

Piotr Zubieliak, Aleksandra Rakowska

WPLYW WYŁADOWAŃ NIEZUPEŁNYCH NA STRUKTURĘ
POLIETYLENU IZOLACYJNEGO

1. Wprowadzenie

W ostatnich kilkunastu latach szeroko zajmowano się zjawiskiem powstawania wyładowań niezupełnych w nieciągłościach izolacji polietylenowej kabli wysokiego napięcia, wskutek czego zachodził w niej proces drzewienia. Konsekwencją tych badań było zainteresowanie się problemem określenia zależności pomiędzy właściwościami elektrycznymi izolacji polimerowej a jej strukturą wewnętrzną. W dotychczasowych badaniach materiałów elektrotechnicznych nie zwracano dostatecznej uwagi na szczegóły morfologiczne materiału badanego. Chemicy badając strukturę nowo wytwarzanych polimerów rzadko interesowali się innymi właściwościami elektrycznymi niż relaksacja dielektryczna i rezystywność skrośna. Celowe będzie zatem zastanowienie się nad zagadnieniem wpływu budowy morfologicznej izolacji polietylenowej na jej podstawowe właściwości elektryczne.

2. Metodyka badań

Polię wykonaną z polietylenu Politen II 003 60 przed i po starzeniu wyładowaniami niezupełnymi poddawano analizie spektrograficznej w podczerwieni. Na podstawie zmian widm w podczerwieni można śledzić przemiany krystaliczne polietylenu pod wpływem oddziaływania różnych czynników oraz określić stopień krystaliczności lub amorficzność materiału. Jest to możliwe, ponieważ oscylacje i rotacje określonych grup funkcyjnych danego

mgr inż. Piotr Zubieliak, dr inż. Aleksandra Rakowska - Instytut
Elektroenergetyki Politechniki Poznańskiej

Związku różnią się energetycznie między sobą w różnych stanach uporządkowania [1,8,9,11]. Dla określenia stopnia krystaliczności polimerów może być wykorzystane pasmo charakteryzujące amorficzność materiału, którego maksimum występuje przy długości fali $7,31 \mu\text{m} / 1368 \text{ cm}^{-1}$. Natomiast zakres widma w podczerwieni w paśmie $13,7 \mu\text{m} / 730 \text{ cm}^{-1}$ odpowiada zawartości fazy krystalicznej. Posługując się spektrogramami, uzyskanymi przy pomocy spektrofotometru SPECORD 71 IR, wyznaczono stopień krystaliczności folii polietylenowej, posługując się wzorem [3]:

$$\chi = \frac{100 \cdot D}{\frac{A_{730}}{A_{1368}} + D} \quad /1/$$

gdzie: χ - stopień krystaliczności polimeru w %,

$A_{730} = 1,53$ - współczynnik charakterystyczny dla fazy krystalicznej w paśmie 730 cm^{-1} ,

$A_{1368} = 0,41$ - współczynnik charakterystyczny dla fazy amorficznej w paśmie 1368 cm^{-1} ,

$D = \frac{A_{730}}{A_{1368}}$ - stosunek wartości absorpcji w pasmach 730 i 1368 cm^{-1} dla danego polietylenu.

Dla niestarzonych i starzonych próbek w postaci folii wyznaczano również wytrzymałość elektryczną, zgodnie z normą PN-73/E-04404 w układzie elektrod płaskich. Napięcie podnoszono z szybkością 1 kV/s . Każdorazowo sprawdzano grubość folii za pomocą grubościomierza typu A-91. Pomiary powtarzano dziesięciokrotnie dla danej partii próbek.

