

Krzysztof Wieczorek<sup>1</sup>

## WYNIKI BADAŃ ODPORNOŚCI ELASTOMERÓW SILIKONOWYCH NA DZIAŁANIE PRĄDÓW PEŁZAJĄCYCH ZMODYFIKOWANYM TESTEM POCHYLEJ PRÓBKI

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono wyniki badań odporności na działanie prądów pełzających dwóch różnych elastomerów silikonowych – gumy HTV i pokrycia RTV w zmodyfikowanym teście pochylej próbki. Modyfikacja eksperymentu polegała na zmianie kąta nachylenia próbki z 45 na 180 oraz dozowaniu roztworu zwilżającego na górną powierzchnię próbki. Celem tej modyfikacji było w miarę wierne odwzorowanie warunków przepływu prądów upływu po górnych powierzchniach kloszy izolatorów, zwłaszcza w obecności zabrudzeń. Porównano wyniki badań próbek czystych i zabrudzonych oraz próbek świeżych i starzonych wcześniej wyładowaniem koronowym.

**Słowa kluczowe:** elastomer silikonowy, prąd upływu, starzenie, hydrofobowość powierzchni.

### 1. Wprowadzenie

Eksperyment pochylej próbki jest znormalizowaną metodą badania materiałów elektroizolacyjnych – zwłaszcza tradycyjnych np. żywic, laminatów itd. – przeznaczonych do zastosowania w urządzeniach wysokiego napięcia pracujących w warunkach napowietrznych lub wewnętrznych o środowisku wilgotnym zawierającym substancje zwiększające przewodność elektryczną [1]. Metodę próbuje się również wykorzystać do oceny gum silikonowych charakteryzujących się właściwościami hydrofobowymi, w przypadku których powierzchnia próbek musi być sztucznie modyfikowana ponieważ krople czynnika zwilżającego próbkę odpadają od jej powierzchni. Duże nachylenie próbki w klasycznym eksperymencie (450) powoduje szybkie spływanie czynnika zwilżającego, a w przypadku hydrofobowych elastomerów silikonowych trudności z utworzeniem się zwilżanej ścieżki na powierzchni materiału i przepływem prądu między elektrodami. Z powodów technologicznych nachylenie górnych powierzchni kloszy izolatorów kompozytowych jest niewielkie podobnie jak nachylenie kloszy izolatorów tradycyjnych, o czym decydują z kolei względy dobrej samooczyszczalności. Jednocześnie jak wynika z obserwacji powierzchni kloszy izolatorów kompozytowych eks-

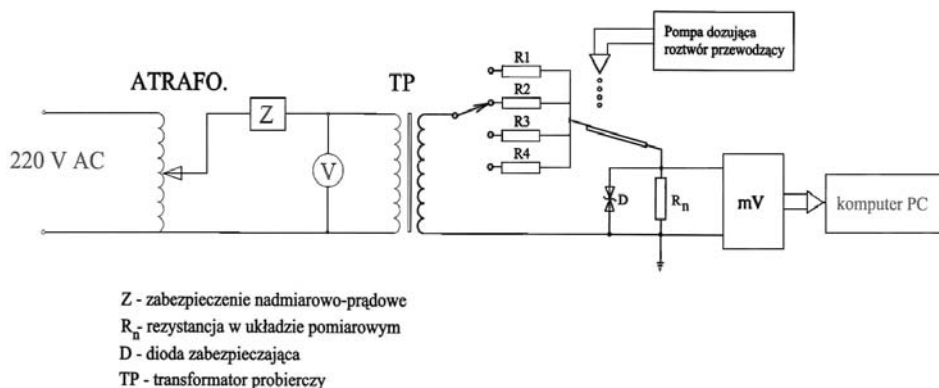
<sup>1</sup> Instytut Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii Politechniki Wrocławskiej; Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

