

Recenzja rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Wiesława Gila

Rozszerzony nadzór w czasie rzeczywistym

izolatorów przepustowych transformatorów energetycznych

przygotowana na podstawie uchwały podjętej w dniu 23.11.2021 roku
przez Radę Dyscypliny Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki
Politechniki Poznańskiej

1. Problematyka pracy

Rozprawa doktorska dotyczy problematyki rozwoju metod monitoringu w czasie rzeczywistym stanu wysokonapięciowych izolatorów przepustowych będących podzespołami transformatorów energetycznych. Główny ciężar rozważań został położony w pracy na opracowanie metody zwiększającej dokładność monitoringu przepustów, jak również poszerzenie funkcjonalności pracującego w trybie on-line systemu między innymi poprzez rejestrację przepięć i integrację z innymi systemami. Zaproponowano konkretne rozwiązanie konstrukcyjne, które zostało przetestowane zarówno w warunkach laboratoryjnych jak i stacyjnych. Do wyznaczania parametrów izolacji przepustów zastosowano metodę napięciową, w której uwzględniono korekty wynikające z asymetrii napięć liniowych, jak również wpływu temperatury na sondy pomiarowe. Opracowano również rozbudowane algorytmy obsługi monitorowanych parametrów, takich jak pojemność przepustu, współczynnik strat dielektrycznych, czy też wybrane wartości rejestrowanych przepięć.

Podjęto zatem próbę opracowania metody ciągłej inspekcji stanu izolatorów przepustowych, dzięki której szybka i dokładna identyfikacja nieprawidłowości pozwoli przedsięwziąć bardziej skuteczne działania prewencyjne, co w konsekwencji przyczyni się do zmniejszenia liczby awarii transformatorów energetycznych. Postawiony w pracy problem naukowy ma zatem charakter projektowo-konstrukcyjny i w takim aspekcie należy rozpatrywać oryginalność zaproponowanego rozwiązania.

Należy podkreślić, iż przedsięwzięte przez Doktoranta badania są ważne z punktu widzenia prawidłowego funkcjonowania całej infrastruktury elektroenergetycznej i wpisują się w tematykę prac badawczych realizowanych w obszarze energetyki w Politechnice Poznańskiej. Dlatego też kwalifikują się one jako przedmiot rozprawy doktorskiej w dyscyplinie *inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka*.

2. Ocena układu i zawartości pracy

Rozprawa liczy 234 strony i składa się ze strony tytułowej, spisu treści, streszczenia w języku polskim i angielskim, wprowadzenia, ośmiu rozdziałów, wniosków oraz spisu literatury, która obejmuje 107 pozycji, jednakże bez udziału Doktoranta. Po spisie literaturowym zamieszczono ponadto cztery załączniki, w tym jeden z nich został dołączony do pracy w postaci dysku CD (załącznik D).

W krótkim wprowadzeniu rozprawy zwrócono uwagę na istotną rolę jaką odgrywają wysokonapięciowe izolatory przepustowe w bezawaryjnej pracy transformatorów energetycznych, wpływając tym samym na bezpieczeństwo całej infrastruktury elektroenergetycznej. Odnotowano również rozwój metod monitoringu przepustów w czasie rzeczywistym, który obserwuje się w elektroenergetyce od końca lat osiemdziesiątych ubiegłego wieku. Zwięźle przedstawiono także główny cel pracy oraz najważniejsze cechy zaproponowanego systemu monitorującego parametry izolacyjne przepustów oraz szybkozmiennych przebiegów.

Kolejne trzy rozdziały stanowią obszerny wstęp do zagadnień budowy, warunków eksploatacji i nadzoru nad pracą izolatorów przepustowych, w którym dokonano także wnikliwego przeglądu literaturowego pod kątem rozważanej problematyki. W rozdziale drugim omówiono ogólną charakterystykę przepustów, uwzględniając ich klasyfikację, budowę i główne parametry odpowiedzialne za jakość izolacji. Poruszone zostały również kwestie eksploatacji izolatorów przepustowych, a także wskazano czołowych producentów tych aparatów. W rozdziale trzecim dokonano analizy wpływu czynników środowiskowych i eksploatacyjnych na degradację izolatorów przepustowych. Omówiono również dynamikę mechanizmu starzeniowego, który w ciągu wielu lat przebiega stopniowo i objawia się występowaniem tzw. mechanizmu cieplnego odpowiedzialnego za wzrost temperatury i w konsekwencji współczynnika strat dielektrycznych izolatora, a następnie mechanizmu elektrycznego objawiającego się wzrostem poziomu wyładowań niezupełnych i przebiciem izolacji. Odpowiednio wczesna identyfikacja końcowej fazy degradacji izolatora możliwa jest dzięki ciągłemu monitorowaniu stanu izolatora, co uzasadnia zdaniem Doktoranta podejmowanie prac badawczych i konstrukcyjnych zmierzających w kierunku zwiększania dokładności i efektywności metod on-line. Rozdział czwarty opisuje dokładnie aktualny stan w zakresie stosowanych metod nadzoru off-line i on-line pracy wysokonapięciowych izolatorów przepustowych.

