

Ocena porowatości porcelany na podstawie analizy wyników pomiarów wyładowań niezupełnych

Streszczenie. Artykuł opisuje rezultaty próby powiązania porowatości porcelany z wybranymi parametrami opisującymi wyładowania niepełne generowane w niej przy napięciu przemiennym. Z przeprowadzonych badań wynika, że w porcelanie istnieje zależność między udziałem procentowym porów o różnej wielkości a ładunkiem i częstością pojawiania się impulsów wyładowań niezupełnych.

Abstract. The article describes results of the attempt to find out the correlation between porosity of porcelain and selected parameters describing partial discharges generated under AC voltage. The study shows that there is a correlation between the percentage of different sizes pores and the frequency of PD pulse occurrence. (*Evaluation of porcelain porosity based on analysis of partial discharge measurement results*).

Słowa kluczowe: porcelana, porowatość, wyładowania niepełne.

Keywords: porcelain, porosity, partial discharges.

Wprowadzenie

Wyładowania niepełne (wnz) można badać i analizować w wielu aspektach. Najczęściej wyładowania niepełne traktujemy jako czynnik powodujący degradację izolacji i w rezultacie doprowadzający do przebicia. Naszą diagnozę opieramy wówczas głównie na znajomości wartości pozornego ładunku wnz (q) lub maksymalnego pozornego ładunku wnz (Q_{max}).

Można też wyładowania niepełne traktować jako nośnik informacji o typie defektów w układzie izolacyjnym. Jeśli w układzie występują defekty, które przy odpowiednim napięciu (przeważnie wyższym od znamionowego) generują wyładowania niepełne, wówczas na podstawie znajomości parametrów statystycznych opisujących wyładowania niepełne, możemy rozpoznać typ defektu. Każdy typ defektu ma przypisany swoisty „odcisk palca”, zbudowany na podstawie około trzydziestu parametrów. Z kolei znajomość typu defektu pozwala nam prognozować czas życia układu lub pomaga w podjęciu decyzji dotyczącej działań poprawiających stan układu izolacyjnego lub remontu jednostki. Na tej zasadzie działają profesjonalne układy diagnostyczne, na przykład system TEAS-570 [1]. W zakresie rozpoznawania defektów maszyn elektrycznych, bardzo duże doświadczenie i sukcesy ma Instytut Energetyki – Zakład Izolacji w Poznaniu [2].

Kolejną możliwość wykorzystania wyładowań niezupełnych jako nośnika informacji widzą autorzy niniejszej publikacji w zakresie badania struktury materiałów ceramicznych. Charakterystyczną cechą materiałów ceramicznych jest porowatość. W większości przypadków wymaga się jak najmniejszej porowatości. W układach izolacyjnych porowatość w oczywisty sposób wpływa negatywnie na własności dielektryczne materiału, głównie współczynnik strat dielektrycznych oraz przenikalność elektryczną. Oznaczenie porowatości wymaga pobrania próbek i odpowiedniego ich przygotowania do badań mikroskopowych.

Celem przedstawionych dalej badań jest powiązanie jakościowe i ilościowe wielkości opisujących wyładowania niepełne oraz wielkości charakteryzujących porowatość. Intencją jest znalezienie takich relacji, by przez pomiar wyładowań niezupełnych można było wnioskować o porowatości porcelany, bez konieczności pobierania i przygotowywania próbek.

Obiekt badań

Do badań wykorzystano próbki porcelanowe w kształcie płytek o średnicy 124 mm i grubości 6 mm. Aby próbki różniły się porowatością zostały wypalane w różnej

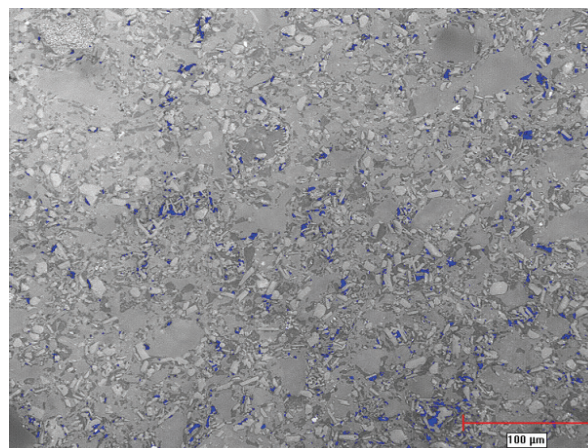
temperaturze (1200°C, 1250°C, 1280°C oraz 1350°C). W tablicy 1 zawarte są uzyskane wartości porowatości porcelany w zależności od temperatury jej wypalania.

