

Wrocław, 17 listopada 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. Dominiki Szcześniak

pt.: „Wpływ warunków starzenia estru naturalnego na jego właściwości w aspekcie wydłużenia czasu eksploatacji układu izolacyjnego transformatora energetycznego”

1. Podstawa opracowania recenzji

Niniejsza recenzja opracowana została zgodnie z uchwałą Rady Dyscypliny Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki Politechniki Poznańskiej na zlecenie Dziekana Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki prof. dr hab. inż. Zbigniewa Nadolnego, pismo nr WISIE.63.58.2025

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

Stabilność systemu elektroenergetycznego zależy w dużej mierze od niezawodności pracy transformatorów mocy. Transformatory o izolacji papierowo-olejowej znajdują się w eksploatacji od ponad wieku. Pierwotnie rolę medium ciekłego pełnił olej mineralny i znajomość właściwości takiego układu izolacyjnego jest dobrze rozpoznana. Rozwój w dziedzinie chemii i elektrotechnologii oraz coraz większe dążenie do zapewnienia ochrony środowiska spowodowały coraz szersze wejście w przemysł transformatorowy w ostatnich

latach nowego rodzaju olejów dielektrycznych bazujących na estrach roślinnych. Stąd też wynika obserwowana ekspansja stosowania olejów estrowych w transformatorach o coraz większych mocach. Rodzi to konieczność podejmowania niestandardowych, wykraczających poza badania normatywne, badań właściwości nowych olejów których wyniki przyczynią się do rozpoznania zjawisk prowadzących do degradacji ich pierwotnych właściwości i w efekcie do zapewnienia bezawaryjnej długotrwałej pracy transformatorów mocy. Recenzowana praca doskonale wpisuje się w te nowe trendy. Dotyczy ona problematyki starzenia estrów naturalnych w trakcie eksploatacji. Wyodrębnia dwa procesy prowadzące do starzenia estru naturalnego w eksploatacji, omawia zmiany parametrów diagnostycznych charakterystyczne dla obydwu procesów, wskazuje na metodę poprawy długości eksploatacji oleju.

W tym kontekście umiejscowienie tematyki rozprawy doktorskiej jest istotne oraz aktualne i mogę je ocenić bardzo wysoko.

3. Charakterystyka oraz ocena osiągnięć rozprawy

Struktura rozprawy doktorskiej składa się z dwóch części: teoretycznej oraz badawczej. Część teoretyczna podzielona została na 5 rozdziałów. Po rozdziale wprowadzającym Doktorantka w Rozdziale 2 zajęła się opisem układu izolacyjnego transformatorów. Znajdujemy tu szeroki opis materiałów celulozowych stanowiących stałą izolację transformatorów. Doktorantka przedstawia surowce do produkcji elementów izolacji stałej, zagłębia się także w procesy produkcji tych materiałów oraz ich strukturę chemiczną i powiązanymi z nią właściwościami. Znaczącą część tego rozdziału stanowi opis procesów produkcji, struktury chemicznej i właściwości estrów naturalnych stanowiących izolację ciekłą transformatorów. Bardzo istotne z punktu widzenia dalszej części rozprawy są tu zamieszczone informacje o właściwościach kryterialnych estru naturalnego z punktu widzenia jego eksploatacji w transformatorach oraz porównanie właściwości estru na tle innych stosowanych w transformatorach dielektryków ciekłych. Następne trzy rozdziały stanowią niezbędną podbudowę teoretyczną dla prawidłowego przeprowadzenia procesu badawczego przedstawionego w rozprawie. Doktorantka w Rozdziale 3 omawia procesy i czynniki prowadzące do starzenia estru naturalnego. Wyróżniając dwa główne procesy starzeniowe omawia procesy chemiczne jakie dokonują się w ich trakcie oraz ich wpływ na parametry cieczy które mogą stać się czynnikami

diagnostycznymi. Ta analiza jest następnie konsekwentnie rozszerzona o problematykę starzenia izolacji papierowej a następnie o starzenie układu izolacji papierowej impregnowanej estrem naturalnym i porównanie efektów tego starzenia ze starzeniem układu olej mineralny-papier. W Rozdziałach 4 i 5 Doktorantka przedstawia metody poprawy stabilności oksydacyjnej estru naturalnego, skupiając uwagę na możliwości wykorzystania w tym celu nanocząstek fulerenu.

