

## Wyładowania niezupełne w estrze syntetycznym w zależności od temperatury

**Streszczenie.** Artykuł przedstawia wyniki badania wyładowań niezupełnych w układzie uwarstwionym szeregowo ester syntetyczny-papier dla dwóch różnych wartości temperatury. Przedstawiony jest układ badawczy, sposób pomiaru oraz wyniki pomiarów i ich obróbki.

**Abstract.** Paper presents the results of partial discharges investigation in synthetic ester-paper setup for two different values of temperature. Article shows the measurement set-up, measuring procedure, data outcome and its analysis. (**Partial discharges in synthetic ester in the function of temperature**)

**Słowa kluczowe:** wyładowania niezupełne, wyładowania ślizgowe, ester syntetyczny.

**Keywords:** partial discharges, gliding discharges, synthetic ester.

doi:10.12915/pe.2014.10.17

### Wstęp

Jednym z najważniejszych elementów systemu elektroenergetycznego jest transformator mocy. Odpowiada on za rozdział i konwersję energii elektrycznej. Ze względu na duży koszt takiego urządzenia na stacjach elektroenergetycznych często nie ma zapasowej jednostki, w związku z czym dane urządzenie musi stale być w ruchu [3]. Z powodu wieku transformatorów w Polsce (średnio ponad 35 lat), takie urządzenia muszą być regularnie badane w celu sprawdzenia poziomu zawilgocenia i obecności wyładowań niezupełnych.

W transformatorach mocy od ponad stu lat jako główne medium chłodzące i izolujące stosowany jest olej mineralny. Od niedawna widać powolny trend stosowania, w miejsce oleju mineralnego, innych, nowych cieczy izolacyjnych – estru naturalnego i syntetycznego.

Naturalne oraz syntetyczne estry mają wiele zalet. Są w pełni biodegradowalne i mają wyższą temperaturę zapłonu [5]. Urządzenia napelniane takimi cieczami mogą pracować w miejscach, w których ewentualny wybuch stanowi duże zagrożenie ekologicznie (elektrownie wiatrowe w morzu, kopalnie itp.) i w dużych skupiskach ludzkich. Jednocześnie ciecz te nie są pozbawione wad takich jak np. niższa wartość napięcia zapłonu wyładowań niezupełnych w porównaniu z olejem mineralnym [6,7]. Większość pozycji literaturowych jest przychylnych estrom naturalnym i syntetycznym, a badania nad nimi prowadzone są na ogół zlecane przez ich producentów. Jak wykazano we wcześniejszych pracach [2] dla układu izolacyjnego typu papier-olej występuje zjawisko samogaśnięcia wyładowań niezupełnych. Częściowym celem niniejszych badań jest sprawdzenie, czy w estrach będzie też występować to zjawisko.

Większość badań prowadzonych nad estrami naturalnymi i syntetycznymi prowadzona jest w temperaturze pokojowej. Pracujący transformator, w zależności od obciążenia, najczęściej ma temperaturę zdecydowanie od niej różną. Przykładowo, może on być włączony do ruchu w temperaturze ujemnej, a w stanie przeciążenia ta temperatura może nawet przekroczyć 100°C.

Motyacją do podjęcia tego typu badań jest brak doniesień literaturowych o długotrwałych pomiarach wyładowań niezupełnych w estrach i tendencji ich rozwoju w zależności od temperatury.

Celem badań rekonesansowych, których wyniki przedstawiono w niniejszym artykule, jest sprawdzenie, czy temperatura układu izolacyjnego typu papier-ester wpływa na intensywność i ładunek wyładowań niezupełnych w dłuższym okresie próby.