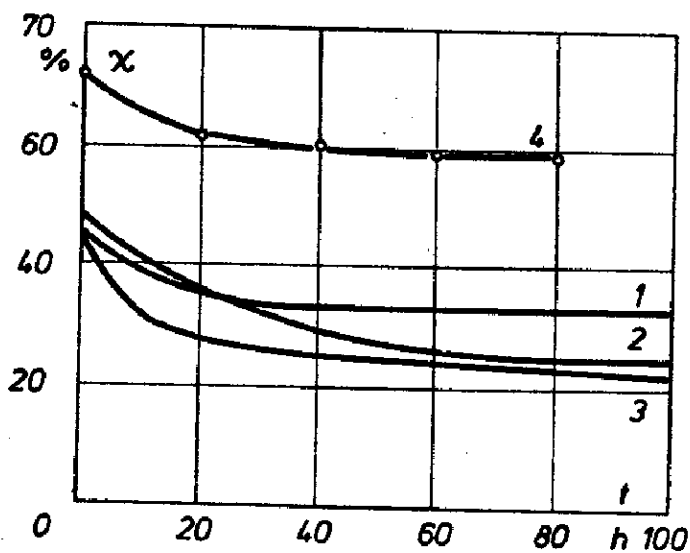
Analizę mikroskopową rozwoju śladów drzewiastych przeprowadzano natomiast w izolacji kabla typu YHdAKX 15 kV . Próbkę izolacji polietylenowej ze śladem drzewiastym wycinano z kabla i wycinek zatapiało w żywicy chemo-utwardzalnej w celu odpowiedniego umocowania jej w szczękach polerki. Tak przygotowaną próbkę szlifowano i polerowano standardowymi urządzeniami metalograficznymi aż do otrzymania lustrzanej powierzchni badanej. Następnie tak przygotowaną próbkę trawiono za pomocą bardzo silnego utleniacza, odsłaniając struktury sferologiczne polietylenu. Do ich obserwacji zastosowano skaningowy mikroskop elektronowy typu JEOL JSM-50A i standardowy mikroskop biologiczny.

3. Struktura polietylenu

Jak powszechnie wiadomo, wszystkie ważniejsze polimery mające zastosowanie w przemyśle kablowym wyróżniają się dwufazową strukturą, składającą się z części amorficznej i części krystalicznej. Wpływ morfologii na właściwości elektryczne polietylenu termoplastycznego i sieciowanego podano w pracach [2,4-6,10] .

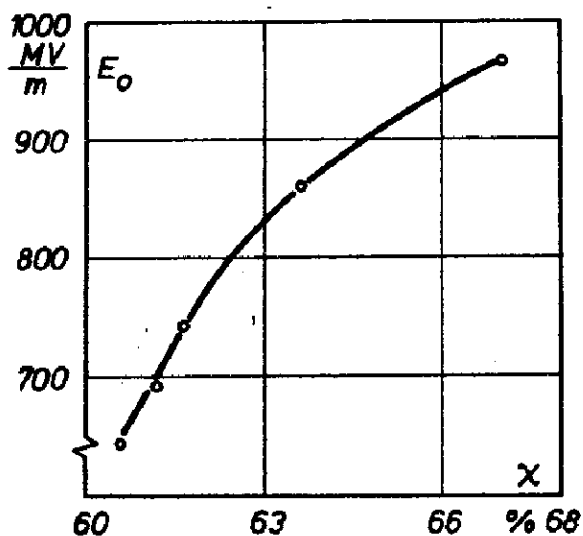
E.Griaczowa w pracy [3] przedstawiła ciekawe wyniki badań wpływu wyładowań niezupełnych na folię polietylenową. Stwierdzono, że w wyniku oddziaływania wyładowań niezupełnych maleje stopień krystaliczności materiału. Potwierdzają to także nasze pomiary. Pokazano to na rys. 1 /krzywa 4/. Wyznaczono także wytrzymałość starzonych wyładowaniami niezupełnymi próbek. Zależność wytrzymałości elektrycznej i stopnia krystaliczności folii polietylenowej przedstawiono na rys. 2.

Przeprowadzone badania wykazały, że wytrzymałość elektryczna folii maleje wraz z obniżaniem się stopnia krystaliczności. Zjawisko to najprawdopodobniej spowodowane jest tym, że zwiększa się ilość obszarów amorficznych, które jak wykazały badania [7] mają mniejszą wytrzymałość elektryczną niż faza krystaliczna /sferolity/ badanej folii.



Rys.1. Zmiany stopnia krystaliczności folii wykonanych z różnych gatunków polietylenu w zależności od czasu działania wyładowań niezupełnych.

1 - Lupolen 1812 DXSX/SA, 2 - Lupolen 1812 DXSK,
3 - Suprathen wg. [3], 4 - Politen II 003 GO.

