

VIII Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2014

Jan BURSA¹, Zenon TARTAKOWSKI², Jolanta JANIK³

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Katedra Elektrotechnologii i Diagnostyki (1)
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Instytut Inżynierii Materiałowej (2)
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Instytut Polimerów (3)

Właściwości elektryczne materiałów z recyklatów tworzyw termoplastycznych

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań wybranych właściwości elektrycznych materiałów wytworzonych z mieszaniny recyklatów termoplastów takich jak PE, PS, PP, PET. Celem poprawy homogenizacji mieszaniny polimerowej zastosowano kompatybilizator i analizowano jego wpływ na badane właściwości elektryczne, mechaniczne oraz przetwórcze. Przeprowadzono proces starzenia kompozytów w klimacie WGS i określono właściwości materiałów po okresie 9 tygodni. Problem technicznego wykorzystania recyklatów stał się ważny w sytuacji powszechnego segregowania odpadów. Analiza otrzymanych wyników badań wykazała, że materiał może mieć zastosowanie na wyroby elektrotechniczne pracujące w zakresie niskich i średnich napięć.

Słowa kluczowe: recykling, właściwości elektryczne kompozytów, starzenie

Wprowadzenie

Wyzwaniem dla nauki i przemysłu w nadchodzących czasach jest racjonalne zagospodarowanie powstających odpadów stanowiących poważne zagrożenie dla środowiska, a jednocześnie będących źródłem surowców dla ponownego wykorzystania. Wymogi zrównoważonego rozwoju gospodarczego świata nakładają na wszystkich obowiązek oszczędności surowców kopalnianych oraz wykorzystania innych pozyskiwanych surowców. Surowcami takimi są odpowiednio przetworzone odpady. Jak wynika z informacji literaturowych tylko 7-10% powstających odpadów poddawane jest recyklingowi, z 10-15% odpadów wytwarza się paliwa alternatywne (RDF), zaś pozostałe odpady podlegają składowaniu [1]. Najlicniejszą grupę odpadów stanowią poużytkowe opakowania (35% wszystkich tworzyw polimerowych jest stosowana na opakowania), ponieważ w większości są to wyroby jednorazowego użytku. W odpadach tych znaczny udział stanowią wyroby z PET-u, PS, PP, PE, PVC oraz z wielomateriałów, np. folii barierowych PA-PE, PET-PE. Wyselekcjonowanie tych materiałów ze strumienia odpadów oraz wytworzenie z nich materiałów o zdefiniowanych i powtarzalnych właściwościach jest jednym z podstawowych zadań, którym zajmuje się szereg firm i zespołów naukowych w kraju i zagranicą. Problemem jest również i to, że materiałów tych z wielu względów nie można ponownie użyć na wyroby opakowaniowe, stąd istnieje konieczność poszukiwania dla nich innych aplikacji np. na wyroby techniczne.

Przedstawiona praca dotyczy problematyki wykorzystania tworzyw polimerowych z odpadów opakowaniowych, przy czym materiał podstawowy odpowiada składowi nieposortowanych odpadów polimerowych – mieszanina PET, HDPE, LDPE, PP, PS. Materiały te są względem siebie niekompatybilne, stąd ich mieszanina jest w większości niehomogenna. Ich wielofazowa struktura z wyraźną granicą poszczególnych faz ma istotny wpływ na właściwości wytworzonego materiału. Jest przyczyną pogorszenia

