

doi:10.15199/48.2016.10.37

Wyładowania niepełne w układzie izolacyjnym celuloza-olej mineralny oraz celuloza-ester syntetyczny

Streszczenie. Tematem artykułu są wyładowania niepełne na powierzchni preszpanu zanurzonego w oleju mineralnym lub estrze syntetycznym. Są to jedne z najbardziej niebezpiecznych wyładowań. Badano wyładowania typu powierzchniowego oraz ślizgowego. Stwierdzono, że wyładowania niepełne na powierzchni preszpanu zanurzonego w estrze syntetycznym mają trochę większą intensywność niż zanurzonego w oleju mineralnym.

Abstract. The theme of the article are partial discharges on surface of pressboard immersed in mineral oil or synthetic ester. These are some of the most dangerous discharges. Partial discharges of surface type and sliding type were tested. It has been found that the partial discharges on the surface of the pressboard immersed in a synthetic ester have a slightly higher intensity than immersed in mineral oil. **Partial discharges in electroinsulating system of cellulose-mineral oil and cellulose-synthetic ester.**

Słowa kluczowe: wyładowania niepełne, układ izolacyjny celuloza-olej mineralny, układ izolacyjny celuloza-ester syntetyczny.

Keywords: partial discharges, electroinsulating system cellulose-mineral oil, electroinsulating system cellulose-synthetic ester.

Wprowadzenie

Temat artykułu jest związany z procedurą zastępowania oleju mineralnego estrem syntetycznym w transformatorach energetycznych. Działania takie podejmuje się zarówno w przypadku nowych transformatorów, które na etapie produkcji są napełniane estrem syntetycznym, jak i transformatorów już eksploatowanych, w których następuje wymiana oleju mineralnego na ester syntetyczny [1, 2].

Ester syntetyczny ma dużo istotnych zalet. Charakteryzuje się wysoką temperaturę zapłonu par i temperaturą palenia, jest całkowicie biodegradowalny oraz nie powoduje zatrucia gleby i wód [1, 3, 4]. Właściciele transformatorów zwykle decydują się na wymianę oleju mineralnego na ester głównie ze względów bezpieczeństwa pożarowego. Ma to szczególne znaczenie w przypadku transformatorów, których pożar może stanowić ogromne zagrożenie dla otoczenia (szpitale, centra handlowe, kina i uczelnie).

Według producenta estrów wymiana oleju mineralnego na ester w transformatorach rozdzielczych nie wymaga żadnych zmian konstrukcyjnych. W transformatorach sieciowym konieczne jest jednak przeprojektowanie układu izolacyjnego [5].

W artykule skoncentrowano się na wyładowaniach niepełnych (wnz) typu powierzchniowego oraz typu ślizgowego. W obu przypadkach wyładowania rozwijają się na powierzchni preszpanu. Są one szczególnie agresywne i wywołują nieodwracalne uszkodzenia izolacji, dlatego uważane są za najgroźniejsze [6-9].

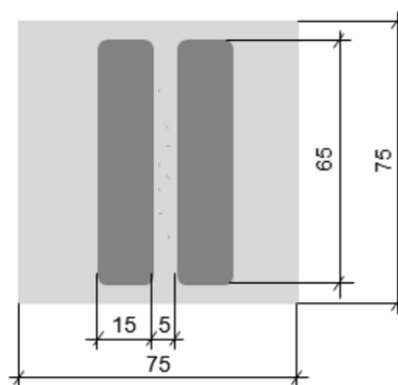
Nieco niższa rezystywność powierzchniowa preszpanu zanurzonego w estrze syntetycznym niż preszpanu zanurzonego w oleju mineralnym oraz większa pojemność układu celuloza-ester niż układu celuloza-olej mineralny sugerują, że wyładowania niepełne generowane na powierzchni preszpanu mogą być intensywniejsze w układach celuloza-ester syntetyczny niż celuloza-olej mineralny.

