

Marcin PASICH, Krzysztof BORTEL

InstituT Inżynierii MateriałóW PolimerowycH i BarwnikóW w Toruniu,

Oddział Farb i Tworzyw, ul. Chorzowska 50A, 44-100 Gliwice

e-mail: m.pasich@impib.pl

Wpływ warunkóW środowiska na właściwości elektryczne, fizykochemiczne i mechaniczne wybranych poliolefin (1)

Streszczenie. *Próbki wybranych poliolefin: polietylenu małej gęstości (PE-LD), polietylenu dużej gęstości (PE-HD) i polipropylenu (PP) przygotowano metodą prasowania. Następnie poddano je wpływom różnych warunkóW środowiskowycH. Dla badanych próbek oznaczono podstawowe właściwości elektryczne: rezystywność powierzchniową, rezystywność skrośną, odporność na łuk elektryczny, odporność na prądy pełzające, wytrzymałość elektryczną oraz napięcie przebicia. Praca miała na celu ustalenie oddziaływania wpływu określonych warunkóW środowiskowycH na podstawowe parametry elektryczne wybranych poliolefin.*

Słowa kluczowe: *polietylen małej gęstości, polietylen dużej gęstości, polipropylen, rezystywność powierzchniowa, rezystywność skrośna, odporność na łuk elektryczny, odporność na prądy pełzające, wytrzymałość elektryczna, napięcie przebicia*

THE INFLUENCE OF ENVIRONMENTAL CONDITIONS ON ELECTRICAL, PHYSICO-CHEMICAL, AND MECHANICAL PROPERTIES SELECTED POLYOLEFINS (1)

Abstract. *Samples of low density polyethylene (LDPE), high density polyethylene (HDPE) and propylene (PP) were prepared by compression method. The samples of selected polyolefins were subjected to the influence of different environmental conditions and basic electrical, physicochemical and mechanical tests were carried out.*

Keywords: *low density polyethylene, high density polyethylene, propylene, surface resistivity, volume resistivity, resistance to electric arc, comparative tracking index, breakdown voltage, dielectric strength*

WPROWADZENIE

Tworzywa polimerowe charakteryzują się właściwościami dielektrycznymi, jednak wykazują zdolność gromadzenia ładunku elektrostatycznego na swojej powierzchni [1]. Charakter dielektryczny polimeróW wynika z bardzo małej gęstości ładunku elektrycznego, jak i małej ich ruchliwości. W celu oceny przydatności materiału do produkcji wyrobóW o specyficznym znaczeniu, m.in.: obudowy monitoróW i telewizoróW, kontaktóW, kabli, szaf rozdzielczych, mat czy pojemnikóW, należy przeprowadzić szereg badań pozwalających ocenić przydatność tworzywa do realizacji określonego wyrobu. Podstawowe właściwości elek-

tryczne tworzyw określa się poprzez pomiar rezystywności, odporności na prądy pełzające, łuk elektryczny i wytrzymałości elektrycznej (napięcia przebicia); dodatkowymi parametrami mogącymi określać wpływ pola elektrycznego na tworzywo są oznaczenia pojemności elektrycznej i współczynnika strat dielektrycznych, czyli tgδ [1-3].

Najogólniej rezystywność można zdefiniować jako stosunek przyłożonego do elektrod stałego napięcia w odniesieniu do ustalonego natężenia prądu płynącego po powierzchni próbki (rezystywność powierzchniowa, wyrażona w Ω) lub na skroś badanego obiektu (rezystywność skrośna, wyrażona w Ω·cm) [1-5].

W przypadku tworzyw polimerowych, które są narażone na działanie czynników zwiększających przewodnictwo elektryczne lub zawilgocenie należy ustalić odporność na prądy pełzające. Metoda ta polega na wyznaczeniu porównawczego współczynnika odporności na prądy pełzające (CTI, *ang.* Comparative Tracking Index), czyli maksymalnego napięcia dla którego opadnięcie 50 kropeł elektrolitu nie spowoduje powstania trwałego śladu pełzającego (przekraczającego głębokość 1 mm), stopienia się bądź zapalenia próbki [1, 2, 6, 7].

