

Opole, 04 listopada 2025

Dr hab. inż. Stefan Wolny
prof. ucz. Politechniki Opolskiej

Politechnika Opolska
Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki
Katedra Elektroenergetyki i Energii Odnawialnej

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. Formalna podstawa opracowania recenzji

Recenzja opracowana w związku z postępowaniem w sprawie nadania stopnia naukowego doktora nauk technicznych - zlecenie Dziekana Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Poznańskiej, zgodnie z uchwałą Rady Dyscypliny Inżynierii środowiska, górnictwa i energetyki z dnia 16 września 2025 r.

2. Ogólna charakterystyka tematu i przedłożonej rozprawy

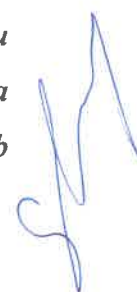
Tematyka rozprawy jest związana z bardzo aktualną problematyką racjonalnej eksploatacji elektroenergetycznych transformatorów mocy pod kątem możliwości wydłużenia czasu życia technicznego tych urządzeń, w wyniku impregnacji ich układu izolacyjnego nowoczesną cieczą dielektryczną w postaci estru naturalnego. Aktualnie, podstawowym składnikiem izolacji stałej ww. transformatorów są materiały celulozowe sycone mineralnymi olejami izolacyjnymi. Taki system elektroizolacji jest już stosowany od ponad stu lat. Niestety, w trakcie wieloletniej eksploatacji transformatorów mocy, klasyczny układ celulozowo-olejowy ulega nieodwracalnym procesom starzenia, które w głównej mierze determinują takie czynniki jak temperatura, procesy oksydacji, hydrolizy i pyrolizy oraz oddziaływania pola elektrycznego, np. wyładowań niezupełnych. Pomimo bardzo zaawansowanych prac badawczych związanych z ew. zastąpieniem materiałów celulozowych materiałami



syntetycznymi, w tym głównie wytwarzanymi na bazie włókien aramidu wydaje się, że naturalny polimer jakim jest celuloza pozostanie dominujący w transformatorach mocy jeszcze przez szereg lat. Drugi składnik układu izolacyjnego transformatorów jakim jest mineralny olej izolacyjny, niestety również jest obarczony licznymi problemami. Do podstawowych zaliczyć należy jego pochodzenie, tzn. węglowodory kopalne – ropa naftowa, tragicznie wręcz niska biodegradowalność i związane z tym koszty utylizacji czy zagrożenia wynikające z potencjalnego skażenia środowiska w wyniku awarii i rozszczelnienia kadzi transformatora oraz stosunkowo niską klasę temperaturową związaną z kolei, z niewystarczająco wysoką temperaturą zapłonu par oleju. Wyżej wymienione aspekty determinują ośrodki naukowe na całym świecie do poszukiwania alternatywnych do oleju mineralnego nowoczesnych, w pełni biodegradowalnych cieczy dielektrycznych. Aktualnie dostępne na rynku ciecze dielektryczne podzielić można na trzy kategorie, a są nimi estry syntetyczne, estry naturalne oraz tzw. bio-oleje. W recenzowanej pracy doktorskiej autorka podjęła się przeprowadzić eksperymenty naukowe z wykorzystaniem popularnego w Europie estru naturalnego o oznaczeniu handlowym FR3TM, produkowanego przez firmę Cargill Incorporated z USA.

Doktorantka w swojej pracy skoncentrowała się na problematyce analizy wpływu warunków starzenia naturalnego estru FR3TM na jego właściwości elektroizolacyjne oraz fizyko-chemiczne, w kontekście jego zastosowania jako impregnatu transformatorowego papieru celulozowego i weryfikacji możliwości wydłużenia czasu eksploatacji takiej izolacji w porównaniu do impregnowania „klasycznym” mineralnym olejem izolacyjnym. Wykorzystane w dysertacji metody badawcze stanowią podstawę obecnie stosowanej diagnostyki cieczy elektroizolacyjnych, w istotnym z naukowego punktu widzenia rozszerzeniu o metody spektrofotometryczne oraz chromatograficzne, których celem była weryfikacja zmieniającego się składu chemicznego badanej cieczy. Niezbędne analizy uzyskiwanych parametrów oparto na szerokiej i stosunkowo unikatowej wiedzy eksperckiej, którą starannie opisano w rozdziałach początkowych recenzowanej pracy, opartej o aktualny stan wiedzy oraz o obecnie stosowane międzynarodowe normy. Tym samym, godnym podkreślenia jest aspekt obiektywizmu oraz uniwersalności w formułowaniu wniosków końcowych recenzowanej pracy, tak pożądany w eksperymentalnych badaniach naukowych. Doktorantka przyjęła w swojej dysertacji (rozdz. 6, str. 55) następujące dwie tezy główne, cyt.:

