

Wrocław, 08 lutego 2025

prof. dr hab. inż. Maciej Jaroszewski
Katedra Podstaw Elektrotechniki i
Elektrotechnologii
Wydział Elektryczny, Politechnika Wrocławska,
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław
maciej.jaroszewski@pwr.edu.pl

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr. inż. Radosława Lewandowskiego

**pt.: Wpływ długotrwałego oddziaływania wyładowań niezupełnych na mufy kablowe SN
do kabli z izolacją fluoropolimerową (FEP)**

1. Podstawa opracowania recenzji

Niniejsza recenzja opracowana została na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie dr hab. inż. Pawła Dworaka, prof. ZUT. (pismo WE.4200.390.2024).

Przy opracowaniu recenzji uwzględniłem zalecenia które wynikają z przepisów ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce i które zostały wskazane w poradniku Rady Doskonałości Naukowej „Recenzje w postępowaniach o awans naukowy”.

2. Ogólna charakterystyka tematu i aktualności rozprawy doktorskiej

Rozwój techniki i technologii w każdej z dziedzin praktycznie wymusza rozwój także w dziedzinie izolacji elektrycznej. Tak jest także w przypadku kabli w szerokim zakresie napięć znamionowych. Izolacja z fluoropolimerów, takich jak PTFE (politetrafluoroetylen), FEP (fluorowane etylen-propylen) czy PFA (perfluoroalkoksy), zyskuje na popularności w różnych branżach ze względu na swoje unikatowe właściwości, takie jak odporność na wysokie

temperatury i inne narażenia środowiskowe jak np. chemikalia, wilgoć, promieniowanie elektromagnetyczne, a przede wszystkim doskonałe właściwości dielektryczne. Pojawienie się kabli z izolacją FEP w portfolio producentów wymusza na nich pochylenie się nad kwestią rozwiązań technicznych i technologicznych muf kablowych jako niezbędnego akcesorium. W tym kontekście umiejscowienie tematyki rozprawy doktorskiej jako doktoratu wdrożeniowego jest istotne oraz aktualne i mogę je ocenić wysoko.

3. Charakterystyka rozprawy doktorskiej

Recenzowana rozprawa na wstępie przedstawia cele i tezy pracy i następnie podzielona jest na 8 rozdziałów. Pierwsze trzy rozdziały stanowią podbudowę teoretyczną pod stworzenie przyszłego procesu badawczego. W rozdziale 1 Doktorant przedstawia historię rozwoju kabli energetycznych, ich budowę i stosowane materiały izolacyjne. Dokonuje tu również porównania powszechnie stosowanego materiału izolacyjnego w postaci usieciowanego polietylenu XLPE z materiałem będącym obszarem zainteresowania Doktoranta czyli fluoropolimerami FEP. Rozdział kończy się opisem zastosowań kabli z izolacją typu FEP. W rozdziale drugim Doktorant przechodzi do opisu budowy, właściwości wymagań i problemów eksploatacyjnych muf kablowych będących głównym tematem rozprawy. Rozdział trzeci to opis metod diagnostycznych kabli i muf średnich napięć, który posłużył Doktorantowi do stworzenia procedury badawczej przedstawionej w części badawczej rozprawy. Następne rozdziały pracy opisują część badawczą rozprawy. Rozdział czwarty opisuje kable średnich napięć z izolacją FEP i projekt mufy która ma z nimi współpracować. Rozdział ten kończy się opisem procedury montażowej dla zaprojektowanej mufy. W rozdziale piątym Doktorant przedstawia zaprojektowaną przez siebie procedurę badań, którą następnie stosuje do badania kabla, mufy oraz układu kabel-mufa-kabel których wyniki przedstawia w rozdziale szóstym. Analiza otrzymanych wyników badań przedstawiona została w rozdziale siódmym i podsumowana w rozdziale 8. Rozprawa kończy się bibliografią, spisem tabel, spisem rysunków i załącznikiem zawierającym wykresy PRPD badanych obiektów.

