

Adam Maćkowiak*, Hanna Mościcka-Grzesiak*,
Andrzej Cellary**, Jan Chajda**

STEREOMETRYCZNA ANALIZA STANU POWIERZCHNI JAKO NARZĘDZIE OCENY DEGRADACJI WYBRANYCH DIELEKTRYKÓW

Streszczenie: W pracy przedstawiono wyniki oceny wpływu wyładowań niezupełnych na rzeźbę powierzchni wybranych dielektryków na bazie żywic epoksydowych. Niszczące działanie wyładowań niezupełnych badano w oparciu o stereometryczną analizę stanu powierzchni materiału oraz parametry charakteryzujące chropowatość.

Słowa kluczowe: chropowatość dielektryków, wyładowania niezupełne

1. Wprowadzenie

Erozja materiału izolacyjnego pod wpływem wyładowań niezupełnych jest jednym z możliwych mechanizmów przebicia dielektryku. Wyładowania niezupełne występujące w powietrzu nad powierzchnią graniczną dielektryk stały–powietrze powodują w pierwszej fazie chropowacenie dielektryku, a następnie pojawiają się kraterki. W zagłębieniu kraterki następuje wzmocnienie natężenia pola elektrycznego, co intensyfikuje wyładowania niezupełne i powoduje dalsze pogłębianie kraterki. Wyładowania niezupełne powodują, jak wspomniano, erozję materiału, ubytek masy i pocienianie dielektryku, ale o utracie wytrzymałości elektrycznej raczej decydują „słabe miejsca” w postaci głębokich kraterki.

Opisywane wyładowania niezupełne w szczelinie powietrznej nad powierzchnią dielektryku są skutkiem typowego defektu występującego w wysokonapięciowych maszynach elektrycznych. Izolacja typu tkanina szklana–mika–żywica epoksydowa zwy-

* Politechnika Poznańska, Instytut Elektroenergetyki

** Politechnika Poznańska, Instytut Technologii Mechanicznej

kle jest pokryta lakierem o zwiększonej przewodności, dzięki czemu szczeliny powietrzne między izolacją, a ściankami żłobka są elektrycznie zwarte i nie mogą w nich występować wyładowania niezupełne. W przypadku niewłaściwej technologii, w warunkach eksploatacyjnych, może nastąpić złuszczenie lakieru, co prowadzi do ewidentnych zmian warunków polowych. W szczelinach powietrznych pojawia się pole elektryczne o znacznym natężeniu, co może prowadzić do wyładowań niezupełnych. Przypadki takie zostały udokumentowane i opisane w publikacjach E. Tułodzieckiej i K. Andrzejewskiego [1, 2], którzy prowadzili badania głównie w aspekcie rozpoznawania defektów generatorów metodami statystycznymi z użyciem specjalistycznego systemu cyfrowego.

2. Cel i zakres pracy

Przedmiotem naszych badań jest ocena degradacji wybranych materiałów używanych w układach izolacyjnych maszyn elektrycznych. Wcześniejsze nasze prace koncentrowały się na ocenie postępującego niszczenia materiału z wykorzystaniem różnych narzędzi zaliczanych do grupy tzw. „metod elektrycznych”.

W pierwszej fazie naszych badań założyliśmy, że wyładowania niezupełne działają głównie na warstwy wierzchnie, wobec czego poszukiwano wielkości charakteryzujących zmiany właściwości powierzchniowych. Badania wyładowań niezupełnych powierzchniowych pozwoliły wytypować wielkości (liczba wyładowań, ładunek sumaryczny, ładunek maksymalny, kąt fazowy wyładowań), które można traktować jako kryteria stopnia zdegradowania powierzchni [3, 4].

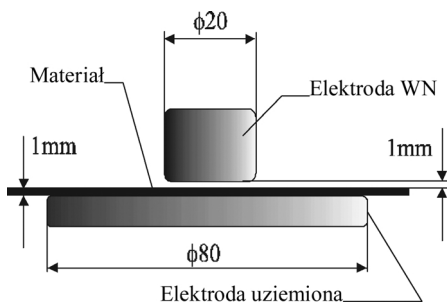
Następnie próbowano ustalić związki między stopniem zdegradowania dielektryku, a jego rezystywnością powierzchniową. Wykorzystywano w tym celu odpowiedniej klasy elektrometr [5].