Wytrzymałość elektryczna jest ilorazem napięcia przebicia, które jest stosowane w określonych warunkach testowych do odległości między elektrodami, przy częstotliwości sieciowej. Badanie to umożliwia wykrywanie zmian lub odstępstw od normalnej charakterystyki materiałów izolacyjnych [8, 9].

Tabela 1. Cykl siedmiu kroków w trakcie badania odporności na łuk elektryczny [10]

Table 1. A series of seven steps in the course of testing of resistance to electric arc [10]

Krok	Natężenie prądu łuku [mA]	Czas działania łuku w każdym kroku w trybie on/off [s]	Całkowity czas cyklu [s]
1.	10	0,25 on; 1,75 off	60
2.	10	0,25 on; 0,75 off	120
3.	10	0,25 on; 0,25 off	180
4.	10	w sposób ciągły (on)	240
5.	20	w sposób ciągły (on)	300
6.	30	w sposób ciągły (on)	360
7.	40	w sposób ciągły (on)	420

Odporność na wyładowania łukowe można scharakteryzować jako czas (w sekundach) który upłynie do momentu pojawienia się ścieżki przewodzącej lub innego rodzaju trwałego zniszczenia powierzchni próbki (np. nadtopienia się, zapalenia się) pod wpływem uderzeń łuku elektrycznego o stałym napięciu (15 kV), według siedmiu sześćdziesięciosiekundowych kroków przedstawionych w Tabeli 1 [1, 2, 10, 11].

PRZEDMIOT I ZAKRES BADAŃ

Przedmiotem badań było określenie wpływu warunków środowiska (starzenie termiczne, zanurzenie w solance, wodzie destylowanej, benzynie i ropie naftowej) trzech wybranych poliolefin: polietylenu małej gęstości (PE-LD; MALEN E FABS 23-D022, Basell Orlen Polyolefins Sp. z o.o.), polietylenu dużej gęstości (PE-HD; Hostalen GC 7260, Basell Orlen Polyolefins Sp. z o.o.) i polipropylenu (PP; Moplen HP548R, Basell Orlen Polyolefins Sp. z o.o.).

Próbki tworzyw w postaci płytek o grubości 1,5 mm przygotowano metodą prasowania i podzielono na kilka zestawów; pierwszy z nich kondycjonowano przez 24 godziny w temperaturze 23 ± 2 °C, przy względnej wilgotności $50 \pm 5\%$, drugą część próbek poddano starzeniu termicznemu przez 168 godzin w temperaturze 80 ± 2 °C, a pozostałe zestawy zanurzono na jeden tydzień w następujących rozpuszczalnikach: wodzie destylowanej, 5% roztworze NaCl w wodzie destylowanej (solanka), benzynie (E95) i oleju napędowym (ON).

METODYKA BADAWCZA

Badania właściwości elektrycznych próbek tworzyw obejmowały pomiary rezystywności powierzchniowej i skrośnej [4, 5], odporności na prądy pełzające [6, 7], wytrzymałości elektrycznej [8, 9] oraz odporności na wyładowania łukowe wysokonapięciowe, niskoprądowe [10, 11]. W celu przeprowadzenia badań przygotowano próbki w kształcie kwadratu o boku wynoszącym 100 mm, oznaczenie rezystywności przeprowadzono na próbkach o grubości 1,5 mm, natomiast do pozostałych testów zestawiono ze sobą dwie próbki, aby uzyskać minimalną grubość około trzech milimetrów.

