

Wrocław, 25 czerwca 2023

dr hab. inż. Maciej Jaroszewski, prof. uczelni
Katedra Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii
Wydział Elektryczny, Politechnika Wrocławska,
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr. inż. Kamila Lewandowskiego
pt.: ZJAWISKO BĄBELKOWANIA W NOWOCZESNYCH UKŁADACH IZOLACYJNYCH
TRANSFORMATORÓW ENERGETYCZNYCH

Niniejsza recenzja opracowana została na zlecenie Dziekana Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Poznańskiej prof. dr. hab. inż. Zbigniewa Nadolnego (pismo WISIE.63.43.2023 z dnia 24.04.2023), zgodnie z uchwałą Rady Dyscypliny Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki Politechniki Poznańskiej z dnia 18.04.2023 r.

Przy opracowaniu recenzji uwzględniłem elementy 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”.

1) ocena wraz z uzasadnieniem, czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora w określonej dyscyplinie albo dyscyplinach;

Tematyka rozprawy doktorskiej związana jest ze zjawiskiem uwalniania pary wodnej z zawilgoconej izolacji stałej transformatorów olejowych. Rozdział 2. rozprawy Doktorant poświęcił opisowi wybranych zagadnień dotyczących izolacji transformatorów. Podrozdział 2.1 poświęcony został układowi izolacyjnemu transformatorów energetycznych. Doktorant przedstawił tu syntetyczny opis zarówno różnego typu olejów transformatorowych jak i materiałów stosowanych jako izolacja stała. Podając podstawowe dane dotyczące budowy, właściwości oraz parametrów normatywnych skierował uwagę na ich zachowanie się w interakcji z wodą, co jest bardzo istotne z punktu widzenia problemu który rozwiązuje w ramach rozprawy doktorskiej. Ten opis teoretyczny rozszerzony został o zjawiska związane ze starzeniem się izolacji stałej transformatorów a także kwestie przenikalności dielektrycznej które istotne są z punktu widzenia zjawisk adsorpcji i desorpcji wody a więc i inicjowania zjawiska bąbelkowania.

Równie istotne z punktu widzenia rozprawy jest opisana przez Doktoranta w rozdziale 2.2. problematyka zawilgacania układu izolacyjnego transformatorów energetycznych. Analizując statystykę zawilgocenia transformatorów w zależności od czasu ich eksploatacji wykazał istotność tematyki rozprawy dla sektora energetyki. Omówił źródła pojawienia się wilgoci w układzie izolacyjnym transformatorów, zarówno te wynikające z ich konstrukcji, technologii produkcji jak i eksploatacji czy procesów starzeniowych. Zwrócił przy tym uwagę na zależność poziomu zawilgocenia od temperatury oraz wilgoci zawartej w powietrzu atmosferycznym, pokazując przy tym metody

suszenia układu izolacyjnego podczas procesu produkcyjnego. Rozdział ten zakończył opisem metod wyznaczania zawilgocenia izolacji stałej.

Rozdział 2.3 przedstawia w sposób przemyślany teoretyczne podstawy zjawiska bąbelkowania będącego głównym obiektem zainteresowania badawczego Doktoranta. W rozdziale tym znajdujemy definicję zjawiska, podstawowe informacje na jego temat wraz z informacją o rosnącym zainteresowaniu naukowców tą tematyką oraz zagrożenia jakie zjawisko to niesie za sobą dla układów izolacyjnych transformatorów mocy. W rozdziale tym Doktorant przedstawił wpływ różnych czynników na temperaturę inicjacji zjawiska bąbelkowania oraz dokonał analizy modeli matematycznych znajdujących się w światowej literaturze.

Zdobyta przez Doktoranta wiedza teoretyczna, którą przedstawił w rozdziale 2 rozprawy, pozwoliła mu na postawienie tezy głównej rozprawy, wraz z podtezami, które zostały w dalszej części rozprawy udowodnione.

Na tej podstawie mogę z całą pewnością stwierdzić, że rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta na bardzo dobrym poziomie. O bardzo dobrym przygotowaniu teoretycznym Doktoranta świadczy także zastosowanie odpowiednich procedur i metod badawczych prowadzących do udowodnienia postawionej tezy badawczej.