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.

Istnieje możliwość poprawy stabilności oksydacyjnej estru naturalnego poprzez jego nanomodyfikację przy użyciu fulerenu C₆₀, który pełni rolę inhibitora procesu utleniania..

Uważam, że są to niewątpliwie interesujące naukowo tezy, których dowód wymaga przeprowadzenia szeregu badań eksperymentalnych z wykorzystaniem nowoczesnej, często dedykowanej wyłącznie badaniom cieczy dielektrycznych aparatury, narzędzi informatycznych w połączeniu ze znaczną wiedzę ekspercką badacza, przeprowadzonych na rzeczywistych materiałach oraz w warunkach możliwie jak najwierniej odzwierciedlających warunki eksploatacji ww. materiałów w elektroenergetycznych transformatorach mocy. Tym samym uważam, że postawione zadanie naukowe udowodnienia słuszności ww. tez jest ambitne oraz niewątpliwie nosi cechy nowości naukowej. Jednakże dodam, że w moim odczuciu pierwsza z tez ma charakter nieco zbyt ogólny i wymagałaby doprecyzowania. Mam tutaj na myśli sformułowania typu: *właściwości istotne czy na te właściwości*. Ponadto, w podrozdziale 9.1 na str. 91 doktorantka sama formułuje kolejną bardzo istotną z punktu widzenia tematyki pracy tezę, cyt. *Wyniki badań przedstawione w podrozdziałach 8.1 i 8.4 wykazały odpowiednio spadek zawartości wody w estrze wynikający z procesu jego hydrolizy oraz wysoką rozpuszczalność wody w estrze. Spostrzeżenia te były podstawą do sformułowania hipotezy zakładającej, że konsekwencją tego może być spowolnienie procesu starzenia izolacji celulozowej impregnowanej estrem naturalnym w stosunku do izolacji celulozowej o tym samym poziomie zawilgocenia impregnowanej olejem mineralnym*. W moim odczuciu, oczywiście odpowiednio edytując cytowane zdania, pierwsza teza pracy doktorskiej powinna zawierać właśnie to założenie w odniesieniu do starzenia hydrolitycznego badanego estru. Opisane wyżej uwagi mają jednak charakter niewątpliwie dyskusyjny, która nie wpływają znacząco na całokształt poprawności formułowanych tez recenzowanej dysertacji.

Podsumowując stwierdzam, że zarówno tematyka (bezsprzecznie związana z dyscypliną naukową inżynieria środowiska, górnictwo, energetyka), jak i tezy pracy dotyczą aktualnych i ważnych zagadnień badawczych, z pewnością naukowo dostatecznie nierozeznanych, mających jednocześnie duże znaczenie praktyczne. Oceniam je zatem bardzo pozytywnie.



Recenzowana praca doktorska mgr. inż. Dominiki Szcześniak ma charakter analityczno-eksperymentalny. Rozprawa liczy 124 strony, składa się z 11 rozdziałów, streszczenia (w j. polskim i angielskim) oraz bibliografii obejmującej spis 166 pozycji literaturowych. Oceniając rozprawę, na wstępie poniżej zamieszczam analizę charakterystyki recenzowanej dysertacji.

Rozdział 1 (2 str.) stanowi dobre i moim zdaniem wystarczające wprowadzenie do tematyki rozprawy, szczególnie mając na uwadze prezentowaną w kolejnych, późniejszych rozdziałach pracy, bardzo rozbudowaną analizę stanu wiedzy.