Dopiero w rozdziale piątym przedstawiono cele, zakres i rozbudowaną tezę pracy, którą w dalszej części Doktorant udowadnia. Wcześniej jednak zwrócono uwagę na problemy występujące podczas pomiarów parametrów izolacyjnych przepustów oraz wskazano sposoby w jaki można je rozwiązać. Główna część tezy dotyczy możliwości opracowania systemu monitoringu on-line, który pozwoli na zwiększenie dokładności zmian monitorowanych parametrów i skrócenia okresu uśredniania wyników.

Dodatkowe dwie części tezy odnoszą się do rozszerzenia proponowanego systemu o rejestrację szybkozmiennych przebiegów oraz jego integrację z systemem ciągłego nadzoru transformatorów TLM (ang. *Transformer Life Monitoring*) i stacijnym Systemem Sterowania i Nadzoru. Na zakończenie tego rozdziału przedstawiono zakres tematyczny poszczególnych rozdziałów z pominięciem tych, które zostały zamieszczone jeszcze przed sformułowaniem trzyczęściowej tezy.

W zasadniczym rozdziale szóstym omówiono model teoretyczny wykorzystywany w pracy podczas wyznaczania zmian pojemności oraz współczynnika strat dielektrycznych izolatora przepustowego. Zaprezentowano projekt oraz funkcjonalności rozwiązania konstrukcyjnego sond pomiarowych i wielokanałowego przetwornika analogowo-cyfrowego mogącego rejestrować przebiegi szybkozmiennych z minimalną częstotliwością próbkowania wynoszącą 2 MS/s. Dzięki wprowadzeniu współczynników korygujących rozwiązano również problem dodatkowego przesunięcia fazowego wprowadzanego przez przekładniki napięciowe, na wyjściu których mierzone są napięcia liniowe. Oprócz zagadnień sprzętowych opisano również wdrożone oprogramowanie komunikacyjne, w którym zdefiniowano zdarzenia inicjujące ostrzeżenia i alarmy. W ostatniej części tego istotnego rozdziału omówiono przeprowadzone testy oraz uruchomienie nowego systemu monitorującego w stacji energetycznej.

Rozdział siódmy odnosi się do ostatniej części tezy związanej z integracją modułu monitoringu przepustów z systemem TLM i SSiN. Uzasadniono w nim celowość takiej operacji, co jednak wydaje się oczywiste, biorąc pod uwagę fakt, że przepusty stanowią integralną i zarazem newralgiczną część transformatorów energetycznych, a tym samym, całej stacji elektroenergetycznej. Analiza ich stanu powinna więc być przeprowadzana kompleksowo, z uwzględnieniem zarówno parametrów transformatorów, jak i linii, a nawet panujących warunków atmosferycznych. Do integracji monitoringu przepustów z monitoringiem on-line transformatorów wykorzystano istniejące już oprogramowanie implementując w jego interfejsie graficznym dodatkowe pola umożliwiające kontrolę stanu izolatorów przepustowych poprzez wizualizację ich parametrów oraz zarejestrowanych przebiegów przebiegów. Przedstawiono również założenia związane z konsolidacją modułu monitoringu przepustów ze stacijnym systemem dyspozytorskim, w którym powinny pojawiać się w sygnalizacji zbiorczej alarmy ostrzegawcze i pilne bez możliwości samoczynnego wyłączenia jakiegokolwiek elementu stacji energetycznej.

