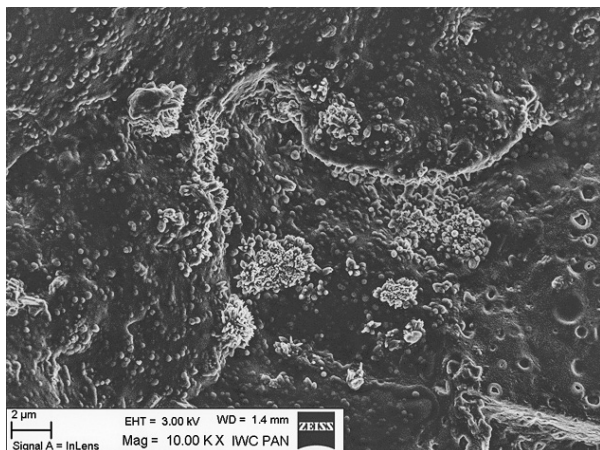
Na zdjęciach (rys. 3-5) przedstawiono obrazy mikroskopowe kompozytów iPP/EPDM o składzie odpowiednio: 20/80, 50/50, 80/20. Można na nich wyróżnić obszary krystaliczne, ale nie pochodzące od PP.

Na rys. 3(b) pokazano przy większym powiększeniu charakterystyczną dla tych kompozytów „wyspę” o budowie regularnych kryształitów, najprawdopodobniej

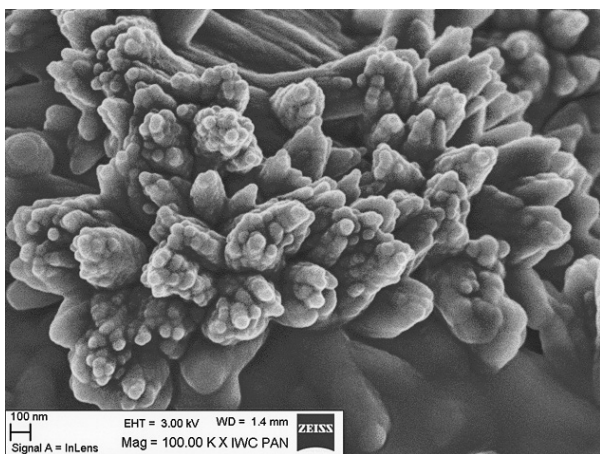


Rys. 2. Rozkład temperatury w cylindrze wylączarki, °C  
 Fig. 2. Temperatures in the cylinder of the extruder, °C

a)



b)

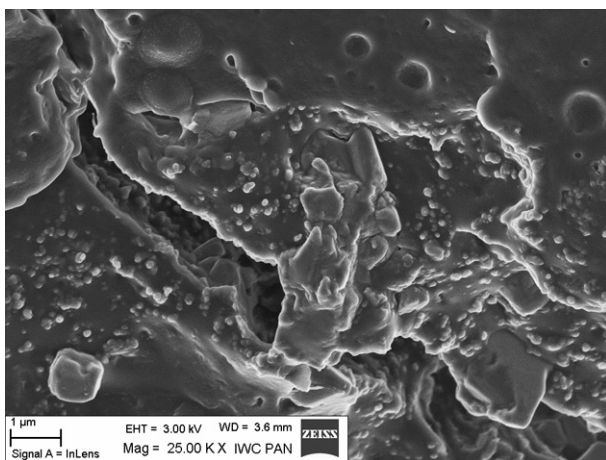


Rys. 3. (a) Kompozyt PP/EPDM 20/80, SEM, 10.00KX,

(b) Kompozyt PP/EPDM 20/80, SEM, 100.00KX

Rys. 3. (a) Composite PP/EPDM 20/80, SEM, 10.00KX,

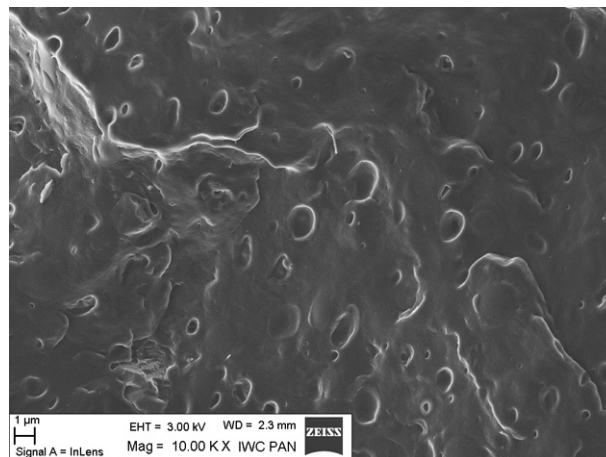
(b) Composite PP/EPDM 20/80, SEM, 100.00KX



