dr hab. inż. Paweł Rózga, prof. PŁ
Politechnika Łódzka
Instytut Elektroenergetyki
ul. Stefanowskiego 18/22
90-924 Łódź
pawel.rozga@p.lodz.pl

Łódź, 08.05.2019

WYDZIAŁ ELEKTRYCZNY
DZIEKANAT
Wpł. 10 -05- 2019
DZIEKAN
Wydziału Elektrycznego
Politechniki Poznańskiej
prof. dr hab. inż. Zbigniew Nadolny

**Recenzja rozprawy doktorskiej**

mgra inż. Przemysława Tadeusza Gościńskiego

pt. *„Narzędzie służące do obliczania pola temperaturowego transformatora energetycznego na etapie jego projektowania"*

## 1. Podstawa prawna opracowania recenzji

Niniejsza recenzja sporządzona została na zlecenie Dziekana Wydziału Elektrycznego Politechniki Poznańskiej prof. dr hab. inż. Zbigniewa Nadolnego z dnia 04.03.2019 roku.

## 2. Tematyka i teza rozprawy

Od kilkudziesięciu już lat rynek cieczy dielektrycznych do zastosowań elektrycznych daje do dyspozycji projektantów i producentów transformatorów alternatywne dla oleju mineralnego płyny dielektryczne jak estry syntetyczne i naturalne, przy czym w ostatnich kilku latach liczba dostępnych do zastosowań komercyjnych płynów alternatywnych znacząco wzrosła. Wzrost ten wynika jednoznacznie ze wzrostu zainteresowania cieczami alternatywnymi zarówno producentów transformatorów jak i spółek zajmujących się ich eksploatacją. Liczba transformatorów rozdzielczych średnich napięć napełnionych estrami syntetycznymi i naturalnymi sięga już setek tysięcy w skali światowej i z każdym rokiem rośnie. Rośnie również zakres mocy i napięć transformatorów, w których zastosowano jako ciecz izolacyjno-chłodzącą jeden z estrów. Obecnie jednostką o najwyższym napięciu znamionowym jest transformator energetyczny napełniony estrem naturalnym o napięciu strony górnej przekraczającym 400 kV. Podstawową zaletą estrów obu typów, która stanowiła podstawę do wprowadzenia ich na rynek transformatorowy, jest ich biodegradowalność, rozumiana jako brak negatywnego oddziaływania na środowisko naturalne w przypadku bezpośredniego kontaktu płynu z glebą czy ciekami wodnymi, np. podczas wycieku spowodowanego awarią transformatora. Estry określane są przez producentów jako ciecze łatwo biodegradowalne, co oznacza, że w warunkach opisanych w normie OECD 301 co najmniej 68% cieczy ulega samoistnej biodegradacji po okresie 28 dni. Estry syntetyczne i naturalne spełniają ten warunek z nawiązką osiągając odpowiednio blisko 90%-owy poziom biodegradowalności w przypadku estrów syntetycznych oraz blisko 99%-owy poziom