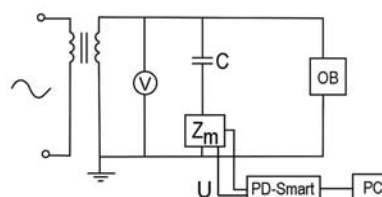
### Układ pomiarowy

Układ pomiarowy zbudowano zgodnie z wymaganiami normy [1], a jego schemat przedstawiono na rysunku 1. Wszystkie jego elementy były wolne od wyładowań niezupełnych własnych. Do skalibrowania części układu pomiarowego służącej do pomiaru napięcia wykorzystano kilowoltomierz elektrostatyczny. Rolą kondensatora sprzęgającego oraz impedancji pomiarowej było odseparowanie sygnału wyładowań niezupełnych od sinusoidy napięcia zasilającego. Sygnał wyładowań z impedancji pomiarowej kierowany był do miernika wyładowań niezupełnych, a stamtąd, przewodem optycznym, do komputera z oprogramowaniem PD Smart.

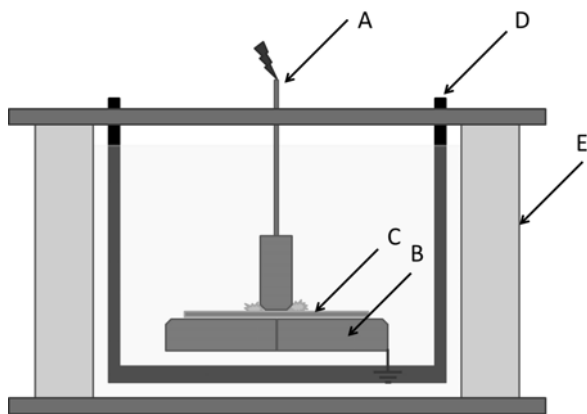
Objekt badań był przygotowany w taki sposób, aby generował wyładowania ślizgowe [4]. Składał się on z dwóch elektrod płaskich, o średnicy  $\varnothing 27$  i  $\varnothing 67$  milimetrów z umieszczoną między nimi płytą preszpanową, o wymiarach 40x40x2 mm. Całość była zanurzona w zbiorniku z badaną cieczą izolacyjną, o wymiarach 250x250x250 mm (rys. 2). Wewnątrz zbiornika znajdowała się także grzałka, o mocy 1 kW, oraz sonda temperaturowa PT-100. Dzięki temu można było obiekt badań podgrzać do żądanej temperatury. Próbkę preszpanu do badań zostały najpierw wysuszone do poziomu około 1% (próżnia techniczna i wysoka temperatura), a następnie zaimpregnowane estrem syntetycznym, o zawartości wody 132 ppm.

### Procedura pomiarowa

Napięcie podnoszone było od zera, z prędkością około 500 V/s, do wartości, w której poziom wyładowań niezupełnych osiągnął około 1 nC (odpowiadało to napięciu około 12 kV). Aby mieć pewność, że układ pomiarowy w czasie próby nie będzie rejestrował zakłóceń poziom odcięcia został ustalony na stosunkowo wysokim poziomie 100 pC. Pomiar na obiekcie badań zostały przeprowadzone dla dwóch wartości temperatury: 30°C oraz 40°C ( $\pm 1^\circ\text{C}$ ).



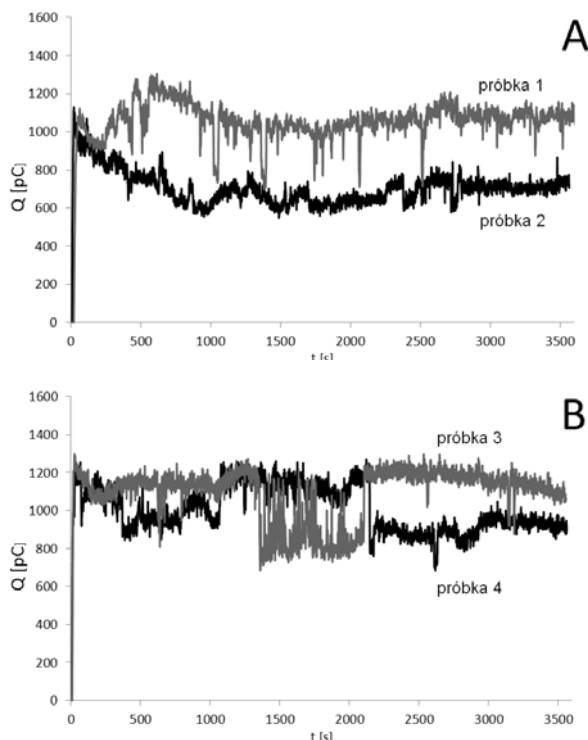
Rys.1. Schemat układu pomiarowego; V – kilowoltomierz, C – kondensator sprzęgający,  $Z_m$  – impedancja pomiarowa, OB – obiekt badań, U – tor napięciowy, PD-Smart – miernik wyładowań niezupełnych, PC – komputer