2) ocena wraz z uzasadnieniem, czy rozprawa doktorska wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej przez osobę ubiegającą się o nadanie stopnia doktora;

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska przedstawia w logiczny i usystematyzowany sposób proces w jakim Doktorant prowadził pracę naukową, od zidentyfikowania problemu badawczego poprzez dobór odpowiednich procedur i metod badawczych, zorganizowanie i uruchomienie stanowisk pomiarowych do wykonania wiarygodnych badań i ich naukowej analizy.

Doktorant zapoznał się z bieżącą problematyką dotyczącą układu izolacyjnego transformatorów energetycznych, Zauważył tu istniejący problem związany z uwalnianiem pary wodnej z izolacji stałej transformatorów i rosnące zainteresowanie tą problematyką wśród naukowców z różnych krajów. Na tej podstawie Doktorant sformułował problem badawczy wymagający rozwiązania, stawiając tezę główną oraz trzy podtezy. W celu rozwiązania tego problemu badawczego skonstruował procedurę mającą udowodnić postawione tezy, a na jej podstawie zaprojektował i przygotował stanowiska badawcze. Zakres i sposób przeprowadzenia badań oraz wykonana analiza wyników wykazują dojrzałość naukową Doktoranta.

Uznaję, że rozprawa doktorska wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez mgr. inż. Kamila Lewandowskiego.

3) ocena wraz z uzasadnieniem, czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej lub społecznej albo oryginalne dokonanie artystyczne.

Zjawisko bąbelkowania, czyli gwałtownego uwalniania pary wodnej z izolacji stałej transformatora pojawia się w literaturze światowej już od dłuższego czasu. Dotyczy ono jednak z reguły doniesień związanych z izolacją celulozową zanurzoną w oleju mineralnym. Tematyka ta, dotycząca nowych typów olei oraz różnego typu izolacji stałej, jest mocno rozwijana w Politechnice Poznańskiej w

uznanym wśród specjalistów zespole naukowym z którego wywodzi się Promotor Doktoranta. To zapewne przełożyło się także na wysoki, według mnie, poziom opiniowanej rozprawy. Dzięki dobrym podstawom teoretycznym, Doktorant zidentyfikował nie poruszony problem związany ze zjawiskiem bąbelkowania w przypadku stosowania izolacji stałej wysokotemperaturowej. Wybór głównego materiału stałego do badań był bardzo dobrze przemyślany. Doktorant wybrał na niego stosowany przemysłowo materiał wysokotemperaturowy w postaci połączenia dwóch skrajnie różnych materiałów: celulozy stosowanej jako izolacja niskotemperaturowa oraz aramidu będącego materiałem wysokotemperaturowym. Następnie porównał, pod względem temperatury inicjacji zjawiska bąbelkowania, właściwości tego materiału z czystym aramidem i celulozą, w zależności od rodzaju izolacji ciekłej. Wybór zarówno materiałów stałych jak i materiałów ciekłych podyktowany był ich stopniem polarności co powinno, według rozważań teoretycznych Doktoranta, wpływać na ich różne temperatury inicjacji zjawiska bąbelkowania. Ten problem naukowy został przez Doktoranta w ramach rozprawy doktorskiej rozwiązany i stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

Do oryginalnych osiągnięć naukowych Doktoranta zaliczam:

- określenie wpływu polarności materiału stałego na wartość temperatury inicjacji zjawiska bąbelkowania,
- określenie wpływu polarności materiału ciekłego na wartość temperatury inicjacji zjawiska bąbelkowania,
- wyznaczenie zależności temperatury inicjacji zjawiska bąbelkowania od zawilgocenia materiałów izolacji stałej zanurzonej w różnych cieczach izolacyjnych,
- wyznaczenie równań matematycznych opisujących temperaturę inicjacji zjawiska bąbelkowania.