biodegradowalności w przypadku estrów naturalnych. W odniesieniu do przytoczonych wartości olej mineralny wypada zdecydowanie mniej korzystnie, gdyż poziom biodegradowalności oleju mineralnego wynosi zaledwie 10%. Z kolei w zakresie zagadnienia ochrony przeciwpożarowej zarówno estry syntetyczne jak i naturalne są charakteryzowane wysoką temperaturą zapłonu, która definiuje klasę palności tych cieczy jako klasę K2 lub K3, a więc jako płyny słabopalne. Tego samego nie można powiedzieć o olejach mineralnych, które są charakteryzowane jednoznacznie jako ciecze palne. Estry, obok bardzo dobrych właściwości przyjaznych środowisku, powinny przede wszystkim spełniać szereg wymagań predestynujących je do wykorzystania jako cieczy izolacyjno-chłodząca w transformatorach. Muszą więc, podobne jak olej mineralny, posiadać odpowiednie właściwości dielektryczne oraz charakteryzować się odpowiednią efektywnością w odprowadzaniu ciepła z uzwojeń transformatora. Istotnym aspektem w kontekście zastosowania danej cieczy w transformatorze jest także ich współpraca z izolacją stałą. Literatura krajowa i światowa obszernie opisuje szereg właściwości dielektrycznych estrów syntetycznych i naturalnych w zakresie ich wytrzymałości elektrycznej przy napięciu przemiennym, stałym i udarowym, zmian współczynnika strat dielektrycznych wynikających z eksploatacji płynów w warunkach odpowiadających warunkom pracy transformatora, szybkości procesów starzeniowych w układach papier-ester czy analizy rozkładu pola elektrycznego w złożonych układach rzeczywistego transformatora energetycznego. We wszystkich tych przypadkach ocena właściwości estrów jest realizowana w sposób porównawczy w odniesieniu do cieczy referencyjnej jaką jest dobrze już rozeznany w energetyce olej mineralny. Dużo mniejsza liczba publikacji dotyczy natomiast kwestii związanych z wykorzystaniem estrów w aspekcie chłodzenia transfromatora, a więc uwzględnienia zmian w rozkładzie temperatury w układzie izolacyjnym transformatora, gdy zastosowaną cieczą będzie ester syntetyczny lub naturalny (w tym zmiana temperatury goracego punktu - „hot spot"), czyli innymi słowy ocenę efektywności chłodzenia. W tym zakresie istotne znaczenie może mieć wartość współczynnika przejmowania ciepła $\alpha$, którego oceny podjął się w swojej rozprawie doktorant. Uzwględniając różnicę w parametrach fizyko-chemicznych cieczy estrowych w stosunku do oleju mineralnego należało przypuszczać, że różnica ta powinna mieć, obok innych czynników, znaczenie dla analizowanego współczynnika. Ze względu na powyższe, tematykę podjętą przez doktoranta należy uznać więc za ważną i aktualną w dobie ciągłego rozwoju aplikacji związanych z zastosowaniem estrów syntetycznych i naturalnych w transformatorach.

Realizacja pracy doktorskiej mgra Przemysława Gościńskiego oparta była o tezę, że *„wartość współczynnika przejmowania ciepła α cieczy elektroizolacyjnej nie jest, jak podaje to najczęściej literatura, stała tylko, że zależy ona od wielu róznych czynników, do których należą: rodzaj cieczy elektroizolacyjnej, obciążenie cieplne q powierzchni schładzanej, położenie*

*powierzchni schładzanej względem ziemi (pionowe, poziome), położenie powierzchni schładzanej względem cieczy (górne, boczne, dolne) oraz miejsce wyznaczania współczynnika α wzdłuż pionowego położenia powierzchni schładzanej (górne, środkowe i dolne)"*. Drogą do udowodnienia postawionej tezy stały się pomiary wykonane w autorskim układzie eksperymentalnym umożliwiającym, na bazie otrzymanych wyników pomiarów, wyznaczenie współczynnika przejmowania ciepła α przy uwzględnieniu szeregu czynników wymienionych w treści tezy. Droga ta przedstawiona została w rozdziale 4 rozprawy w postaci opisu zakresu prac pomiarowych koniecznych do wykonania w celu uzyskania wyników dotyczacych poszczególnych aspektów. Tezę należy uznać za postawioną prawidłowo, choć w opinii recenzenta stwierdzenie *„rodzaj cieczy elektroizolacyjnej"*powinno zostać ściślej zdefiniowane w tezie poprzez wskazanie jakie właściwości cieczy uwzględnione zostały przy określenieu jej *„rodzaju"*. Ten fakt jest niejako wyjaśniony w opisie zakresu pracy i rozdziale 5 dotyczącym obiektów poddanych badaniom, gdzie doktorant wymienia ciecze elektroizolacyjne, które uwzględniał w badaniach i opisuje ich właściwości fizyko-chemiczne i dielektryczne. W badaniach uwzględnione zostały 4 komercyjne ciecze dielektryczne jak olej mineralny, ester syntetyczny, ester naturalny oraz ester mieszany o obniżonej lepkości (nie ester naturalny jak podaje doktorant).