Przed sformułowaniem wniosków Doktorant zamieścił w pracy jeszcze dwa rozdziały, w których dodatkowo analizuje zaproponowane w pracy rozwiązania konstrukcyjne oraz przewiduje kierunki dalszego rozwoju systemów ciągłego nadzoru nad wysokonapięciowymi przepustami transformatorowymi. W rozdziale ósmym omówiono ponownie możliwości kontroli stanu przepustów w centrach dyspozytorskich połączonych zdalnie z konkretnymi systemami monitorującymi transformatory energetyczne. Ponadto przedstawiono możliwości systemu SYNDIS ES, w którym zaimplementowano moduł monitoringu przepustów. Zobrazowano sposób wyświetlania

24-gdzinnych przyrostów pojemności i współczynnika strat dielektrycznych, jak również przebieg pojawiających się na zaciskach liniowych izolatorów strony GN. Rozpatrzono także wpływ temperatury na mierzone parametry izolacyjne oraz zaproponowano sposób kompensacji wartości tych parametrów podczas monitoringu on-line. Oszacowano ponadto niepewność pomiaru pojemności i współczynnika strat dielektrycznych na podstawie 7-dniowych rejestracji przeprowadzonych w różnych warunkach atmosferycznych i dla różnego rodzaju przepustów pracujących na dwóch autotransformatorach energetycznych.

W końcowym rozdziale dziewiątym oceniając możliwości dalszego rozwoju metod monitoringu on-line przepustów zwrócono uwagę na potrzebę opracowania systemu, który wyznaczałby bezwzględne przyrosty parametrów izolacyjnych, a nie tylko ich względne zmiany wymagające niestety dodatkowej kompensacji asymetrii napięć liniowych. Zaproponowano ogólną koncepcję takiego systemu, który korzystałby między innymi z synchronizacji czasu za pomocą układu GPS lub protokołu sieciowego PTP (ang. *Precision Time Protocol*). Wskazano także na możliwości rozwoju zunifikowanych korporacyjnych systemów monitorowania urządzeń w oparciu o standard PN-EN 61850 definiujący podstawową strukturę komunikacyjną dla urządzeń stacji i pola oraz zgodny z tą normą dokument IEC TR 61850-90-3, w którym systemy TLM włączono do opisywanego w standardzie PN-EN 61850 systemu komunikacyjnego. Należy jednak spodziewać się, że wykorzystanie nowoczesnej technologii, w tym również koncepcji chmur korporacyjnych, w zarządzaniu infrastrukturą energetyczną będzie do pewnego stopnia ograniczone względami cyberbezpieczeństwa. W kwestii zmian parametrów izolatorów w funkcji temperatury zauważono, że zależą one głównie od stopnia zawilgocenia układu izolacji przepustu. Szczegółowe informacje są głównie dostępne w literaturze dla zmian współczynnika strat dielektrycznych izolatorów typu OIP i dlatego pożądane są dalsze prace dla innych typów izolatorów przepustowych z uwzględnieniem również badań zmienności pojemności, na którą w sposób istotny wpływa temperatura otoczenia i górnej warstwy oleju transformatora. Na zakończenie poruszono zagadnienie skuteczności działania systemów monitoringu oraz konieczności rozbudowania systemu nadzoru realizowanego w czasie rzeczywistym, co będzie wymuszało na producentach izolatorów przepustowych instalowania między innymi dwóch, a nie jak dotychczas tylko jednego zacisku probierczego.

Część zasadniczą pracy kończą wnioski, w których podkreślono, że zaproponowane i opisane w rozprawie rozwiązanie konstrukcyjne znacząco zwiększyło efektywność monitorowania on-line transformatorowych izolatorów przepustowych, głównie dzięki możliwości realizacji pomiarów pojemności oraz współczynnika strat dielektrycznych ze stosunkowo niewielką niepewnością, gwarantującą formułowanie wiarygodnych sygnałów ostrzegawczych i alarmowych. Zauważono również, iż nowe technologie izolatorów zastępujące porcelanę i olej tworzywami silikonowymi, żywicami

epoksydowymi i odpowiednio nasycanymi włóknami stanowią kolejne wyzwania stawiane systemom ciągłego nadzoru przepustów.