Podsumowując, stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr. inż. Kamila Lewandowskiego stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

W trakcie lektury rozprawy nasunęło mi się kilka uwag edytorskich oraz pytań natury dyskusyjnej na które proszę Doktoranta o odpowiedź. Uwagi te w najmniejszym stopniu nie umniejszają wartości rozprawy doktorskiej.

Pytania dyskusyjne:

1. Czy według doświadczenia Doktoranta, mógł nastąpić transfer wilgoci izolacja stała-ciecz izolacyjna podczas impregnacji izolacji stałej w cieczy?
2. Czy proces odgazowywania próbek oleju nie powodował zmiany ich stopnia zawilgocenia?
3. Czy zawartość wilgoci w olejach stosowanych podczas eksperymentu określającego temperaturę inicjacji zjawiska bąbelkowania była taka sama jak w procesie impregnacji? Jaki był całkowity czas trwania eksperymentu? Czy czas eksperymentu, a konkretnie czas utrzymywania wysokiej temperatury nie wpływał na zmianę zawilgocenia oleju oraz na wysuszenie izolacji stałej?
4. W opisie eksperymentu (strony 76-77) stwierdza się, że ze względu na małą szybkość narostu temperatury pod koniec grzania można pominąć bezwładność cieplną układu patron-próbka izolacji, a więc temperatura patronu jest praktycznie równa temperaturze izolacji. Jednocześnie wyniki eksperymentu pokazują (strony 82-83), że uwalnianie pary wodnej odbywa się najpierw w głębszych warstwach izolacji (bliżej patronu). Czy jednak rozkład temperatury wzdłuż grubości próbki izolacji nie będzie miał znaczenia? Może powinno się stosować próbki o mniejszej grubości?

Uwagi edytorskie:

1. W tabelach pojawiają się opisy dotyczące próbki „zanurzonej w oleju” lub „zanurzonej w estrze”. Ester transformatorowy jest także olejem, należałoby precyzyjnie opisywać rodzaj cieczy.
2. Podane są różne czasy impregnacji próbek, Na stronie 70 podano czas impregnacji 48 godzin. Na stronie 78 pojawia się informacja o czasie impregnacji 21 dni.
3. Na stronie 97 w numeracji podtezy powinien być numer 2.

Ocena końcowa

W mojej opinii rozprawa doktorska mgr. inż. Kamila 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 zawiera wartościowy dorobek naukowy.

Stwierdzam więc, że rozprawa doktorska mgr. inż. Kamila Lewandowskiego pt. „Zjawisko bąbelkowania w nowoczesnych układach izolacyjnych transformatorów energetycznych” 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.

Wniosek o wyróżnienie rozprawy

Rozprawa doktorska mgr. inż. Kamila Lewandowskiego pt. „Zjawisko bąbelkowania w nowoczesnych układach izolacyjnych transformatorów energetycznych” Jest pracą naukową z bardzo dużym potencjałem aplikacyjnym. Wystąpienie bowiem zjawiska bąbelkowania może stać się początkiem procesów prowadzących w transformatorze mocy do jego katastrofalnej awarii i w efekcie do znaczących problemów dla krytycznej infrastruktury zapewnienia dostaw energii elektrycznej. W tym kontekście rozprawa może stanowić znaczący wkład w bezpieczeństwo energetyczne co stawia ją powyżej średniej w odniesieniu do rangi rozpatrywanego problemu. Doktorant zajmował się bardzo trudną eksperymentalnie i czasochłonną tematyką. Wymaga ona, oprócz dużej wiedzy teoretycznej, także znacznej koncentracji i uporządkowania procesów badawczych ze względu na liczne czynniki wpływające na wyniki pomiarów a więc także na ich wiarygodność. Rozprawę doktorską mgr. inż. Kamila Lewandowskiego wyróżnia nie tylko bardzo dobra redakcja pracy oraz wyjątkowo dobra znajomość tematyki jak przede wszystkim doskonały warsztat badawczy.

Z powyższych powodów wnioskuję o wyróżnienie rozprawy doktorskiej mgr. inż. Kamila Lewandowskiego pt. „Zjawisko bąbelkowania w nowoczesnych układach izolacyjnych transformatorów energetycznych”.