plaatowanych od około 20 lat w TSBZ Głogów, na ich górnych powierzchniach w miejscach gromadzenia się zabrudzeń (w otoczeniu rdzenia) i wody (tam gdzie klosz staje się płaski) powstają ślady erozji wskazujące na występowanie wyładowań powierzchniowych. Uznano więc, że odwzorowanie tych warunków w teście pochyłej próbki wymaga zwilżania górnych powierzchni badanych elastomerów silikonowych i zmniejszenia nachylenia próbek. Obecność kropeł wody na powierzchni kloszy może być powodem występowania wyładowań ulotowych [2] dlatego badania prowadzono na świeżych i starzonych wyładowaniem ulotowym próbkach gum silikonowych HTV i RTV.

## 2. Stanowisko badawcze i obiekt badań

Przedmiotem badań były próbki elastomeru silikonowego HTV o dwóch grubościach 3 i 5 mm oraz pokrycie RTV o grubości 0,4 mm, wszystkie w kształcie prostokąta o wymiarach 120x50 mm. Badania prowadzono na próbkach czystych oraz zabrudzanych kaolinem z solą w proporcji wagowej 10:1. Zgodnie z podawanymi w literaturze wynikami pomiarów ESDD na naturalnie zabrudzonych izolatorach kompozytowych przyjęty równoważnik gęstości osadu soli SDD wynosił  $0,09 \pm 0,02 \text{ mg/cm}^2$  [3,4].

Eksperymentowi poddano również próbki, które wcześniej starzono w teście wyładowania koronowego [5].



Rys. 1. Stanowisko badawcze [5].

Stanowisko do badania odporności na prądy pełzające (rys.1) opisane w normie [1] i przedstawione w [6] zostało zmodyfikowane tak aby roztwór elektrolitu był dozowany na powierzchnie próbki nachyloną pod kątem  $18^\circ$  do płaszczyzny, który odpowiada w przybliżeniu spotykanym kątom nachylenia górnych powierzchni kloszy izolatorów. Według normy [1] próbka mocowana jest pod kątem  $45^\circ$  do płaszczyzny badaną powierzchnią skierowaną do dołu. Roztwór skupując na odpowiednio zamocowane warstwy bibuły spływa po badanej powierzchni.

Urządzenie dozujące roztwór przewodzący, którym była solanka o konduktywności  $1,5 \text{ mS/cm}$  zapewniało jej wypływ w ilości  $18 \text{ ml/godzinę}$ . Natężenie pola wynosiło  $0,8 \text{ kV/cm}$ . W czasie badań prowadzono stałą rejestrację prądu upływu. Głównym kryterium

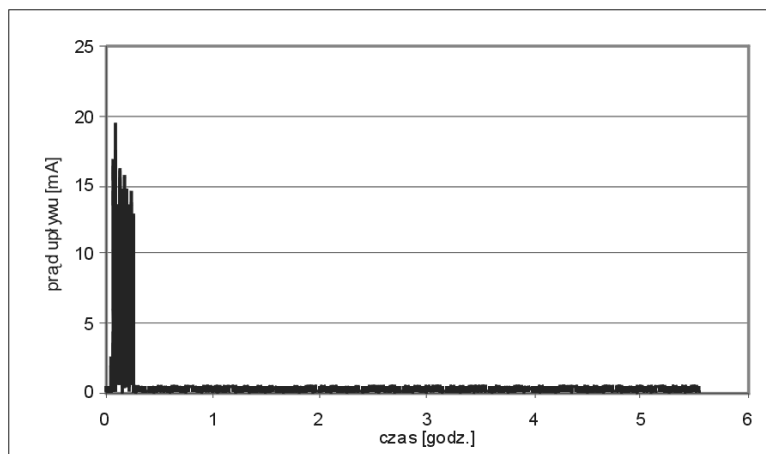
warunkującym przerwanie eksperymentu było osiągnięcie przez rejestrowany prąd wartości granicznej 60 mA [1] a więc takiej, przy której dalszy wzrost prądu mógłby spowodować przeskok powierzchniowy. Alternatywnym kryterium pozwalającym uznać materiał za dobry było wytrzymanie przez próbkę 6 godzin bez osiągnięcia przez prąd wartości kryterialnej. Uzupełnieniem pomiarów prądu upływu były pomiary dynamicznych kątów zwilżania przed i po zakończeniu badań.