Obiekty badań

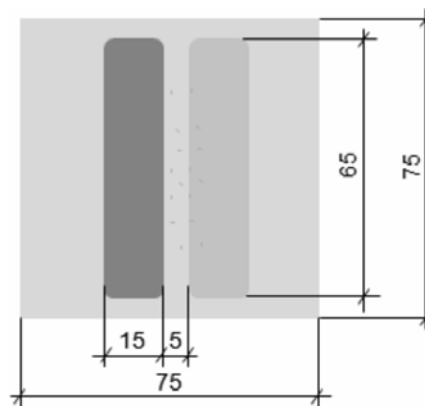
Próbki do badań wykonano z preszpanu o grubości 1 mm i gęstości $1,0 \text{ g/cm}^3$. Elektrody były wykonane w trzech wersjach, co zostało przedstawione na rysunkach 1, 2 i 3.

Układ pomiarowy

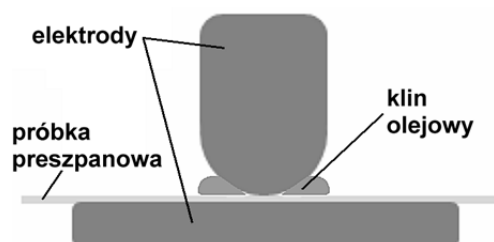
Na rysunku 4 przedstawiono układ pomiarowy wykorzystywany w badaniach. Pomiar wyładowań niepełnych wykonano przy użyciu analizatora wyładowań niepełnych PD-Smart.



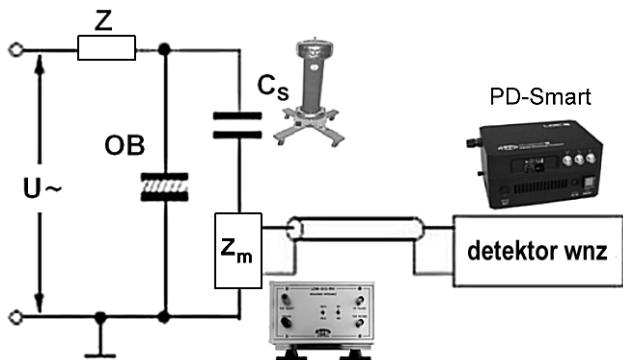
Rys. 1. Elektrody z folii miedzianej naklejone na jednej stronie próbki preszpanowej; wyładowania niepełne typu powierzchniowego



Rys. 2. Elektrody z folii miedzianej naklejone po obu stronach próbki preszpanowej; wyładowania niepełne typu ślizgowego



Rys. 3. Elektrody miedziane lite; wyładowania niepełne typu ślizgowego w układzie elektrod z klinem olejowym

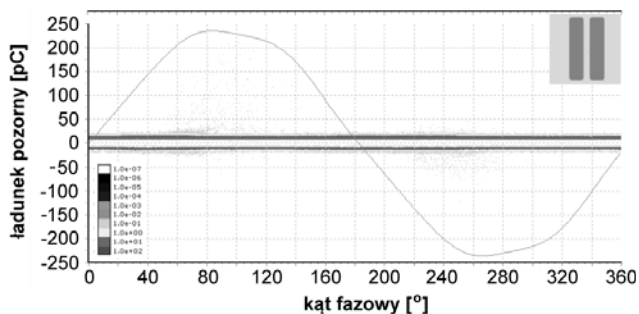


Rys. 4. Układ pomiarowy; pomiary zgodnie z wymaganiami normy EC 60270; rozdzielczość próbkowania 10 bitów; pomiar impulsów o czasie trwania w zakresie: 100 ns-10 μ s; rejestracja serii impulsów pojawiających się z częstotliwością do 2 MHz

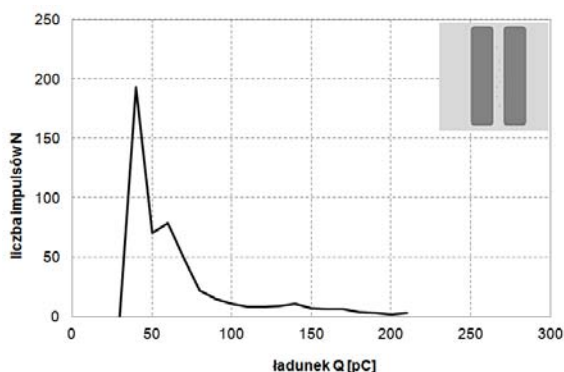
Wyniki badań

W pierwszym kroku przedmiotem badań były wyładowania niepełne typu powierzchniowego na preszpanie zanurzone w estrze lub w oleju mineralnym. Odpowiada to elektrodom przedstawionym na rysunku 1.

