

Adam Tymań*

BADANIA WŁASNOŚCI WYBRANYCH KAUCZUKÓW SILIKONOWYCH STOSOWANYCH DO PRODUKCJI WYSOKONAPIĘCIOWYCH IZOLATORÓW ENERGETYCZNYCH

Streszczenie: Izolatory z kauczuku silikonowego znajdują coraz szersze zastosowanie w światowych systemach energetycznych. W produkcji tego typu izolatorów stosowanych jest kilka odmian kauczuku: RTV, HTV i LSR. Od kilku lat izolatory kompozytowe wzbudzają również zainteresowanie energetyki i krajowego przemysłu izolatorowego. W referacie przedstawiono wyniki badań własnych czterech wybranych materiałów silikonowych stosowanych przez znanych producentów do produkcji osłon i kloszy izolatorów kompozytowych. Badania dotyczyły wpływu cyklicznych zmian temperatury (od -22°C do 55°C), ultrafioletu, mgły solnej, na podstawowe własności powierzchniowe: rezystancję powierzchniową, kąty zwilżania (statyczny, dynamiczne), prąd upływu i jego charakterystyki impulsowe w funkcji czasu oddziaływania mgły solnej.

Słowa kluczowe: izolator kompozytowy, kauczuk silikonowy, hydrofobowość, kąty zwilżania, prąd upływu

1. Wstęp

Izolatory z kauczuku silikonowego (KS) stanowią dzisiaj podstawową grupę izolatorów kompozytowych składających się z trzech podstawowych elementów: rdzenia (włókno szklane typu ECR sycone żywicą epoksydową), osłony i kloszy z KS oraz okuć metalowych. Izolatory te posiadają szereg zalet w stosunku do izolatorów porcelanowych lub szklanych. Należą do nich: mniejszy ciężar, większa wytrzymałość elektryczna, mniejsze koszty transportu i instalowania, łatwość i szybkość montażu na linii,

* Politechnika Wroclawska, Instytut Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

większą odporność na wandalizm. Ponadto ze względu na niektóre z wymienionych zalet umożliwiają stosowanie większej długości przęseł i tańsze słupy, przeizolowanie istniejących linii na wyższe napięcie, oraz zwiększają estetykę otoczenia. Podstawową wadą tych izolatorów jest mniejsza odporność na starzenie pod wpływem narażeń atmosferycznych, środowiskowych i napięciowych (wyładowania powierzchniowe). Po prostu prosta konstrukcja izolatorów kompozytowych kryje w sobie złożone problemy badawcze i nowoczesne rozwiązania materiałowo konstrukcyjne [1, 2, 3, 4]. Izolatory z KS są obecnie bardzo szeroko eksploatowane w sieciach energetycznych wielu krajów. Analizując dostępną literaturę można twierdzić, że ich zastosowanie będzie nadal wzrastało. Liczne pozytywne doświadczenia światowe, ciągle udoskonalane materiały i konstrukcje powodują, że będą one również w Polsce coraz częściej stosowane.

Ważną problematyką ostatnich lat są zagadnienia metodyki badań i kryteriów oceny izolatorów silikonowych i materiałów stosowanych do ich produkcji szczególnie dotyczących właściwości „wyjściowych” i starzeniowych materiałów osłonowych, problemów materiałowo technologicznych rdzenia i warstw granicznych rdzeń–okucie–osłona. Materiałami osłonowymi nowoczesnych izolatorów kompozytowych są niemal wyłącznie elastomery: KS, EPM, EPDM i ESP. Stosowane w produkcji KS mogą różnić się między sobą ważnymi właściwościami. Właściwości te zależą bowiem od: materiałów podstawowych (elastomeru), zastosowanych lub nie napełniaczy i dodatków oraz procesu technologicznego. W przypadku KS stosuje się procesy wulkanizacji w temperaturze pokojowej RTV, podwyższonej HTV i technologię z ciekłego stanu LSR.

