

Łódź, 09.02.2022

dr hab. inż. Paweł Rózga, prof. uczelni
Politechnika Łódzka
Instytut Elektroenergetyki
pawel.rozga@p.lodz.pl

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgra inż. Wiesława Gila

pt. „*Rozszerzony nadzór w czasie rzeczywistym izolatorów przepustowych transformatorów energetycznych*”

1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Niniejsza recenzja została opracowana na zlecenie Dziekana Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Poznańskiej prof. dr hab. inż. Zbigniewa Nadolnego z dnia 29.11.2021 roku powołującego się na uchwałę Rady Dyscypliny Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki Politechniki Poznańskiej z dnia 23.11.2021 roku.

2. Tematyka i tezy rozprawy

Fundamentem funkcjonowania dzisiejszego świata jest energia elektryczna. Zarówno dla dużych odbiorców przemysłowych czy handlowych, jak i indywidualnych gospodarstw domowych, energia elektryczna stanowi niezbędną podstawę i wyznacza standard życia w uprzemysłowionym świecie. Konsument pozbawiony energii elektrycznej, nawet przez niewielki czas, nie może już prawidłowo funkcjonować w dzisiejszym nowoczesnym społeczeństwie. Dlatego tak ważne jest niezawodne dostarczanie energii elektrycznej z miejsca, w którym jest generowana, do miejsca gdzie jest wykorzystywana, czy to na cele przemysłowe czy też w celu zaspokojenie podstawowych potrzeb człowieka. Efektywny przesył energii elektrycznej w dużym stopniu zależy od zdolności zmniejszenia strat przesyłu poprzez zmniejszenie wartości przesyłanego prądu. Opracowanie nowoczesnego systemu przesyłu energii elektrycznej wysokich napięć, było możliwe dzięki wynalezieniu pod koniec XIX wieku transformatora, który jest uważany obecnie za jeden z najważniejszych komponentów systemu elektroenergetycznego. Niezawodność transformatorów ma więc niewątpliwy wpływ na spełnienie przez dystrybutorów energii elektrycznej ustawowego obowiązku dochowania standardów jakościowych obsługi odbiorców. Każde wyłączenie transformatora wynikające z uszkodzenia jego układu izolacyjnego lub jego elementów konstrukcyjnych wpływa na czas przerwy w zasilaniu, a więc i na zwiększenie dwóch podstawowych wskaźników niezawodnościowych, SAIDI i SAIFI. W kontekście elementów transformatora, które najczęściej ulegają uszkodzeniu i powodują przerwę w jego pracy, a często

też jego całkowite zniszczenie wymienia się, obok uzwojeń, transformatorowe izolatory przepustowe, dolnego (DN) i górnego (GN) napięcia.

Generalnie izolatory przepustowe są urządzeniami o specjalnej konstrukcji umożliwiającej przeprowadzenie jednego bądź kilku przewodów przez przegrodę typu ściana lub zbiornik i odizolowanie tych przewodów od tej przegrody. W odniesieniu do transformatorów izolator przepustowy ma za zadanie wyprowadzenie przewodu prądowego (pod wysokim napięciem) od uzwojeń poprzez obudowę transformatora, która jest uziemiona, do np. linii przesyłowej. Jest to typ izolatora aparaturowego, a jego konstrukcja, w tym zastosowany układ izolacyjny, zależy od wartości napięcia sieci, w której będzie pracował (najwyższego napięcia roboczego) oraz natężenia prądu elektrycznego. Izolatory przepustowe typu transformatorowego poddawane są wielu czynnikom, które wpływają na ich poprawną pracę. Są to m.in. warunki atmosferyczne (temperatura, wilgotność), pole elektryczne czy przepięcia. Pod wpływem działania wymienionych czynników może następować powolna degradacja izolacji izolatora przepustowego, która finalnie może spowodować jego uszkodzenie. W wielu przypadkach uszkodzenie samego izolatora przepustowego ma katastrofalne skutki dla otaczającej infrastruktury, a często, gdy dojdzie do jego pożaru, przenosi się on bezpośrednio na transformator.