Rys. 4. Kompozyt PP/EPDM 50/50, SEM, 25.00KK

Fig. 4. Composite PP/EPDM 50/50, SEM, 25.00KK

pochodzących od tlenku cynku wchodzącego w skład granulatu gumowego. Domeny polipropylenu są bardzo

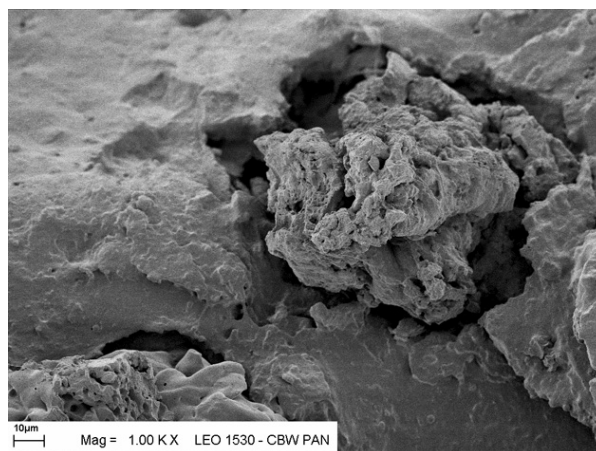


Rys. 5. Kompozyt PP/EPDM 80/20, SEM, 10.00KX

Fig. 5. Composite PP/EPDM 80/20, SEM, 10.00KX

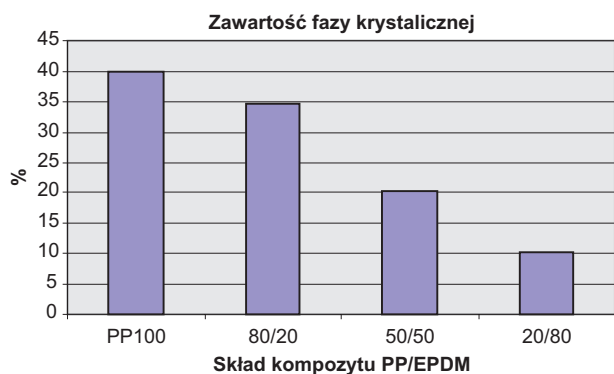
dobrze zdyspergowane w środowisku dewulkanizatu. Należy pamiętać, że w gumie oprócz kauczuku znajdują się napełniacze, środki sieciujące i inne substancje. Kryształy, uwidocznione na zdjęciach SEM, występują niezależnie od zawartości iPP w kompozycie. Warto podkreślić, że kompozyty otrzymane w procesie dewulkanizacji są dobrze zhomogenizowane, na zdjęciach SEM nie obserwuje się rozdziału faz, w odróżnieniu od obrazu mieszanki kauczukowej z dodatkiem niepoddawane go dewulkanizacji miazgi gumowego (rys. 6), gdzie wyraźnie widoczna jest cząstka miazgi oddzielona od fazy polimerowej.

Zawartość fazy krystalicznej w kompozytach obliczono na podstawie ciepła topnienia próbek o różnym składzie iPP/EPDM, oznaczonego za pomocą różnicowej kalorymetrii skaningowej (DSC). Temperatury przemian fazowych oraz moduły sprężystości  $M''$  i  $M'$  oraz  $\tan \delta$  wyznaczono z krzywych termomechanicznych uzyskanych z DMTA.



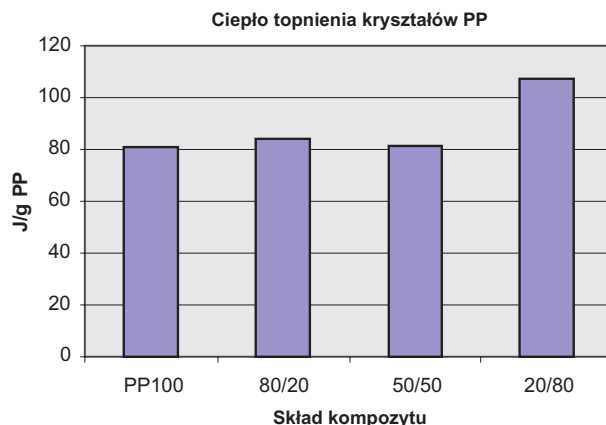
Rys. 6. Mieszanka gumowa z dodatkiem miazgi gumowego niepoddanej dewulkanizacji