2. Problemy oceny właściwości materiałów osłonowych

Wybór materiału na osłonę i klosze jest uzależniony od konstrukcji izolatora, procesu technologicznego, kosztów oraz własności uznanych jako ważne i ustalonych między wytwórcą i użytkownikiem. Ciągłe zmiany technologii, materiałów i konstrukcji nastroczają poważnych problemów w ocenie właściwości materiałów wyjściowych i produktu końcowego szczególnie mniejszym laboratoriom i użytkownikom. Metody badań materiałów osłonowych powinny umożliwić ocenę nie tylko różnych materiałów, ale również materiałów należących do tego samego gatunku. Istnieje ciągła potrzeba opracowania norm uwzględniających miejsce pracy izolatorów kompozytowych i oceny powtarzalności własności oraz wyboru jednej właściwej przyśpieszonej metody prób starzeniowych. Jedną z bardziej istotnych, ze względu na rozwój przeskoku zabrudzeniowego, właściwości kauczuków silikonowych jest zwilżalność powierzchni określana hydrofobowością oraz zjawisko jej powrotu przy szeroko pojętym oddziaływaniu zjawisk zabrudzeniowych. Również i przy badaniach tej właściwości szczególnie w warunkach polowych istnieje szereg kontrowersji.

3. Próby oceny właściwości kauczuków silikonowych

Badania wykonano na próbkach wykonanych z czterech elastomerów silikonowych tzw. drugiej generacji (RTV 2, LSR) oznaczonych: **I** — Silopren 2950, **II** —

Silopren elektro 2841 (bez napelnacza ATH), **IV** — Elastomer nr 1525, **V** — Powersil 600. Próbki miały rozmiary $13 \times 6,5 \times 0,4$ cm. Materiały te poddano oddziaływaniu mgły solnej ($1,5 \text{ g/l} \Rightarrow 3,5 \text{ mS/cm}$) w komorze mgielnej, cykлом temperaturowym (od -22°C do $+55^\circ\text{C}$), promieniowaniu ultrafioletowemu UV-A oraz prądom upływu przy 50 Hz w komorze mgielnej, opisanej w [5, 6], zasilanej ultradźwiękowym generatorem mgły. We wszystkich badaniach napięciowych stosowano ten sam układ elektrod półokrągłych o $r = 30$ mm i $a = 70$ mm. Jako podstawowy parametr oceny zastosowano pomiary kątów zwilżania (statyczny i dynamiczne: czołowy i tylny), zmierzono rezystancję powierzchniową materiałów przy napięciu $U_{DC} = 2 \text{ kV}$ w funkcji czasu zwilżania mgłą solną oraz rejestrowano przebiegi impulsów prądu upływu w funkcji czasu i wartości napięcia przemiennego.