4. Ocena osiągnięć rozprawy

Zawarty w pierwszych trzech rozdziałach przegląd literaturowy wskazuje, że Doktorant posiada ogólną wiedzę teoretyczną w temacie rozprawy. Doktorant skoncentrował się tu na najistotniejszych właściwościach materiałów dielektrycznych które stosowane były w badanych kablach i projektowanej mufie kablowej. Zwrócił uwagę na m.in. że materiał FEP charakteryzuje się nie gorszymi właściwościami odporności chemicznej termicznej i elektrycznej PTFE a jednocześnie przewyższa powszechnie stosowany na izolację kabli materiał XLPE pod względem właściwości mechanicznych a przede wszystkim temperatury pracy ciągłej. Istotne jest tu także to, że Doktorant zajął się także problematyką odporności tych nowych materiałów na starzenie elektryczne i mechanizmach przebicia. Wysoko oceniam także przedstawienie przez Doktoranta problematyki związanej z projektowaniem, wykonawstwem, instalacją i eksploatacją muf kablowych. Jest to obszerna i skomplikowana tematyka której znajomością doktorant wykazał się w znaczącym stopniu.

Bardzo pozytywnie odbieram metodologię badań zaproponowaną przez Doktoranta mającą na celu kompleksowe przebadanie zarówno mufy kablowej i jej komponentów jak i zestawu kabel-mufa-kabel. Doktorant zaprojektował i wykonał układy oraz stanowiska do badania elektrycznego zimnokurczy przed ich montażem w mufie kablowej. Były to stanowiska pozwalające na sprawdzenie poziomu wyładowań niepełnych oraz wytrzymałości elektrycznej. Dodatkowo Doktorant potwierdzał źródło defektów wykrytych metodami elektrycznymi wykorzystując badania rentgenowskie. Natomiast do badań muf oraz zestawu kabel-mufa-kabel Doktorant zaprojektował i wykonał stanowiska do pomiaru wytrzymałości elektrycznej, wyładowań niepełnych oraz do badania starzenia termicznego oraz starzenia termoelektrycznego i cyklicznego. Korzystając ze zbudowanych przez siebie stanowisk badawczych Doktorant przeprowadził zaprojektowany cykl badawczy który zakończył analizą otrzymanych wyników. To pozwala mi stwierdzić, że Doktorant wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Wykonane w ramach doktoratu wdrożeniowego badania:

- elektrycznych elementów muf oraz muf przed montażem na kablu
- starzeniowych muf
- wpływu długotrwałego oddziaływania wyładowań niepełnych na mufy

doprowadziły do opracowania przez Doktoranta konstrukcji muf kablowych do kabli z izolacją fluoropolimerową wraz z doбором materiałów i technologii ich łączenia. W ten sposób powstał gotowy produkt, a przedstawiona w rozprawie teza została udowodniona. Mogę więc stwierdzić, że rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego a także stanowi oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej.

5. Uwagi dyskusyjne

1. Uziemienie obiektów badań. Na zdjęciu 4.2 nie jestem w stanie dostrzec przewodzącego metalicznego ekranu zewnętrznego z rysunku 4.1 To samo dotyczy pozostałych zdjęci przedstawiających układ kabel-mufa-kabel. Jeżeli na zewnętrznej powłoce nie ma odkrytego metalicznego ekranu to wątpliwości budzi punkt uziemienia badanych układów. Podłączenie punktu uziemienia do odkrytej zewnętrznej warstwy półprzewodzącej też nie zmieni tej sytuacji. Dla sprawdzenia zarówno poziomu wyładowań niezupełnych jak i wytrzymałości elektrycznej układu kabel-mufa-kabel potrzebna jest zewnętrzna przewodząca „elektroda” obejmująca cały badany układ. W innym przypadku rozkład pola elektrycznego znacząco zmieni warunki pomiaru i wyniki nie będą dotyczyły pełnego układu.
2. Mocowanie końcówek kabla zanurzonych w oleju z rysunku 5.7 zrealizowane jest metalowymi uchwytyami uziemionego statywu. Przenosi to potencjał ziemi w pobliże wysokiego potencjału na odsonionym odcinku przewodnika co prawdopodobnie zakłamuje wyniki pomiarów ze względu na utworzenie uprzywilejowanego miejsca powstania wnz.
3. Przebicie układu na zakończeniu kabla i widok ścieżek drzewienia z rysunku 6.3 oraz przebicie w powietrza wzdłuż izolacji kabla z rysunku 6.16, w powiązaniu z uwagami zawartymi w punkcie 1 może sugerować, że rozkład pola charakteryzuje się składową normalną do powierzchni dielektryka stałego. Może więc zachodzić tu wyładowanie powierzchniowe ślizgowe, podobnie jak w izolatorach przepustowych. Może należałoby więc skorygować metodę podłączenia kabla do badań. Takie wyładowania