W tej pracy przedstawione zostaną wyniki bezpośredniej oceny rzeźby zdegradowanej powierzchni dielektryku. Przeprowadzona zostanie stereometryczna analiza stanu powierzchni. Prześledzona będzie odporność różnego typu żywic na niszczące działanie wyładowań niezupełnych i zostanie dokonana ocena jakościowa i ilościowa badanych materiałów w oparciu o różne kryteria charakteryzujące chropowatość powierzchni.

3. Aparatura i obiekt badań

W badaniach wykorzystano skomputeryzowany system profilometru firmy PERTHEN z wymienną końcówką laserową lub stykową. System umożliwia dwuwymiarową i trójwymiarową analizę chropowatości.

Obiektami badań były materiały szkło-epoksydowe w postaci płyt warstwowych o trzech różnych klasach izolacji. Badane płyty wytwarzane były przez sprasowanie w podwyższonej temperaturze kilku warstw tkaniny szklanej nasyconej różnymi kompozycjami żywic epoksydowych. Symbole badanych płyt: TSE2 — klasa izolacji B (130°C), TSE3 — klasa izolacji F (155°C), TSE6 — klasa izolacji H (180°C).



Rys. 1. Schemat układu elektrod i szczeliny powietrznej nad badaną próbką

Próbki poddano działaniu intensywnych wyładowań niepełnych w układzie przedstawionym na rysunku 1. Wyładowania niepełne wymuszano w szczelinie powietrznej nad próbką przy napięciu 10 kV. Analizie porównawczej poddano reprezentatywne próbki nowe oraz degradowane wyładowaniami niepełnymi przez jedną godzinę oraz pięć godzin.

