

Janusz Michalski<sup>1</sup>, Szymon Banaszak<sup>1</sup>

## KOMPOZYCJE EPOKSYDOWE UTWARDZANE NOWYMI UTWARDZACZAMI

**Streszczenie:** Produkty chemicznej degradacji PET zostały zastosowane jako utwardzacze kompozycji epoksydowych. Na przygotowanych kompozycjach przeprowadzono badania parametrów dielektrycznych, z myślą o zastosowaniu ich jako materiału osłonowego nowej generacji izolatorów.

**Słowa kluczowe:** recykling, PET, produkty degradacji, utwardzacze, kompozycje epoksydowe.

### 1. Wprowadzenie

Z ciągłym wzrostem produkcji tworzyw sztucznych nierozzerwalnie związany jest problem odpadów, zarówno powstałych w trakcie produkcji, jak i poużytkowych. Szczególnie dotyczy to odpadów tworzyw pochodzących z opakowań, będących z założenia jednorazowego użytku, które stanowią około 30% globalnej produkcji tworzyw sztucznych. Najbardziej rozpowszechnionym tworzywem opakowaniowym jest poli(tereftalan etylenu) – PET. Rozwiązaniem problemu rosnącej ilości odpadów z tworzyw sztucznych na wysypiskach śmieci jest ich powtórne przetwórstwo, czyli recykling. Ostatnio coraz szerzej stosuje się recykling chemiczny, w wyniku którego otrzymane związki małowcząsteczkowe są już wykorzystywane jako paliwa lub surowce do dalszego stosowania w przemyśle, znajdując coraz to inne, nowe zastosowania [1, 2].

Wprowadzenie w 1976 roku poli(tereftalanu etylenu) – PET jako materiału do produkcji butelek, zostało dodatkowo poparte nadzwyczajnym wzrostem zastosowań tworzyw poliestrowych w obszarze opakowań do takich towarów jak : leki, żywność, alkohole, chemia gospodarcza i kosmetyki. W 1990 roku światowe zużycie PET wynosiło około 1,5 mln ton, w roku 1994 blisko 2,5 mln, a w roku 1996 prawie 4,0 mln [3]. W roku 2000 ogólne światowe zużycie PET wynosi już około 13 mln ton [4]. Odpady poużytkowe i poprodukcyjne PET to jeden z problemów ochrony środowiska naturalnego. Przykładowo w odpadach komunalnych odpady, pochodzące z opakowań jednorazowego użytku, wykonane z poli(tereftalanu etylenu), stanowią 7-8% wagowych. Ten niepotrzebny PET ma ważną cechę: jest on często polimerem wysokiej jakości i może też być przetworzony na wartościowe produkty

<sup>1</sup> Politechnika Szczecińska, Instytut Elektrotechniki

chemiczne, takie jak: surowce stosowane do jego produkcji, żywice i niskolepkie kopolimery, plastyfikatory i inne [5,6]. Recykling chemiczny poużytkowych odpadów PET prowadzić można w procesach chemicznych hydrolizy, alkoholizy, glikolizy, aminolizy i innych. Stosowane na przemysłową skalę aminoliza i glikoliza dają możliwości bezpośredniego zastosowania otrzymanych w tych procesach produktów m.in. do utwardzania żywic epoksydowych [4, 6, 7].

## 2. Część doświadczalna

Od kilku lat na Politechnice Szczecińskiej trwały badania procesów aminolizy i aminoglikolizy PET, których wynikiem jest opracowanie m.in. utwardzacza do żywic epoksydowych oznakowanego PET/TEA. Powstały produkt wykazuje dobrą mieszalność z żywicami epoksydowymi i dużą efektywność reakcji z nimi. W toku wcześniejszych badań wytypowano optymalną metodę przygotowania utwardzacza i samej kompozycji, tak by uzyskać możliwie najlepsze parametry dielektryczne oraz mechaniczne. Kompozycje epoksydowe zostały przygotowane na bazie polskiej żywicy epoksydowej Epidian 6 i utwardzacza PET/TEA. Do części kompozycji dodane zostały napełniacze, w ilości 65% wagowo. Kompozycje utwardzane były przez 2 godziny w temperaturze 80°C i dotwardzane przez 2 godziny w temperaturze 140°C. W celu sprawdzenia wpływu odpowietrzania w procesie technologicznym przygotowywania kompozycji, wykonano

- a) próbki czystych (bez napełniaczy) kompozycji epoksydowych: odpowietrzane
- b) próbki czystych (bez napełniaczy) kompozycji epoksydowych: nie odpowietrzane
- c) próbki kompozytów epoksydowych (z napełniaczami): nie odpowietrzane.