właściwości elektrycznych, mechanicznych, przetwórczych oraz eksploatacyjnych. Właściwości materiału nie wykazują efektu synergii wynikającego z właściwości poszczególnych materiałów będących składnikami mieszaniny a są one nieprzewidywalne i zróżnicowane w poszczególnych obszarach. Takie zróżnicowanie powoduje brak zdefiniowania oraz powtarzalności właściwości. Wcześniejsze badania materiałów wielofazowych wykazały, że na granicy faz następuje największe osłabienie materiału pod względem elektrycznym (np. wytrzymałość elektryczna, oporność skrośna) [2,3]. Poprzez wprowadzenie kompatybilizatora do układu składników, które są względem siebie termodynamicznie niemieszalne, następuje wytworzenie „słojów” międzyfazowych na granicy faz poszczególnych składników. W wytworzonej pomiędzy fazami warstwie zachodzi proces wzajemnej penetracji łańcuchów polimerowych, a w konsekwencji zwiększenie stabilności układu polimerowego. Efektem jest poprawa szeregu właściwości materiału o strukturze wielofazowej. Proces modyfikacji z użyciem kompatybilizatorów jest często opisywany w literaturze oraz znajduje zastosowanie w aplikacjach przemysłowych [3,4,5]. Stąd też w prowadzonych badaniach z użyciem zmieszanych tworzyw polimerowych zastosowano kompatybilizator Kraton FG 1901X. Dla materiałów wielofazowych zmiany właściwości mogą występować również wraz z czasem ich eksploatacji oraz oddziaływaniem czynników biotycznych. Istniejące naprężenia wewnątrz materiału wynikające z niemieszalności termodynamicznej poszczególnych składników oraz procesów przetwórczych ulegają zanikowi co w konsekwencji prowadzi do osłabienia wiązań na granicy poszczególnych faz. Powoduje to w skali mikro nieciągłości materiałowe i pogorszenie właściwości materiału. Stąd też ważne jest określenie zachodzących zmian właściwości materiałów poddanych procesowi ich starzenia w określonym środowisku np. WGS (Wilgotne Gorąco Stałe). Wieloletnie badania materiałów kompozytowych dowiodły, że proces narażania materiałów w podwyższonej wilgotności i temperaturze prowadzi do zmian właściwości elektrycznych oraz mechanicznych materiałów pozwalając na prognozowanie zachowania się materiału podczas długotrwałej eksploatacji. Stąd też w przedstawionej pracy wykazano wybrane właściwości elektryczne materiałów z kompatybilizatorem i bez poddanych procesowi starzenia w klimacie WGS oraz niektóre właściwości mechaniczne i przetwórcze [5,6].

Materiał badawczy i metodyka badań

Przygotowano i zbadano dwa rodzaje wieloskładnikowych mieszanin z polimerów odpadowych o składzie odpowiadającym realnemu składowi odpadów komunalnych:

- a - 25%PET/10%HDPE/45%LDPE/10%PP/10%PS - materiał oznaczono symbolem G1,
- b - 25%PET/10%HDPE/45%LDPE/10%PP/10%PS oraz 5% Kraton FG 1901X na 100% mieszaniny – materiał oznaczono symbolem G2.

Polimery odpadowe otrzymano z trzech zakładów, zajmujących się przetwórstwem i odzyskiem tworzyw sztucznych: „World-Pack” w Szczecinie (PET - przemiał butelkowy, LDPE - przemiał z kontenerów na butelki), „Gryf-Plast” w Szczecinie (LDPE - odpady poprodukcyjne), „Eko-Geminex” w Pabianicach (HDPE, PP i PS - przemiał z odpadów komunalnych). Zastosowany w udziale 5% wag. względem masy użytych polimerów kompatybilizator stanowił kopolimer styren/etylen/butylen/styren

VIII Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2014

(SEBS) funkcjonalizowany bezwodnikiem maleinowym - Kraton FG 1901X, firmy Shell Chemical Co.

Z powyższych materiałów przy użyciu korotacyjnej, ośmiosegmentowej wylączarki dwuślimakowej (ϕ 30 mm, L/D = 32) firmy Mapre wykonano granulaty, który posłużył do wytworzenia metodą wtryskową odpowiednich próbek do badań. Wykonano próbki w kształcie prostokątnym 120 x 100 x 2 do badań właściwości elektrycznych oraz próbki w kształcie wiosełka i beleczki do badań właściwości mechanicznych. Do badań przetwórczych zastosowano materiał w postaci granulatu.