Zawarty w pierwszych obszernych rozdziałach przegląd zagadnień związanych z tematyką rozprawy wskazuje, że Doktorantka posiada usystematyzowaną szeroką wiedzę teoretyczną w temacie rozprawy.

Rozdział 6 to początek części eksperymentalnej, gdzie bazując na wiedzy przedstawionej w poprzednich rozdziałach Doktorantka stawia następujące tezy badawcze:

1. Warunki starzenia estru naturalnego w sposób decydujący mogą wpłynąć na strukturę chemiczną estru naturalnego, a co za tym idzie, również na jego właściwości istotne z punktu widzenia eksploatacji transformatora energetycznego. Przy czym procesy starzenia oksydacyjnego i hydrolitycznego estru naturalnego mogą w diametralnie różny sposób wpływać na te właściwości, w pierwszym przypadku całkowicie dyskwalifikując ciecz z dalszego użytkowania, a w drugim przyczyniać się nawet do wydłużenia czasu eksploatacji jednostki poprzez osuszanie układu izolacyjnego.
2. Istnieje możliwość poprawy stabilności oksydacyjnej estru naturalnego poprzez jego nanomodyfikację przy użyciu fulerenu C_{60} , który pełni rolę inhibitora procesu utleniania.

Dla udowodnienia tych tez Doktorantka buduje szeroką procedurę badawczą w celu kompleksowego scharakteryzowania właściwości wybranych do badań materiałów zarówno pod względem fizykochemicznym, elektrycznym oraz strukturalnym (Rozdział 7). Badania te obejmowały:

- pomiar zawartości wody, rozpuszczalności wody, liczby kwasowej, lepkości kinematycznej, napięcia międzyfazowego oraz temperatury zapłonu par cieczy - ramach badań właściwości fizykochemicznych cieczy

- pomiar napięcia przebicia, rezystywności, współczynnika strat dielektrycznych oraz przenikalności elektrycznej - w ramach badań właściwości
- pomiar widma absorbancji oraz analizę profilu kwasów tłuszczowych – w ramach zmian budowy chemicznej cieczy oraz pomiaru zawartości wody i stopnia polimeryzacji celulozy – w ramach badań zmian izolacji stałej impregnowanej cieczami dielektrycznymi.

Rozdział 8 opisuje badania i ich analizę dotyczącą:

- Starzenia hydrolitycznego estru o czterech poziomach zawartości wody rozpuszczonej. W ramach tej części badań Doktorantka analizowała czy produkty starzenia hydrolitycznego estru naturalnego wpływają na istotne właściwości cieczy z punktu widzenia eksploatacji i bezpieczeństwa pracy transformatora poprzez porównanie parametrów elektrycznych i fizykochemicznych z wartościami kryterialnymi zawartymi w normie IEC 62975:2024. Dokonała także oceny dynamiki procesu hydrolizy oraz zmian struktury chemicznej oleju co pozwoliło na wyciągnięcie wniosków w jaki sposób zmiany te wpływają na rozpuszczalność w starzonym estrze.
- Starzenia oksydacyjnego estru. Podobnie jak w przypadku starzenia hydrolitycznego celem było sprawdzenie czy produkty starzenia oksydacyjnego estru naturalnego wpływają na właściwości tej cieczy istotne z punktu widzenia eksploatacji i bezpieczeństwa pracy transformatora poprzez porównanie właściwości starzonego estru z wartościami kryterialnymi.

Dopełnieniem tych badań, zgrabnie zamykających problem badawczy rozwiązywany przez Doktorantkę, są: przedstawione w Rozdziale 9 porównanie procesu starzenia izolacji celulozowej impregnowanej olejem mineralnym lub estrem naturalnym oraz przedstawiony w Rozdziale 10 sposób na poprawę stabilności estru poprzez dotowanie go fulerenem C₆₀.