Tablica 1. Temperatura wypalania próbek porcelany i uzyskana porowatość

Temperatura wypalania [°C]	1200	1250	1280	1350
Porowatość [%]	1,036 ±0,090	0,776 ±0,068	0,148 ±0,014	0,024 ±0,008

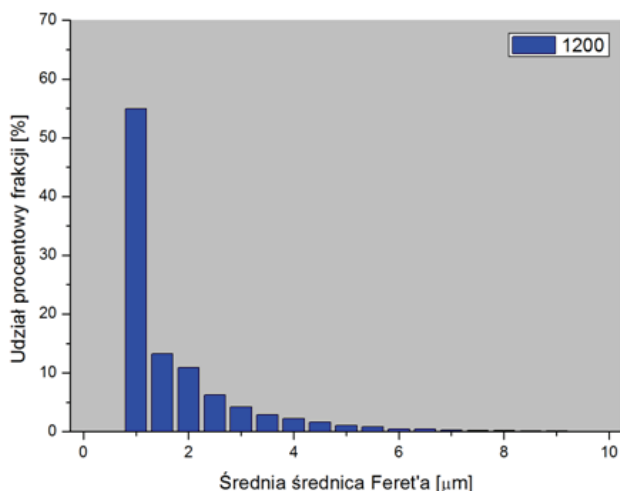
Celem zastosowanej procedury technologicznej było otrzymanie próbek tworzywa ceramicznego posiadających czerep o bardzo zbliżonych parametrach, lecz wyraźnie różnej porowatości.

Na rysunku 1 przedstawiono obraz mikroskopowy próbki wypalanej w temperaturze 1200°C, natomiast na rysunku 2 przedstawiono histogram wielkości porów w tej samej próbce. Wielkość porów została opisana za pomocą



Rys.1. Obraz struktury próbki wypalanej w temperaturze 1200°C; pory zaznaczono kolorem granatowym

średniej średnicy Feret'a. Średnica Feret'a jest to najdłuższa oś jaką można przeprowadzić przez obiekt, natomiast średnia średnica Feret'a jest wartością średnią, uzyskaną z ośmiu kierunków pomiarowych, zawartych w przedziale kątowym 0-180°.



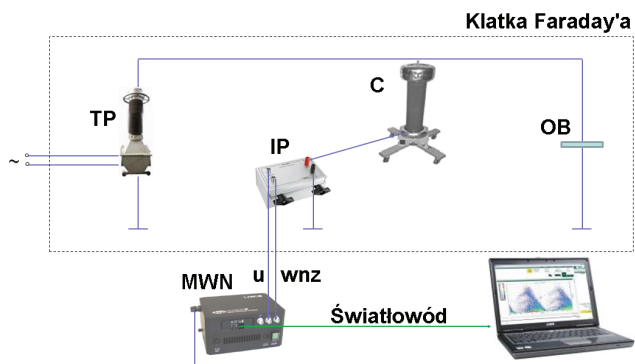
Rys.2. Histogram wielkości porów w próbce wypalanej w temperaturze 1200°C