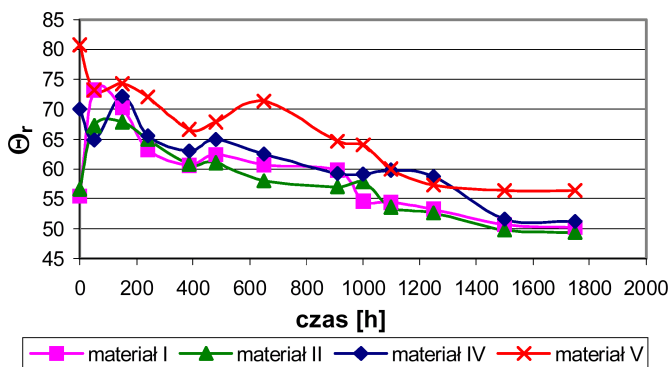
4. Wyniki badań

Badania wpływu mgły solnej w funkcji czasu jej oddziaływania na zwilżalność powierzchni i rezystancję powierzchniową pokazały, że materiały obniżają w różnym stopniu te właściwości. Wyjściowe wartości kątów badanych materiałów wynosiły: statyczny (113° – 120°), kąt dynamiczny czołowy (**kdc**) (120° – 122°), kąt dynamiczny tylny (**kdt**) (55° – 81°). Największy spadek kątów zwilżania zaobserwowano w pierwszych 40 minutach narażenia mgłą. Kąty odpowiednio malały około: 10% kąt statyczny, 11% **kdc** i 13% **kdt**. Od 60 do 240 minuty pomiaru kąty te praktycznie nie obniżały już swoich wartości. Najwyższymi wartościami kątów po próbie charakteryzował się materiał **V**. Podobnie, korzystniej zachował się ten materiał przy pomiarach rezystancji. Materiały obniżyły swoją rezystancję odpowiednio: **I** — z $20 \text{ T}\Omega$ w 5 minucie oddziaływania mgły na $77 \text{ G}\Omega$ po 300 min; **II** — z $20 \text{ T}\Omega$ na $180 \text{ G}\Omega$; **IV** — z $20 \text{ T}\Omega$ na $400 \text{ G}\Omega$; **V** — z $20 \text{ T}\Omega$ na $1 \text{ T}\Omega$. Procentowo największy spadek rezystancji powierzchniowej notowano w 15 minucie badań.

Po tych badaniach wykonano pomiary kątów, na części niemytej i mytej próbek, po 15 min, 10, 16 i 24 godz. Część powierzchni myto przez 3 min w wodzie destylowanej w płucze ultradźwiękowej. Na wszystkich materiałach po 24 godz. nastąpił odzysk hydrofobowości do wartości wyjściowych na częściach mytych. Na niemytych powierzchniach kąty były niższe o 3–5%. Odzysk hydrofobowości jest jedną z charakterystycznych pozytywnych właściwości KS. Następuje on w wyniku „wypływania” na powierzchnię frakcji niskomolekularnych (olej silikonowy) oraz reorientacji łańcuchów makromolekuł i grup bocznych w objętości materiału.

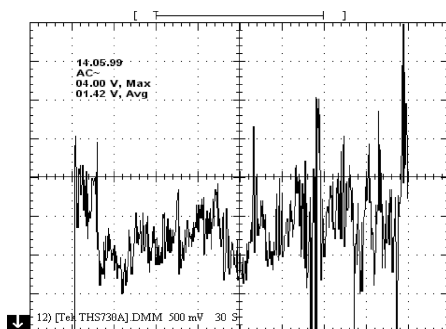
Jednym z najbardziej istotnych narażeń izolacji organicznych pracujących w warunkach napowietrznych jest promieniowanie ultrafioletowe słońca w paśmie UV-A (315–400 nm).

W celu sprawdzenia odporności KS na UV, próbki materiałów narażano z odległości 50 cm przez okres 1750 godz. promieniowaniem lampy fluoroscencyjnej 40 W (EVERSUN 40/79 Osram). Okresowo w trakcie tego narażenia wykonywano pomiary kątów zwilżania. Stwierdzono średnio obniżenie wartości kąta statycznego o 15%, **kdc** o 19% i **kdt** o 10%–20%. Największe względne zmiany **kdt** miały miejsce na materiale **V** jednakże materiał ten dalej posiadał najwyższe bezwzględne wartości kątów a więc był najbardziej hydrofobowy (rys. 1).



Rys. 1. Wpływ promieniowania UV na kąt dynamiczny tylny zwilżania badanych materiałów

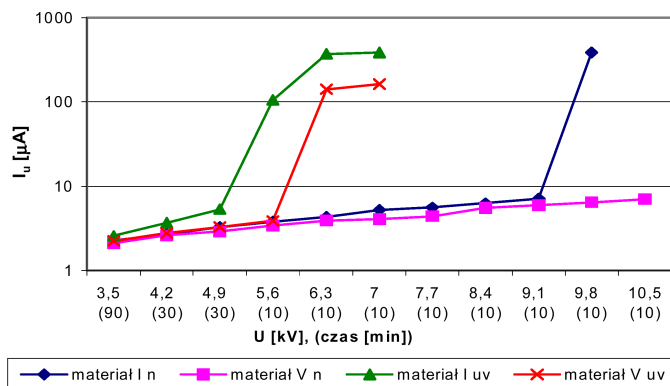
Właściwości powierzchniowe izolatorów polimerowych mogą ulegać przyspieszonymu pogorszeniu przy długotrwałym oddziaływaniu prądów upływu [7, 8]. Przy dużych wartościach tego prądu może mieć miejsce destrukcja powierzchniowa materiałów, degradacja własności izolacyjnych nawet przed wystąpieniem przeskoku zabrudzeniowego.