Jest więc niezwykle istotnym zagadnieniem zapobieganie katastrofalnym uszkodzeniom izolatorów przepustowych transformatora. Można to osiągnąć poprzez okresowy nadzór nad jego stanem technicznym lub, co jest obecnie trendem w obszarze wielu urządzeń technicznych, stały monitoring określonych parametrów informujących o postępującym procesie degradacyjnym, starzeniu. Szczególnie ważną staje się diagnostyka izolatorów przepustowych, które znajdują się w eksploatacji od 20-30 lat. Takie izolatory charakteryzują się zwiększoną awaryjnością wskutek postępujących procesów starzeniowych (np. w wyniku zawilgocenia izolacji izolatora). Spośród najczęściej stosowanych pomiarów diagnostyczno-eksploatacyjnych transformatorowych izolatorów przepustowych tryb nadzoru okresowego, rozumiany jako badania typu off-line, obejmuje inspekcję zewnętrzną, badania termowizyjne lub, rzadziej, pomiar wyładowań niezupełnych. Te ostatnie można prowadzić zarówno w trybie bez wyłączenia transformatora jak i po jego wyłączeniu. W obszarze pomiarów off-line wyróżnić można także badanie oleju pobranego z izolatora (z uwzględnieniem analizy gazów rozpuszczonych w oleju – DGA) czy badania metodami polaryzacyjnymi. Istotnymi wskaźnikami jakości izolatora są także pomiary pojemności C oraz współczynnika strat dielektrycznych $\text{tg}\delta$, które uznaje się jako parametry umożliwiające wczesne zdiagnozowanie defektu izolatora, a nawet określenie charakteru defektu, co przy doświadczeniu personelu wykonującego analizę daje szansę na prawidłowe określenie terminu wymiany izolatora przepustowego. Alternatywą dla pomiarów okresowych jest wspomniany już tryb stały (on-line) monitorowania określonych parametrów izolatora przepustowego. W tym zakresie podejście praktyczne bazuje głównie na pomiarze wspomnianych

już dwóch wielkości charakterystycznych tj. C i $tg\delta$, który odbywa się w oparciu o tak zwaną metodą względną napięciową. Metoda ta cechuje się dosyć dużą czułością i stabilnością sygnałów podlegających rejestracji, niemniej w obszarze aplikacyjnym istnieją pewne luki, wśród których należy wymienić niedostateczną dokładność pomiaru czy niedostateczną szybkość w wykrywaniu zmian monitorowanych parametrów, co przekłada się bezpośrednio na opóźnienie w wykryciu defektu izolatora przepustowego.

Wobec powyższego, z uwagi na kluczową rolę izolatorów przepustowych w prawidłowym działaniu transformatora energetycznego, **wybór przez autora obszaru tematycznego dotyczącego poprawy właściwości pomiarowych urządzenia do monitoringu on-line transformatorowych izolatorów przepustowych uważam za słuszny i wpisujący się w trendy badań naukowych w obszarze szeroko rozumianej Energetyki.**

Skupiając się na zagadnieniu usprawnienia procesu realizacji monitoringu on-line izolatorów przepustowych doktorant zidentyfikował problem wpływający na niedokładność pomiaru, a przede wszystkim na wspomnianą wyżej niedostateczną szybkość wykrywania zmian C i $tg\delta$. Problemem tym jest według doktoranta nieuwzględnienie w szacowaniu zmian C i $tg\delta$ w czasie występującej w sieci asymetrii, czyli chwilowych fluktuacji amplitud i kątów fazowych napięć. Doktorant założył więc, że dzięki uwzględnieniu stosownych korekt w zakresie obliczeń pojemności izolatora przepustowego oraz współczynnika strat dielektrycznych możliwe będzie zniwelowanie niepożądanego wpływu asymetrii na wyniki pomiarów rozważanych wielkości charakteryzujących stan techniczny izolatora. Dodatkowo doktorant założył, że stabilność wyników uzyskanych w ramach prowadzenia monitoringu on-line parametrów C i $tg\delta$ poprawiona zostanie dzięki uwzględnieniu temperatury, jako czynnika zmieniającego chwilowo właściwości fizyczne izolatora. W opinii recenzenta powyższe założenia w odpowiednio zmodyfikowanej formie mogłyby stanowić klarowną dla czytelnika tezę pracy doktorskiej. Doktorant sformułował jednak trzy tezy w sposób następujący:

- a) Zrealizowanie przyjętych założeń (uwaga recenzenta – brak wymienienia ich w tezie jest błędem) umożliwi uzyskanie pomiarów o mniejszej niepewności, a także zwiększonej dokładności oszacowania zmian monitorowanych parametrów i skrócenie okresu uśredniania wyników.
- b) Zastosowanie nowoczesnych układów elektronicznych próbkujących napięciowe sygnały pomiarowe z częstością (uwaga recenzenta – może celowym byłoby użycie terminu częstością analogicznie do próbkowania w oscyloskopie?) megaherców umożliwi pomiar i rejestrację przebiegów łączeniowych i zaburzeń burzowych. Korelacja tych zaburzeń z ewentualnymi gwałtownymi zmianami pojemności i współczynników stratności przepustów umożliwi identyfikację przebicia warstw izolacyjnych rdzenia przepustu. Powyższa funkcjonalność może być także wykorzystana

do analizy wielofazowych zaburzeń występujących na stacjach energetycznych zobrazowanych w przebiegach napięć zarejestrowanych na zaciskach pomiarowych. Dzięki temu możliwe jest stwierdzenie niektórych rodzajów wewnętrznych uszkodzeń transformatora oraz stwierdzenie symptomów niesprawności instalacji i urządzeń odgromowych. Dodatkowo wpłynie to na zwiększenie przydatności monitoringu on-line izolatorów przepustowych.

- c) Integracja modułu monitoringu przepustów z systemem monitoringu on-line transformatora TLM (ang. Transformer Life Monitoring) i stacijnym Systemem Sterowania i Nadzoru (SSiN), nazywanym również systemem dyspozytorskim, rozszerzy możliwość nadzoru stanu przepustów, dzięki analizie korelacji monitorowanych parametrów z obciążeniem transformatora i zewnętrznymi warunkami atmosferycznymi. Pozwoli to na podjęcie decyzji o zaplanowaniu dodatkowych badań off-line lub nawet o natychmiastowym zawieszeniu eksploatacji.

Mimo zaprezentowanej uwagi i mało zwięzłej formy uważam, że **tezy są poprawne i wskazują kierunek prac, jakie doktorant zamierzał zrealizować w ramach pracy doktorskiej.**

Prace doktoranta, zmierzające do udowodnienia postawionych tez, podzielone zostały na szereg podzadań o charakterze analitycznym, projektowo-konstrukcyjnym oraz pomiarowym. Zadania te zostały zebrane w postaci sześciu punktów jak poniżej:

- a) opracowanie modelu matematycznego do wyznaczania monitorowanych parametrów izolacji (dodałbym izolatora przepustowego) z uwzględnieniem korekt asymetrii napięć liniowych;
- b) opracowanie algorytmu obliczeń parametrów izolacji oraz wskazania przepustów, w których rozwija się defekt;
- c) zaprojektowanie konstrukcji i wykonanie sondy pomiarowej, dostosowanej do umieszczenia w różnego typu gniazdach pomiarowych lub napięciowych izolatora przepustowego;
- d) zaprojektowanie i wykonanie wielokanałowego przetwornika pomiarowego do pomiaru napięć i rejestracji przebiegów (jakiego typu?), przesyłanych przez sondy pomiarowe, a także przeznaczonego do pomiarów referencyjnych napięć liniowych;
- e) oprogramowanie wykonanych urządzeń, tak aby uzyskać w pełni funkcjonalny moduł monitorowania izolatorów przepustowych;
- f) analiza zarejestrowanych wyników pomiarów.

Podsumowując, podjęta przez doktoranta tematyka, przyjęte tezy rozprawy a także ambitny i szeroki zakres prac zaplanowanych do realizacji spełniają bez wątpienia wymagania stawiane pracom doktorskim. Doktorant zaproponował oryginalne podejście do rozwiązania zagadnienia, które nie realizowane było dotychczas w formie, jaką zaplanował doktorant.

3. Charakterystyka i ocena rozprawy

Rozprawa opracowana została w języku polskim i zawiera 234 strony, przy czym zasadnicza część pracy to 202 strony, zaś strony od 203 do 234 to załączniki. Praca podzielona została na 10 rozdziałów, a 11 rozdział stanowi spis literatury zawierający 107 pozycji. Zasadniczą część pracy poprzedza spis treści oraz streszczenia w języku polskim i angielskim.