Napięcia pojawiania się wyładowań niepełnych na próbce zanurzonej w estrze wynosiło około 15 kV. Pierwszy obraz fazowo-rozdzielczy zarejestrowano przy napięciu 15,3 kV, co przedstawiono na rysunku 5. Odpowiadający mu rozkład częstościowo-amplitudowy pokazano na rysunku 6.



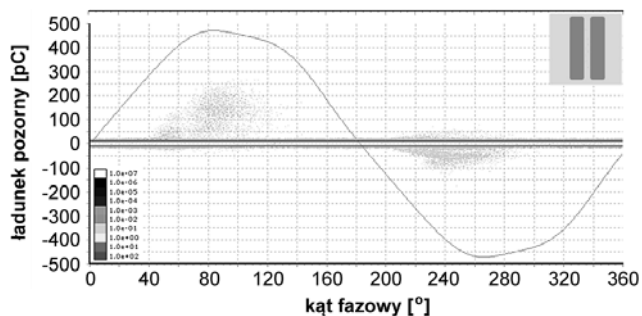
Rys. 5. Obraz fazowo-rozdzielczy wyładowań niepełnych typu powierzchniowego na preszpanie zanurzone w estrze syntetycznym; elektrody z rys. 1.; $U=15,3$ kV, czas zliczania 60 s



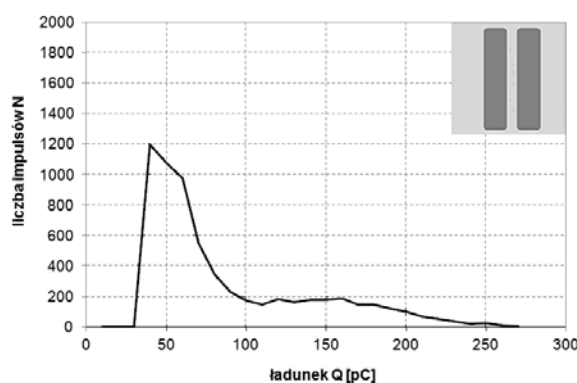
Rys. 6. Rozkład częstościowo-amplitudowy wyładowań niepełnych typu powierzchniowego na preszpanie zanurzone w estrze syntetycznym; elektrody z rys. 1.; $U=15,3$ kV, czas zliczania 60 s

Ze wzrostem napięcia obserwujemy znaczny wzrost intensywności wyładowań niepełnych. Na rysunku 7 przedstawiono obraz fazowo-rozdzielczy wyładowań powierzchniowych na próbce zanurzonej w estrze syntetycznym przy napięciu 16,8 kV. Odpowiadający mu

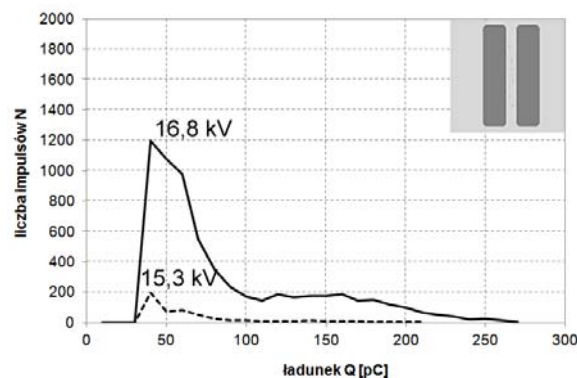
rozkład częstościowo-amplitudowy pokazano na rysunku 8. Na rysunku 9 z kolei porównano wyładowania typu powierzchniowego na próbce zanurzonej w estrze przy napięciu 15,3 kV oraz 16,8 kV.