Po sformułowanych wnioskach zamieszczono spis odnośników literaturowych i stron internetowych, do których Doktorant odnosił się w rozprawie oraz cztery istotne załączniki. W obszernym załączniku A przedstawiono testy zaprojektowanego układu oraz jego elementów. Wyznaczono również z dużą starannością poszczególne budżety niepewności w warunkach laboratoryjnych i stacyjnych. Oceniono również wpływ temperatury na wykonywane pomiary. W załączniku B dokonano specyfikacji rekordów bazy danych modułu pomiarowo-rejestrującego SMT-102. Określono normalne warunki użytkowania modułów SMT-102 i SMT-103, jak również napięcia wytrzymywane o częstotliwości sieciowej i udarowe typu piorunowego 1,2/50 μ s. Podano także wytrzymałość mechaniczną modułów, przeprowadzone testy w zakresie kompatybilności elektromagnetycznej oraz sposób magazynowania i transportowania urządzeń monitoringu. W załączniku C przedstawiono z kolei na wykresach przebiegi tygodniowych zmian pojemności i współczynnika strat dielektrycznych rejestrowane w okresie letnim i zimowym w 2015 roku. Rejestracje parametrów przepustów wykonano dla transformatora energetycznego o mocy 160 MVA. W załączniku D dołączonym do rozprawy w formie dysku CD zamieszczono pliki z danymi wykorzystanymi do obliczeń niepewności pomiarów w warunkach stacyjnych oraz do wykonania wykresów, jak również wykresy zmierzonych w sierpniu 2015 roku przebiegów współczynnika strat dielektrycznych oraz pojemności dla przepustów strony GN i DN.

3. Ocena pracy

Tematyka rozprawy jest aktualna z uwagi na konieczność rozwijania coraz bardziej niezawodnych metod ciągłego monitoringu krytycznej infrastruktury systemu elektroenergetycznego, do której z pewnością należą transformatorowe izolatory przepustowe. Zaprojektowanie i wdrożenie modułu ciągłego nadzoru tych podzespołów w oparciu o aktualnie obowiązujące standardy sieci komunikacyjnych działających w stacjach wpisuje się zatem w bieżące potrzeby energetyki i pozwala na rozszerzenie możliwości monitoringu nie tylko samych transformatorów, ale również pozwala poszerzyć listę sygnałów ostrzegawczych i alarmów w systemach dyspozytorskich.

Rozprawa dotyczy rozwiązania zagadnienia projektowo-konstrukcyjnego i w tym obszarze stanowi ona oryginalny wkład wniesiony przez Doktoranta. Na podkreślenie zasługuje fakt, iż opis rozwiązanego problemu jest kompletny i obejmuje wszystkie aspekty począwszy od podstaw teoretycznych, na których opiera się zastosowana metoda pomiarowa, poprzez analizę działania systemu monitoringu, a na wymaganych testach urządzeń wchodzących w jego skład skończywszy. W szczególności do najważniejszych osiągnięć Doktoranta należy zaliczyć:

- przegląd literaturowy, który opisuje aktualny stan wiedzy na temat izolatorów przepustowych, ich budowy i parametrów, warunków eksploatacji oraz wykorzystywanych aktualnie metod monitoringu;
- implementacja metody napięciowej względnej do pomiaru pojemności i współczynnika strat dielektrycznych przepustów z uwzględnieniem asymetrii napięć liniowych;
- skrócenie okresu czasu uśredniania wyników uzyskiwanych z monitoringu on-line do jednej minuty, co znacząco wpłynęło na skrócenie czasu reakcji na niepożądane zmiany parametrów;
- przeprowadzenie licznych testów i prób, które potwierdziły dużą odporność proponowanego układu monitoringu na udary napięciowe i zaburzenia elektromagnetyczne;
- rozszerzenie monitoringu on-line izolatorów przepustowych o możliwość rejestracji szybkozmiennych przebiegów występujących na stacjach elektroenergetycznych i powiązanie ich z odpowiednimi zmianami parametrów izolatora;
- zbadanie wpływu temperatury sondy na mierzone parametry oraz wprowadzenie temperaturowych współczynników korygujących w oparciu o zewnętrzną temperaturę otoczenia i górnej warstwy oleju transformatora energetycznego;
- analizę niepewności pomiaru parametrów izolacyjnych przepustów, która wykazała, że niepewność pomiaru pojemności niewiele przekracza 1 pF po kompensacji wpływu temperatury, a niepewność pomiaru współczynnika strat dielektrycznych nie przekracza 0,02% w zakresie 0,2 - 2 %. Tak mała niepewność pomiarów pozwala na uzyskiwanie dokładnych zmian tych parametrów, co z kolei skutkuje generowaniem wiarygodnych sygnałów ostrzegawczych i alarmowych;
- integracja modułu monitoringu przepustu z systemem monitoringu transformatora i stacyjnym systemem dyspozytorskim, jak również systemem centralnym poprzez implementację zestawu ostrzeżeń, alarmów i poleceń z wykorzystaniem standardowych protokołów komunikacyjnych;
- wyciągnięcie wniosków z przeprowadzonych badań i prac projektowo-konstrukcyjnych sfinalizowanych wdrożeniem w sektorze energetycznym modułu do ciągłego nadzoru transformatorowych izolatorów przepustowych.