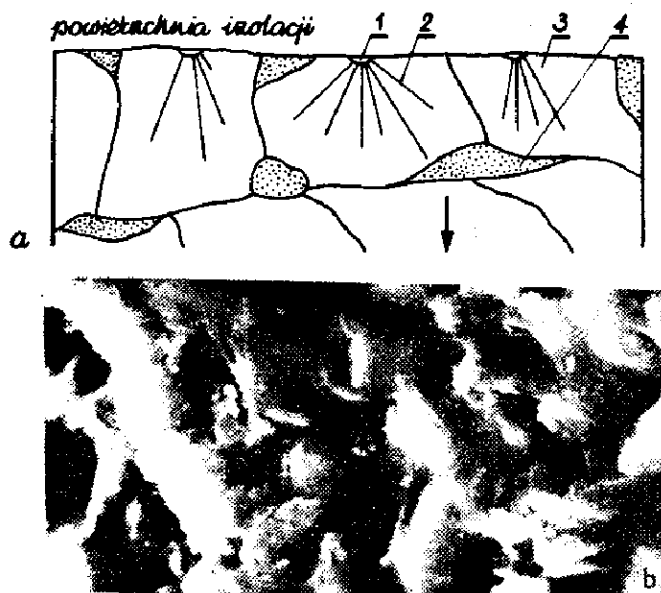


Rys.2. Zależność wytrzymałości elektrycznej i stopnia krystaliczności folii polietylenowej Politen II 003 G0 starzonej wyładowaniami niezupełnymi

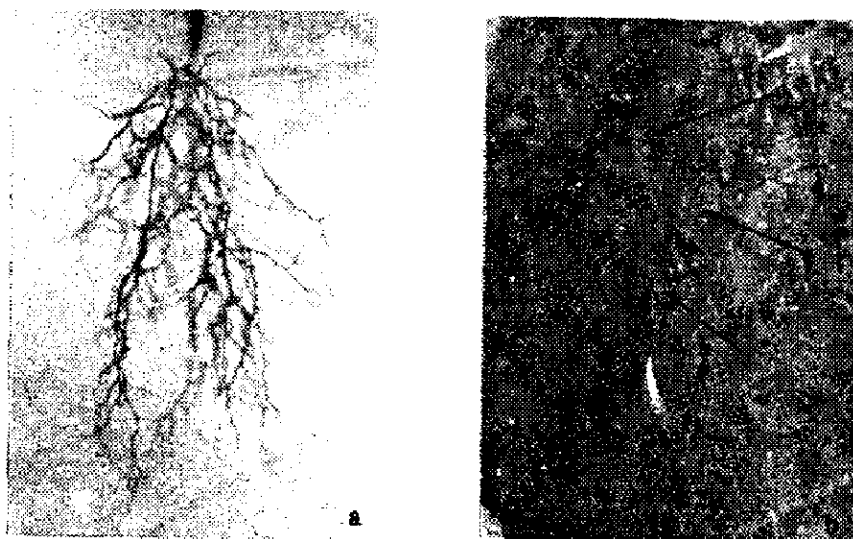
W następnym etapie przeprowadzono badania izolacji kabla typu YHDAKX 15 kV. Parametry wytłaczania takiej izolacji mają wpływ na jej strukturę, która składa się ze sferolitów rozmieszczonych bezładnie w fazie amorficznej, o czym wspomniano już na wstępie.

Proces krystalizacji rozpoczyna się bezpośrednio po wytłoczeniu polietylenu na żyłę roboczą kabla w czasie schładzania masy izolacji. Pojedynczy kryształ rozrasta się od punktu centralnego /zarodka/, powstając zwykle z materiału wielocząsteczkowego, rzadziej z cząstek obcych. Podczas tego procesu tworzą się cienkie i długie wstęgi zwane lamelami, które rozwijając się w wiązki w końcowym stadium tworzą sferolity /rys. 3/.