Fig. 6. Rubber compound with addition of non-devulcanized rubber powder



Rys. 7. Zawartość fazy krystalicznej w kompozytach PP/EPDM

Fig. 7. Contents of crystalline phase in PP/EPDM composites



Rys. 8. Ciepło topnienia fazy krystalicznej w kompozytach PP/EPDM w przeliczeniu na 1g PP

Fig. 8. Melting heat of crystalline phase in PP/EPDM composites (per 1g of PP)

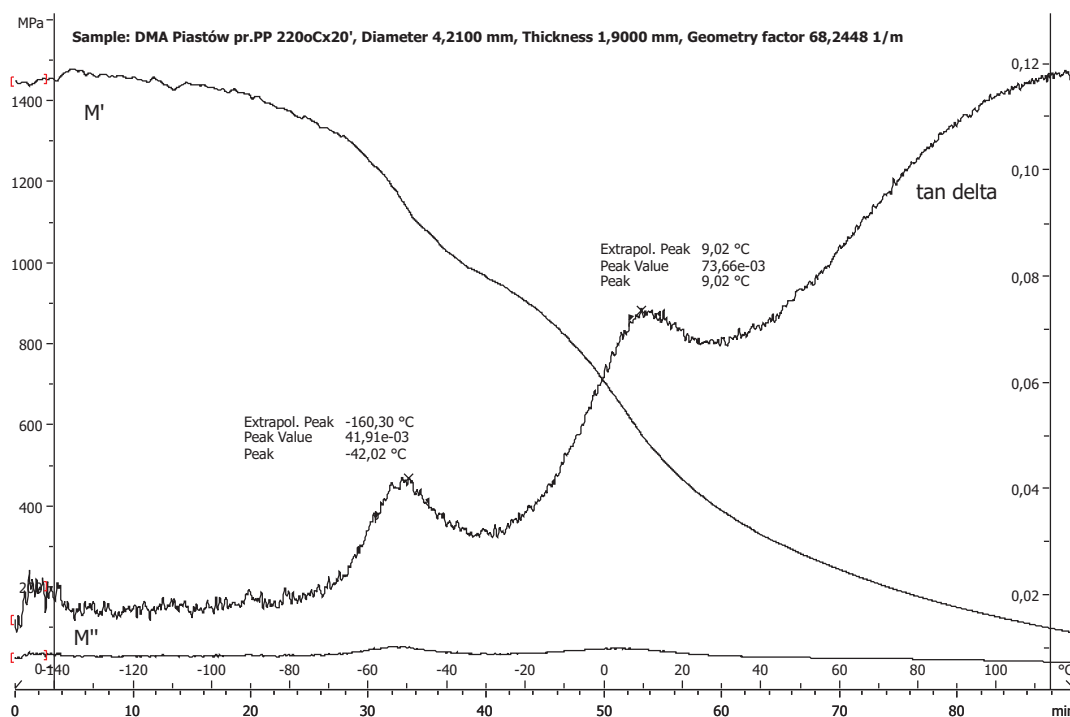
Zawartość fazy krystalicznej w badanych materiałach pokazano na rys. 7, natomiast na rys. 8 przedstawiono wartości ciepła topnienia fazy krystalicznej iPP w przeliczeniu na 1 g plastomeru obecnego w kompozycie.

Można zauważyć, że ciepło właściwe topnienia ( $Cr$ ) układu iPP/EPDM 20/80 jest wyższe niż pozostałych kompozytów, co wskazywałoby na bardziej regularną strukturę fazy krystalicznej polipropylenu w tym przypadku. Możliwe, że amorficzny kauczuk, powstający w procesie dewulkanizacji solwuje część fazy krystalicznej iPP o mniej regularnej budowie.