Na podstawie wymienionych wyżej oryginalnych osiągnięć należy stwierdzić, że Pan mgr inż. Wiesław Gil udowodnił postawioną w rozprawie wieloczęściową tezę, **wykazując się wymaganą ogólną wiedzą teoretyczną w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka, jak również zdolnościami do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.** Można również ocenić, że rozprawa jako całość stanowi oryginalne rozwiązanie problemu projektowo-konstrukcyjnego, które wymagało

przeprowadzenia kompleksowych badań związanych z opracowaniem metody pomiarowej i analizą wpływu czynników środowiskowych i eksploatacyjnych na uzyskane wyniki.

Na uwagę zasługuje również fakt, iż Doktorant potrafi w sposób efektywny wykorzystywać narzędzia informatyczne i komunikacyjne do integracji zaprojektowanego układu z innymi systemami monitoringu i nadzoru. Dlatego też przedstawione w pracy wyniki mają wartości poznawcze, stwarzając jednocześnie podstawę do ich wykorzystania w praktyce w sektorze energetycznym.

W stosunku do całej rozprawy można stwierdzić, że Doktorant dobrze opanował warsztat pisania rozpraw naukowych. Odnośniki literaturowe wskazują, że posiada także niezbędną orientację w bibliografii obejmującej podejmowane zagadnienia. **Dlatego też całość sprawy, że recenzowana praca spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim.** Ponadto biorąc pod uwagę zakres opisanych prac i kompletność zrealizowanych badań, z testami wdrożonego układu włącznie, można stwierdzić, iż w kategorii rozpraw doktorskich o charakterze projektowo-konstrukcyjnym i technologicznym zasługuje ona na wyróżnienie.

4. Uwagi

Biorąc pod uwagę ogólne zasady pisania rozpraw doktorskich oraz poruszane przez Doktoranta zagadnienia merytoryczne, można sformułować uwagi oraz problemy do dyskusji, które wymieniono poniżej w punktach.

1. Teza rozprawy jest bardzo rozbudowana i składa się z trzech części. W pierwszej jej części mowa jest o „realizacji przyjętych założeń”. Założeń jednak się nie realizuje tylko przyjmuje i są one podstawą dalszego postępowania. Należało wprost wskazać w tezie, że uwzględnienie zmian amplitudy i kątów mierzonych napięć i wpływu temperatury umożliwi uzyskanie pomiarów o mniejszej niepewności. W części drugiej tezy wymienia się przepięcia łączeniowe i zaburzenia burzowe, ale raczej chodzi o przepięcia atmosferyczne, które mogą być bezpośrednie lub pośrednie. Ponadto korelacja rejestrowanych przepięć ze zmianami parametrów izolacji przepustów, nie tyle pozwoli na identyfikację przebicia warstw izolacyjnych przepustu, ile na ustalenie *przyczyn* tego uszkodzenia, a to jest właśnie jedno z osiągnięć wdrożonego rozwiązania. Podobnie w kolejnym sformułowaniu chodzi raczej o stwierdzenie *przyczyn* niektórych rodzajów wewnętrznych uszkodzeń transformatora. Dalej czytamy, że identyfikacja tych uszkodzeń pozwoli na stwierdzenie niesprawności instalacji i urządzeń odgromowych. Trafniej byłoby jednak mówić o nieskuteczności tych instalacji, gdyż niekoniecznie muszą one być niesprawne. Mogą być one sprawne, ale w konkretnym przypadku źle dobrane.