Wykonane materiały poddano badaniom pozwalającym określić wybrane właściwości:

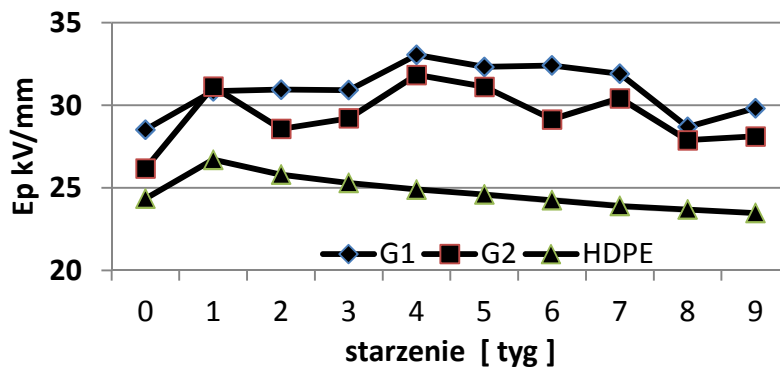
- elektryczne – takie jak wytrzymałość elektryczna, odporność na łuk małej mocy, rezystywność skrośna,
- mechaniczne – takie jak wytrzymałość przy statycznym rozciąganiu, udarność, twardość,
- przetwórcze – takie jak wskaźnik płynięcia, skurcz powtryskowy,
- starzeniowe po narażeniu w klimacie WGS (określenie właściwości elektrycznych oraz mechanicznych).

Przeprowadzono również badania mikroskopowe struktury materiału po procesie homogenizacji oraz zmian na powierzchni materiału po procesach badawczych. Wszystkie badania prowadzono zgodnie z obowiązującymi normami. Przy badaniu odporności na łuk elektryczny oraz przy określeniu kinetyki działania łuku elektrycznego posłużono się metodologią przedstawianą we wcześniejszych publikacjach [7,8].

Wyniki badań

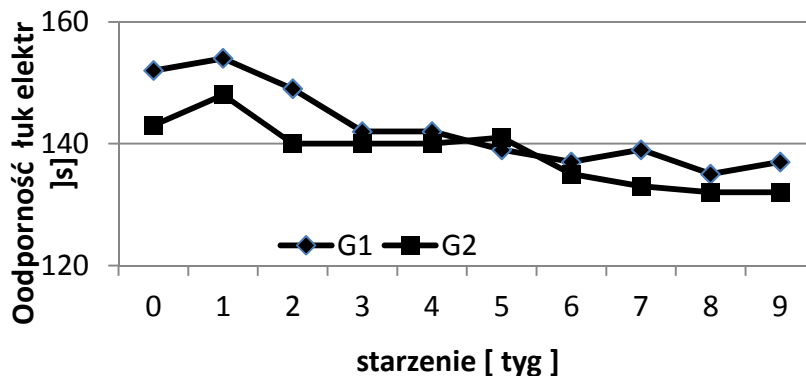
Przedstawione poniżej wybrane wyniki badań właściwości materiałów modyfikowanych kompatybilizatorem i bez modyfikacji pozwalają ocenić ich przydatność do przyszłych aplikacji na wyroby elektrokonstrukcyjne. Oprócz właściwości elektrycznych zwrócono również uwagę na właściwości mechaniczne i przetwórcze materiałów. Ponieważ w większości wyroby elektrokonstrukcyjne są eksploatowane w różnych warunkach środowiskowych (zmienna temperatura, wilgotność), analizowano wpływ czasu starzenia – 9 tygodni, na zachodzące zmiany we właściwościach materiału. Przebieg zmian wytrzymałości elektrycznej E_p recyklatowych kompozytów G1 i G2 przedstawiono na rys. 1. Dla porównania pokazano zmiany wytrzymałości elektrycznej E_p recyklatu polietylenu (HDPE). Jak widać proces starzenia wywołuje niewielkie obniżenie wytrzymałości E_p - do 12% po 9 tygodniach starzenia, przebieg zmian E_p dla badanych materiałów jest podobny. Porównując zmiany E_p zachodzące dla badanych materiałów i recyklatu polietylenowego HDPE można zauważyć, że są one podobne (obniżenie E_p). W przypadku kompozytów G1 i G2 istotny wpływ na wytrzymałość elektryczną E_p ma zawartość PET-u i jego rozmieszczenie w kompozycie, który w środowisku wilgotnym wykazuje zdolności absorpcyjne.