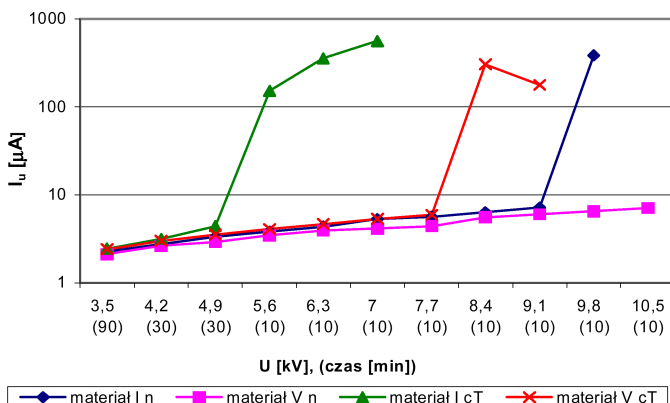
Rys. 2. Impulsy prądów upływu ($1 \text{ V} = 178,6 \mu\text{A}$): materiał I, $U = 9,8 \text{ kV}$

Badania wpływu prądów upływu wykonano w komorze mgielnej na materiale I i V przy napięciu przemiennym o zmiennej wartości. Pierwszy poziom napięcia $3,5 \text{ kV}$ wynikał ze stosowanej odległości elektrod (7 cm) i przyjmowanego w takich warunkach natężenia pola $0,5\text{--}0,6 \text{ kV/cm}$. Przykładano tę wartość napięcia przez $1,5 \text{ godz.}$ a następnie w zależności od zachowania się materiału podnoszono ją skokowo o 700 V na okresy 30 minut . Do rejestracji impulsów prądu i jego przebiegu czasowego zastosowano oscyloskop cyfrowy Tektronix 730 A, pomiaru dokonywano na rezystorze $5,6 \text{ k}\Omega$. W opcji DMM (multimetr cyfrowy) oscyloskop pozwalał na rejestrację i pomiar wartości maksymalnej, średniej i minimalnej impulsów w powtarzającym się wybranym okresie czasu. Wybrano 4 min okres powtarzania zapisu. Na rys. 2 pokazano rejestrację impulsów prądu dla I materiału na poziomie napięcia $9,8 \text{ kV}$ w czasie pierwszych 4 min .

Badaniom prądu upływu, oprócz nowych próbek materiałów poddano również próbki po narażeniu cyklami temperaturowymi i promieniowaniem UV. Przebiegi rejestrowane na oscyloskopie pokazały, że znaczny wzrost wartości prądu upływu na nowych próbkach miał miejsce przy wyższych poziomach napięcia niżeli dla próbek starzonych. Na nowej próbce materiału **V** wyraźnych zmian nie notowano aż do 10,5 kV. Nastąpiły one dopiero po doprowadzeniu do przeskoku ($U_p = 18,3$ kV). Przeskok spowodował połączenie się kropeł wody na powierzchni próbki i utworzenie kanałów wodnych [9, 10] a tym samym wzrost wartości prądu upływu. Na rys. 3 i 4 przedstawiono zmiany wartości prądu upływu w funkcji kolejnych poziomów napięciowych.



Rys. 3. Prąd upływu na materiałach silikonowych narażonych mgłą solną w funkcji poziomu napięcia. W nawiasach podano czas przyłożenia kolejnych napięć: *n* – materiały nowe, *uv* – materiały po narażeniu ultrafioletem



Rys. 4. Prąd upływu na materiałach silikonowych narażonych mgłą solną w funkcji poziomu napięcia. W nawiasach podano czas przyłożenia kolejnych napięć: *n* – materiały nowe, *cT* – materiały po cyklach temperaturowych

W nawiasach poddano czas próby przy danym poziomie napięcia. Obserwacje powierzchni pokazały, że na materiale **I** tworzą się duże krople co świadczy o jego słabszej hydrofobowości. Po 24 godz. od zakończenia tych badań na wszystkich badanych próbkach nastąpił odzysk hydrofobowości.