Dla zobrazowania wpływu struktury na rozwój wyładowań niezupełnych w izolacji polietylenowej kabla analizowano przebieg śladów drzewiastych otrzymywanych w próbach igłowych. W wyniku obserwacji kilkunastu śladów drzewiastych powstałych w różnych gatunkach polietylenu i przy różnych napięciach przykładanych do elektrody igłowej stwierdzono, że kanały śladu drzewiastego rozwijają się w fazie amorficznej izolacji. Struktura sferolitu pozostaje natomiast nienaruszona. Przykładowy przebieg śladu drzewiastego przedstawiono na rys. 4.



Rys.3. Schemat tworzenia się struktur sferologicznych podczas schładzania wytłoczonej izolacji polietylenowej. a/ schemat procesu krystalizacji : 1 - zarodek krystalizacji, 2 - lamelle, 3 - sferolity, 4 - faza amorficzna ; strzałka oznacza kierunek krystalizacji. b/ sferolity w izolacji polietylenowej kabla YHdAKX 15 kV widok z góry, powiększenie 3000x



Rys.4. Zobrazowanie wpływu wyładowań niezupełnych na izolację polietylenową kabla wysokiego napięcia typu YHdAKX 15 kV. a/ ślad drzewiasty w izolacji polietylenowej powstały w wyniku próby igłowej, powiększenie 150x, b/ wytrawiona powierzchnia przekroju śladu drzewiastego - strzałkami oznaczono środki sferolitów, powiększenie 1000x

4. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że :

- wyładowania niezupełne powodują zmianę struktury materiału izolacyjnego. Długotrwałe ich oddziaływanie powoduje obniżenie stopnia krystaliczności folii polietylenowej Politen II 003 90.

- Istnieje współzależność pomiędzy stopniem krystaliczności i wytrzymałością elektryczną polietylenu izolacyjnego.

- Kanały wyładowań niezupełnych rozwijają się w części amorficznej izolacji polietylenowej kabli elektroenergetycznych wysokiego napięcia. Forma "drzewka" zależy od rozmieszczenia sferolitów w przestrzeni, w której się ono rozwija.

Literatura

1. Biernacka T., Kontik B. : Badania struktury polietylenu metodą absorpcji w podczerwieni. Tworzywa - Guma - Lakiery, 1960, nr 2, s.100.
2. Fava R.A. : Polyethylene Crystals. Journal Polymer Science, part D, Macromol. Rev., Vol. 5, 1971, p.1.
3. Griaczova E. : Zmiana stopnia krystalinitety PE nasledkom posobienia bojov. EKT, 1973, nr 2, s.115.
4. Grzybowski S., Zubielik P., Kuffel E. : Spherulite Structures in Polyethylene High Voltage Cable Insulation. Conference Record of the 1980 IEEE International Symposium on Electrical Insulation. June 9-11, 1980, Boston, USA, p.200.
5. Grzybowski S., Zubielik P., Kuffel E. : Wpływ budowy krystalicznej na właściwości elektryczne izolacji polietylenowej kabli wysokiego napięcia. Przegląd Elektrotechniczny, 1981, nr 11-12, s.399.
6. Grzybowski S., Robles E., Dorlante O. : The Morphological Structure in Different Parts of XLPE High Voltage Cables. Conference Record of the 1982 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, June 7-9, 1982, Philadelphia, USA.
7. Kolesov S.N. : The Influence of Morphology on the Electric Strength of Polymer Insulation. IEEE Trans.Electr.Insul., EI-15, No 5, 1980, p. 382.
8. Kontik B., Biernacka T. : Oznaczanie stopnia krystalizacji polietylenu metodą absorpcji w podczerwieni. Tworzywa - Guma - Lakiery, 1960, nr 2, s.105.
9. Nikitin W.J., Pokrowskij E.I. : Opriedielenie krystaliczności i temperatur pławienia polietilena metodom infrakrasnych spiektrow pogłoszczeniija. Dokł.Akad.Nauk SSSR, Vol.95, 1954, nr 1, s.109.

10. Phillips P.J. : Morphology-electrical Property Relation in Polymers. IEEE Trans. Electr. Insul., EI-15, 1978, No 2.
11. Rakowska A. : Zależność między zmianami strukturalnymi wybranych materiałów polimerowych a zmianami własności elektrycznych wywołanych oddziaływaniem niektórych czynników zewnętrznych. Rozprawa doktorska. Politechnika Poznańska, 1982.