Część próbek wykonano z utwardzaczem, otrzymanym w Instytucie Polimerów Politechniki Szczecińskiej (lab), część próbek wykonano z utwardzaczem produkcji Zakładów Chemicznych „Organika-Sarzyna” w Nowej Sarzynie (przem), po wdrożeniu w nich procesu aminolizy PET.

Na przygotowanych próbkach wykonano badania parametrów dielektrycznych, których wyniki podano w tabelicy 1.

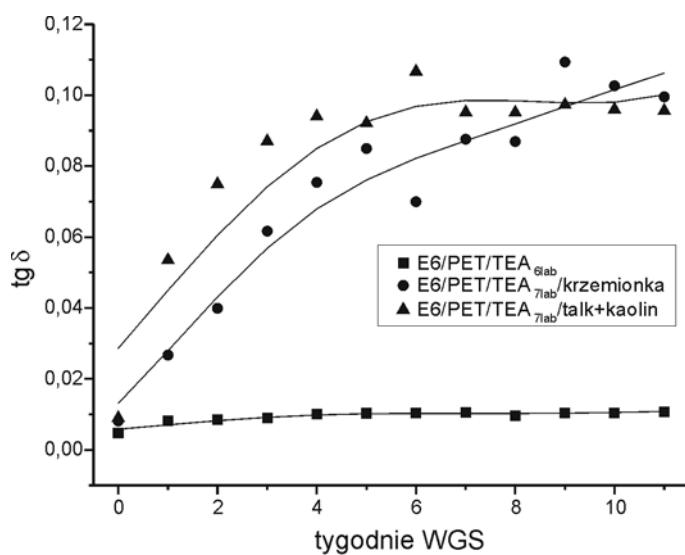
Części kompozycji poddano badaniom starzeniowym. Próbki, po przeprowadzeniu badań wstępnych zostały umieszczone w komorze klimatycznej w warunkach WGS (wilgotnego gorąca stałego) tj w temp. 40°C, przy wilgotności względnej 95%. Co siedem dni były z niej wyciągane i po półgodzinnej reklimatyzacji w warunkach pokojowych poddawane badaniom parametrów dielektrycznych.

Próbki, które zostały odpowietrzone pod próżnią w procesie technologicznym ich przygotowywania, przez cały okres starzenia nie traciły swoich właściwości dielektrycznych. Kompozycje nie odpowietrzone, mimo bardzo dobrych parametrów wejściowych – przed umieszczeniem w komorze klimatycznej, szybko traciły swoje właściwości izolacyjne. Badano zmiany następujących wielkości elektrycznych: współczynnika strat dielektrycznych, przenikalności elektrycznej, rezystywności skrośnej, współczynnika odporności na prądy pełzające, odporności na łuk elektryczny małej mocy. Poniżej przedstawiono przykładowe parametry z uwzględnieniem powyższego podziału.

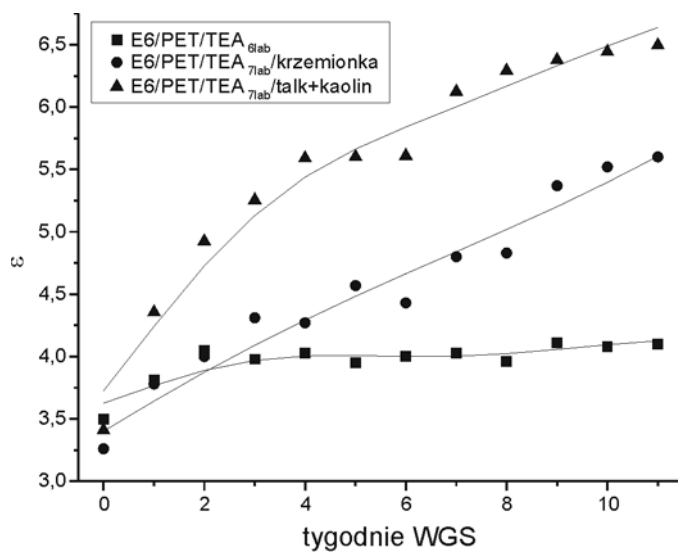
Tablica 1. Właściwości dielektryczne badanych kompozycji epoksydowych