Podsumowując, podjęta przez doktoranta tematyka i przyjęta teza rozprawy wskazują jednoznacznie na oryginalne podejście do rozwiązania zagadnienia, które nie realizowane było dotychczas w formie, jaką zaplanował doktorant. Niemniej rozszerzenie tezy, jak zasugerowano powyżej, z pewnością przyczyniło by się do zwiększenia jej czytelności.

**3. Dane bibliograficzne rozprawy**

Rozprawa opracowana została w języku polskim i zawiera 87 stron. Podzielona została na 8 rozdziałów. Treść rozprawy poprzedzona została obszernym wykazem użytych symboli, streszczeniem w języku polskim i angielskim (Abstract), a zakończona spisem literatury obejmującym 73 pozycje. Układ poszczególnych rozdziałów jak i ich podział jest logiczny. Liczne tabele i rysunki ilustrujące dokonania doktoranta są przedstawione czytelnie.

**4. Charakterystyka i ocena rozprawy**

Recenzowana praca doktorska podejmuje istotny dla elektroenergetyki temat zastosowania w transformatorach energetycznych alternatywnych dla oleju mineralnego cieczy dielektrycznych i ich wpływu na zachodzące w transformatorze zjawiska cieplne. Doktorant postawił sobie za cel wyznaczenie współczynnika przejmowania ciepła α dla wybranych cieczy elektroizolacyjnych na podstawie pomiarów wykonanych w autorskim układzie badawczym, którego ideę i koncepcję opracował doktorant samodzielnie. Pomiary polegały na rejestracji zmian temperatury w czasie,

przy czym temperaturę mierzono na powierzchni elementu grzejnego, który ogrzewał daną ciecz dielektryczną oraz na zewnetrznej powierzchni kadzi, w której znajdowały się element grzejny i ciecz. Współczynnik α nie był więc mierzony a wyznaczany na podstawie parametrów pomierzonych w układzie tj. wzmiankowanych powyżej temperatur i mocy grzejnej odniesionej do powierzchni elementu grzejnego.

Część badawczą pracy poprzedziła część teoretyczna obejmująca rozdział 2 podzielony na cztery główne podrozdziały zakończone podsumowaniem. Generalnie część teoretyczna skupia się na kwestii zagadnień cieplnych w transformatorze. Doktorant składnie przedstawia w podrozdziale 2.1 źródła ciepła występujące w transformatorze w odniesieniu do kryterium występujących w transformatorze strat jałowych i obciążeniowych. Definuje je z wykorzystaniem powszechnie znanych zależności fizycznych i przedstawia spójny opis czynników wpływających na zwiększenie tych strat. Opracowany podrozdział zawiera więc podstawową wiedzę dotyczącą budowy i zasady działania transformatora jako urządzenia elektrycznego. W dlaszej części podrozdziału 2.1 doktorant opisuje układ chłodzenia transfromatora, który odpowiedzialny jest za przekazanie wytworzonego w transformatorze ciepła do otoczenia. Tu również opis teoretyczny uzupełniony jest szeregiem relacji matematyczno-fizycznych związanych m.in. z wystepującymi na drodze źródło ciepła-otoczenie transformatora spadkami temperatury, a zakończony jest odniesieniem do praktycznych rozwiązań kadzi transformatorowej typu radiatorowego. W tej części z pewnością mogłaby zostać zawarta choć krótka informacja o celowości stosowania wentylatorów i ich wpływu na zagadnienia cieplne w transformatorze, szczególnie, że doktorant wspomina w tej części pracy o rozwiązaniu chłodzenia transformatorów olejowych m.in. układami typu ON-AF. W zakresie części teoretycznej istotne znaczenie dla dalszej części pracy ma podrozdział 2.1.3, w którym doktorant definuje współczynnik przejmowania ciepła α i świadomie odnosi go jedynie do procesu konwekcji naturalnej, jako przeważającej w odniesieniu do transformatorów energetycznych z izolacją ciekłą. Rozważania doktoranta w tym zakresie pozwoliły na sformułowanie tezy o wpływie określonych parametrów fizyko-chemicznych cieczy (m.in. przewodności cieplnej, ciepła właściwego, gęstości, rozszerzalności cieplnej czy lepkości) na zmianę współczynnika α, przy czym wzrost wartości pierwszych czterech wymienionych w nawiasie parametrów przyczyni się do wzrostu współczynnika α, zaś w przypadku lepkości jej wzrost powinien współczynnik α obniżyć. Dodatkowo w wyniku analizy teoretycznej przeprowadzonej przez doktoranta wytypował on kilka innych czynników mogących mieć wpływ na zmianę współczynnika przejmowania ciepła jak obciążenie cieplne q powierzchni schładzanej, długość elementu grzejnego, położenia powierzchni schładzanej, rozkładu pola temperaturowego wzdłuż wysokości elementu grzejnego czy położenia powierzchni schładzanej względem cieczy. Na tej podstawie doktorant sformułował założenia swoich prac w zakresie koniecznych do uwzględnienia czynników przy określaniu zmiany