W pierwszym, krótkim rozdziale, doktorant wprowadza w tematykę pracy. Następnie w rozdziałach 2-4 szeroko prezentuje tło teoretyczne wskazujące na ważność problematyki monitoringu on-line izolatorów przepustowych transformatorów energetycznych. W rozdziale 2 przedstawiona jest ogólna charakterystyka izolatorów przepustowych wraz ze wskazaniem, które parametry izolacji przepustów powinny być weryfikowane i z jakiego powodu. Wprowadza też w sposób ogólny w problematykę badań i pomiarów izolatorów, w tym problematykę nadzoru w czasie rzeczywistym. W rozdziale 3 szczegółowej analizie poddano szereg aspektów związanych z eksploatacją izolatorów przepustowych ze szczególnym uwzględnieniem czynników wpływających na degradację izolacji przepustów mogących doprowadzić do ich uszkodzenia. Rozdział 4 natomiast przedstawia stan wiedzy w zakresie monitoringu off-line i on-line izolatorów przepustowych. Do wskazanych rozdziałów nie mam zastrzeżeń. Stanowią one logicznie zebrany state-of-the-art w zakresie monitorowania stanu technicznego izolatorów przepustowych transformatorów energetycznych. W opinii recenzenta pewnym zastrzeżeniem może być zbyt mało krytyczny komentarz dotyczący rekomendacji zawartych w Ramowej Instrukcji Eksploatacji Transformatorów opracowanej przez Energopomiar. Rozumiem, że dokument ten jest powszechnie akceptowanym wyznacznikiem w zakresie postępowania przy eksploatacji transformatorów, jednak autor mógł spróbować wskazać ewentualne luki lub obszary, które jego zdaniem mogłyby zostać zweryfikowane czy poprawione. Tym bardziej, że doktorant posiada duże praktyczne doświadczenie w zakresie monitoringu urządzeń wysokonapięciowych. Z kolei na uznanie zasługuje zestawienie aktualnie stosowanych rozwiązań w zakresie monitoringu on-line, na tle których doktorant wykazuje obszar konieczny do poprawy. Na tej kanwie w rozdziale 5 zaprezentowane zostały cel i zakres pracy oraz sformułowane tezy.

Autorski wkład doktoranta w poruszaną tematykę to rozdziały od 6 do 10. Stanowią one przemyślane przeprowadzenie czytelnika krok po kroku przez kolejne etapy prac. W rozdziale 6 doktorant przedstawił sposób tworzenia modułu monitoringu on-line przepustów rozpoczynając od modelu matematycznego, przez charakterystykę sond pomiarowych CPT-102 użytych w systemie, urządzeń SMT-102 i SMT-103, które stanowią odpowiednio moduł pomiarowo-rejestrujący i przetwornik referencyjny kończąc na sposobie realizacji poszczególnych funkcji modułu i jego konfiguracji oraz kalibracji. Rozdział 6 kończą wyniki testów i prób modułu oraz szczegóły dotyczące uruchomienia go na rzeczywistym obiekcie. W rozdziale 7 doktorant prezentuje aplikację

proponowanego rozwiązania w gotowym systemie monitoringu transformatorów SYNDIS ES firmy Mikronika wraz z funkcjonalnościami systemu w odniesieniu do przepustów. W dalszej części natomiast system stacyjny monitoringu on-line transformatora jest przedstawiony jako możliwy do zintegrowania ze stacyjnym Systemem Sterowania i Nadzoru (SSiN). W rozdziale 8 następuje szczegółowa analiza zastosowanego rozwiązania. Autor skupił się na kilku aspektach takich jak wpływ gwałtownych zmian warunków atmosferycznych (burze, intensywne opady deszczu) na rejestrowane parametry i generowane sygnały ostrzegawcze, niepewność pomiarów w odniesieniu do wartości rzeczywistych rejestrowanych na stacji oraz wpływu temperatury otoczenia na wskaźniki C_1 i $tg\delta$. Ogólne perspektywy rozwoju monitoringu przepustów zostały opisane w rozdziale 9. W rozdziale 10 doktorant przedstawił rozbudowane wnioski. Całość uzupełniają załączniki dotyczące głównie przeprowadzonych testów rozwiązania modułu monitoringu on-line przepustów.