Rozdział 2 (24 str.) prezentuje wiadomości teoretyczne dotyczące budowy układu izolacyjnego transformatora (rozd. 2.1), stosowanych w nim celulozowych materiałów elektroizolacyjnych (rozd. 2.2), produkcji, struktury oraz właściwości estrów naturalnych, w tym oceny tej cieczy na tle innych ciekłych materiałów izolacyjnych (rozd. 2.3). Uważam, że rozdział 2 stanowi bardzo dobre wprowadzenie teoretyczne do tematyki pracy, jest spójny oraz oparty o aktualną wiedzę literaturową.

Rozdział 3 (7 str.) opisuje procesy jakie zachodzą podczas starzenia estru naturalnego (rozd. 3.1), izolacji celulozowej (rozd. 3.2) oraz zbiorczo porównuje te procesy dla izolacji celulozowej impregnowanej estrem naturalnym na tle innych cieczy impregnacyjnych, w tym głównie w przypadku mineralnych olejów izolacyjnych. Warty podkreślenia są zawarte w tym rozdziale pracy bardzo bogate odniesienia do światowej literatury przedmiotu. Wyłączenie aspektów starzeniowych związanych z eksploatacją izolacji celulozowo-estrowej z rozdziału 2 i prezentowanie tych treści jako osobny rozdział pracy uważam za bardzo trafne, dodające jej przejrzystości.

Rozdział 4 (6 str.), to kolejny rozdział teoretyczny pracy, omawiający bardzo istotne z punktu widzenia eksploatacji estrów naturalnych zagadnienia związane z poprawą ich stabilności oksydacyjnej. Doktorantka przedstawiła wszystkie stosowane aktualnie metody, tj. modyfikację genetyczną nasion oleistych (rozd. 4.1), mieszaniny estrów z innymi cieczami (rozd. 4.2), wprowadzanie chemicznych inhibitorów (rozd. 4.3) oraz nanomodyfikację cieczy (rozd. 4.4). Właściwie mój pozytywny odbiór tego rozdziału jest całkowicie tożsamy ze stwierdzeniami dotyczącymi rozdziału 3.

Rozdział 5 (9 str.) stanowi ostatni rozdział teoretyczny pracy. Opisano w nim odmianę alotropową węgla pod postacią nanocząsteczki fullerenu oraz jego zastosowanie jako nanomodyfikatora cieczy elektroizolacyjnych. Całość rozdziału jest oparta na bardzo bogatych, aktualnych doniesieniach literaturowych.

W rozdziale 6 autorka uzasadnia naukowy cel rozprawy oraz prezentuje jej dwie tezy główne.



Rozdział 7 (11 str.) rozpoczyna właściwą część badawczą rozprawy i szczegółowo opisuje stosowane w badaniach metody, normy oraz aparaturę.

W rozdziale 8 (24 str.) pracy Doktorantka prezentuje wyniki badań eksperymentalnych dotyczące wpływu starzenia samego estru naturalnego, wyodrębniając proces starzenia hydrolitycznego (rozdz. 8.1), oksydacyjnego (rozdz. 8.2), analizę obu tych procesów (rozdz. 8.3) z wykorzystaniem metod spektrofotometrycznych oraz chromatograficznych. Rozdział kończy natomiast ocena wpływu ww. typów starzenia estru na rozpuszczalność wody w tej cieczy oraz analiza zmian w krzywych równowagi hydrodynamicznej w układzie papier-ester (rozdz. 8.4). Oceniany rozdział 8 jest bardzo obszerny, zawiera wiele niezbędnych danych oraz analiz. Wartym podkreślenia jest, że każdy z podrozdziałów zawiera krótkie wprowadzenie i uzasadnienie podjętych badań oraz zamieszczone na końcu wnioski podsumowujące. Znacząco poprawia to właściwy odbiór treści, szczególnie z uwagi na samą liczbę danych oraz zastosowanych metod badawczych. Sądzę jednak, że podrozdział 8.4 mógłby z powodzeniem stanowić rozdział samodzielny pracy z uwagi na komponent celulozowy, co już nieco odbiega od tytułu głównego rozdziału 8.