### 3. Wyniki badań

Analiza zarejestrowanych przebiegów zmian prąd na świeżych, czystych próbkach materiału HTV i RTV pokazała, że zmodyfikowana metoda pochyłej próbki nie wymaga specjalnego przygotowania powierzchni badanych materiałów i pozwala na ich okresowe zwilżanie. Na rysunkach 2 i 3 przedstawiono rejestracje prądów upływu w próbie klasycznej i zmodyfikowanej. Biorąc pod uwagę średnie wartości impulsów prądu upływu można przyjąć, że zmodyfikowany test około 3-krotnie silniej narażał badane próbki w stosunku do testu klasycznego.

Przebieg rejestrowanego prądu jest różny na próbkach RTV (rys.3) i HTV (rys.4) ponieważ w pierwszym przypadku ma charakter osobno występujących impulsów prądowych o różnej amplitudzie, które zanikają niemal do zerowej wartości, natomiast w przypadku materiału HTV zapłon impulsu powoduje okresowy przepływ prądu, który nie zanika i ma tendencje narastającą. Większa zdolność tłumienia prądu upływu na próbkach materiału RTV może wynikać z niższej zwilżalności ich powierzchni.

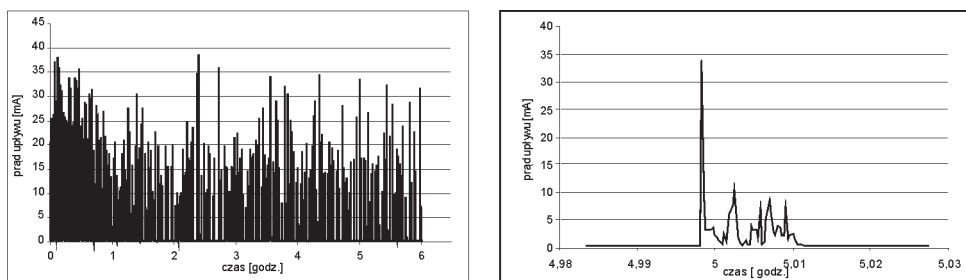
W przypadku badanych próbek maksymalne wartości impulsów prądowych nie przekraczały zwykle 50-55 mA.



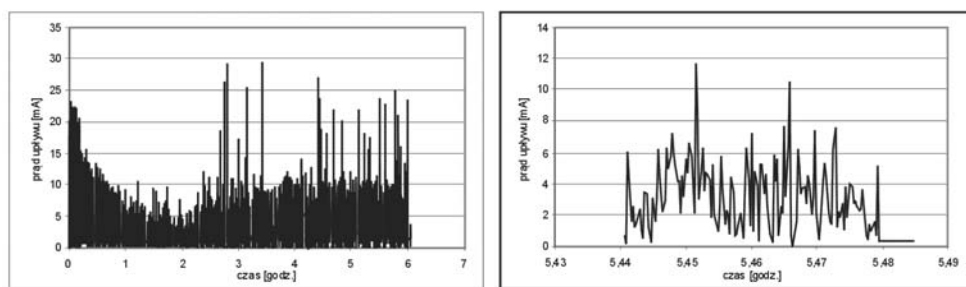
**Rys. 2.** Wykresy zależności prądu upływu od czasu starzenia czystych świeżych próbek RTV – próba klasyczna.