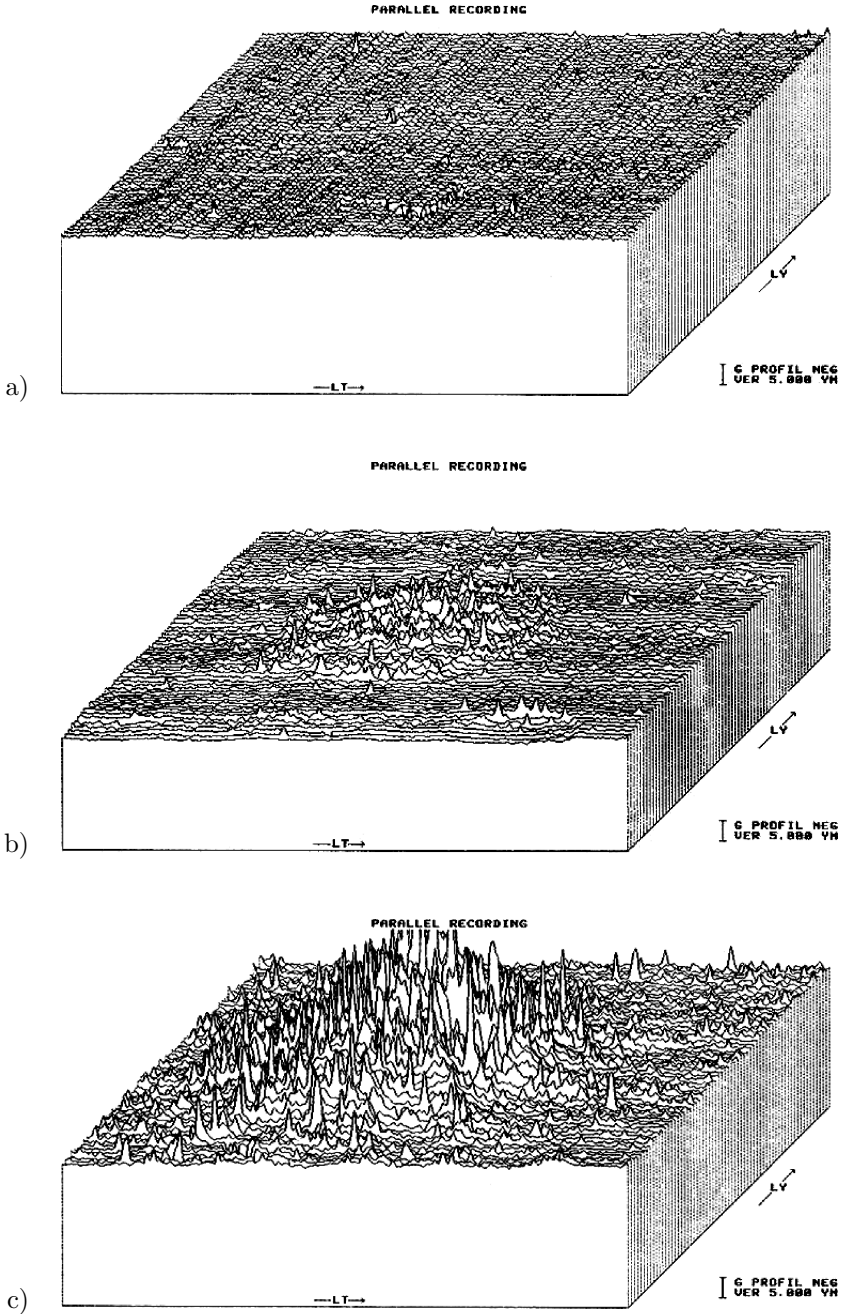
4. Wyniki badań

Efektowną wizualizację procesu tworzenia się krateru stanowią stereometryczne obrazy przedstawione na rysunku 2. Obrazy dotyczą serii trzech próbek klasy F, z których pierwsza była nowa (a), druga była degradowana wyładowaniami niepełnymi w czasie 1 h (b) a trzecia z kolei w czasie 5 h (c).

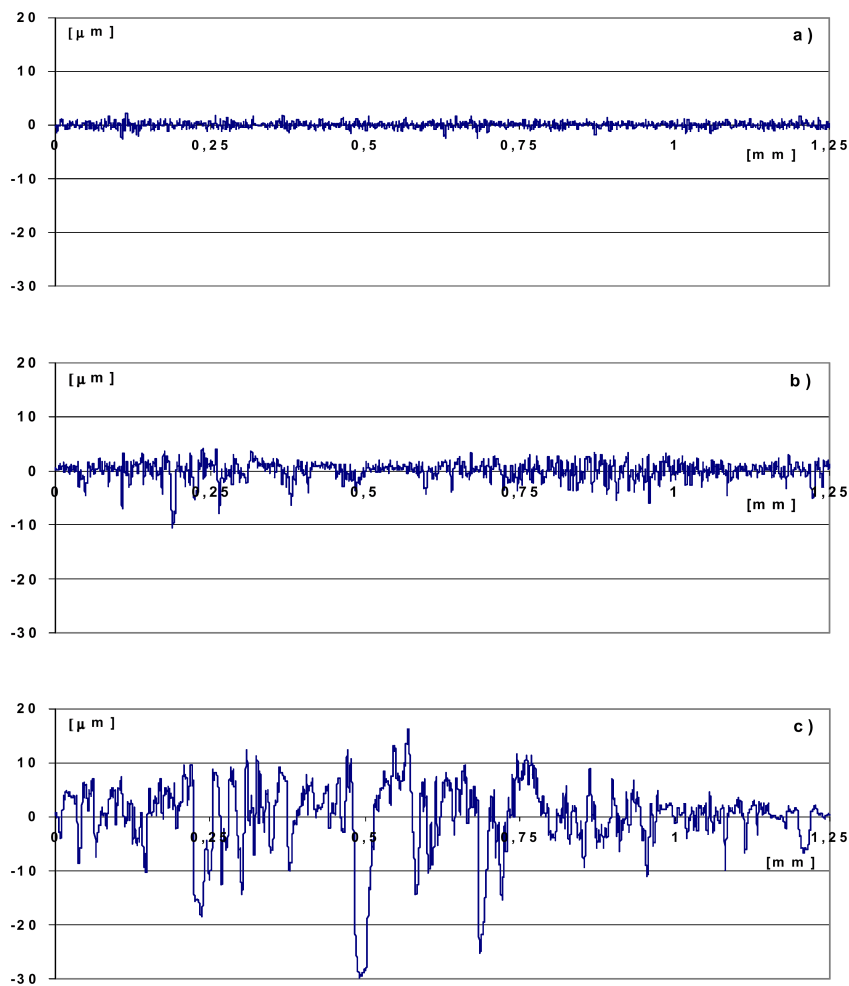
Kraterzy zostały pokazane w formie negatywów, gdyż w wersji pozytywowej są mało widoczne. Gdyby założyć, że pogłębianie kraterów następuje liniowo z czasem, to można obliczyć, że szybkość tworzenia krateru wynosi $5 \mu\text{m/h}$, co stanowi ok. 3,5 mm na miesiąc. W rzeczywistych warunkach proces będzie przyspieszany z powodu wzmocnienia natężenia pola na dnie krateru lub spowalniany z powodu wygaszania wyładowań niepełnych, niemniej ten szacunkowy rachunek daje wyobrażenie o tempie tworzenia kraterów prowadzących do przebicia.