Obecność fazy krystalicznej w kompozytach świadczy o tym, że mamy do czynienia z układem dwufazowym, zatem większe ciepło topnienia w przypadku ukła-

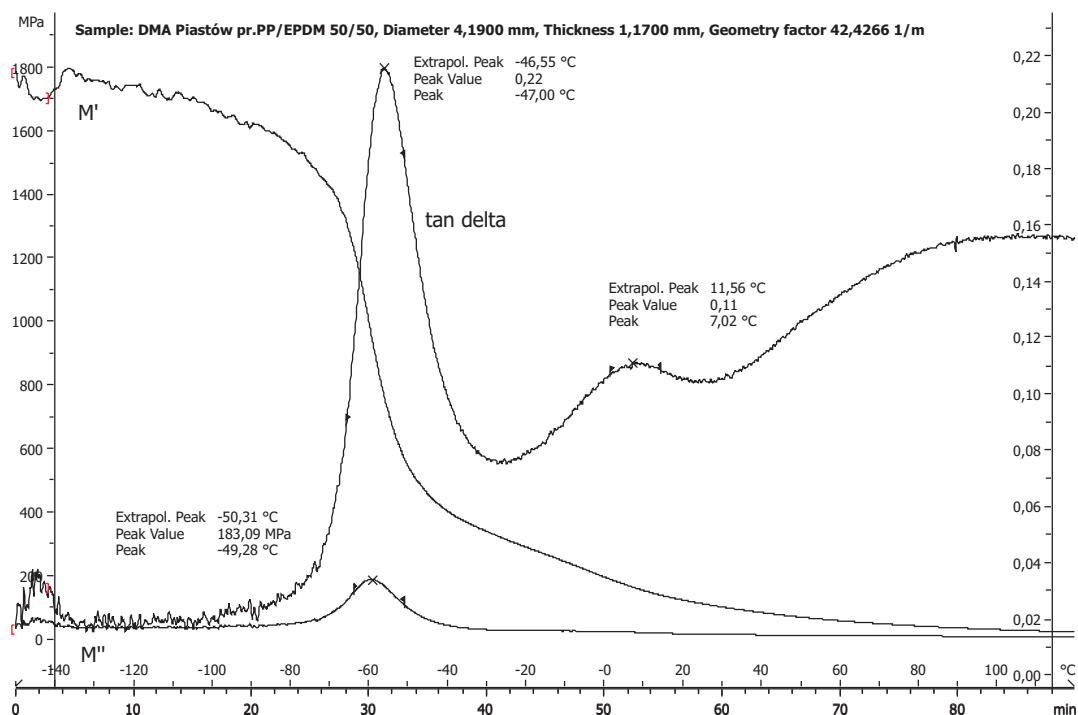
du iPP/EPDM 20/80, w którym fazą ciągłą jest dewulkanizat, może również wskazywać na istnienie oddziaływań międzyfazowych w warstwie granicznej. Jest to bardziej prawdopodobne, zważywszy na niższą temperaturę topnienia fazy krystalicznej obecnej w kompozytach niż w samym iPP (tabela 3).

Na rys. 9-11 przedstawiono wykresy DMA próbek iPP (rys.9), kompozytu 50/50 (rys.10) i dewulkanizatu EPDM (rys.11), a w tabeli 3 podano temperatury przemian fazowych ( $T_1$  – temperatura zeszczenia,  $T_2$  – temperatura przemiany polimorficznej PP,  $T_3$  – temperatura topnienia fazy krystalicznej kompozytów PP/EPDM) oznaczone metodami DMTA i DSC.



Rys. 9. Wykres DMA, próbka iPP

Fig. 9. DMA graph, iPP sample



Rys. 10. Wykres DMA, próbka kompozytu 50/50 EPDM/PP  
Fig. 10. DMA graph, sample of EPDM/PP composite (50/50)

Tabela 3. Temperatury przemian fazowych w kompozytach PP/EPDM oznaczane metodą DMTA:  $T_1$  – temp. zeszklenia,  $T_2$  – przemiana polimorficzna PP;  $T_3$  – temp. topnienia fazy krystalicznej (oznaczona metodą DSC)  
Table 3. Temperatures of phase conversions in PP/EPDM composites determined with DMTA:  $T_1$  – glass temp.,  $T_2$  – polymorphic change of PP;  $T_3$  – melting temp. of crystalline phase (determined by DSC method)

Skład kompozytu	$T_1$	$T_2$	$T_3$
PP 100-proc.	-42	9	170
PP/EPDM 80/20	-41	7	168
PP/EPDM 50/50	-47	11	167
iPP/EPDM 20/80	-42	10	167
EPDM 100-proc.	-36	brak	brak

Wszystkie próbki, zarówno 100-proc. PP, jak i 100-proc. dewulkanizat EPDM oraz poszczególne kompozyty wykazują wyraźny pik wartości  $\tan \delta$  w temperaturze od  $-36$  do  $-47^\circ\text{C}$ . Kompozyty charakteryzują się niższą temperaturą zeszklenia  $T_1$ , zbliżoną do temperatury zeszklenia PP. Kompozyt PP/EPDM 50/50 ma najniższą wartość  $T_1$ , niższą nawet niż iPP.