5. Podsumowanie

Wykonane badania czterech wybranych kauczków silikonowych pokazały, że charakteryzują się one zbliżonymi właściwościami powierzchniowymi w warunkach normalnych. Wyraźne różnice można zauważyć dopiero po narażeniu ich powierzchni mgłą solną, ultrafioletem, zmiennymi cyklami temperaturowymi i polem elektrycznym. Istotnymi parametrami szybko wykazującymi różnice właściwości powierzchniowych są pomiary kątów dynamicznych po próbach starzeniowych oraz charakterystyki i wartości prądów upływu przy badaniach w komorze mgielnej. Spośród badanych materiałów najkorzystniejszymi właściwościami dla zastosowań izolatorowych charakteryzował się materiał **V** — Powersil 600. Po wszystkich wykonanych badaniach charakteryzował się on najwyższymi wartościami kątów zwilżania i najmniejszymi wartościami impulsów prądu upływu nawet na wyższych poziomach napięciowych niż inne materiały. Obecnie prowadzone są podobne badania dla poziomego usytuowania próbek, właściwego dla pracy kloszy izolatorów.

Literatura

- [1] International Symposium on Modern Insulator Technologies, Florida, Nov. 16–19, 1997
- [2] 10th Internat. Symposium on High Voltage Eng., Outdoor Insulation vol. 3, Montreal Aug. 25–29, 1997
- [3] **Sörqvist T.**: *Polymeric Outdoor Insulators — A long-term Study*, Chalmers Univ. of Technology, Göteborg, 1997
- [4] **Fleszyński J., Tymań A.**: *Elektroenergetyczne izolatory kompozytowe: Aktualne problemy badawcze*, Postępy w elektrotechnologii, III Konf. Naukowa, Szklarska Poręba 1998, s. 204–208
- [5] **Tymań A.**: *Własności szklów izolatorowych modyfikowanych metodą polimeryzacji plazmowej*, Postępy w elektrotechnologii, II Konf. Naukowa, Szklarska Poręba 1996, s. 11–14
- [6] **Fleszyński J., Tymań A.**: *Behaviour of modified insulator surface material under electric stress*, Nordic Insulation Symp. NORD — IS96 Bergen, June 10–12, 1996, pp. 115–121
- [7] **Kawa D. F., Chavez M. J., Orbeck T., Lumb C.**: *Practical PCA-DA System for Measurements of Leakage Current Pulses on Polymer Insulators Under Wet Contaminated Conditions*, IEEE Electrical Insulation Mag. Vol. 8, No. 2, 1992, pp. 5–13
- [8] **Wańkiewicz J., Mbwana M.**: *Non-conservative approach to laboratory ageing of silicones*, Archives of Electrical Engineering, vol. XLVI, No. 4, pp. 443–459
- [9] **Fleszyński J., Tymań A.**: *Badania wyładowań elektrycznych inicjowanych przez krople wody na hydrofobowej powierzchni izolacyjnej*, III Ogólnopolskie Sympozjum Inżynieria Wysokich Napięć IW-96, Poznań–Kiekrz, 19–22 maja 1996, s. 113–118

- [10] **Bretuj W., Fleszyński J., Tymań A.:** *Zachowanie się kropli wody i wylądowania na hydrofobowej powierzchni izolacyjnej w polu elektrycznym*, IV Ogólnopolskie Symp. Inżynieria Wysokich Napięć IW-98, Poznań–Kiekrz, 25-27 czerwca 1998, s. 63–68

INVESTIGATIONS OF PROPERTIES OF SELECTED SILICONE RUBBERS USED
FOR POWER LINE INSULATORS

A few various investigations have been done on four different silicone rubbers. The carried out tests have shown temperature cycles, ultraviolet, salt fog with and without 50 Hz voltage and leakage current influence on properties of the silicone rubbers. The decrease of static and dynamic contact angles as well as surface resistance and increase of a leakage current have been noticed. One of the tested materials has superior resistance compare to the others.

Badania wykonano w ramach Grantu KBN nr 8T10B02614:
„Metody badań i kryteria oceny elektroenergetycznych izolatorów kompozytowych”.