Rys.2. Obiekt badań – układ do generowania wyładowań ślizgowych; A – elektroda pod wysokim napięciem, B – elektroda uziemiona, C – preszpan, D – grzałka, E – izolacja termiczna wokół naczynia

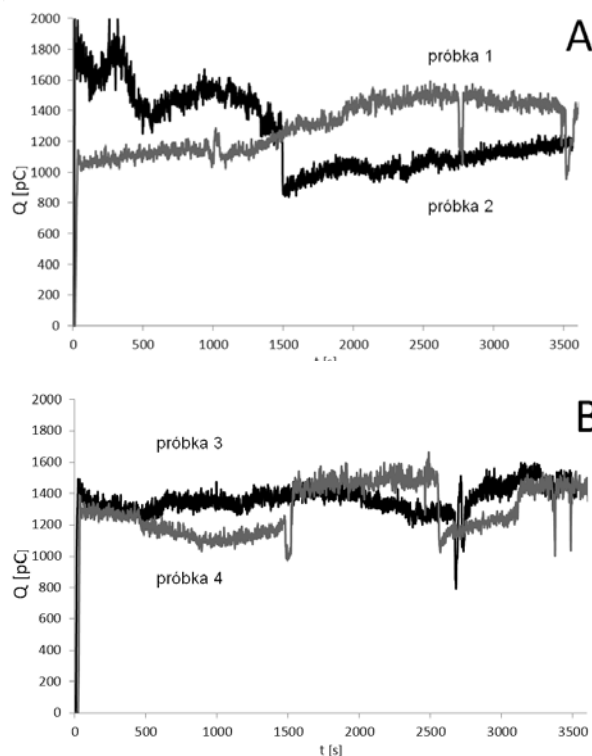
### Wyniki pomiarów i ich analiza

Pojedynczy pomiar trwał 3600 sekund. Rejestrowano chwilową wartość ładunku pozornego oraz napięcia w funkcji czasu. Niepewność pomiaru ładunku pozornego wynosiła nie więcej, niż 10%. Na rysunku 3 przedstawia przykładowe wyniki pomiarów wartości ładunku pozornego wyładowań niepełnych w funkcji czasu, dla temperatury 30°C. Na rysunku 4 przedstawia natomiast wyniki pomiarów uzyskanych dla temperatury 40°C. Przebiegi czasowe wartości ładunku pozornego wyładowań niepełnych rozłożono na dwie charakterystyki A i B, w celu zwiększenia czytelności rysunku.



Rys.3. Przykładowe wyniki pomiaru ładunku pozornego wyładowań niepełnych dla: (A) – pierwszych dwóch próbek; (B) – kolejnych dwóch próbek; czas pomiaru 3600 s.; U=12 kV; temperatura 30°C

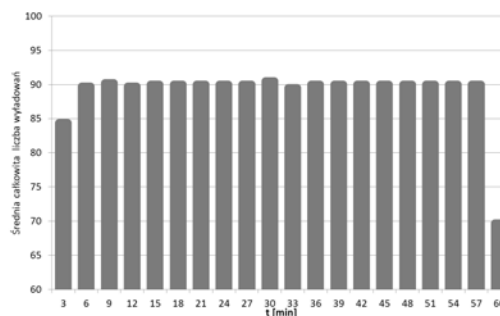
Jak widać, na ich podstawie trudno jednoznacznie wskazać jakąś tendencję. Prawdopodobnie jest to rezultatem jeszcze zbyt krótkiego czasu próby.