Z pomiarów DMTA odczytano wartości modułów sprężystości ( $M'$ ) i stratności ( $M''$ ) w temperaturze  $20^\circ\text{C}$ , odpowiadającej typowej temperaturze eksploatacji tych materiałów. Wyniki przedstawiono na wykresach (rys. 12 i 13).

Wartości modułów  $M''$  i  $M'$  w temperaturze pokojowej polipropylenu są zdecydowanie najwyższe, jednak zmniejszają się wraz ze wzrostem zawartości dewulkani-

zatu EPDM w badanych kompozytach. Zmiany te nie są jednak addytywne.

Można zauważyć, że dodatek 20 cz. wag. iPP do dewulkanizatu EPDM oraz 20 cz. wag. EPDM do iPP nie wpływa znacząco na właściwości kompozytu. O właściwościach decyduje składnik stanowiący matrycę.

Wyniki oznaczenia wskaźnika płynięcia badanych kompozytów w zależności od ich składu przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Wyniki oznaczenia wskaźnika płynięcia badanych kompozytów

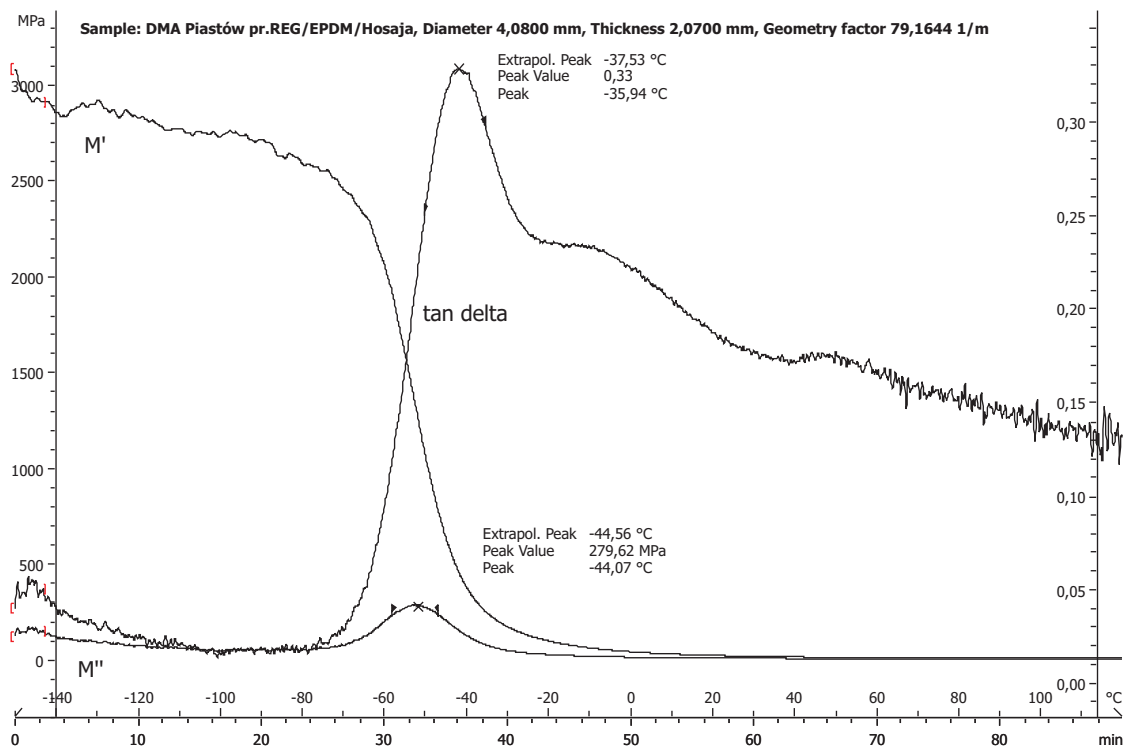
Table 4. Flow index determined for the investigated composites

EPDM / PP	100/0	80/20	50/50	20/80	0/100
Wskaźnik płynięcia 10min×190°C×5kg	—	0,81	1,97	2,00	2,12

Wraz ze wzrostem zawartości iPP w kompozytach zmniejsza się ilość frakcji małowcząsteczkowej ekstrahowalnej acetonem, wyraźnie spada zawartość zolu i zmniejsza się pęcznienie równowagowe (tabela 5), co wskazuje na to, że poprawia się kompatybilność składników kompozytu.