2. W zaproponowanym układzie monitorującym przyjęto ograniczenie długości kabla koncentrycznego łączącego moduł SMT-102 z sondami CPT do 15 m. Na jakiej podstawie określono taką właśnie maksymalną długość przewodów. Czy było rozważane wykorzystanie cyfrowej transmisji światłowodowej sygnałów z sond do SMT-102 ? Biorąc pod uwagę że zacisk napięciowy przepustu pozwala na zasilanie układów pomiarowych, możliwe byłoby umieszczenie przetwornika analogowo-cyfrowego i konwertera światłowodowego w ekranowanej sondzie. Rozwiązanie takie wyeliminowałoby problem zakłóceń elektromagnetycznych i równocześnie umożliwiłoby pomiar bezwzględnych zmian parametrów izolacyjnych zgodnie z metodą opisana na rys. 9.2 w podrozdziale 9.1.
3. Jeśli podczas rejestracji szybkozmiennych przebiegów wykorzystuje się przetwornik analogowo-cyfrowy z minimalną częstotliwością próbkowania 2 MS/s (str. 113), to w takim razie w jakim zakresie można zwiększać tę częstotliwość i czy jest to uzasadnione z uwagi na wyznaczone pasmo przenoszenia układu pomiarowego? Co warunkuje górną granicę tego pasma i czy można ją zwiększyć, tak aby możliwa była rejestracja przepięć atmosferycznych bez zniekształceń.
4. Rejestrowane przepięcia klasyfikuje się jako łączeniowe i typu „transients” o czasie trwania, wg podanej w pracy definicji, mniejszym niż 50 μ s. Generalnie przepięcia łączeniowe są również typu „transients”, używając terminologii anglojęzycznej. Nie zostało jednak wskazane w rozprawie, z jakimi faktycznie przepięciami można kojarzyć zaburzenia drugiego typu określane właśnie jako „transients”.
5. W układzie monitoringu zadaje się dwa progi przepięć granicznych i minimalną stromość narastania napięcia, która może być groźna dla izolacji transformatorów i przepustów. W jakim zakresie można zadawać wymienione wyżej parametry? Ponadto określa się czas trwania przepięcia mierząc go na dwóch różnych poziomach w zależności od wielkości przepięcia, co stwarza problem w porównywaniu szybkości zmian tych przebiegów. W jakim celu przyjęto w algorytmie takie rozwiązanie?
6. W pracy zwrócono uwagę na utrzymujące się od kilku minut do pojedynczych godzin wyższe wartości współczynnika strat dielektrycznych i pojemności izolacji przepustu w trakcie burz z intensywnymi opadami deszczu. Nie określono jednak jednoznacznie w rozprawie co zdaniem Doktoranta jest główną przyczyną takich anomalii. Jest to bardzo ciekawy problem badawczy.
7. Struktura treści pracy jest w zasadzie poprawna, chociaż można mieć wątpliwości co do objętości poszczególnych części rozprawy. Zwykle część wstępna w rozprawie doktorskiej nie powinna przekraczać 25% całej pracy, podczas gdy w recenzowanej rozprawie część ta obejmuje ok. 40% licząc do

rozdziału piątego, w którym sformułowano cele i tezę pracy. Informacja zawarta w pierwszych czterech rozdziałach stanowi bardzo ciekawe i wartościowe kompendium wiedzy na temat izolatorów przepustowych i na pewno może stanowić ważną część podręcznika, ale jest zbyt obszerna w przypadku rozprawy doktorskiej. Generalnie praca została zredagowana starannie, chociaż występują w niej nieliczne błędy stylistyczne, edycyjne oraz literówki, które jednak nie wpływają w zasadniczy sposób na jej ogólną ocenę. Przykładowo na str. 29 został wskazany rys. 2.11, zamiast rys. 2.16. Skrót BIL zawiera słowo „Lightning”, a nie „Lighting” (str. 34). W tabeli 3.2 powinno występować napięcie 420 kV, a nie 400 kV (str. 57). Na str. 71 chodzi raczej o przewodność elektryczną właściwą oleju, czyli konduktywność, którą mierzy się w S/m, a nie Ohm/m.

Należy podkreślić, że przedstawione powyżej uwagi mogą być przedmiotem dyskusji stwarzając pole między innymi do dalszych badań, lecz nie podważają one jednak zasadniczych wartości recenzowanej rozprawy doktorskiej, która ma wystarczająco bogatą treść merytoryczną.

5. Podsumowanie

Uwzględniając odnotowane oryginalne osiągnięcia naukowo-badawcze Doktoranta w dyscyplinie *inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka*, jak również poznawcze i użyteczne walory rozprawy, a także to, że przedstawione uwagi o charakterze dyskusyjnym nie podważają jej zasadniczych wartości stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Wiesława Gila spełnia wymagania Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki oraz Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce i wnioskuje o jej przyjęcie oraz dopuszczenie do publicznej obrony.