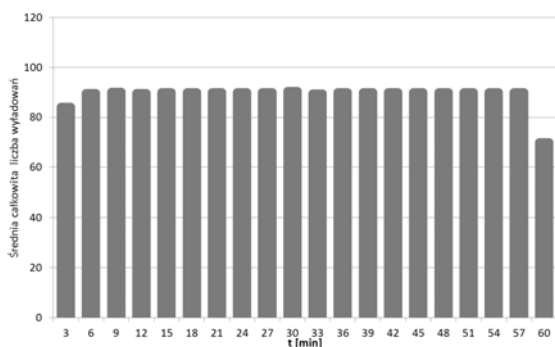
Rys.4. Przykładowe wyniki pomiaru ładunku pozornego wyładowań niepełnych dla: (A) – pierwszych dwóch próbek; (B) – kolejnych dwóch próbek; czas pomiaru 3600 s.; U=12 kV; temperatura 40°C

Następnie przeprowadzono analizy intensywności wyładowań niepełnych dla, arbitralnie przyjętego, 180-sekundowego okna czasowego. Analizowanym parametrem była tym razem średnia liczba wyładowań, zliczonych w przyjętym oknie czasowym (rysunki 5 i 6). Zmniejszona liczba rejestrowanych impulsów na początku i na końcu przebiegów wynika z procedury podnoszenia/obniżania napięcia. Z tego powodu, do dalszej analizy odrzucono dwa skrajne okna czasowe. Podczas pomiarów, w każdym oknie czasowym rejestrowano stałą liczbę impulsów wyładowań niepełnych – około 90.

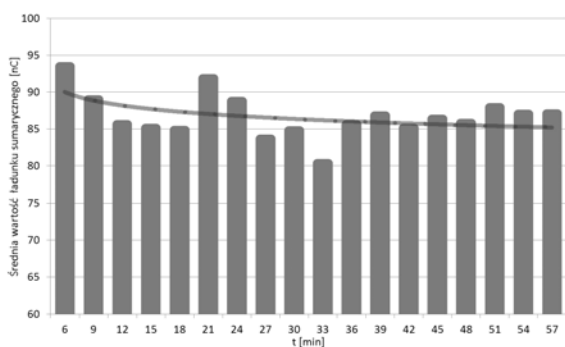
Następnie, dla tych samych okien czasowych (z odrzuceniem skrajnych), obliczono wartość średnią ładunku pozornego zarejestrowanych wyładowań niepełnych. Wyniki obliczeń przedstawiono na rysunkach 7 i 8. Średni ładunek wyładowań dla temperatury 30°C wynosi 86 nC, natomiast dla temperatury 40°C – 119 nC, co sugeruje dodatnią korelację między ładunkiem sumarycznym wyładowań a temperaturą.



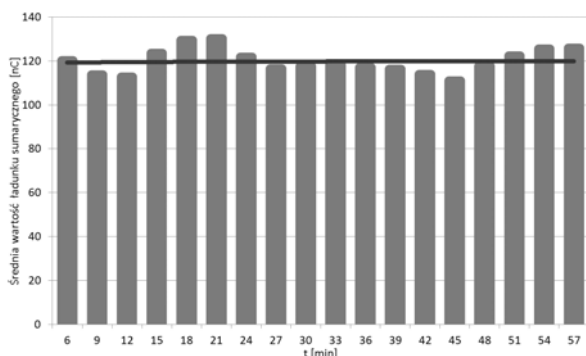
Rys.5. Średnia całkowita liczba wyładowań dla estru syntetycznego dla 30°C; U=12kV