Rozdział 9 (8 str.) prezentuje wyniki porównawczych badań eksperymentalnych starzenia izolacji celulozowej impregnowanej estrem naturalnym oraz olejem mineralnym. Analizowanymi czynnikami było wstępne zawilgocenie próbek papieru, jeszcze przed procesem ich impregnacji i przyspieszonego starzenia termicznego oraz sam czas starzenia zaimpregnowanych próbek (maks. 23 dni), bez dostępu powietrza w temperaturze 120°C. Rozdział 9 uważam za największe osiągnięcie naukowe recenzowanej pracy, mając na uwadze jego wysoką aplikacyjność techniczną oraz diagnostyczną w zakresie oceny tempa utraty stopnia polimeryzacji celulozy, co wiąże się z przewidywaniem końca tzw. życia technicznego izolacji w transformatorze.

W rozdziale 10 (9 str.) Doktorantka prezentuje ostatnie już wyniki badań eksperymentalnych, których celem była ocena przydatności fulerenu C₆₀ jako nanomodyfikatora estru FR3TM, mającego być potencjalnym inhibitorem procesów oksydacyjnych jakie zachodzą podczas starzenia ww. cieczy. Rozdział podzielono na analizę możliwości rozpuszczania nanocząsteczek C₆₀ w estrze (rozdz. 10.2), wpływu stężenia tego fulerenu na ew. spowolnienie procesów starzenia estru (rozdz. 10.3) oraz ostatecznie wpływu wybranego na podstawie wcześniejszych badań stężenia fulerenu C₆₀ na właściwości nanomodyfikowanej cieczy (rozdz. 10.4). Na pochwałę zasługuje spójność prezentowanych treści rozdziału oraz potencjalne wytyczne w zakresie optymalnego stężenia fulerenu w estrze, który ma niewątpliwie silny aspekt aplikacyjny. Powstaje jednak pewien niedosyt w



odniesieniu do zakresu badań, zwracam na niego uwagę w p. 3 recenzji. Uznaję jednak, że ten aspekt może być z powodzeniem rozwijany w dalszych badaniach naukowych Doktorantki bądź zespołu, w którym prowadzone były opisywane prace.

W rozdziale 11 (3 str.), który stanowi podsumowanie recenzowanej rozprawy doktorskiej, Doktorantka prezentuje wnioski końcowe dowodzące słuszności postawionych wcześniej tez oraz opisuje problemy otwarte, mogące stanowić podstawę przyszłych kierunków badań.

Rozprawę kończy wykaz **literatury** (14 str.), zawierający łącznie 166 pozycji. Dobór cytowanych źródeł jest poprawny, wystarczająco kompletny i naukowo aktualny, z wyłączeniem pozycji [8, 53, 105], które są starsze niż 50 lat.

Na podstawie analizy ww. rozdziałów recenzowanej rozprawy doktorskiej stwierdzam, że Doktorantka uzyskała następujące istotne osiągnięcia naukowe:

- wykazanie na podstawie badań eksperymentalnych, że procesy hydrolitycznego starzenia estru naturalnego FR3TM mają pozytywny wpływ na jego właściwości, w tym głównie na obniżenie stopnia zawilgocenia cieczy oraz poprawę napięcia przebicia, bez istotnego pogorszenia lepkości oraz pozostałych właściwości elektrycznych cieczy;
- wykazanie na podstawie badań eksperymentalnych, że procesy oksydacyjnego starzenia estru naturalnego FR3TM powodują zdecydowanie bardziej agresywną degradację cieczy, pogarszając wszystkie właściwości elektryczne estru oraz wywołując groźny dla eksploatacji transformatora wzrost lepkości cieczy;
- zaproponowanie wprowadzenia korekty do normy IEC 62975:2021 w zakresie zwiększenia wartości kryterialnej liczby kwasowej (obecna wartość 0,5 mg KOH/g estru), w oparciu o zaobserwowany brak istotnego pogorszenia właściwości cieczy z punktu widzenia eksploatacji transformatora podczas starzenia hydrolitycznego;
- przeprowadzenie analizy składu kwasów tłuszczowych estru dla obu ww. form starzenia cieczy z wykorzystaniem metody spektrofotometrycznej oraz chromatograficznej, co stanowi istotny rozwój metod diagnostycznych dla tego typu cieczy dielektrycznych;
- wykonanie analizy zmian rozpuszczalności wody w estrze naturalnym na skutek procesów starzeniowych, co obecnie może prowadzić do błędnej oceny stopnia zawilgocenia izolacji celulozowej jeśli nie jest uwzględniany w charakterystykach równowagi hydrodynamicznej stopień degradacji samej cieczy;
- wykazanie korzystnego wpływu starzenia hydrolitycznego estru naturalnego FR3TM, który sprzyjając stopniowemu osuszaniu izolacji celulozowej jednocześnie spowalnia proces jej depolimeryzacji w porównaniu z izolacją impregnowaną olejem mineralnym,