APARATURA BADAWCZA

Badania właściwości elektrycznych przeprowadzono z wykorzystaniem następujących aparatów:

- rezystywność powierzchniowa i skrośna: elektrometr firmy Keithley Instruments, Inc., model 8009;
- odporność na prądy pełzające (metoda kropłowa z wykorzystaniem roztworu A: 0,1% chlorku amonu): zestaw pomiarowy „T4-41” firmy Testing Europe operujący w zakresie od 0 do 600V;
- wytrzymałość elektryczna (napięcie przebicia): celka pomiarowa wypełniona olejem oraz układ probierczy – model UP10-110 składający się z transformatora TPS110/30 i pulpitu sterowniczego PS10-250 firmy F.A.E ZWARPOL Sp. z o.o.;
- odporności na wyładowania łukowe wysokonapięciowe, niskoprądowe: aparat Lectromec 5A-Series generujący napięcie 15kV firmy Lectromechanical Design Company LCC.

PRZEDSTAWIENIE I OMÓWIENIE WYNIKÓW

Oznaczenie rezystywności powierzchniowej i skrośnej

Badanie rezystywności powierzchniowej i skrośnej (Tabela 2) PE-LD, PE-HD i PP potwierdziło charakter dielektryczny przedmiotowych próbek. W przypadku polietylenu dużej gęstości i polipropylenu uzyskano zbliżone wyniki, niezależnie od warunków starzenia czy kondycjonowania w wybranych rozpuszczalnikach. Próbkę polietylenu małej gęstości są bardziej podatne na warunki środowiskowe, gdyż zmierzone wartości rezystywności powierzchniowej mieszczą się w zakresie od 10^{14} (dla benzyny i oleju napędowego) do 10^{16} (dla 5% roztworu NaCl i próbek odniesienia – kondycjonowanych przez 24 godziny w temperaturze 23 °C i przy względnej wilgotności wynoszącej 55%). Natomiast dla próbek kondycjonowanych w benzynie bezołowiowej o L.O. = 95, stwierdzono niższe wartości rezystywności skrośnej i jeden rząd wielkości.

Tabela 2. Wyniki pomiarów rezystywności powierzchniowej i skrośnej wybranych poliolefin w zależności od warunków kondycjonowania

Table 2. The results of measurements of surface resistivity and volume resistivity for selected polyolefins depending on the conditioning

Warunki kondycjonowania	Rezystywność powierzchniowa, Ω	Rezystywność skrośna, $\Omega \cdot \text{cm}$
PE-LD		
23 °C/55% RH/24h	$1,24 \cdot 10^{16}$	$3,13 \cdot 10^{16}$
80 °C/168h	$6,11 \cdot 10^{15}$	$8,89 \cdot 10^{16}$
5% r-r NaCl/168h	$3,26 \cdot 10^{16}$	$5,90 \cdot 10^{16}$
H ₂ O _{destyl} /168h	$2,52 \cdot 10^{15}$	$3,66 \cdot 10^{16}$
E95/168h	$3,33 \cdot 10^{14}$	$2,03 \cdot 10^{15}$
ON/168h	$2,04 \cdot 10^{14}$	$1,22 \cdot 10^{16}$
PE-HD		
23 °C/55% RH/24h	$3,23 \cdot 10^{17}$	$3,20 \cdot 10^{17}$
80 °C/168h	$1,76 \cdot 10^{17}$	$2,75 \cdot 10^{17}$
5% r-r NaCl/168h	$6,28 \cdot 10^{17}$	$1,41 \cdot 10^{17}$
H ₂ O _{destyl} /168h	$1,66 \cdot 10^{17}$	$1,62 \cdot 10^{17}$
E95/168h	$3,31 \cdot 10^{17}$	$1,41 \cdot 10^{17}$
ON/168h	$3,37 \cdot 10^{17}$	$1,19 \cdot 10^{17}$
PP		
23 °C/55% RH/24h	$3,63 \cdot 10^{17}$	$7,01 \cdot 10^{16}$
80 °C/168h	$2,89 \cdot 10^{17}$	$4,36 \cdot 10^{16}$
5% r-r NaCl/168h	$7,20 \cdot 10^{17}$	$5,20 \cdot 10^{16}$
H ₂ O _{destyl} /168h	$1,74 \cdot 10^{17}$	$4,03 \cdot 10^{16}$
E95/168h	$8,77 \cdot 10^{17}$	$1,70 \cdot 10^{16}$
ON/168h	$2,35 \cdot 10^{17}$	$2,00 \cdot 10^{16}$

