

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Radosława Lewandowskiego pt.:

**„Wpływ długotrwałego działania wyładowań niezupełnych na mufy
kablone SN do kabli z izolacją fluoropolimerową (FEP)”**

1. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA TEMATU PODJĘTEGO W PRACY DOKTORSKIEJ

Temat rozprawy doktorskiej nawiązuje do osprzętu kablowego, a dokładniej mufy kablowej, przystosowanej do pracy z kablami SN z izolacją fluoropolimerową FEP. Izolacja taka umożliwia pracę w temperaturze do 200°C, co jest jej ogromną zaletą w porównaniu z tradycyjnie stosowanymi materiałami izolacyjnymi, do których najczęściej zalicza się papier i polietylen usieciowany XLPE o temperaturze pracy o 100°C niższej.

Wzrost dopuszczalnej temperatury pracy kabli średniego napięcia do 200°C, jak i jego osprzętu, nabiera dużego znaczenia w ostatnim czasie. Sieci średniego napięcia pełnią rolę łącznika między odnawialnymi źródłami energii, jak farmy fotowoltaiczne i elektrownie wiatrowe, a odbiorcą energii elektrycznej czy też siecią przesyłową. Jak wiadomo, źródła energii odnawialnej są bardzo niestabilne zarówno na przestrzeni doby jak i roku. Oznacza to, że w niektórych sytuacjach bardzo duża ilość energii elektrycznej dostaje się niespodziewanie do sieci średniego napięcia. Powoduje to wzrost temperatury elementów takiej sieci, jakimi są między innymi kable i osprzęt SN. Fakt ten sprawia, że odnawialne źródła energii elektrycznej są często odłączane z systemu elektroenergetycznego. Tym samym uniemożliwiamy sobie korzystanie z czystej energii.

Z powyższych względów uważam, że tematyka rozprawy doktorskiej jest bardzo aktualna. Implementacja rozwiązań, zaproponowana przez doktoranta, pozwoli na skutecznie uelastycznienie przepływu mocy w sieciach SN poprzez wzrost dopuszczalnej temperatury jej pracy. Spowoduje to zwiększenie udziału odnawialnych źródeł energii w miksie energetycznym Polski.

Nadolny

2. CHARAKTERYSTYKA PRACY DOKTORSKIEJ

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska liczy 216 stron. Składa się z ośmiu rozdziałów oraz bibliografii, spisu tabel, spisu rysunków oraz załączników.

W pierwszym nienumerowanym rozdziale Doktorant opisuje cel, tezę i zakres pracy. W rozprawie przyjęto tezę, według której *„możliwe jest opracowanie i wykonanie mufy kablowej pracującej nieprzerwanie w temperaturze co najmniej 120°C w długim okresie czasu, która spełni wymogi niewielkich wymiarów zewnętrznych i założonych właściwości mechanicznych i elektrycznych”*.

W pierwszym numerowanym rozdziale Autor opisuje kable średniego napięcia. Przedstawia w nim historię rozwoju kabli w Polsce i na świecie. Wyjaśnia budowę kabli średnich napięć oraz przytacza materiały izolacyjne stosowane do ich produkcji. Doktorant porównuje dwa materiały izolacyjne fluoropolimer oraz polietylen usieciowany, traktując ten drugi jako materiał referencyjny. Autor opisuje również zastosowanie kabli z izolacją FEP zarówno w systemie elektroenergetycznym jak i w innych rozwiązaniach.

W drugim rozdziale Autor skupia swoją uwagę na mufach kablowych SN. Przedstawia budowę i właściwości mufy. Opisuje różne rodzaje defektów muf w oparciu o dane statystyczne. Wskazuje wymagania dla muf przeznaczonych do pracy z kablami o izolacji FEP uwzględniając aspekty cieplne.

W rozdziale trzecim Doktorant opisuje diagnostykę kabli i muf. Wyjaśnia próbę napięciową w oparciu o różne mechanizmy przebicia. Przedstawia technikę pomiaru wyładowań niezupełnych w oparciu o różne jej metody (akustyczna, UV, elektryczna).

Pierwsze trzy numerowane rozdziały, omówione powyżej, stanowią tzw. wprowadzenie w oparciu o literaturę. Choć zajmują znaczącą część pracy (około 50 stron) dowodzą znajomości Doktoranta w zakresie kabli i osprzętu kablowego, jak i technik pomiaru ich istotnych parametrów elektrycznych.

W kolejnym rozdziale Autor opisuje obiekt badań, którym był zarówno kabel o izolacji fluoropolimerowej jak i mufa kablowa zaprojektowana do pracy w wysokiej temperaturze. Omawia projekt mufy kablowej oraz procedurę jej montażu.

Rozdział piąty nawiązuje do metodologii badań muf stanowiących obiekt badań Doktoranta. Autor opisuje układ pomiarowy do badania muf. Omawia badania rentgenowskie zimnokurczy. Charakteryzuje układy do pomiaru wyładowań niezupełnych, badania starzenia termicznego, poziomego przebicia elektrycznego oraz starzenia termoelektrycznego. Wyznacza parametry graniczne.

W następnym rozdziale Autor przedstawia wyniki swoich badań. Opisuje napięcie zapłonu wyładowań, poziom ładunku WNZ kabla referencyjnego, wyniki pomiaru napięcia przebicia oraz efekty starzenia termicznego kabla. W odniesieniu do mufy Doktorant wyjaśnia wyniki analizy rentgenowskiej, oraz

Nadolny

badania elektryczne. Omawia bazę danych zimnokurczy oraz kryterium ich wyboru do kolejnych badań. W rozdziale tym Autor analizuje połączenie mufa – kabel skupiając się na pomiarze WNZ, napięciu przebicia, wynikach starzenia oraz badaniach temperaturowych.