Kompozycja	$tg\delta$ (1 kHz)	$\epsilon$ ( kHz)	$\rho_v \cdot 10^{15}$ [ $\Omega \cdot cm$ ]	odp. na łuk elektr. [sek]	WOPP [V]	$E_p$ [kV/mm]
E6/Z1*	0,0180	4,02	2,3	123	500	20,3
E6/PET/TEA <sub>6lab</sub>	0,0053	3,75	7,9	130	500	>25,5
E6/PET/TEA <sub>6przem</sub>	0,0058	3,49	10,3	129	500	>23,2
E6/PET/TEA <sub>6lab</sub> /talk+kaolin	0,0095	3,64	199,5	184	500	>20,1
E6/PET/TEA <sub>6lab</sub> /krzemionka	0,0087	3,69	81	167	500	>24,2
E6/PET/TEA <sub>6przem</sub> /talk+kaolin	0,0024	3,85	4,2	183	500	>21,3
E6/PET/TEA <sub>6przem</sub> /krzemionka	0,0022	3,79	9,1	140	500	>24,1
E6/PET/TEA <sub>7lab</sub> /talk+kaolin	0,0091	3,79	336,5	183	500	>20,0
E6/PET/TEA <sub>7lab</sub> /krzemionka	0,0078	3,61	275,3	163	500	>24,7
E6/PET/TEA <sub>7przem</sub> /talk+kaolin	0,0027	4,14	5,1	184	500	>19,8
E6/PET/TEA <sub>7przem</sub> /krzemionka	0,0021	3,65	6,9	181	500	>18,6

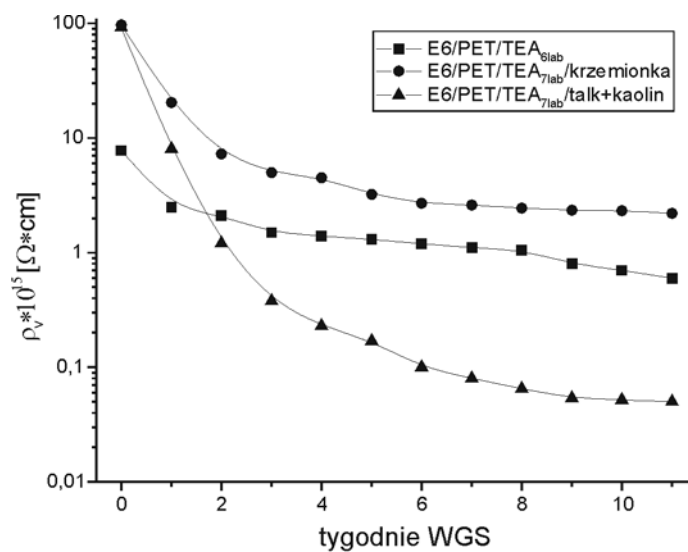
\* – kompozycja porównawcza oparta na standardowym utwardzaczu



Rys. 1. Charakter zmian współczynnika strat dielektrycznych badanych kompozycji



Rys. 2. Charakter zmian przenikalności dielektrycznej badanych kompozycji



Rys. 3. Charakter zmian rezystywności skrośnej badanych kompozycji

Na części kompozycji przeprowadzone zostały badania palności. Wyniki badań podano poniżej.