Badanie wylądowań niepełnych

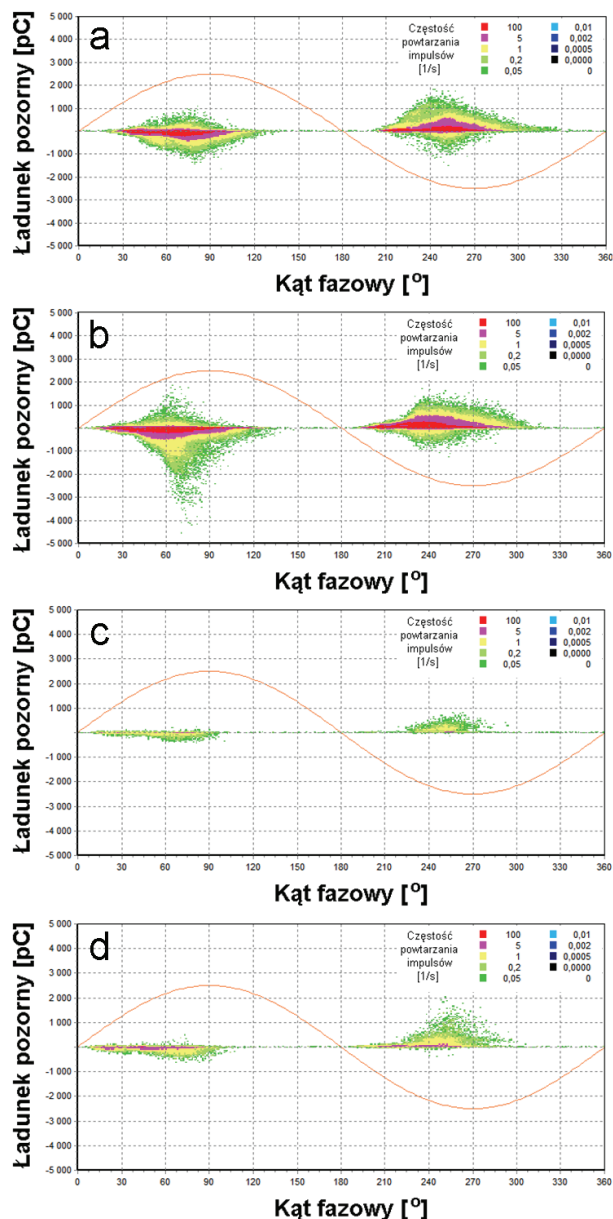
Badania wylądowań niepełnych przeprowadzono metodą elektryczną, zgodnie z normą [3]. W tym celu wykorzystano miernik wylądowań niepełnych PD SMART firmy LDIC. Pomiarów dokonano w układzie pokazanym na rysunku 3. Ze względu na zakłócenia zewnętrzne, układ pomiarowy został zmontowany w klatce Faradaya. Przed każdą serią pomiarową przeprowadzana była kalibracja układu pomiarowego impulsami kalibrującymi o wartości 500 pC. Rejestrację impulsów prowadzono dla każdej próbki w czasie 60 s.

Dla potrzeb pomiaru wylądowań niepełnych na próbki nałożono dwustronnie, metodą wypalania, elektrody srebrne o średnicy 100 mm.

Na rysunku 4 przedstawiono obrazy fazowo-rozdzielcze wylądowań niepełnych w próbkach porcelany o różnej porowatości, wynoszącej odpowiednio 1,036; 0,776; 0,148 i 0,024%. Można zauważyć, że impulsy zawsze pojawiają się w tym samym zakresie kąta fazowego, co jest zrozumiałe, gdyż w każdym przypadku działa tej samej natury źródło wylądowań, to znaczy pory gazowe.



Rys.3. Schemat układu pomiarowego wykorzystywanego do badania wylądowań niepełnych; TP – transformator próbny, IP – impedancja pomiarowa, Cs – kondensator sprzęgający, OB – obiekt badań, MWN – miernik wylądowań niepełnych, u – chwilowa wartość napięcia, wnz – impulsy wylądowań niepełnych



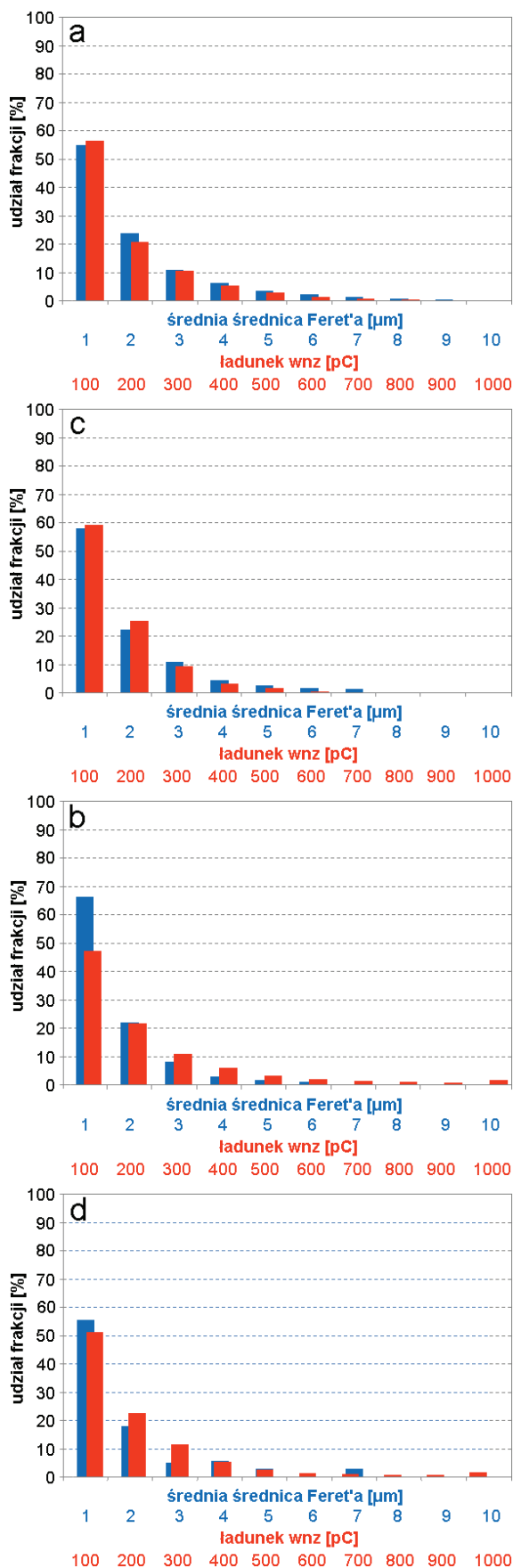
Rys.4. Obrazy fazowo-rozdzielcze wylądowań niepełnych w próbkach porcelany o różnej porowatości; porowatość próbek: a – 1,036%; b – 0,776%; c – 0,148%; d – 0,024%