W tabeli 6 obok wyników badań własnych przedstawiono właściwości podobnych produktów prezentowanych przez szwedzką firmę EcoRub AB na konferencji ETRA w marcu 2009 [7].

Właściwości otrzymanych kompozytów przedstawione w tabeli 5 są charakterystyczne dla elastomerów termoplastycznych. Wraz ze wzrostem zawartości iPP



Rys. 11. Wykres DMA, próbka dewulkanizatu EPDM

Fig. 11. DMA graph, sample of EPDM devulcanizate

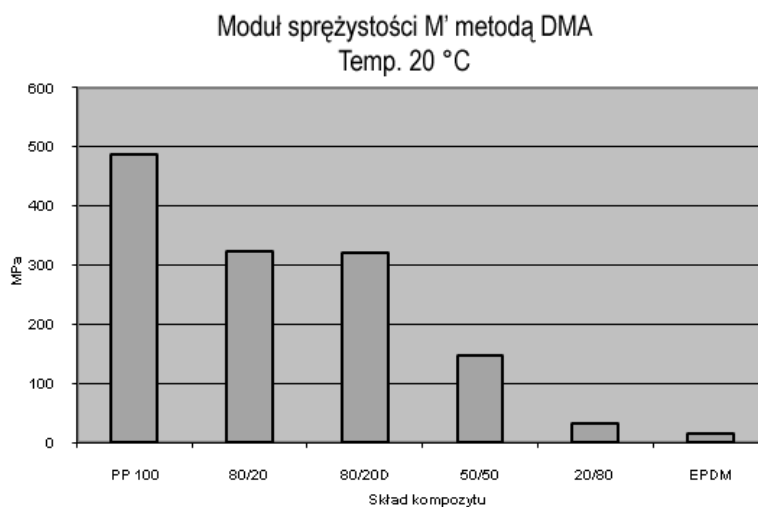
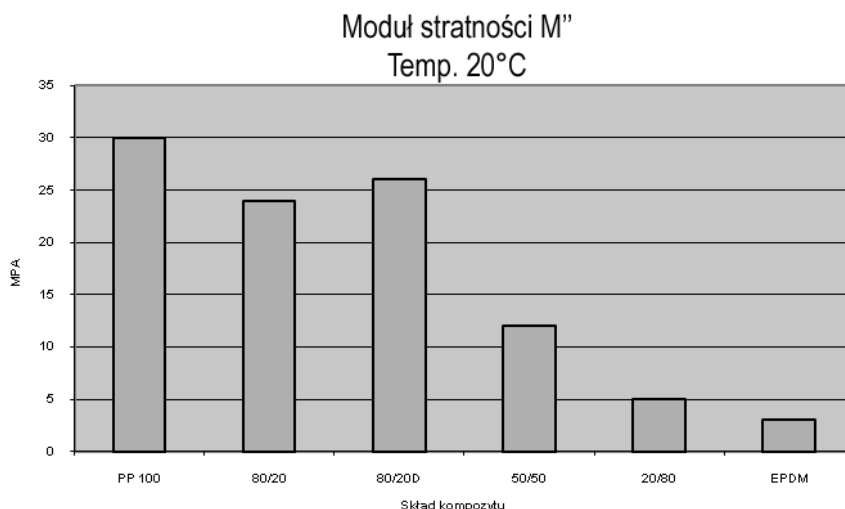
Rys. 12. Zależność modułu sprężystości ( $M'$ ) kompozytów PP/EPDM od ich składu, oznaczenia metodą DMAFig. 12. Dependence of elastic modulus ( $M'$ ) of PP/EPDM composites from their composition, determined by DMA

Tabela 5. Analiza chemiczna badanych kompozytów

Table 5. Chemical analysis of the investigated composites

EPDM / PP	100/0	80/20	50/50	20/80	0/100
Ekstrakt acetonowy, %	13,5	7,1	1,7	0,6	0,02
Pęcznienie równowagowe, %, toluen 48 h, temp. pokojowa	2,38	1,565	0,952	0,320	n.o
Frakcja żolowa, % (toluen)	32,7	16,7	9,3	0,457	n.o
Frakcja żolowa po ekstrakcji acetonem, %	24,2	13,8	7,8	2,4	n.o