Obliczone średnie wartości impulsów prądowych w ciągu 6 godzin trwania eksperymentu były wyższe dla materiału starzonego wcześniej oddziaływaniem

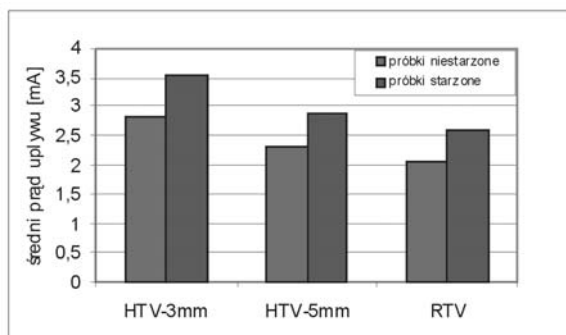
wyładowania koronowego (rys.5 i 6). Tendencja to dotyczyła zarówno próbek czystych jak i zabrudzonych kaolinem z solą.



**Rys. 3.** Wykresy zależności prądu upływu od czasu starzenia czystych świeżych próbek RTV (próbka zmodyfikowana) – cały przebieg oraz fragment około 3 minut pomiarów

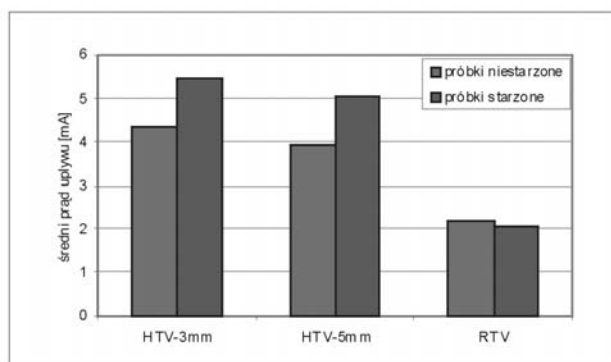


**Rys. 4.** Wykresy zależności prądu upływu od czasu starzenia czystych świeżych próbek HTV (próbka zmodyfikowana) – cały przebieg oraz fragment około 3 minut pomiarów



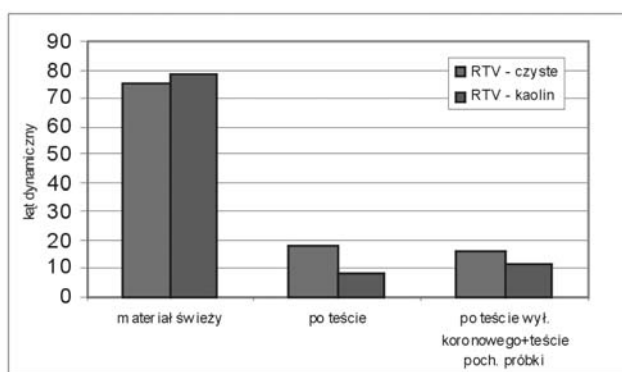
**Rys. 5.** Średnia wartość impulsów prądu upływu w okresie 6 godzin dla próbek czystych starzonych i nie starzonych wyładowaniem koronowym

Średnie wartości impulsów prądów upływu w przypadku starzonego wyładowaniem koronowym pokrycia RTV były o około 20% większe od rejestrowanych na próbkach świeżych. Natomiast zabrudzenie próbek RTV kaolinem wpłynęło na obniżenie średnich wartości impulsów prądu upływu na próbce starzonej co przedstawiono na rysunku 6.



**Rys. 6.** Średnia wartość impulsów prąd upływu w okresie 6 godzin dla próbek zabrudzonych kaolinem z solą starzonych i nie starzonych wyładowaniem koronowym