tym samym wydłużając 2,5 krotnie prognozowany czas życia tego typu izolacji, oczywiście uwzględniając warunki eksperymentu;

- wykazanie, że nanomodyfikacja estru fullerem C_{60} o stężeniu 100 mg/l poprawia stabilność oksydacyjną bez pogorszenia pozostałych właściwości cieczy, co potwierdzono w oparciu o analizę wyników liczby kwasowej.

Oceniając całokształt rozprawy doktorskiej stwierdzam, że jest ona poprawnie przemyślana, treść prezentująca wyniki eksperymentalnych badań własnych Doktorantki (w mojej ocenie 56 str.) zdecydowanie przekracza 50% całości pracy (wyłączając stronę tytułową, spis treści, streszczenia i wykaz literatury), układ rozdziałów nie budzi większych zastrzeżeń, praca napisana jest dobrym językiem z naukowego punktu widzenia oraz posiada staranną szatę graficzną. Usterki redakcyjne oraz drobne błędy są nieliczne zważywszy na całokształt pracy. Na niektóre z nich zwracam uwagę w punkcie 4 recenzji. Podsumowując, wysoko oceniam zastosowane techniki badawcze oraz organizację i sposób przeprowadzenia eksperymentów. Wskazują one na duże umiejętności badawcze Doktorantki. Osiągnięte wyniki prezentują dobry poziom naukowy pracy, co stanowi jeden z ważniejszych elementów wniosku końcowego niniejszej recenzji.

3. Uwagi i pytania dyskusyjne

- 3.1 Str. 67 – W podrozdziale 8.1.2 podane są dwie temperatury przyspieszonego starzenia estru, tj. 90°C oraz 120°C. Jakim kryterium kierowała się Doktorantka wybierając te wartości?
- 3.2 Str. 74, Rys. 8.6 – W opisie pod rysunkiem brak jest informacji dla jakiej próbki/próbek estru wykonano tę analizę. Proszę o rozszerzone wyjaśnienie obserwowanych na rysunku zmian liczby kwasowej oraz ubytku stopnia zawilgocenia cieczy.
- 3.3 Str. 75 – W podrozdziale 8.2.2 podana jest temperatura starzenia oksydacyjnego estru wynosząca 120°C. Jakim kryterium kierowała się Doktorantka wybierając tę wartość?
- 3.4 Str. 76 – Cyt.: *W odróżnieniu od procesu hydrolizy, w trakcie utleniania dochodziło do groźnego wzrostu lepkości estru, której wartość przekroczyła dopuszczalny poziom już po upływie 10 dni starzenia.* Skoro tak, pojawia się zatem pytanie nawiązujące do wcześniejszej uwagi 3.4. Czy temperatura starzenia oksydacyjnego nie była zbyt wysoka, praktycznie powodując niezdatność cieczy do eksploatacji już na początku eksperymentu? Ponadto, dlaczego w tablicy 8.4 brak jest wyników napięcia międzyfazowego oraz napięcia przebicia dla 10, 20 i 30-tego dnia starzenia estru?
- 