**Tablica 2.** *Badania palności badanych kompozycji epoksydowych.*

Kompozycja	Wynik badania
E6/Z-1	650°C
E6/PET/TEA <sub>6lab</sub>	650°C
E6/PET/TEA <sub>6lab</sub> /talk+kaolin	960°C <b>bp!</b>
E6/PET/TEA <sub>6lab</sub> /krzemionka	960°C <b>bp!</b>
E6/PET/TEA <sub>7lab</sub> /talk+kaolin	960°C <b>bp!</b>
E6/PET/TEA <sub>7lab</sub> /krzemionka	960°C <b>bp!</b>

**bp!** – brak płomienia w trakcie badania

Dodatkowo sprawdzono wpływ suszenia przygotowanych kompozycji na parametry dielektryczne. Przygotowano kompozycje suszone przez 5 godzin w temperaturze 90°C, suszone przez 5 godzin w temperaturze 60°C oraz nie suszone. W toku dalszych badań okazało się, że lepsze właściwości izolacyjne uzyskały kompozycje suszone w temperaturze 90°C, najgorsze były kompozycje nie suszone.

### 3. Wnioski

- Nowy utwardzacz, będący produktem chemicznego recyklingu poli(tereftalanu etylenu) – PET, jest lepszym utwardzaczem do celów izolacyjnych od dotychczas stosowanych.
- Istotny wpływ na odporność kompozycji na starzenie ma ich odpowietrzenie pod próżnią w procesie technologicznym ich przygotowywania.
- Na podstawie przeprowadzonych pomiarów można zauważyć pozytywny wpływ suszenia kompozycji na parametry dielektryczne. Im wyższa była temperatura suszenia, tym kompozycja miała lepsze właściwości izolacyjne.
- Technologia procesu utwardzania produktami degradacji PET, nie odbiega od technologii utwardzania klasycznych żywic epoksydowych
- Utwardzone kompozycje mają dobre parametry mechaniczne, termiczne oraz elektryczne. Aktualnie trwają prace zmierzające do opracowania prototypu izolatora kompozytowego opartego na nowym utwardzacz.

Badania wykonano w ramach projektu KBN Nr 3 TO9B 089 19.

## Literatura

- [1] **Fabrycy E., Michalski J.:** *Możliwości wykorzystania produktów chemicznej degradacji PET jako utwardzaczy kompozycji epoksydowych.* VII Sympozjum Problemy Eksploatacji Układów Izolacyjnych Wysokiego Napięcia EUI'99, Zakopane, 1999 r., s. 81-86
- [2] **Michalski J., Fabrycy E.:** *Elektroizolacyjne kompozyty epoksydowe nowej generacji.* V Ogólnopolskie Sympozjum Inżynieria Wysokich Napięć IW'2000, Poznań-Kiekrz, 2000 r., s.257-262
- [3] **Szostak M.:** *Powtórne przetwórstwo poli(tereftalanu etylenu) (PET).* IV Seminarium Naukowo-Techniczne Recykling Tworzyw Sztucznych, Szczecin, 2000r., s. 62-68
- [4] **Sułkowski W., Ossowski J., Makarucha B.:** *Aminoliza odpadów poli(tereftalanu etylenu).* II Konferencja Naukowa Recykling Tworzyw Sztucznych, Jeseník, Czechy, 2000 r., s. 117-123
- [5] **Michalski A.:** *Zużyte butelki PET jako surowiec do syntezy kopoliestrów.* II Konferencja Naukowa Recykling tworzyw sztucznych, Jeseník, Czechy, 2000 , s. 125-132
- [6] **Michalski J., Fabrycy E.:** *Elektroizolacyjne kompozyty epoksydowe nowej generacji.* V Ogólnopolskie Sympozjum Inżynieria Wysokich Napięć IW'2000, Poznań-Kiekrz, Polska, 2000 r., s. 257-262
- [7] **Fabrycy E., Leistner A., Michalski J.:** *Produkty recyklingu chemicznego poli(tereftalanu etylenu) jako nowe utwardzacze żywic i klejów epoksydowych.* Biuletyn EKOPLAST, nr 15, 1999 r., s. 33-45

## EPOXY COMPOSITES HARDENED WITH NEW HARDENERS

The products of chemical recycling have been used as the hardeners for epoxy resins. Hardened compositions have undergone dielectrical tests and will be used as the housing material in the new generation of insulators.