Rys. 7. Obraz fazowo-rozdzielczy wyładowań niepełnych typu powierzchniowego na preszpanie zanurzone w estrze syntetycznym; elektrody z rys. 1.; $U=16,8$ kV, czas zliczania 60 s



Rys. 8. Rozkład częstościowo-amplitudowy wyładowań niepełnych typu powierzchniowego w estrze syntetycznym; elektrody z rys. 1.; $U=16,8$ kV, czas zliczania 60 s

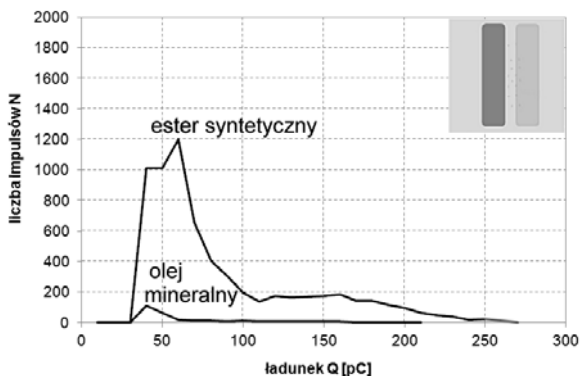


Rys. 9. Porównanie rozkładów częstościowo-amplitudowych wyładowań niepełnych typu powierzchniowego na próbce zanurzonej w estrze przy napięciu 15,3 kV oraz 16,8 kV

W oleju mineralnym, w takim samym układzie pomiarowym i przy tych samych wartościach napięcia, nie zarejestrowano żadnych wyładowań niepełnych typu powierzchniowego. Z kolei, gdy wybrano wyższe napięcie, takie przy którym występują wyładowania niepełne w oleju, wówczas w estrze wyładowania niepełne były bardzo intensywne, niszczyły próbkę i prowadziły do zwarcia.

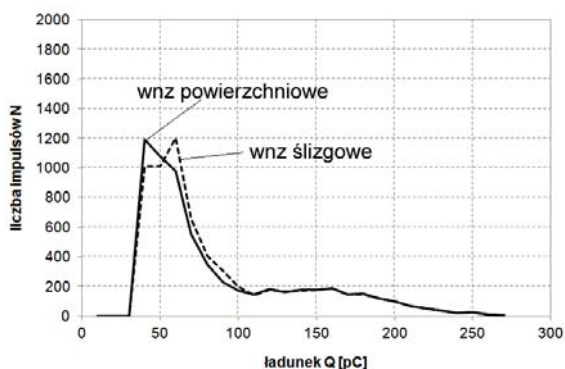
W drugim kroku przedmiotem badań były wyładowania niepełne typu ślizgowego na preszpanie zanurzone w estrze lub w oleju mineralnym. Odpowiada to wykorzystaniu elektrod przedstawionych na rysunku 2. W tym przypadku

przy napięciu 16,8 kV zarejestrowano wyładowania niepełne typu ślizgowego na preszpanie zanurzone zarówno w estrze syntetycznym jak i w oleju mineralnym. Uzyskane rozkłady częstościowo-amplitudowe porównano na rysunku 10. W estrze syntetycznym wyładowania niepełne są intensywniejsze – mają szerszy zakres ładunku oraz większa jest liczba impulsów wzn w jednostce czasu.



Rys. 10. Porównanie rozkładów częstościowo-amplitudowych wyładowań niepełnych typu ślizgowego w oleju mineralnym i estrze syntetycznym; elektrody z rys. 2.; $U=16,8$ kV, czas zliczania 60 s

Wyładowania niepełne typu ślizgowego mają opinię dużo bardziej agresywnych niż wyładowania typu powierzchniowego. Dlatego na rysunku 11 porównano rozkłady częstościowo-amplitudowe wyładowań typu powierzchniowego oraz typu ślizgowego na próbce preszpanowej zanurzonej w estrze syntetycznym. Moda rozkładu wzn typu ślizgowego w estrze syntetycznym jest przesunięta względem mody rozkładu wzn typu powierzchniowego w kierunku większych wartości ładunku, w tym przypadku od 40 pC do 60 pC.