Działanie łuku elektrycznego na powierzchnię materiału prowadzi do jej deformacji. Wytworzony na powierzchni ślad „krater” posiada różną wielkość oraz głębokość. Charakter zmian na powierzchni materiału uzależniony jest od czasu działania łuku.



Rys.1. Porównanie wytrzymałości elektrycznej Ep badanych materiałów G1, G2 i HDPE (starzenie w atmosferze WGS, 9 tygodni)

Przebieg zmian odporności materiałów na łuk elektryczny małej mocy poddanych procesowi starzenia jest przedstawiony rys. 2. Zarówno materiał modyfikowany jak i niemodyfikowany wykazuje pogorszenie właściwości wraz z czasem starzenia. Po dziewięciu tygodniach pogorszenie odporności wynosi ok. 12%. Porównując uzyskane wyniki z innymi materiałami recyklatowymi, np. HDPE (odporność na łuk wynosi ok. 120 – 130 s), można zauważyć, że odporność badanego materiału jest do 15% wyższa, co jest korzystne dla celów aplikacyjnych.



Rys. 2. Porównanie odporności na łuk elektryczny małej mocy badanych materiałów G1 i G2 (starzenie w atmosferze WGS, 9 tygodni)

Właściwości mechaniczne pozwalają na pełniejsze przedstawienie materiałów dla celów aplikacyjnych. Stąd niektóre z właściwości przedstawiono w tab.1.

Z przedstawionych badań wynika, że zastosowanie kompatybilizatora (materiał G2) spowodowało wzrost wytrzymałości na rozciąganie R_m , odkształcenie ϵ_m oraz udarność. Obniżeniu uległa wartość modułu sprężystości. Te korzystne właściwości wynikają z działania kompatybilizatora poprawiającego homogeniczność materiału.

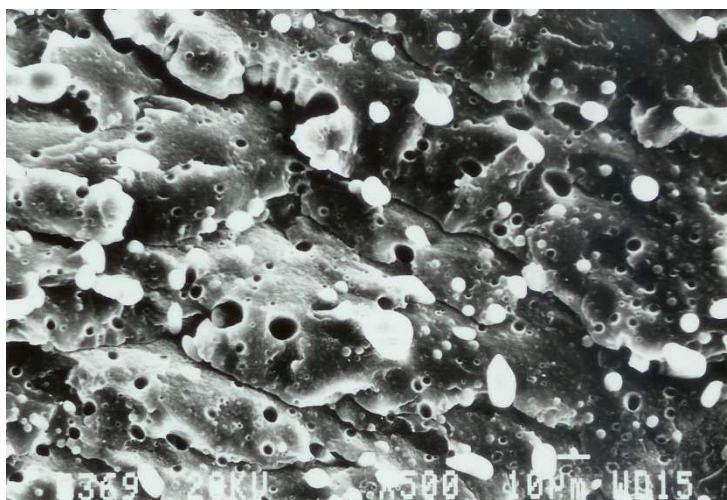
VIII Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2014

Tabela 1. Właściwości mechaniczne badanych materiałów

Materiał	R _m [MPa]	ε _m [%]	E [MPa]	R _g [MPa]	E _g [MPa]	U [kJ/m ²]
G1	13,7	5,0	577,9	22,3	591,4	19,5
G2	14,1	25,7	488,0	23,9	862,8	54,2

Potwierdzeniem zachodzących zmian w strukturze materiału są badania morfologiczne materiału (rys. 3). W wytworzonej wieloskładnikowej osnowie materiału, można zauważyć rozdrobnione cząstki innych materiałów wchodzących w skład badanego materiału. Dla układów wielofazowych duża dyssypacja cząstek niemieszalnych poprawia właściwości materiału. Nie tworzą się aglomeraty cząstek niekorzystnie wpływających na właściwości elektryczne materiałów.