W rozdziale siódmym Doktorant dokonuje analizy uzyskanych wyników. Interpretuje wyniki badań na zimnokurczach oraz wyniki badań starzenia termoelektrycznego.

Ostatni rozdział zawiera podsumowanie i wnioski. Autor stwierdza, że udowodnił, postawioną na początku swojej pracy, tezę.

3. OSIĄGNIĘCIA NAUKOWE PRACY

Autor, w ramach doktoratu wdrożeniowego, dokonał kompleksowej analizy, celem której było dopasowanie mufy kablowej do pracy z kablem o izolacji fluoropolimerowej, przystosowanej do pracy w temperaturze co najmniej 120°C. Jest to wdrożenie stosunkowo nowe w elektroenergetyce, którego wynikiem będzie wzrost niezawodności pracy systemu dystrybucji energii elektrycznej, co uważam za **bardzo duże osiągnięcie** tej pracy.

Doktorant korzystał z wielu metod oceny właściwości elektroizolacyjnych zarówno kabla jak i mufy. Zastosował metody wyznaczania napięcia przebicia, pomiaru wyładowań niepełnych oraz analizę rentgenowską. Tak szeroko zakrojone badania wymagały zaprojektowania, testowania i badań na wielu układach pomiarowych, co oznacza, że Autor posiada olbrzymią wiedzę metrologiczną. Co więcej, znacząco zwiększają wartość uzyskanych wyników. Uważam to za **bardzo duże osiągnięcie** pracy.

4. UWAGI DYSKUSYJNE I EDYTORSKIE

4.1. Uwagi dyskusyjne

1. Jak zdaniem Doktoranta, fluoropolimer sprawdziłby się w przypadku kabli i osprzętu kablowego na wyższe napięcie, jak 110, 220 czy 400 kV. Czy można w prosty sposób przełożyć rozwiązania zaproponowane w pracy do wyższych napięć?

2. Autor w swojej pracy, we wnioskach, wspomina, że wysoka temperatura, na skutek współczynnika rozszerzalności termicznej, powoduje deformację objętościową mufy. Czy zatem projektowanie tego rodzaju mufy nie powinno uwzględniać modelowania rozkładu sił mechanicznych, by mieć wiedzę jak mufa zachowa się w wysokiej temperaturze.

Nadolny

3. Na rysunkach 4.9 oraz 4.10 Autor prezentuje własne wyniki symulacji komputerowej rozkładu natężenia pola elektrycznego E. Z tekstu pracy wynika, że autor analizował rozkład pola tylko pojemnościowego, o kształcie którego decyduje w układach uwarstwionych przenikalność elektryczna (tabela 4.4). Doktorant nie analizował pola rezystancyjnego, które zdeterminowane jest głównie wartościami przewodności elektrycznej γ . W sytuacji, gdy w układzie izolacyjnym występują materiały o znikomej wartości przewodności γ ($\gamma < \epsilon \cdot \omega$ o co najmniej dwa rzędy wielkości) takie podejście jest słuszne. Innymi słowy, pole rezystancyjne można „zaniedbać”. W przypadku analizowanej mufy dwa materiały izolacyjne (wewnętrzna i zewnętrzna warstwa półprzewodząca) mają znaczącą wartość przewodności elektrycznej. Czy zatem zaniechanie pola rezystancyjnego nie wpłynęło znacząco na uzyskane wyniki, a tym samym na dalsze etapy projektu doktoratu wdrożeniowego.

4. Autor stwierdza, że poziom WNZ w wysokiej temperaturze jest niższy niż w niskiej temperaturze. Argumentuje to zwiększeniem wypełnienia materiałów na skutek wyższej temperatury. Oznacza to, że proponowane przez Doktoranta mufy doskonale sobie poradzą w warunkach pracy, które zakładają występowanie wysokiej temperatury cały czas. Ale czy rozwiązanie takie sprawdzi się w kablach sieci SN, gdzie nie zawsze jest wysoka temperatura tylko jej spadki i wzrosty?

4.2. Uwagi edytorskie

Nie zauważyłem żadnych znaczących uwag edytorskich. Na podkreślenie zasługuje fakt, iż rozprawa doktorska napisana jest poprawną polszczyzną. Jakość edytorską i estetyczną oceniam nad wyraz wysoko.

5. PODSUMOWANIE

Uważam, że cel przedłożonej do recenzji rozprawy doktorskiej został osiągnięty, a w trakcie realizacji pracy Doktorant wykazał się dużą wiedzą w zakresie poruszanej w rozprawie tematyki. Wykazał się także umiejętnością samodzielnego prowadzenia badań, rozwiązywania problemów naukowych oraz wyciągania praktycznych wniosków.

Uważam, że przedłożona rozprawa doktorska mgr. inż. Radosława Lewandowskiego pt.: „Wpływ długotrwałego działania wyładowań niezupełnych na mufy kablowe SN do kabli z izolacją fluoropolimerową (FEP)” spełnia wszystkie wymagania stawiane doktorom w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2018, poz.1668, z późn. zm.). Wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony. Wnoszę również o wyróżnienie rozprawy doktorskiej Radosława Lewandowskiego.

Nadobny