współczynnika α. Posiadając również wiedzę o odrębnych właściwościach cieczy dielektrycznych dostępnych na rynku transformatorowym w zakresie ich parametrów fizyko-chemicznych doktorant uzasadnił również konieczność wykonania badań dla różnych cieczy. Uzupełnieniem części teoretycznej są rozważania doktoranta dotyczące zagrożeń i korzyści z występowania podwyższonej temperatury w transformatorze, gdzie wykazano głównie negatywny wpływ temperatury na przyspieszenie procesów starzeniowych układu izolacyjnego transformatora, oraz bardzo ogólnego spojrzenia na proces projektowania transformatora z punktu widzenia rozkładu temperatury w jego uzwojeniach. Szczególnie w tym drugim przypadku rozdział pozostawia spory niedosyt u czytelnika – brak jest bowiem jednoznacznego wskazania, jakie parametry charakteryzujące ciecz dielektryczną są definiowane przy wyznaczaniu pola temperaturowego w transformatorze przy wykorzystaniu przytoczonych programów komercyjnych (czyt. p. 5 recenzji). Część teoretyczną kończy rozdział poświęcony sposobowi „pomiaru współczynnika przejmowania ciepła α", który stanowi bazę do stworzenia układu eksperymentalnego wykorzystanego w części eksperymentalnej pracy. Sformułowanie „pomiar współczynnika przejmowania ciepła α" użyte zostało przez doktoranta mocno niefortunnie i niestety pojawia się ono także w dalszej części pracy. Trudno bowiem mówić o pomiarze rzeczonego współczynnika, ponieważ, po pierwsze nie jest to bezpośrednio możliwe do osiągnięcia z użyciem powszechnie dostępnych przyrządów pomiarowych (patrz - jednostka charakteryzująca ten współczynnik), a po drugie z opisu wykonanych prac eksperymentalnych jednoznacznie wynika, że mierzona była temperatura (jej różnica) a współczynnik α był wyznaczany na podstawie otrzymanych wyników (uwaga dyskusyjna w tym zakresie pojawi się w p. 5 niniejszej recenzji).