Badania właściwości przetwórczych wykazały, że materiał wykazuje skurcz powtryskowy w granicach do 1,5%, co jest korzystne i mniejszy w porównaniu z HDPE (2,5 - 3,5%).



Rys. 3. SEM - struktura kompozytu G2 (materiał z kompatybilizatorem)

Wnioski

Przeprowadzone badania wykazały, że materiał wytworzony z recyklatów tworzyw polimerowych pochodzących z opakowań posiada odpowiednie właściwości elektryczne, mechaniczne i przetwórcze pozwalające zastosować taki materiał na wyroby elektrokonstrukcyjne. Zastosowanie kompatybilizatora poprawiającego homogeniczność kompozytu nie powoduje istotnych zmian właściwości elektrycznych materiału jak i wyrobów poddanych procesowi starzenia. Nowe materiały z tworzyw recyklatowych posiadają właściwości nie gorsze niż stosowane dotychczas materiały pierwotne, co tym samym pozwoli na oszczędność surowców kopalnianych i przyczyni się do ochrony

środowiska. Jest to jednocześnie istotny krok w kierunku realizacji polityki zrównoważonego rozwoju gospodarczego świata.

Literatura

- [1] Kijeński J., Błędzki A., Jeziórska R.: *Odzysk i recykling materiałów polimerowych*, WNT, Warszawa, 2011.
- [2] Tartakowski Z.: *Wybrane aspekty przetwórcze i eksploatacyjne wieloskładnikowych recyklatowych kompozytów poliamidowo-polietylenowych*, Wyd. ZUT, Szczecin, 2009.
- [3] Folkes M. I., Hope P. S.: *Polymer blends and alloys. Blackie Academic and Profesional*, An Imprint of Chapman and Hall, London*Glasgow*New York*Tokio*Melbourne*Madras, 1993.
- [4] Utracki L. A.: *Commercial Polymer Blends*, Chapman and Hall, London, 1998.
- [5] Janik J., Lenart St., Królikowski W., Penczek P.: *Mieszanki polimerowe PET/PE i PET/PP z dodatkiem nowego kompatybilizatora*, Polimery 2004, 49, 432-436.
- [6] Tartakowski Z., Michalski J.: *Wysokonapelnione kompozyty z tworzyw recyklatowych do zastosowań na wyroby elektrotechniczne*, Wiadomości Elektrotechniczne, 8 (2010), 41-43.
- [7] Tartakowski Z., Pietrzak-Mantiuk A., *Resistance of high-content polypropylene/wood composites to low-current arc discharges*, Polymer Testing, 25 (2006) 342-346.
- [8] Bursa J., Tartakowski Z., Kosyl, M.: *Biodegradowalne kompozyty PLA do zastosowań na wyroby elektrotechniczne*, Przegląd Elektrotechniczny, 2013, 89, 1a, 131-133.

Autorzy:

dr inż. Jan Bursa; Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, ul. Sikorskiego 37, 70-313 Szczecin, e-mail jan.bursa@zut.edu.pl

dr hab. inż. Zenon Tartakowski, prof. ZUT, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Instytut Inżynierii Materiałowej, al. Piastów 19, 70-310 Szczecin, e-mail zenon.tartakowski@zut.edu.pl

dr inż. Jolanta Janik, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Instytut Polimerów, ul. Pułaskiego 10, 70-322 Szczecin, e-mail Jolanta.janik@zut.edu.pl