Z powyższego opisu rozdziałów 6-10 wynikają najważniejsze osiągnięcia doktoranta, które można zebrać w następujących punktach:

- opracowanie autorskiego rozwiązania modułu monitoringu on-line transformatorowych przepustów izolacyjnych umożliwiającego pomiar pojemności C_1 i współczynnika strat dielektrycznych $tg\delta$ opartego na modelu matematycznym uwzględniającym asymetrię napięcia podawanego na zaciski liniowe;
- zaprojektowanie i wykonanie sond pomiarowych możliwych do podłączenia do zacisków pomiarowych różnych izolatorów przepustowych;
- uzyskanie w ramach opracowanego rozwiązania szybkiej identyfikacji zmian wielkości C_1 i $tg\delta$ izolacji badanych przepustów dzięki skróceniu okresu uśredniania wyników do 1 minuty; jest to czas nieporównywalnie krótszy niż innych dostępnych komercyjnie rozwiązań;
- przeprowadzenie pomiarów weryfikujących poprawną pracę urządzenia zarówno w warunkach laboratoryjnych jak i polowych wraz z potwierdzeniem braku wpływu na pracę modułu czynników zakłócających w postaci warunków atmosferycznych, zaburzeń elektromagnetycznych czy temperatury;
- przeprowadzenie analizy niepewności pomiarowych pozwalających z pełnym przekonaniem stwierdzić, że opracowany moduł mierzy wartości C_1 i $tg\delta$ z dokładnością pozwalającą na formułowanie wiarygodnych sygnałów ostrzegawczych i alarmowych;
- dostosowanie rozwiązania do systemów stacyjnych monitoringu on-line transformatorów oraz stacyjnych systemów nadzoru.

Podsumowując należy stwierdzić, że **doktorant posiada wiedzę i umiejętności z zakresu poruszanej w pracy tematyki diagnostyki on-line transformatorów energetycznych ze szczególnym uwzględnieniem izolatorów przepustowych tych transformatorów. Na szczególne podkreślenie zasługują umiejętności praktyczne doktoranta w projektowaniu i realizacji**

urządzeń rzeczywistych. Doktorant umiejętnie połączył doświadczenia inżynierskie z naukowym podejściem do rozpatrywanego zagadnienia. Nie jest bowiem często spotykanym przypadkiem, że wynikiem realizacji pracy doktorskiej staje się gotowe urządzenie, w tym przypadku możliwe do zainstalowania w systemach diagnostyki on-line. Dzięki pełnej realizacji założonego zakresu prac i otrzymaniu wyników potwierdzających prawidłowość przyjętych założeń doktorant udowodnił postawione tezy.

4. Uwagi, pytania, zagadnienia dyskusyjne

Praca nie jest pozbawiona niedociągnięć natury edytorsko-stylistycznej jak również wymaga pewnych uściśleń w kontekście warstwy merytorycznej. Są to jednak drobne niedociągnięcia nie wpływające na wysoką ocenę pracy. Poniżej zauważone usterki zgrupowane zostały w dwóch obszarach, edytorsko-stylistycznym i merytorycznym.

4.1. Uwagi dotyczące aspektu edytorsko-stylistycznego pracy

Praca doktorska mgr inż. Wiesława Gila jest napisana poprawnym językiem. Zawiera niewielką ilość błędów typograficznych, językowych czy stylistycznych, co w kontekście dużej objętości pracy świadczy o dużej staranności w opracowaniu tekstu dysertacji. Czytając pracę odnosi się wrażenie, że jej autor ma ugruntowaną wiedzę z obszaru badań izolatorów przepustowych transformatorów energetycznych potwierdzoną doświadczeniem praktycznym. Z jednej strony jest to zdecydowany plus ocenianej pracy, ale z drugiej, inżynierskie doświadczenie przekłada się na mniej naukowy charakter tekstu. Występują w nim bowiem niekiedy sformułowania potoczne, spotykane w opracowaniach technicznych, a nie pozycjach naukowych. Poniżej przedstawiam kilka wybranych uwag dotyczących aspektu edytorsko-stylistycznego:

- 1) W tekście pracy zanotowano kilkakrotnie błąd w zapisie wielkości fizycznych polegający na brak zastosowania indeksu dolnego, np. $C1$ zamiast C_1 .
- 2) Czytelność kilku rysunków mogłaby być lepsza, niekiedy wystarczyłoby zmienić tylko ich wielkość. Uwaga ta dotyczy m.in. rysunków stanowiących istotę proponowanego rozwiązania. Mowa tu o rysunkach 6.1, 6.2 i 6.3 oraz 6.5. W tym ostatnim przypadku schemat mógłby zostać pokazany na całej stronie w orientacji poziomej. Chciałbym poprosić w tym miejscu doktoranta o uwzględnienie tej uwagi podczas obrony.
- 3) W tezie pracy pojawia się sformułowanie „zaburzeń burzowych”, co jest, zdaniem recenzenta, stwierdzeniem daleko odbiegającym od definicji występujących w literaturze naukowej. Co doktorant rozumie przez sformułowanie „zaburzenia burzowe”? Czy może podać źródło, z którego zapożyczył cytowane sformułowanie? Szkoda, że pojawiło się ono akurat w tezie. Chciałbym poprosić doktoranta o ewentualną weryfikację słownictwa podczas obrony.