Część eksperymentalna pracy obejmuje rozdziały od 3 do 8, przy czym rozdziały 3 i 4 to odpowiednio rozdział przedstawiający tezę oraz cel i zakres pracy. Rozdział 8 zawiera natomiast podsumowanie rozważań doktoranta wynikających z analizy teoretycznej problematyki poruszonej w rozprawie i wykonanych badań eksperymentalnych. W pierwszej kolejności doktorant w części eksperymentalnej pracy charakteryzuje obiekty użyte w badaniach (rozdział 5). Do badań wybrał 4 ciecze o różnym pochodzeniu, a więc i składzie chemicznym. Nieco mylne i nawet błędne jest używanie przez doktoranta sformułowania „nowe" w odniesieniu do wskazanych cieczy. Za wyjątkiem produktu Nomex 970 FLD pozostałe ciecze, a więc olej mineralny Nytro Draco firmy Nynas (nie jak podał to doktorant Nynas Draco), ester syntetyczny Midel 7131 firmy M&I Materials oraz ester naturalny Envirotemp FR3 frimy Cargill są produktami od wielu lat dostępnymi na rynku i stosowanymi w transformatorach. Dodatkowo należy zaznaczyć, że produkt Nomex 970 FLD jest cieczą, która obecnie (od co najmniej dwóch lat) nie posiada formalnego statusu estru naturalnego. Wynika to z faktu, że do jego wytworzenia stosuje się sztuczne modyfikacje chemiczne produktu wyjściowego, a więc nie jest to płyn naturalny. W związku z tym

obecnie stosowana nazwa dla tego typu cieczy to ester mieszany o obniżonej lepkości (ang. blended low viscosity ester) i dla tak określonej nazwy tworzona jest obecnie norma europejska określająca wymagania, jakie musi on spełnić. Ester Nomex 970 FLD nie podlega więc normie IEC dla estrów naturalnych. W opisie doktoranta pada również daleko idące stwierdzenie, że wybór cieczy do badań wynikał z faktu, że są one najczęściej stosowane w przemyśle elektroenergetycznym. Tak sformułowana myśl wprowadza w zakłopotanie czytelnika – czy doktorant miał na myśli fakt, że np. ester Envirotemp FR3 jest najczęściej wykorzystywanym estrem naturalnym spośród dostępnych na rynku estrów tego rodzaju, a z kolei olej Nytro Draco to najczęściej wykorzystywany w przemyśle olej mineralny? W innych miejscach niniejszego rozdziału również pojawiają się pewne nieścisłości czy niedopowiedzenia dotyczące właściwości cieczy i ich porównawczej charakterystyki. Uwagi w tym zakresie zostaną jednak sformułowane w p. 5 recenzji. Po sklasyfikowaniu cieczy użytych w badaniach doktorant zaprezentował układ pomiarowy ze szczegółami dotyczacymi przyjętych rozwiązań konstrukcyjnych, użytych czujników pomiarowych oraz sposobu prowadzenia pomiaru i odczytywania wyników. Najważniejszą częścią pracy z punktu widzenia konieczności udowodnienia postawionej tezy, jest rozdział 7, w którym doktorant zaprezentował wyniki pomiarów dla różnych zdefiniowanych wcześniej warunków pracy układu (zmiana położenia powierzchni schładzanej względem ziemi, zmiana długości elementu grzejnego, zmiana obciążenia cieplnego, rodzaj cieczy itp.). Wyniki pomiarów zestawione zostały w postaci wykresów pokazujących relacje pomiędzy wyznaczonym z pomiarów współczynnikiem przejmowania ciepła $\alpha$, a wielkościami mogącymi wpływać na ten współczynnik. Liczba zaprezentowanych wykresów oddaje wkład pracy doktoranta w realizację zadań pomiarowych uwzględniając opisany sposób prowadzenia badań, który był bardzo czasochłonny. Uwagą krytyczną w aspekcie rozdziału 7 jest wyżej już wspomniane użycie słowa „pomiar" w odniesieniu do współczynnika przejmowania ciepła $\alpha$, który, ajk już wyżej zaznaczono, był wyznaczany m.in. na podstawie pomierzonej temperatury. Z pewnością czytelność wyników poprawiły by także wykresy czy tabele (choćby dla wybranych przypadków) zawierające wyniki pomiarów temperatury, a konkretniej różnicy pomiędzy temperaturą na powierzchni grzałki a temperaturą na powierzchni kadzi/zbiornika. Niemniej uzyskane przez doktoranta wyniki jednoznacznie pokazały, że współczynnik przejmowania ciepła $\alpha$ jest zależny od szeregu czynników, które doktorant rozważał, a więc nie powinien być przyjmowany jako wartość stała. Przede wszystkim rodzaj użytej cieczy w znacznym stopniu determinuje wartość tego współczynnika. Tym samym należy uznać, że doktorant udowodnił tezę postawioną w pracy.