Rys. 13. Zależność modułu stratności ( $M''$ ) kompozytów PP/EPDM od ich składu, oznaczenia metodą DM  
Fig. 13. Dependence of loss modulus ( $M''$ ) of PP/EPDM composites from their composition, determined by DMA

Tabela 6. Właściwości badanych kompozytów w porównaniu z produktami innych firm  
Table 6. Properties of the investigated composites in comparison with other products

EPDM/PP	100\0	80/20	EE442	50/50	EE730	20/80	0/100
Gęstość, g/cm <sup>3</sup>	1,26	1,24	1,03	1,0	1,08	0,95	0,90
TS <sub>b</sub> , MPa	7,2	9,3	6,2	16,0	5,0	18,5	21,3
E <sub>b</sub> , %	263	223	137	123	172	98	80
Wytrzymałość na rozdzieranie, kN/m	8,1	45	53	105	35	116	110
Twardość, Sh A/D	59-A	82/34	90	88/54	80	90/66	n.o.
Starzenie 100°C x 144 h lub [70°C x 168 h], $\Delta$ TS <sub>b</sub> , %	+2	+7,5	[+8]	+3,8	[+7]	+1,6	n.o.
$\Delta$ E <sub>b</sub> , %	-5	-3	[+14]	-21	[10]	-66	n.o.
$\Delta$ H, Sh A	+1	[+2]	[-4]	0	[-1]	+1	n.o.

wykazują mniejszą gęstość (mniej materiału zużywa się do produkcji określonych wyrobów), wyższą wytrzymałość na rozciąganie i znacznie większą wytrzymałość na rozdzieranie. Po starzeniu przez 144 h w temperaturze 100°C wytrzymałość na rozciąganie i twardość zmieniają się nieznacznie, jedynie dla układu 20/80 EPDM/iPP odnotowano znaczną zmianę wydłużenia przy rozciąganiu. Produkty firmy EcoRub AB wykazują gorsze właściwości użytkowe niż kompozyty otrzymywane przez nas: charakteryzują się niższą wytrzymałością na rozciąganie i wyraźnie gorszą wytrzymałością na rozdzieranie.

Kompozyty iPP/EPDM poddano granulacji i granulata (rys. 14) użyto ponownie jako termoplast, z którego wytłoczono taśmę (rys. 15).

Taśma z granulatu iPP/EPDM 50/50 (rys. 15) miała wytrzymałość na rozciąganie 15 MPa, tj. nie mniejszą niż produkt otrzymany w procesie pierwotnym.

Istotne jest odniesienie zastosowanej metody otrzymywania kompozytów (dewulkanizacja połączona z jednoczesnym reaktywnym mieszaniem w wylączarce

dwuślimakowej) do opisanej w literaturze technologii dwuetapowej [9,10], polegającej na wprowadzeniu wysoko rozdrobnionego granulatu gumowego, z dodatkiem reagentów uwalniających wolne rodniki, do polipropylenu w fazie stopionej i reaktywnym mieszanin w temperaturze 180 – 200 °C.

W przeprowadzonych eksperymentach z dodatkiem nadtlenu dikumylu (Di-Cup 40C) lub nadtlenu bis(tert-butyloperoksy-diizopropylu)benzenu (Perkadox14/40) nie uzyskano jednak znaczącej poprawy właściwości kompozytu.

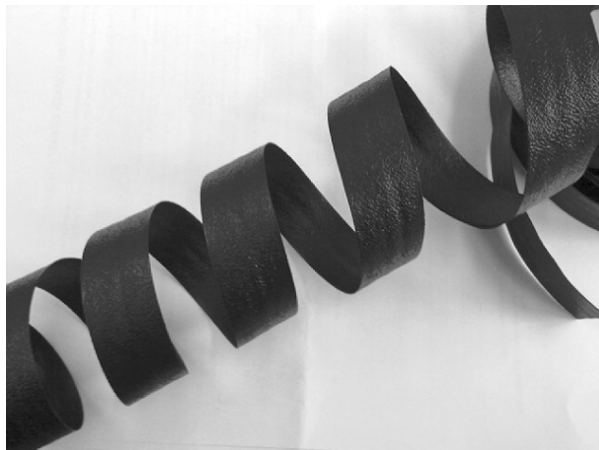
Uznano więc, że w celu przeniesienia technologii do warunków produkcyjnych lepszym rozwiązaniem jest zastosowanie metody jednoczesnej dewulkanizacji i mieszania w wylączarce dwuślimakowej.