Kolejna możliwość oceny stanu powierzchni związana jest z dwuwymiarową techniką przedstawiania chropowatości. Jest to technika chronologicznie dużo wcześniej znana metrologom, niemniej jest bardzo przydatna, gdyż pozwala na ilościowe wyznaczenie wielu różnych parametrów chropowatości. Na rysunku 3 pokazano wybrane profilogramy dla serii próbek klasy F. Widać wyraźnie postępującą degradację materiału.

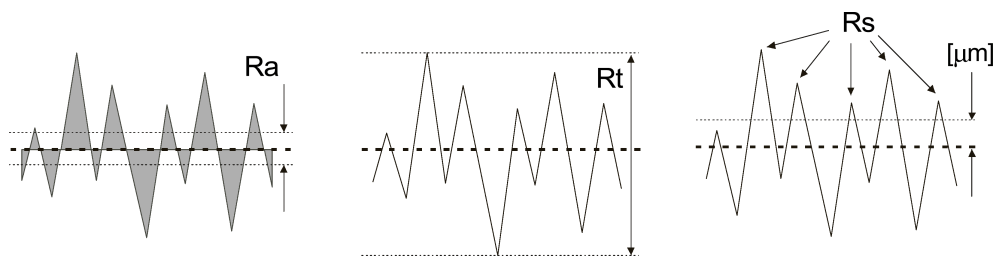
Na podstawie otrzymanych profilogramów, dzięki odpowiedniemu oprogramowaniu profilometru, uzyskano wartości liczbowe kilku — częściej wykorzystywanych — parametrów chropowatości wszystkich badanych przez nas materiałów. Należy w tym miejscu podkreślić, że różna jest przydatność poszczególnych parametrów dla różnych celów. W naszym przypadku wybieramy (na tym etapie badań) trzy parametry: R_a , R_t , R_s . Znaczenie tych parametrów wraz z matematyczną definicją przedstawiono na rysunku 4.



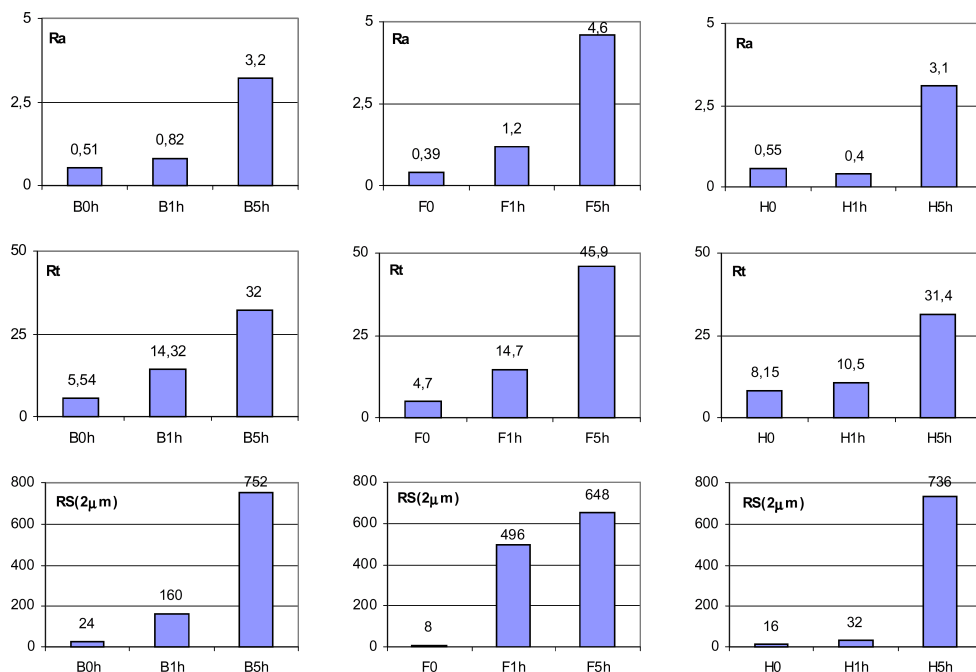
Rys. 2. Stereometrycznie przedstawiony proces tworzenia krateru; próbka klasy F nowa (a), degradowana wyladowaniami niezupełnymi przez czas 1h (b) i 5h (c); obrazy negatywowe



Rys. 3. Profilogramy powierzchni próbek klasy F; próbka nowa (a), degradowana wyładowaniami niepełnymi przez czas 1 h (b) i 5 h (c)



Rys. 4. Znaczenie wybranych parametrów chropowatości



Rys. 5. Zestawienie wybranych parametrów chropowatości (R_a , R_t i R_s) dla próbek B, F i H w stanie wyjściowym (0h) oraz degradowanych wyładowaniami niepełnymi przez czas 1h i 5h

Na rysunku 5 zebrano wartości parametrów R_a , R_t i R_s dla badanych materiałów izolacyjnych klasy B, F i H.