## 5. Uwagi, pytania, zagadnienia dyskusyjne

Praca nie jest pozbawiona niedociągnięć natury edytorsko-stylistycznej jak również, co zaznaczono w już w p. 4 niniejszej recenzji, niedociągnięć natury merytorycznej. Poniżej zauważone usterki zgrupowane zostały w dówch obszarach, przy czym obszar merytoryczny zawiera pytania i zagadnienia dyskusyjne, o których wyjaśnienie proszę doktoranta.

### 5.1. Uwagi dotyczące aspektu edytorsko-stylistycznego pracy

Praca doktorska mgr inż. Przemysława Tadeusza Gościńskiego zawiera niewielką ilość błędów typograficznych, językowych oraz błędów natury stylistycznej. Uwaga ta dotyczy w szczególności części eksperymentalnej pracy, gdzie w większym stopniu formułowane myśli miały chrakter somodzielnie prowadzonej dyskusji, czy to w odniesieniu do materiału badawczego i układu pomiarowego, czy też wyników otrzymanych w ramach prowadzonych pomiarów. Wybrane, uwagi w tym zakresie, przedstawione zostały skrótowo poniżej:

1) Doktorant w wielu miejscach pracy stosuje sformułowania typu „jak napisano wcześniej", „jak wzmiankowano wcześniej", i często ma to miejsce w ramach jednego podrozdziału, gdzie pojawia się takie sformułowanie dwu czy trzykrotnie. W języku polskim z pewnością istnieją formy, które mogłyby zostać zastosowane jako zamienniki przytoczonych sformułowań.
2) W pracy nie uniknięto literówek. Niestety pojawiły sie one również w spisie treści („SYNBOLI" zamiast „SYMBOLI" – str. 2). Inne przykłady w tym zakresie to: „ester naturlany" zamiast „naturalny" (str. 46), „cieczą elektroizolacyjna" zamiast „elektroizolacyjną", „olej minerlany" zamiast „mineralny" na rys. od 7.1 do 7.6 i inne.
3) Inne przykłady niepoprawnych sformułowań stylistycznych to np: sformułowanie myśli w postaci „...autor przedstawionej poniżej pracy doktorskiej..." w sytuacji, gdy myśl jest przecież także częścią pracy.
4) Doktorant w kilku miejscach zastosował powtórzenie tej samej myśli, w ramach której formułował zakres prac eksperymentalnych w odniesieniu do czynników mogących wpływać na współczynnik przejmowania ciepła $\alpha$. Myśl ta pojawia się m.in. w rozdziałach 2.1.3 i 2.1.4, gdzie definiowany jest wspłczynnik $\alpha$ i czynniki wpływające lub mogące wpłynąć na jego wartość, w rozdziale 2.3, gdzie niejako powtarzane są myśli z rozdziałów wcześniejszych, czy na stronach 40, 45 (teza) i 46 (zakres pracy), gdzie w zasadzie 3-krotnie powtórzony jest ten sam zakres tekstu.
5) Podobnego rodzaju powtórzenie występuje na str. 48 i 49 pracy, gdzie doktorant dwukrotnie w następujących po sobie akapitach odnosi się w niemal ten sam sposób do kwestii stosowania estrów w transformatorach ze względu na ich dobre właściwości środowiskowe.

6) W pracy pojawiają się także skróty myślowe typu „ester naturalny firmy Envirotemp FR3". Envirotemp FR3 to nazwa zastrzeżona produktu, zaś jego producentem jest firma Cargill.