(przebiecia) na zakończeniu kabla oznacza raczej złe przygotowanie eksperymentu i niemożność określenia rzeczywistej wytrzymałości elektrycznej układu badanego.

4. Również w odniesieniu do uwagi 3 – czemu nie stosować, szczególnie do pomiaru wnz, metody stworzenia elektrody zewnętrznej przez zanurzenie w wodzie, podobnie jak przy badaniach zimnokurczy z rysunku 5.3?
5. Pomiar wyładowań niezupełnych. Dlaczego Autor umieszcza wykresy PRPD, także w załączniku z całego zakresu badań, jeżeli nie wykorzystuje ich do analizy a korzysta jedynie z wartości średniej ładunku pozornego?
6. Na wszystkich zamieszczonych wykresach PRPD widać, że napięcie jest znacząco zniekształcone. Tak wysoka zawartość harmonicznych w napięciu zasilającym będzie miała istotny wpływ na wyniki pomiarów.
7. Napięcie zapłonu wyładowań niezupełnych definiuje się jako napięcie przy którym wnz osiągają ustalony poziom, lub czasami jako napięcie przy którym jesteśmy w stanie zmierzyć minimalną wartość ładunku wnz. Dlatego zapis tabeli 6.3 wydaje się być błędny. Należałoby tu raczej podać, że do wartości napięcia 35 kV nie zanotowano wyładowań niezupełnych
8. Na stronie 78 Doktorant pisze, że „Podczas pomiaru WNZ, napięcie zostało rozłączone, ...”. Podobne sformułowanie znajdziemy na stronie 57 gdzie pomiary wnz metodą offline Doktorant tłumaczy „w stanie beznapięciowym” Raczej nie da się wywołać a więc i zmierzyć wnz bez oddziaływania pola elektrycznego czyli w stanie beznapięciowym.
9. Nie mogę zgodzić się że „Próba napięciowa jest metodą nieniszczącą dla dobrze zaprojektowanych i wykonanych produktów”. Każde przyłożenie do obiektu napięcia o wartości co najmniej napięcia znamionowego może zapoczątkować zjawiska prowadzące do degradacji właściwości elektrycznych układu izolacyjnego. Podczas badań nie jesteśmy w stanie ocenić czy układ izolacyjny nie został uszkodzony, pomimo że badany obiekt przeszedł próbę pozytywnie.

6. Podsumowanie

W mojej opinii rozprawa doktorska mgr. inż. Radosława Lewandowskiego prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta oraz wykazuje jego umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Rozprawa stanowi oryginalne dobrze uzasadnione i kompleksowe rozwiązanie problemu naukowego oraz stanowi oryginalne rozwiązanie wdrożeniowe.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr. inż. Radosława Lewandowskiego pt. „Wpływ długotrwałego oddziaływania wyładowań niezupełnych na mufy kablowe SN do kabli z izolacją fluoropolimerową (FEP)” spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim zapisane w ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce i wnoszę o dopuszczenie Doktoranta do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Marek Jaworski