- 4) Doktorant kilkakrotnie w części teoretycznej używa sformułowania „strona wysokiego i niskiego napięcia”. Czy rzeczywiście rozpatrywana jest strona niskiego napięcia w analizowanych opisach czy jest to raczej lapsus językowy wynikający z potocznego języka inżynierskiego, a doktorantowi chodziło o strony GN i DN odpowiednio?
- 5) Doktorant kilkakrotnie stosuje zakończenie zdania wykrzyknikiem mającym zapewne na celu podkreślenia ważności danej myśli. Zdaniem recenzenta w tekstach naukowych stosowanie w taki sposób wskazanego znaku interpunkcyjnego nie jest zalecane.
- 6) Literatura bazuje w większości na pozycjach polskojęzycznych i normach (tu pojawiają się dokumenty IEEE oraz CIGRE). Mimo, że doktorant dokonał przeglądu rozwiązań światowych w zakresie monitoringu on-line przepustów wydaje się, że liczba artykułów z czasopism pochodzących z baz danych IEEE czy Elsevier mogłaby być większa.

4.2. Uwagi dotyczące kwestii merytorycznych oraz pytania i zagadnienia do dyskusji

Poniżej zestawione zostały w formie punktów zagadnienia dyskusyjne i pytania wynikające z lektury całej pracy. Zestawienie zawiera także kwestie otwarte tj. pytania, które dotyczą ewentualnego rozwoju projektu opisanego w rozprawie.

Pytania szczegółowe:

- 1) Sposób wyznaczania C_1 i $tg\delta$ zaprezentowany w p. 6.1. został przedstawiony opisowo, jednak, szczególnie w przypadku $tg\delta$, otrzymanie wyniku wymaga przeprowadzenia określonej procedury składającej się z kilku kroków z uwzględnieniem pewnych warunków? Czy doktorant nie rozważał zilustrowania procedury w postaci schematu blokowego? Zdaniem recenzenta byłoby to znacznie czytelniejsze.
- 2) Na zakończenie podrozdziału 6.2.1 doktorant pisze, że „W celu realizacji omawianego rozwiązania niezbędne było zaprojektowanie, wykonanie i uruchomienie sond pomiarowych CPT-102 oraz urządzeń SMT-102 i SMT 103”. W dalszej części pracy moduł SMT-102 jest opisany dokładnie natomiast pominięte są szczegóły odnośnie modułu SMT-103. Czy moduł ten faktycznie powstał w wyniku realizacji niniejszej pracy z przeznaczeniem do modułu monitoringu on-line przepustów, czy został zaadaptowany do niego? Poproszę o wyjaśnienie oraz krótką charakterystykę urządzenia SMT-103.
- 3) Jak podłączenie modułu monitoringu on-line przepustu do jego zacisku liniowego ma się do funkcjonowania modułów on-line pomiaru wyładowań niezupełnych, które również korzystają z zacisków pomiarowych izolatorów przepustowych. Czy te systemy są ze sobą zsynchronizowane, a może wykorzystują różne zaciski? Proszę o wyjaśnienie tej wątpliwości recenzenta.
- 4) Czy w ramach testów modułu przeprowadzone zostały testy na obecność pola elektrycznego wynikającego ze źródła wysokiego napięcia jakim są potencjały elektryczne przewodów

wyprowadzanych przez przepusty? Z analizy testu „symulacja zaburzenia elektromagnetycznego” wynika, że test dotyczył rodzaju przepięcia a nie oddziaływania pola.