W procesie dewulkanizacji zostaje zniszczona ziarzysta struktura granulatu. W efekcie uzyskuje się przenikające się wzajemnie fazy ciągłe na poziomie mikroskopowym, co widać na zdjęciach SEM, i w efekcie otrzymuje się kompozyt bardziej jednorodny. Eliminuje





Rys. 14. Granulat EPDM/PP (50/50)  
Fig. 14. EPDM/PP granulate (50/50)



Rys. 15. Taśma wytłoczona z granulatu EPDM/PP (50/50)  
Fig. 15. Tape extruded with EPDM/PP granulate (50/50)

się w ten sposób problem chropowatości powierzchni wyrobów spowodowany występowaniem zwulkanizowanych makroskopowych cząstek granulatu w masie i na powierzchni wyrobu. Wada ta jest często przeszkodą w stosowaniu takich materiałów do wyrobów przeznaczonych dla motoryzacji.

Inną zaletą proponowanej technologii jest jej prostota i niski koszt ze względu na wyeliminowanie dodawania

dodatkowych substancji chemicznych oraz łatwa kontrola procesu.

### 3. Podsumowanie

Z przeprowadzonych badań wynika, że w wyniku jednoczesnej dewulkanizacji miazgi gumowej z EPDM i mieszania go z iPP we współbieżnej wylączarce dwuślimakowej można otrzymać kompozyty termoplastyczne o jednorodnej budowie i zadowalających właściwościach mechanicznych.

Mikroheterogeniczna morfologia materiałów przejawia się w gładkiej powierzchni wyrobów oraz wytrzymałości mechanicznej kompozytów dochodzącej do kilkunastu MPa i wytrzymałości na rozdzielanie rzędu 100 KN/m. Tak dobre właściwości mechaniczne najprawdopodobniej są efektem solwatacji fazy krystalicznej polipropylenu przez amorficzną matrycę kauczukową i wzrostu oddziaływań na granicy faz plastomer-elastomer. Dzięki tym oddziaływaniom nie jest konieczne stosowanie nadtlenków i kowulkanizacji dynamicznej w celu uzyskania kompozytu o naturze elastomeru termoplastycznego.

### Literatura

1. Parasiewicz W., Mężyński J., Niciński K., Ostaszewska U., Bieliński D., „Recykling gumy poprzez dewulkanizację – teoria i praktyka”, *Elastomery* 2011, **15**, nr 1, s. 16.
2. Fukumori K., Matsushita M., *Material recycling technology for crosslinked waste*, *Tech. J. RPD Rev. of Toyota*, **38**, 39, 2000.
3. Verburggen M.A.L., Van Der Does L., Noordermeer J.W.M., Van Duin M., Manuel H.J., *Rubb. Chem. Technol.* 1999, **72**, 731.
4. Sutanto P., Picchioni F., Janssen L.P.B.M., *J. Appl. Polym. Sci.* 2006, **102**, 5028.
5. Sutanto P., Picchioni F., Janssen L.P.B.M., Dijkhuis K.A., Dierkes W.K., Noordermeer J.W.M., *J. Appl. Polym. Sci.* 2006, **102**, 5948.
6. Mouri M., Okamoto H., Matsushita M., Honda H., Nakashima K., Takeuchi Y., Suzuki Y., Owaki M., *Int. Polym. Sci. Technol.* 2000, **27**, T/ 12,17,23.
7. Sutanto P., Picchioni F., Janssen L.P.B.M., *Chem. Eng. Sci.* 2006, **61**, 7077.
8. Paulsson A. „EcoRub Recycling” referat wygłoszony na 17 Konferencji Międzynarodowej ETRA, 17-10. 04.2010, Bruksela ([www.ekorub.se](http://www.ekorub.se)).
9. Jalivang A.R., Ghasemi I., Karrabi M., Azizi H., *Iranian Polymer Journal* 2007, **15**, (5), 327.
10. „Thermoplastic elastomers and derived from recycled rubber and plastic”, *patent amerykański US6,573,303 B2 ustanowiony 21.09 2001.*