Bardzo pozytywnie odbieram metodologię badań zaproponowaną przez Doktorantkę mającą na celu kompleksową ocenę zjawisk starzeniowych estru naturalnego. Wyodrębnienie dwóch procesów starzeniowych oraz ich szeroka analiza pod względem działania destrukcyjnego stanowi bardzo cenne podejście naukowe. W szczególności bardzo wysoko oceniam aspekt interdyscyplinarności pracy polegający na analizie nie tylko zmian parametrów elektrycznych

i fizykochemicznych cieczy podczas różnych procesów starzeniowych ale i na próbie wyjaśnienia w jaki sposób zmiany struktury chemicznej cieczy zachodzącej podczas starzenia wpływają na parametry kryterialne oceny stanu izolacji ciekłej transformatorów.

Za najważniejsze osiągnięcia recenzowanej pracy uważam:

- wykazanie że starzenie oksydacyjne ma znacznie poważniejszy wpływ na degradację parametrów kryterialnych estru naturalnego i związane z tym uzasadnienie potrzeby skorygowania normy IEC 62975,
- zaproponowanie dodatkowych rodzajów badań wspomagających diagnostykę w zakresie identyfikacji rodzaju mechanizmu starzenia estrów naturalnych,
- potwierdzenie, że dotowanie estru naturalnego fulerem C_{60} przyczynia się do spowolnienia procesu oksydacji,
- potwierdzenie że proces hydrolizy zachodzący w estrze spowalnia depolimeryzację zawilgoconej izolacji celulozowej.

Analiza recenzowanej rozprawy pozwala mi stwierdzić, że Doktorantka wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej a przedstawiona w rozprawie tezy zostały udowodnione.

Podsumowując powyższe mogę stwierdzić, że rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

4. Wniosek o wyróżnienie rozprawy

Rozprawa doktorska mgr inż. Dominiki Szczesniak pt.: „Wpływ warunków starzenia estru naturalnego na jego właściwości w aspekcie wydłużenia czasu eksploatacji układu izolacyjnego transformatora energetycznego” stanowi nowatorskie wejrzenie w problematykę starzenia transformatorowych estrów naturalnych w trakcie ich pracy w układzie izolacyjnym transformatorów prowadzące w efekcie do wskazania na dwa odmienne procesy starzeniowe niosące za sobą odmienne skutki dla układu izolacyjnego.

Wynikiem prac badawczych Doktorantki jest propozycja skorygowania zapisu normy IEC 62975 w zakresie wartości kryterialnych liczby kwasowej dla estru naturalnego i rekomendowanych działań po jej przekroczeniu co stanowi ważny aspekt praktyczny dla krytycznej infrastruktury energetycznej.

Niezwykle wysoko oceniam interdyscyplinarne podejście Doktorantki do oceny wyników eksperymentów. Otrzymane wyniki analizowane i interpretowane były także biorąc pod uwagę strukturę chemiczną cieczy bazowej i procesy chemiczne zachodzące podczas starzenia estru naturalnego. Jest to podejście ponadstandardowe.

Za warcie wyróżnienia uważam także to, że Doktorantka nie tylko zdiagnozowała występowanie dwóch typów starzenia estru naturalnego w eksploatacji, ich wpływ na „czas życia” układu izolacyjnego i wytłumaczyła mechanizm stojący za tymi zjawiskami ale przede wszystkim zamknęła problem badawczy proponując działający sposób na zminimalizowanie destrukcyjnego wpływu procesów starzeniowych.

5. Podsumowanie

W mojej opinii rozprawa doktorska mgr. inż. Dominiki Szczesniak prezentuje szeroką wiedzę teoretyczną Doktorantki oraz wykazuje jej umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Rozprawa stanowi oryginalne dobrze uzasadnione i kompleksowe rozwiązanie problemu naukowego.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr. inż. Dominiki Szczesniak pt.: „Wpływ warunków starzenia estru naturalnego na jego właściwości w aspekcie wydłużenia czasu eksploatacji układu izolacyjnego transformatora energetycznego” spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim zapisane w ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce i wnoszę o dopuszczenie Doktorantki do dalszych etapów przewodu doktorskiego.