**5.2. Uwagi dotyczące kwestii merytorycznych – pytania i zagadnienia do dyskusji**

Poniżej zestawione zostały w formie punktów zagadnienia dyskusyjne i pytania wynikające z lektury całej pracy (nie tylko cześci badawczej). W związku z tym, obok pytań (uwag) związanych typowo z zakresem prowadzonych w ramach doktoratu prac badawczych, w zestawieniu pojawiły się kwestie otwarte wzbudzające wątpliwość bądź te, które niedostatecznie wyjaśnione zostały w tekście rozprawy.

1) Na str. 14 pracy (rozdział 2.1.2) doktorant przytacza informacje o układach chłodzenia transformatora wymieniając m.in. układ typu ON-AF. W dalszej części tego rozdziału pomija jednak informacje o uwzględnieniu stosowania wentylatorów w aspekcie zagadnień cieplnych w transformatorze, szczególnie w odniesieniu do kwestii spadku temperatury na drodze źródło ciepła-otoczenie transformatora. Czy doktorant posiada wiedzę czy rozwiązanie chłodzenia z wykorzysatniem układu wentylatorów uwzgladniane jest w obliczeniach tego typu (czyt. spadku temperatury)?
2) W rozdziale 2.3 doktorant przytacza ogólny opis podejścia do wyznaczania rozkładu pola temperaturowego w transformatorze. Brakuje jednak w przedstawionym opisie jednoznacznego wskazania, które z parametrów fizyko-chemicznych charakteryzujących ciecz dielektryczną są definiowane przy przygotowywaniu modelu transformatora z wykorzystaniem przytoczonych programów komercyjnych jak COMSOL czy ANSYS?
3) W odniesieniu do cieczy Nomex 970 FLD poprawnnie używaną obecnie nazwą jest ester mieszany o obniżonej lepkości (ang. blended low viscosity ester). Ponieważ nazwa ta, w formie tu przytoczonej funkcjonuje w obiegu jeszcze w nieco ograniczonej postaci, uprasza się więc, aby jedynie w prezentacji przedstawionej podczas obrony pracy doktorskiej doktorant użył w odniesieniu do płynu Nomex 970 FLD poprawnej nazwy tj. ester mieszany o obniżonej lepkości.
4) W rozdziale 4 doktorant stwierdza, że wybór cieczy do badań wynikał z faktu, że sa one *„najczęściej wykorzystywane w układzie izolacyjnym w nowo projektowanych transformatorach"*. Tak sformułowana myśl wzbudza wątpliwość czy doktorant miał na myśli fakt, że np. ester Envirotemp FR3 jest najczęściej wykorzystywanym estrem naturalnym spośród dostępnych na rynku estrów tego rodzaju, a z kolei olej Nytro Draco to najczęściej wykorzystywany w przemyśle olej mineralny? Proszę o wyjaśnienie źródła takiego sfomułowania.

5) Ester mieszany o obniżonej lepkości ma pewne specyficzne właściwości, które powodują, ze jest on biodegradowalny w myśl normy OECD 301, ale nie jest, jak inne estry, produktem słabopalnym o klasie K3 lub K2. Jego klasa palności jest tożsama z klasą palności oleju mineralnego. Proszę o wyjaśnienie skąd wynikają te specyficzne cechy estru Nomex 970 FLD?

6) Na str. 50 (i dalej na str. 52) przy opisie ogólnym właściwości estrów syntetycznych (i ich porównaniu z estrami naturalnymi i olejem mineralnym) pada stwierdzenie, że *„charkteryzują się także (one) korzystniejszym współdziałaniem z izolacją celulozową"*. Na czym ta korzyśc polega w porównaniu do oleju mineralnego? Czy w przypadku estrów naturalnych ta korzyść jest również widoczna?