Rys. 11. Porównanie rozkładów częstościowo-amplitudowych wyładowań niepełnych typu ślizgowego i powierzchniowego w estrze syntetycznym; $U=16,8$ kV, czas zliczania 60 s

W trzecim kroku badano wyładowania niepełne typu ślizgowego w układzie elektrod z klinem olejowym (elektrody z rys. 3.). Wyładowania niepełne w układzie z estrem syntetycznym zapalały się przy napięciu 17,1 kV, natomiast w układzie z olejem mineralnym już przy napięciu 15,9 kV. Ten fakt należy uznać za istotną zaletę estru syntetycznego.

Wnioski

Zgodnie z oczekiwaniami, wzn typu powierzchniowego i ślizgowego w układzie celuloza-ester syntetyczny są intensywniejsze niż w układzie celuloza-olej mineralny.

W układzie preszpanu zanurzonego w estrze syntetycznym, moda rozkładu wzn typu ślizgowego jest przesunięta względem mody rozkładu wzn typu powierzchniowego w kierunku większego ładunku.

W układzie elektrod z klinem olejowym napięcie inicjacji wzn w estrze syntetycznym jest wyższe niż w oleju mineralnym, co należy uznać za zaletę estru syntetycznego.

Należy podkreślić, że w laboratoryjnych układach modelowych natężenie pola elektrycznego inicjacji wzn było wyższe od natężenia stycznego na powierzchni tulei preszpanowej w czasie próby napięciowej transformatora (10 kV/cm) [10], co świadczy o tym, że nawet w czasie próby napięciowej wyładowania niepełne nie powinny się pojawić.

Autorzy: dr hab. inż. Hubert Morańda, Politechnika Poznańska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Piotrowo 3a, 61-138 Poznań, E-mail: hubert.moranda@put.poznan.pl; dr inż. Krzysztof Walczak, Instytut Elektroenergetyki, ul. Piotrowo 3a, 61-138 Poznań, E-mail: krzysztof.walczak@put.poznan.pl; prof. dr hab. inż. Hanna Mościcka-Grzesiak, Instytut Elektroenergetyki, ul. Piotrowo 3a, 61-138 Poznań, E-mail: hanna.moscicka-grzesiak@put.poznan.pl.

LITERATURA

- [1] CIGRE Brochure nr 436, Experiences in Service with New Insulating Liquid, 2010
- [2] Wasserber V., Retrofilling of Transformers – Facts and Arguments, *Independent Condition Assessment and Concepts for the Refurbishment of Transformers*, Hannover 2004, 1-9
- [3] MIDEL 7131 synthetic ester transformer fluid – Product guide, *M&I Materials*, www.midel.com z dnia 31.05.2016
- [4] Fofana I., 50 Years in the Development of Insulating Liquids, *IEEE Electrical Insulation Magazine*, 29 (2015), n.5, 13-25
- [5] MIDEL 7131 Retrofilling Guidance, *M&I Materials*, www.midel.com/applications/retrofilling/retrofilling-guidance z dnia 31.05.2016
- [6] Ziomek W., Kuffel E., Sikorski W., Staniek P., Siodła K., Location and Recognition of Partial Discharge Sources in a Power Transformer using Advanced Acoustic Emission Method, *Przegląd Elektrotechniczny*, n.10/2008, 20-23
- [7] Sikorski W., Morańda H., Bródka B., Neumann R., Detekcja, identyfikacja i lokalizacja źródeł wyładowań niepełnych w transformatorze energetycznym, *Przegląd Elektrotechniczny*, n.11b/2010, 142-145
- [8] Sokolov, V., Berler, Z and Rashkes V., Effective Methods of Assessment of Insulation System Condition in Power Transformers: a View Based on Practical Experience, *IEEE Proceedings Electrical Insulation Conference and Electrical Manufacturing & Coil Winding Conference*, 1999, 659-667
- [9] Sikorski W., Walczak K., Morańda H., Gil W., Andrzejewski M., System monitoringu wyładowań niepełnych metodą emisji akustycznej – doświadczenia eksploatacyjne, *Przegląd Elektrotechniczny*, n.11b/2012, 117-121
- [10] Jezierski E., Gogolewski Z., Kopczyński Z., Szmit J., Transformatory - budowa i projektowanie, *Państwowe Wydawnictwa Techniczne*, Warszawa, 1956.