Oznaczenie odporności na prądy pełzające – pomiar współczynnika prądów porównawczych, CTI

Badanie odporności na prądy pełzające metodą kropłową uwidacznia wpływ warunków środowiska na parametr CTI tylko w przypadku kondycjonowania próbek w benzynie bezołowiowej (E95) i oleju napędowym (ON) – dla każdej grupy poliolefin nastąpił spadek odporności o 25 V (Tabela 3). Zastosowanie starzenia termicznego, tygodniowego kondycjonowania w solance i wodzie destylowanej nie wpłynęło

w żaden sposób na zmianę współczynnika CTI badanych tworzyw. Ponadto można zauważyć, że najbardziej odporną była próbka polipropylenu (w warunkach pomiaru, przy zastosowaniu przyłożonego napięcia 600 V), a najmniej odpornymi były próbki polietylenu dużej gęstości (PE-HD).

Tabela 3. Wyniki pomiarów odporności na prądy pełzające – wyznaczenie CTI [V] – wybranych poliolefin w zależności od warunków kondycjonowania

Table 3. The results of measurements of CTI [V] for selected polyolefins depending on the conditioning

Warunki kondycjonowania	PE-LD	PE-HD	PP
23 °C/55% RH/24h	575	550	600
80 °C/168h	575	550	600
5% r-r NaCl/168h	575	550	600
H ₂ O _{destyl} /168h	575	550	600
E95/168h	550	525	575
ON/168h	550	525	575

Oznaczenie napięcia przebicia i doraźnej wytrzymałości elektrycznej badanych obiektów

Doraźną wytrzymałość dielektryczną (Tabela 4) wyznaczono podnosząc, z jednakową

szybkością, napięcie od 0 kV, aż do momentu wystąpienia przebicia czasie 10-20 s. Pomiar napięcia przebicia dały bardzo zbliżone wyniki w ramach każdej grupy tworzyw, co potwierdza, iż zastosowane warunki starzenia miały niewielki wpływ na zmianę wartości wytrzymałości elektrycznej; jedynie w przypadku próbek polipropylenu zanurzonych w wodzie destylowanej i oleju napędowym uzyskano znacznie niższe wartości, aniżeli dla pozostałych warunków.

Oznaczenie odporności wyładowania łukowe wysokonapięciowe, niskoprądowe

Tabela 5. Wyniki pomiarów odporności na wyładowania łukowe wysokonapięciowe, niskoprądowe wybranych poliolefin w zależności od warunków kondycjonowania

Table 5. The results of measurements of high-voltage, low-current dry arc resistance for selected polyolefins depending on the conditioning

Warunki kondycjonowania	PE-LD	PE-HD	PP
23 °C/55% RH/24h	144	158	138
80 °C/168h	154	148	134
5% r-r NaCl/168h	154	146	132
H ₂ O _{destyl} /168h	150	152	129
E95/168h	145	142	130
ON/168h	153	164	133

Tabela 4. Wyniki pomiarów napięcia przebicia [kV] i doraźnej wytrzymałości dielektrycznej [kV/mm] wybranych poliolefin w zależności od warunków kondycjonowania

Table 4. The results of measurements of breakdown voltage [kV] and dielectric strength [kV/mm] for selected polyolefins depending on the conditioning