- 5) Zakres testów i prób modułu monitoringu on-line przepustów jest szeroki. Czy zakres ten był autorskim opracowaniem doktoranta i czy doktorant uczestniczył w przygotowaniu i realizacji wszystkich prób i testów? W pytaniu chodzi zarówno o testy laboratoryjne jak i polowe.
- 6) W rozdziale 8 doktorant przedstawia wyniki analizy wprowadzonych rozwiązań. Z treści rozdziału nie wynika jednak czy analiza dotyczy jednego modułu monitoringu on-line opracowanego przez doktoranta czy kilku różnych testowanych na różnych izolatorach (przykładowo tabela 8.1 zawiera wyniki dotyczące sześciu typów przepustów bez informacji ile modułów zostało przetestowanych)? Jakiego przedziału czasowego dotyczy analiza? Prosiłbym o odniesienie się do tych wątpliwości.
- 7) Analizując treść pracy nie znalazłem jednoznacznej deklaracji czy proponowany moduł monitoringu on-line przepustów posiada jakieś ograniczenia, np. czy możliwe jest bezproblemowe zainstalowanie go na przepustach będących w eksploatacji >20 lat, a więc takich, które wydają się najbardziej narażone na nagłe zdarzenia o charakterze defektu. Proszę o odniesienie się do tej wątpliwości recenzenta.

Pytania otwarte:

- 8) W ostatnich latach spore zainteresowanie w zakresie cieczy dielektrycznych kierowane jest na ciecze alternatywne dla oleju mineralnego (estry syntetyczne, estry naturalne, płynu typu GTL). Czy uruchomiony system monitoringu on-line wymagałby zmian, specjalnego dostosowania gdyby w izolatorach przepustowych zastosowano inną niż olej mineralny ciecz dielektryczną? Ciecze te mają bowiem inną przenikalność dielektryczną, co zapewne wpływa na pojemność. Czy dla takiego rozwiązania wystarczy kalibracja czy powinny zostać podjęte szersze działania? Mam oczywiście na myśli przepusty wykonane w technologii OIP?
- 9) Czy zaproponowane rozwiązanie jest gotowe do wprowadzenia na rynek? Jeśli tak to czy musi spełnić jakieś wymagania w kontekście dodatkowych testów (certyfikacja w zakresie EMC)? Czy muszą zostać uzyskane zgody, od np. PSE, aby móc zastosować system monitoringu przepustów transformatorowych w praktyce monitoringu transformatorów, a więc i w systemach stacyjnych? Czy w ramach pracy powstały już wytyczne dotyczące testów odbiorczych jakie musi przejść każde pojedyncze urządzenie zanim zostanie dopuszczone do eksploatacji?
- 10) Nie jest tajemnicą, że doktorant jest pracownikiem firmy Mikronika, co wynika chociażby z afiliacji występującej w publikacjach autora. W związku z tym, czy rozwiązanie powstałe w

wyniku realizacji pracy doktorskiej jest lub ma być dostępnym komercyjnie rozwiązaniem wchodzącym w skład portfolio firmy?

5. Podsumowanie i wniosek końcowy

Mimo kilku uwag jak powyżej recenzowaną rozprawę doktorską oceniam jak najbardziej pozytywnie. Na tę ocenę składają się przede wszystkim:

- osadzenie pracy w obecnie występujących w energetyce trendach zmierzających do zwiększenia niezawodności pracy sieci elektroenergetycznych przez ciągły monitoring urządzeń w niej pracujących, co umożliwia wczesne wykrycie defektu i możliwość zapobieżenia uszkodzeniu katastrofalnemu;
- oryginalna propozycja rozwiązania modułu monitoringu on-line izolatorów przepustowych o właściwościach wyróżniających go znacząco od komercyjnych rozwiązań dostępnych na rynku;
- integracja modułu z rozwiązaniami monitoringu on-line transformatorów oraz systemami stacijnymi nadzoru;
- spójny i metodologicznie poprawny sposób realizacji badań weryfikujących poprawność pracy urządzenia, w tym wykonania analizy wpływu czynników zewnętrznych na jego pracę i analizy niepewności pomiarowych;

Zamieszczone uwagi zawarte w pytaniach do doktoranta i otwartych zagadnieniach dyskusyjnych w żadnym stopniu nie umniejszają osiągnięć doktoranta oraz wysokiej wartości ocenianej rozprawy.

W związku z powyższym uważam, że rozprawa doktorska mgr inż. Wiesława Gila pt.: „Rozszerzony nadzór w czasie rzeczywistym izolatorów przepustowych transformatorów energetycznych” **spełnia wymagania stosownej ustawy i może być dopuszczona do publicznej obrony.**