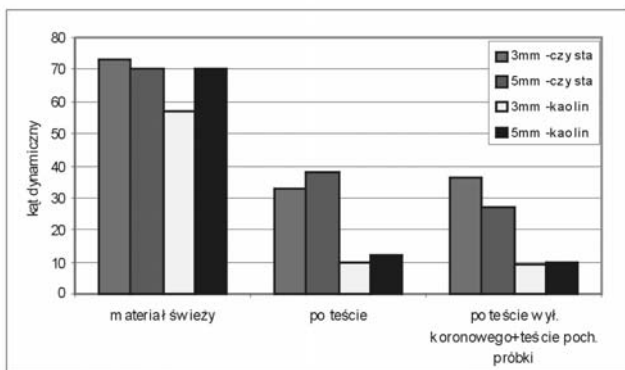
Może to mieć związek częściową hydrofobizacją powierzchniowych zanieczyszczeń chociaż wyniki pomiarów zwilżalności pokrycia po zakończeniu badań metodą pochyłej próbki wskazują na utratę hydrofobowości przez tę gumę. Podobne wyniki uzyskano dla gumy RTV dodatkowo starzonej wyładowaniem koronowym (rys.7).



**Rys. 7.** Utrata hydrofobowości przez pokrycie RTV w teście pochyłej próbki

W przypadku elastomeru HTV zaobserwowano występowanie związku pomiędzy średnią wartością impulsów prądu upływu a grubością próbek tylko dla materiału czystego. I tak dla próbek starzonych wyładowaniem koronowym o grubości 3mm jak i 5mm średni prąd upływu był około 25% wyższy niż na próbkach świeżych (rys.5). Porównanie średnich wartości impulsów prądowych wykazuje, że rejestrowany prąd był o około 22% niższy na próbkach grubszych tak materiału świeżego jak i starzonego (rys.5). Wskazuje to na fakt, że jakkolwiek dynamika odzysku hydrofobowości na próbkach cieńszych jest zwykle większa niż na grubszych to w przypadku długotrwałego narażenia grubość próbki może mieć istotne znaczenie podczas minimalizowania narażeń występujących w dłuższym spektrum czasowym. Ciekawy wynik rejestracji prądów uzyskano na zabrudzonych próbkach materiału HTV (rys. 6). Niezależnie od grubości próbek wartości rejestrowanych prądów były zbliżone i o około 20%

wyższe na próbkach starzonych wyładowaniem koronowym. W odróżnieniu od materiału RTV obecność zabrudzenia na próbkach materiału HTV spowodowała około 70-80% wzrost wartości prądu w stosunku do próbek czystych zwłaszcza starzonych.. Wynika stad, że badany materiał HTV jest albo mniej odporny na starzenie wyładowaniem koronowym w stosunku do badanego pokrycia RTV albo ma gorsze właściwości odzysku hydrofobowości w obecności zabrudzeń. Wydaje się, że bardziej prawdopodobne jest przypuszczenie o słabszej hydrofobizacji zabrudzeń przez materiał HTV na co mogą wskazywać wyniki przedstawione na rysunku 8.



Rys. 8. Utrata hydrofobowości przez materiał HTV w teście pochylej próbki

Na rysunku tym widać wyraźnie, że obecność zabrudzeń na świeżym materiale HTV o grubości 3 mm powoduje wzrost zwilżalności czego już nie obserwuje się na próbkach o grubości 5mm. Wyniki badań wskazują, że obecność zabrudzeń powoduje większy wzrost zwilżalności powierzchni próbek w stosunku do powierzchni czystych (rys.8). Przeprowadzony eksperyment spowodował silny wzrost zwilżalności próbek, a w jego następstwie degradację ich powierzchni. Ze względu na dużą niejednorodność pola elektrycznego aktywność wyładowań była największa w obszarach przyelektrodowych, a szczególnie przy elektrodzie uziemionej. W miejscach tych erozja materiału była największa (rys. 9).