Łączna analiza porowatości i wylądowań niepełnych

Histogramy ładunku pozornego nałożono na histogramy wielkości porów, co przedstawiono na rysunku 5. W obu histogramach zastosowano dziesięć przedziałów rozdzielczych. Dla ułatwienia porównania, wprowadzono w osi pionowej procentowy udział frakcji (a nie liczbę porów czy liczbę impulsów).

Wyniki badań można uznać za w pełni satysfakcjonujące. Histogramy w dużej mierze się pokrywają, co może uprawniać do wnioskowania o rozkładzie statystycznym wymiaru porów na podstawie rozkładu statystycznego ładunku pozornego.

W przypadku badanych materiałów zachodzi prawidłowość, polegająca na istnieniu stałego stosunku wartości średniej średnicy Feret'a do wartości ładunku pozornego przenieszonego przez jeden impuls. Wartości te dla kolejnych przedziałów histogramów wynoszą odpowiednio: 1/100, 2/200, 3/300, ... [μm/pC].



Rys.5. Porównanie histogramów wielkości porów z histogramami ładunku wnz, zarejestrowanymi w ciągu 60 s, dla różnych wartości porowatości porcelany: a – 1,036%; b – 0,776%; c – 0,148%; d – 0,024%

W przyszłości należy sprawdzić, czy stwierdzone zależności są uniwersalne dla wszystkich materiałów ceramicznych, czy też trzeba będzie dla każdego materiału tworzyć wzorcowe komplety histogramów.

Wnioski

Z przeprowadzonych badań wynika, że wyładowania niepełne mogą stanowić nośnik informacji o porowatości materiału ceramicznego.

Ceramicy opisują porowatość w różny sposób, między innymi posługując się porowatością pozorną [%], gęstością rozłożenia porów [$1/\text{mm}^2$] i histogramami wielkości porów (udział procentowy frakcji w zależności od średniej średnicy Feret'a). Spośród wymienionych wielkości i pojęć, do dalszej analizy porównawczej wybrano histogramy wielkości porów.

Badania wykazały, że histogramy ładunku pozornego wyładowań niepełnych w dużej mierze pokrywają się z histogramami wymiaru porów. Występuje stały stosunek średniej średnicy Feret'a i ładunku pozornego w każdym przedziale rozdzielczym histogramów.

Zamiast badań mikroskopowych, wymagających żmudnego przygotowywania próbek, będzie można wykorzystywać rozkłady statystyczne wyładowań niepełnych do oceny rozkładów statystycznych porów w materiale ceramicznym.

LITERATURA

- [1] System TEAS-570 firmy Haefely
- [2] Tułodziecka E., Andrzejewski K., Pomiary i analiza wyładowań niepełnych za pomocą skomputeryzowanego układu cyfrowego; *Inżynieria wysokich napięć w elektroenergetyce*, Tom II, pod redakcją H. Mościckiej-Grzesiak, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 1999, 113-126
- [3] PN-EN 60270/2003, Wysokonapięciowa technika probiercza. Pomiar wyładowań niepełnych, PKN 2003

Autorzy: dr inż. Hubert Morańda, Politechnika Poznańska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Piotrowo 3A, 60-965 Poznań, e-mail: hubert.moranda@put.poznan.pl
 dr Przemysław Ranachowski, Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, ul. Pawlowskiego 5B; 02-106 Warszawa, e-mail: pranach@ippt.gov.pl
 prof. dr hab. inż. Hanna Mościcka-Grzesiak, Instytut Elektroenergetyki, ul. Piotrowo 3A, 60-965 Poznań, e-mail: hanna.moscicka@put.poznan.pl