Rys.6. Średnia całkowita liczba wyładowań dla estru syntetycznego dla 40°C; U=12 kV



Rys.7. Sumaryczna średnia wartość ładunku wyładowań niepełnych dla estru syntetycznego w temperaturze 30°C; U=12 kV



Rys.8. Sumaryczna średnia wartość ładunku wyładowań niepełnych dla estru syntetycznego w temperaturze 30°C; U=12 kV

Na oba wykresy nałożono linię trendu, w celu zaobserwowania tendencji rozwoju wyładowań niepełnych. Można zauważyć że wartość średniego ładunku wyładowań, dla temperatury 30°C, z czasem

nieznacznie maleje, natomiast dla 40°C tendencja ta jest jeszcze nieokreślona. Potwierdzenie albo zaprzeczenie odkrytej tendencji wymaga jednak dalszych pomiarów, prowadzonych w dłuższym okresie czasu.

### Podsumowanie i wnioski

Zbadano wyładowania niepełne, w układzie uwarstwionym szeregowo, dla estru syntetycznego, dla dwóch różnych wartości temperatury. Każdy pomiar trwał 3600 s. Wyniki pomiarów przedstawiono w odniesieniu do 180-sekundowych okien czasowych. Badania wykazały, że wyładowania niepełne mają tendencję do samogaśnięcia nawet w krótkiej perspektywie czasowej jednogodzinnej próby. Średnia wartość ładunku sumarycznego dla 40°C jest większa o około 30% niż dla 30°C. Można to wytłumaczyć zwiększaniem się lepkości cieczy ze spadkiem temperatury (lepkość kinematyczna 28 cSt przy 40°C oraz 45 cSt dla temperatury 30°C) [5].

Ponieważ wyniki pomiarów okazały się zachęcające, to dalsze badania będą kontynuowane w dłuższej perspektywie czasowej i dla szerszego zakresu temperatury – od 20°C do 120°C.

### LITERATURA

- [1] PN EN 60270:2003, Wysokonapięciowa technika probiercza. Pomiary wyładowań niepełnych
- [2] Florkowska B., Gacek R., O stabilności wyładowań niepełnych w izolacji papierowo-olejowej, Wyładowania niepełne jako czynnik destrukcji izolacji, Powielarnia AGH Kraków 1972
- [3] Meiej S., Gulski E., Agoris P., Cichecki P., Partial discharges diagnosis of power transformers, Międzynarodowa konferencja transformatorowa Transformator Toruń 2007, 41-49
- [4] Wira A., Zybert R., Laboratorium z inżynierii wysokonapięciowej, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 1982
- [5] Experiences in Service with New Insulating Liquids, CIGRE WG A2.35, October 2010
- [6] Malinowski G., Badania wyładowań niepełnych w oleju mineralnym i estrze syntetycznym, Energetyka, 10 (2012), 598-600
- [7] Malinowski G., Dielectric Strength of new insulating Liquids and Kappeler curves, Universitaet Stuttgart Institut für Energieübertragung und Hochspannungstechnik, (IEH) Jahresbericht 2013, Stuttgart, Niemcy, 54-55

**Autorzy:** mgr inż. Grzegorz Malinowski, Politechnika Poznańska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Piotrowo 3a, 60-965 Poznań, E-mail: [grzegorz.ryszard.malinowski@gmail.com](mailto:grzegorz.ryszard.malinowski@gmail.com), <http://www.grzegorzmalinowski.info>; dr hab. inż. Hubert Morańda, Politechnika Poznańska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Piotrowo 3a, 60-965 Poznań, E-mail: [hubert.moranda@put.poznan.pl](mailto:hubert.moranda@put.poznan.pl); dr hab. inż. Krzysztof Siodła, prof. nadzw., Politechnika Poznańska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Piotrowo 3a, 60-965 Poznań, E-mail: [krzysztof.siodla@put.poznan.pl](mailto:krzysztof.siodla@put.poznan.pl)