Warunki kondycjonowania	PE-LD		PE-HD		PP	
	Napięcie przebicia, [kV]	Wytrzymałość dielektryczna, [kV/mm]	Napięcie przebicia, [kV]	Wytrzymałość dielektryczna, [kV/mm]	Napięcie przebicia, [kV]	Wytrzymałość dielektryczna, [kV/mm]
23 °C/55% RH/24h	47,6	41,4	52,2	49,7	53,1	50,6
80 °C/168h	49,2	41,0	53,3	49,8	53,4	46,4
5% r-r NaCl/168h	53,0	32,1	46,4	41,1	47,7	41,5
H ₂ O _{destyl} /168h	50,6	43,6	53,3	48,4	42,0	36,5
E95/168h	51,6	50,1	48,0	45,7	45,0	50,0
ON/168h	50,2	43,6	52,0	54,7	41,9	38,1

Tabela 5 przedstawia czas (w sekundach) jaki upłynął do momentu pojawienia się trwałego śladu na powierzchni próbki pod wpływem działania łuku elektrycznego o napięciu 15000 V zadanego z odpowiednią częstotliwością. W grupie zbadanych próbek tworzyw polimerowych można stwierdzić, że najmniej odpornym materiałem na wyładowania łukowe jest polipropylen, natomiast zbliżone czasy dla obydwu rodzajów polietylenów sugerują podobną, względną odporność na łuk elektryczny o natężeniu 15 kV. Biorąc pod uwagę próbki odniesienia PE-LD, PE-HD i PP oraz odpowiednie próbki po starzeniu termicznym, immersji w cieczach, zaobserwowano znikomy wpływ tych czynników środowiska na badany parametr. Dla wszystkich próbek czasy te mieszczą się w granicach od 129 do 164 sekund, co odpowiada trzeciemu krokowi w całym programie testowym. Wyniki te świadczą o tym, że badane próbki wytrzymują maksymalne natężenie 10 mA podawane w trybie 0,25 s on/0,25 s off.

PODSUMOWANIE

Wpływ warunków starzenia termicznego i kondycjonowania na wybrane parametry elektryczne w wielu przypadkach nie ujawnia się w znaczący sposób, co sugeruje dobrą odporność PE-LD, PE-HD i PP na 168-godzinny okres przechowywania próbek w podwyższonej temperaturze i w wybranych cieczach. Interesujące wydaje się zbadanie wpływu dłuższego okresu starzenia bądź kondycjonowania próbek tychże poliolefin. Na podstawie przeprowadzonych badań można zauważyć, że największe zmiany badanych parametrów zaobserwowano dla próbek poddanych kondy-

cjonowaniu w benzynie bezołowiowej (E95) i oleju napędowym (ON).

W drugiej części niniejszej publikacji zostanie omówiony wpływ analogicznych warunków kondycjonowania na wybrane parametry fizykochemiczne i mechaniczne PE-LD, PE-HD i PP.

BIBLIOGRAFIA

1. Broniewski T., Kapko J., Płaczek W., Thomalla J. „Metody badań i ocena właściwości tworzyw sztucznych”, WNT, Warszawa, 2000
2. Polski Rejestr Statków „Materiały elektroizolacyjne”, Publikacja Informacyjna nr 9/I, 2007
3. Saechtling „Tworzywa sztuczne. Poradnik”, WNT, Warszawa, 2000
4. ASTM D257-14 *Standard Methods of Test for DC Resistance of Conductance of Insulating Materials*
5. IEC 60093:1980 *Methods of test for volume resistivity and surface resistivity of solid electrical insulating materials*
6. ASTM D3638-12 *Standard Test Method for Comparative Tracking Index of Electrical Insulating Materials*
7. PN-EN 60112:2003 *Method for the determination of the proof and the comparative tracking indices of solid insulating materials*
8. ASTM D149-09 *Standard Test Method for Dielectric Breakdown Voltage and Dielectric Strength of Solid Electrical Insulating Materials at Commercial Power Frequencies*
9. PN-EN 60243-1:2002 *Electric strength of insulating materials – Test methods – Part 1: Tests at power frequencies*
10. ASTM D495-14 *Standard Test Method for High-Voltage, Low-Current, Dry Arc Resistance of Solid Electrical Insulation*
11. PN-EN 61621-2002 *Dry, solid insulating materials – Resistance test to high-voltage, low-current arc discharges*