- 3.5 Str. 79, Rys. 8.9 – Zgadzam się ze stwierdzeniem, że widma absorbancji w przypadku starzenia oksydacyjnego estru różnią się istotnie w zakresach 380-600 nm oraz 2000-2100 nm. Jest to cenna obserwacja dla ew. przyszłej rozszerzonej diagnostyki estrów naturalnych. Z uwagi na istotność tego faktu, proszę podczas obrony przedstawić powiększone fragmenty rysunku 8.9 dla ww. zakresów widma, aby poprawić czytelność odbioru prezentowanych charakterystyk.
- 3.6 Str. 91 – Cyt.: *Do badań wykorzystano papier celulozowy nawojowy typu kraft o grubości 0,055 mm i ciężarze objętościowym 0,86 g/cm³*. Proszę o podanie nazwy handlowej oraz producenta użytego do badań papieru.
- 3.7 Str. 95, Rys. 9.5 – Dobranie początkowego punktu dla starzenia termicznego papieru, tj. stopień polimeryzacji celulozy DP ok. 1100 (Rys. 9.5) przy zawilgoceniu 3,12%, jest moim zdaniem mało realne praktycznie. Aby odnieść się do warunków rzeczywistych izolacji eksploatowanej w transformatorach mocy, stopień DP celulozy zawilgoconej w ok. 3% powinien wynosić zdecydowanie mniej, np. ok. 500. Tym samym, w trakcie eksperymentu stopień DP celulozy maleje w sposób wręcz katastrofalny, do wartości krytycznej ok. 250 już po 24 dniach starzenia, gdy impregnację stanowił olej mineralny. Niewątpliwie reakcje hydrolizy w celulozie w 120°C zachodzą wówczas niezwykle intensywnie. Tym samym, jakkolwiek proces zmniejszający zawilgocenie papieru wywoła duże, korzystne zmiany (Rys. 9.5 – „zysk” stopnia DP ok. 150 w przypadku impregnacji estrem pod 24 dniami starzenia). Niestety, znajduje to później swoje odzwierciedlenie na rysunku 9.6, powodując bardzo duże różnice (2,5 razy na korzyść estru) w prognozowaniu końca życia technicznego izolacji celulozowej. Proszę o komentarz do tej uwagi.
- 3.8 Uwaga ogólna (dyskusyjna) do podrozdziału 10.4. Moim zdaniem powinna być oczywiście badana ciecz niestarzona (wyniki w Tablicy 10.2) ale w porównaniu z cieczami starzonymi zgodnie z danymi zestawów 1, 2 i 3 (Tablica 10.1), skoro stężenie 100 mg/l fulerenu C₆₀ jest proponowane jako inhibitor oksydacyjny estru FR3TM. Proszę o komentarz.

4. Uwagi redakcyjne

- 4.1 Str. 30, Rys. 2.14 – Uwaga dotyczy opisu charakterystyki prezentowanej na Rys. 2.14, cyt.: ... *najlepsze dopasowanie do krzywej Boltzmanna odnotowuje się dla estru syntetycznego oraz naturalnego* ... Z uwagi na zdecydowanie różną liczebność próbek badanych cieczy, takie stwierdzenie moim zdaniem jest zbyt daleko idące, tym bardziej,
- 

że brak jest w tym zakresie wystarczających statystycznie dowodów. To, że przy ogromnej przewodze liczebności próbek oleju mineralnego, napięcie przebicia dla dosłownie kilku przypadków przekracza wyznaczony przedział predykcji dla krzywej, jest statystycznie nieistotne.

- 4.2 Str. 85, Rys. 8.14 – Z uwagi na wiarygodność statystyczną, nawet pomimo wysokiego współczynnika determinacji R^2 , zaleca się aby minimalna liczebność próby mieściła się w granicach 5 – 10 punktów na charakterystyce. Rysunek prezentuje wyniki obliczeń funkcji regresji w oparciu jedynie o 3 punkty. W ew. przyszłych badaniach proszę uwzględniać tą zasadę.
- 4.3 Str. 93, Rys. 9.3 oraz Str. 95, Rys. 9,5 – Moim zdaniem, ponowne prezentowanie wyników zawartości wody w papierze na rysunkach jest zbędne. Najważniejszym efektem badań są przecież różnice w utracie stopnia polimeryzacji celulozy i to one powinny być jak najdokładniej prezentowane.
- 4.4 Str. 101, Rys. 20.2 – Ponieważ z wniosków pod rysunkiem dowiadujemy się, że pasmo absorpcji 600 nm związane jest z efektem rozpuszczania fulerenu w estrze, korzystnym byłoby zaprezentować dokładniej (w powiększeniu) efekt nakładania się pasm absorpcji na osobnym rysunku, który świadczyłby dobitnie o zakończeniu procesu rozpuszczania.