7) W tabeli 5.2 (str. 51) podane zostały wartości wybranych, najważniejszych zdaniem doktoranta, parametrów charakteryzujących właściwości użytych w badaniach cieczy dielektrycznych. Wartości trzech z czterech parametrów zależą znacząco od temperatury, a ściślej od tego w jakiej temperaturze zostały wyznaczone. Jakiej temperatury dotyczy więc zestawienie z tabeli 5.2?

8) Ważnym aspektem oceny korzyści wynikającej z zastosowania w transformatorze danego typu cieczy jest ocena procesu starzenia. Jak na procesy starzeniowe izolacji stałej wpływa zastosowanie estrów a jak oleju mineralnego?

9) Doktorant wybrał trzy wartości obciążenia cieplnego powierzchni schładzanej 1000, 2000 i 3000 $W/m^2$. Na jakiej podstawie wybrano właśnie takie wartości?

10) Istotą eksperymentu przeprowadzonego przez doktoranta był pomiar temperatury odpowiednio na powierzchni elementu grzejnego i zewnętrznej powierzchni kadzi. Doktorant nie dokonywał więc pomiaru współczynnika przejmowania ciepła $\alpha$, ale wyznaczał go na podstawie pomierzonej temperatury. Czy możliwe jest dla wybranych przypadków pokazanie przykładowych wyników pomiarów temperatury (w formie tabeli lub wykresu), na podstawie których otrzymano wyniki dla współczynnika $\alpha$. Proszę także o zaprezentowanie przykładowego obliczenia dla jednego wybranego przypadku.

11) Proszę ustosunkować się do uwagi, że użycie słowa „pomiar" w odniesieniu do współczynnika przejmowania ciepła $\alpha$ nie jest poprawne. Proszę o zastosowanie poprawnego nazewnictwa podczas prezentacji wyników pracy podczas publicznej obrony.

12) Wykonane pomiary pozwoliły udowodnić doktorantowi postawiona tezę. Czy w związku z tym wyniki uzyskane przez doktoranta mają potencjał aplikacyjny i beda mogły zostać wykorzystanie przy projektowaniu transformatorów w kontekście rozkładu temperatury? Brak jest w rozdziale 8 jakiegokolwiek odniesienia do możliwości praktycznego wykorzystania wyników pracy doktorskiej.

**6. Ocena ogólna rozprawy i wniosek końcowy**

Recenzowaną rozprawę doktorską oceniam pozytywnie. Na tę ocenę składają się przede wszystkim:

- oryginalna tematyka rozprawy, w której poruszone zostało zagadnienie ważne dla obszaru elektrotechniki, w szczególności dla obszaru zastosowania w transformatorach energetycznych przyjaznych środowisku cieczy dielektrycznych jak estry syntetyczne i naturalne,
- oryginalna propozycja rozwiązania układu eksperymentalnego umożliwiającego wyznaczenie współczynnika przenikalności cieplnej $\alpha$ przy uwzględnieniu różnych czynników wpływających na wartość tego współczynnika, w tym przede wszystkim rodzaju cieczy zdefiniowanej specyficznymi właściwościami fizyko-chemicznymi,
- podejście do rozważanego zagadnienia tj. zaprojektowanie eksperymentu oraz jego organizacja i wykonanie,
- spójny i metodologicznie poprawny sposób realizacji badań eksperymentalnych,
- poprawnie przeprowadzona analiza i interpretacja otrzymanych wyników pomiarów.

Zamieszczone uwagi krytyczne zawarte w pytaniach do doktoranta i otwartych zagadnieniach dyskusyjnych, choć w dużej liczbie, w żadnym stopniu nie umniejszają osiągnięcia oraz wartości ocenianej rozprawy.

W związku z powyższym uważam, że rozprawa doktorska mgra inż. Przemysława Tadeusza Gościńskiego pt.: „*Narzędzie służące do obliczania pola temperaturowego transformatora energetycznego na etapie jego projektowania*" spełnia wymagania obowiązującej ustawy o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dn. 14 marca 2003 roku (Dz. U. Nr 65, poz. 595 z późniejszymi zmianami) i wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Paweł Łagoda