Każdy z parametrów bardzo wyraźnie zwiększa swą wartość w miarę postępującej degradacji materiału, a więc wszystkie stanowią dobre kryterium niszczenia dielektryku. Natomiast relacja między parametrami opisującymi próbki trzech klas nie jest taka oczywista, to znaczy, że na przykład próbki najniższej klasy B nie są najgorsze. Wykonując profilogramy w różnych miejscach zdegradowanej powierzchni można uzyskać uśrednioną informację o postępującym chropowaceniu oraz o ubytku masy.

5. Wnioski

Wybrane parametry chropowatości powierzchni (R_a , R_t , R_s) bardzo dobrze opisują proces erozji i degradacji materiału izolacyjnego narażonego na działanie wyładowań niepełnych.

Techniki oceny chropowatości powierzchni mogą być szczególnie przydatne do badań porównawczych odporności różnych dielektryków na wyładowania niepełne występujące w szczelinie powietrznej nad powierzchnią dielektryku.

Wyladowania niezupełne, oprócz równomiernego na całej powierzchni ubytku masy, powodują też powstawanie kraterów. Do oceny kształtu krateru i szybkości jego pogłębiania świetnie nadaje się technika stereometryczna — szczególnie negatywowa, wykorzystująca promień laserowy lub końcówkę stykową.

Dwuwymiarowe i trójwymiarowe metody oceny rzeźby powierzchni dielektryku można wykorzystać szczególnie w badaniach laboratoryjnych, natomiast nie nadają się do diagnostyki defektów realnych urządzeń.

Pragniemy podziękować Zakładom Tworzyw Sztucznych IZO-Erg w Gliwicach, a szczególnie mgr inż. Marii Piotrowskiej-Baran za udostępnienie materiałów do badań.

Literatura

- [1] **Tułodziecka E., Andrzejewski K.:** *Diagnostyka izolacji i uzwojenia stojana hydrogeneratora, wykonanej z materiałów krajowych technologią INERG*, III Seminarium Techniczne Materiały i układy elektroizolacyjne w przemyśle elektrotechnicznym, Ustroń – Jaszowiec, 1996 r., s. 75–94
- [2] **Tułodziecka E., Andrzejewski K.:** *Inżynieria wysokich napięć w elektroenergetyce*, tom 2, pod red. H. Mościckiej Grzesiak, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 1999
- [3] **Maćkowiak A.,** *Ocena degradacji wybranych materiałów na bazie żywic epoksydowych w oparciu o analizę częstościowo-fazową i częstościowo-amplitudową wyladowań niezupełnych*, IV Ogólnopolskie Sympozjum Inżynieria Wysokich Napięć IW-98, Poznań – Kiekrz, 1998 r., s. 147–152
- [4] **Maćkowiak A., Kalicki T.:** *Wpływ wyladowań niezupełnych w szczelinie powietrznej na degradację wybranych materiałów na bazie żywic epoksydowych*, III konf. Postępy w elektrotechnologii, Szklarska Poręba 1998, s. 193–197
- [5] **Maćkowiak A., Gielniak J., Mościcka-Grzesiak H.:** *Analiza wybranych właściwości wierzchnich warstw materiałów szkło-epoksydowych poddanych działaniu wyladowań niezupełnych generowanych nad powierzchnią graniczną dielektryk stały – powietrze*, IV Seminarium Techniczne Materiały i układy elektroizolacyjne w przemyśle, Ustroń – Jaszowiec, 1998

STEREOMETRIC ANALYSIS OF SURFACE CONDITION AS A TOOL FOR EVALUATION OF CHOSEN DIELECTRIC DEGRADATION

Paper presents the result of estimation of partial discharges influence on surface shape of chosen materials made on basis of epoxy resins. The destructive action of partial discharges was investigated with the aid of three-dimensional analysis of surface condition and characteristic parameters of roughness.

Praca została wykonana w ramach projektu KBN 8 T10A 008 17