5. Wniosek końcowy

Pracę doktorską mgr. inż. Dominiki Szcześniak pt. „Wpływ warunków starzenia estru naturalnego na jego właściwości w aspekcie wydłużenia czasu eksploatacji układu izolacyjnego transformatora energetycznego” oceniam **pozytywnie**. Na ocenę tę składają się przede wszystkim:

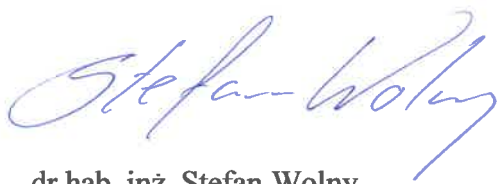
- tematyka pracy, która wynika z praktycznych problemów eksploatacji elektroenergetycznych transformatorów mocy oraz związana jest z bardzo aktualną problematyką badawczą w dziedzinie zastosowań nowoczesnych cieczy dielektrycznych, w tym biodegradowalnych estrów naturalnych jako alternatywy dla mineralnego oleju izolacyjnego;
- oryginalne i interesujące naukowo tezy rozprawy, mające charakter badań analityczno-eksperymentalnych, z wyraźnymi możliwościami aplikacyjnymi;
- bardzo dobre opracowanie literaturowe wprowadzające w badawczą część pracy, szczególnie pod kątem analizy zjawisk zachodzących podczas procesów starzeniowych

w estrach naturalnych oraz możliwości ich nanomodyfikacji z wykorzystaniem fulerenu C₆₀, jako inhibitora procesów oksydacji;

- szeroki i spójny program badań eksperymentalnych wykonanych na materiałach rzeczywistych, już stosowanych w elektroenergetycznych transformatorach mocy;
- poprawna realizacja badań pod kątem metodologicznym oraz właściwe opracowane wyniki eksperymentów;
- osiągnięte istotne wyniki mające zarówno charakter praktyczny jak i naukowy.

Recenzowana rozprawa należy do grupy prac z zakresu badań, mających na celu zwiększenie możliwości wykorzystania nowoczesnych, biodegradowalnych cieczy dielektrycznych, jako alternatywy dla obecnie wykorzystywanych w transformatorach mineralnych olejów izolacyjnych. Dysertacja ma niewątpliwie cechy badań głównie eksperymentalnych z silnym uzasadnieniem ich praktycznej potrzeby. Nie do pominięcia jest również możliwy do uzyskania aspekt ekonomiczny, który jednak w chwili obecnej wymaga jeszcze kilku dodatkowych badań. W mojej ocenie, główny cel rozprawy był konsekwentnie realizowany i w wyznaczonych ramach został osiągnięty. Doktorantka wykazała się dobrym opanowaniem niezbędnej wiedzy teoretycznej, umiejętnością samodzielnego formułowania i rozwiązywania oryginalnego zagadnienia naukowego, którego realizację oparła o poprawnie zaplanowany i wykonany program badań eksperymentalnych. Zamieszczone w recenzji w p. 3 uwagi mają w większości charakter dyskusyjny, natomiast dostrzeżone i wymienione w p. 4 błędy są głównie natury redakcyjnej, bądź mają charakter recenzenckiej sugestii.

Na podstawie przedstawionych w recenzji argumentów stwierdzam, że przedłożona rozprawa spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018, poz. 1668, z późn. zm.). Stawiam wniosek o dopuszczenie mgr. inż. Dominiki Szcześniak do publicznej obrony. Wnoszę również o wyróżnienie rozprawy doktorskiej.



dr hab. inż. Stefan Wolny

prof. ucz. Politechniki Opolskiej