Rys. 9. Erozja materiału przy elektrodzie uziemionej

Jak wynika z oględzin próbek z elastomerów silikonowych HTV i RTV po przeprowadzonym teście były one zdegradowane w porównywalny sposób. Widoczne ślady erozji występowały jedynie w miejscu styku elektrod czyli tam gdzie natężenie pola było najbardziej nierównomierne i gdzie gromadził się elektrolit. Zachodzi tutaj pewna analogia z górna powierzchnia klosza izolatora gdy chodzi o kształt ścieżek erozyjnych i przyczynę i powstawania. Można również zwrócić uwagę na fakt, że większy prąd upływu nie spowodował silniejszego uszkodzenia próbek HTV w stosunku do obserwowanego na próbkach RTV. Wynika stąd nieco inna filozofia budowania odporności obu tych materiałów na narażenia zewnętrzne. Wydaje się, że badany materiał HTV przy gorszej hydrofobowości jest bardziej odporny na przepływ dużych prądów upływu natomiast materiał RTV nie dopuszcza do ich powstawania nawet w obecności zabrudzeń przez ich szybką hydrofobizację. Wynika stąd dalej, że materiał HTV bardziej nadaje się na otwarte powierzchnie izolatora narażane opadami atmosferycznymi ale i dobrze samooczyszczające się (powierzchnie kloszy), natomiast materiał RTV może być efektywnie eksploatowany w warunkach zabrudzeń (pień izolatora).

#### 4. Wnioski

- Zmodyfikowany test pochylej próbki umożliwia przepływ prądu po powierzchni próbek z elastomerów silikonowych bez konieczności sztucznego podwyższania ich zwilżalności.
- Kształt prądu upływu jest odmienny dla gum o różnej zwilżalności i dla materiału o małej zwilżalności przybiera postać pojedynczych impulsów prądowych tłumionych niemal do zera.
- Wstępne starzenie wyładowaniem koronowym i obecność zabrudzeń w różny sposób wpływa na przebieg testu w przypadku materiałów HTV i RTV wskazując na nieco inny mechanizm zwalczania zewnętrznych narażeń przez te materiały.
- Degradacja powierzchni próbek obu elastomerów po teście była porównywalna.

#### Literatura

- [1] PN-89/E-04442 – *Badanie odporności na prądy pelzające przy wysokim napięciu i pochylej próbce*
- [2] **George G. Karady** – *Flashover Mechanism of Non-ceramic Insulators* IEEE Trans.on Dielectrics and Electrical Insulation, vol.6, no. 5, October 1999, s. 718-723
- [3] **Fleszyński J. , Pohl Z. , Wańkiewicz J.G. , Gubański S.M. , Stankiewicz J., Winkler J.** – *Experience with application of polymeric materials to outdoor high-voltage insulators in Poland* – International Conference on Large High Voltage Electric Systems, 37<sup>th</sup> CIGRE Sesion, Paris, France 30<sup>th</sup> –August – 5<sup>th</sup>September 1998
- [4] **Wańkiewicz J.** – *Przeskok zabrudzeniowy. Wybrane zagadnienia eksploatacyjne i materiałowo-konstrukcyjne izolatorów elektroenergetycznych* – Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej – Wrocław 1995
- [5] **Wieczorek K., Wańkiewicz J.** – *Influence of corona dischargers in presence of water on wettability of silicone rubbers* – Materiały Konferencji APTDAM’2001, Wrocław, wrzesień, 17-19, 2001

- [6] **Fleszyński J. , Lisowski M., Świerzyzna Z.** – *Odporność na prądy pelzające elastomerów silikonowych stosowanych na osłony w izolatorach kompozytowych* – Prace Naukowe Instytutu Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii Politechniki Wrocławskiej, Materiały Konferencyjne NIWE 2000, Bielsko-Biała, czerwiec, 2000

#### RESULTS OF INVESTIGATION OF SILICONE RUBBERS BY MODYFICATED INCLINED PLANE TEST.

This paper presents results of modified inclined plane test of two different silicone rubber i.e. HTV silicone rubber and RTV coating. The samples were divided into two groups, samples of the first group were virgin while samples of the second group were subjected to corona discharge ageing. Additional, clean and polluted samples from both groups were tested. After test the changes in surface wettability were examined. Advantages of application of modified inclined plane test over the test described in the standard were discussed.

Praca została wykonana w ramach projektu KBN nr PB7 T08 D01119.  
Badania wykonano w Instytucie Elektrotechniki we Wrocławiu.