



Opole, 27 październik 2016

Dr hab. inż. Paweł Frącz, prof. PO
Politechnika Opolska
Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki
Instytut Elektroenergetyki i Energii Odnawialnej
Katedra Wysokich Napięć

dr hab. inż. Zbigniew Nadolny, prof. PP

Recenzja **rozprawy doktorskiej mgr inż. Andrzeja Książkiewicza** **pt. „Procesy elektrodowe w niskonapięciowych przekąźnikach prądu** **przemiennego”**

Podstawa formalna wykonania recenzji:

Niniejsza recenzja została opracowana na zlecenie Dziekana dra hab. inż. Zbigniewa Nadolnego, prof. PP, zgodnie z uchwałą Rady Wydziału Elektrycznego Politechniki Poznańskiej w Poznaniu, z dnia 20 września 2016.

Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Jerzy Janiszewski.

1. Ocena aktualności tematyki i założonych celów rozprawy

Prowadzone do tej pory prace naukowe i badawczo-rozwojowe dotyczące problematyki eksploatacyjnej aparatów elektrycznych, w tym szeroko rozumianych procesów łączeniowych i zagadnień związanych z oceną ich wpływu na zużycie zestyków, były głównie mierze skoncentrowane na przekąźnikach wykorzystywanych w sieciach elektroenergetycznych średnich napięć, przy prądach o wartościach nie przekraczających kilkunaście kA. Natomiast tematyka podjęta w recenzowanej rozprawie dotyczy niskonapięciowych przekąźników elektromagnetycznych prądu przemiennego, które mają obecnie bardzo szerokie spektrum praktycznych zastosowań. W szczególności Doktorant skupił swoją uwagę na zbadaniu zależności między procesami elektrodowymi, które występują podczas operacji łączeniowych w przekąźnikach, a zmianami stanu powierzchni styków roboczych wykonanych z różnych materiałów i w konsekwencji oceną ich wpływu na wartość rezystancji zestykowej.

Dlatego moim zdaniem tematyka rozprawy jest aktualna i ważna przede wszystkim pod względem poznawczym, ale również ma zaznaczony potencjał implementacyjny oraz nie była do tej pory w takim zakresie podejmowana.

Głównym celem rozprawy było przeprowadzenie wielowariantowych badań wpływu wybranych procesów elektrodowych na układy stykowe niskonapięciowych przekąźników elektromagnetycznych. W szczególności dokonano oceny wpływu operacji łączeniowych prądów roboczych i zwarciovych na stan powierzchni stykowych badanych czterech typów miniaturowych przekąźników prądu przemiennego. Badania dotyczyły także zjawisk fizycznych związanych z nagrzewaniem elektrod wywołanych przepływem zarówno znamionowych prądów roboczych, jak również zwarciovych. Ponadto, zakres prac naukowo-badawczych, realizowanych w ramach niniejszej rozprawy, obejmował określenie wpływu

oddziaływań elektrodynamicznych występujących w warunkach zwarciovych na stan powierzchni stykowych rozpatrywanych przekładników. Wykonane analizy dotyczyły również oceny zjawiska szepiania i odpowiednio odskoków styków wywołanych załączaniem prądów zwarciovych oraz przepływem prądów roboczych. Dodatkowo w ramach rozprawy sprawdzono skuteczność działania różnego typu zabezpieczeń przeciwzwarciowych i ich wpływ na możliwość występowania szepień styków przekładników.

Moim zdaniem założone przez Doktoranta cele zostały, w logicznym ciągu rozprawy, osiągnięte.

2. Charakterystyka rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Andrzeja Książkiewicza jest stosunkowo obszerna gdyż liczy aż 197 stron. Dysertacja składa się z 9 rozdziałów głównych, listy najważniejszych symboli, zawiera streszczenia w języku polskim i angielskim, spis treści, jeden dodatek, bibliografię oraz zbiorcze zestawienie zamieszczonych w pracy tablic i rysunków. Ponadto, na str. 9 pracy znajdują się definicje trzech pojęć, tj.: proces, elektroda i przekładnik, które zaczerpnięto ze strony internetowej, a które w mojej ocenie można było pominąć.

Spis literatury zawiera w sumie 102 pozycje, w tym pięć cytowań internetowych, które zostały posortowane według kolejności cytowania w tekście. Na podkreślenie zasługuje fakt, że Doktorant jest autorem lub współautorem, aż 10 z cytowanych pozycji literaturowych, co świadczy, że uzyskane w ramach realizacji rozprawy doktorskiej wyniki były prezentowane w formie artykułów naukowych, które głównie były publikowane w recenzowanych zeszytach naukowych Politechniki Poznańskiej. Przy czym, dla pozycji [10, 11, 25, 99] brak jest numerów stron, a dla pozycji [19] nie zamieszczono numeru wydania. Brak jest szczegółowych danych dotyczących pozycji [97], a w przypadku artykułu opublikowanego w czasopiśmie Wiadomości elektrotechniczne (pozycja [19]) brak jest numeru wydania. Ponadto, w cytowanych pozycjach można było pominąć pracę magisterską Doktoranta (pozycja [55]), czy też pozycje skryptowe ([47, 88]).

Moim zdaniem przegląd został przygotowany dość rzetelnie, jest wystarczający i zawiera wiele pozycji książkowych oraz monograficznych, głównie w języku polskim, a także aktualnych artykułów naukowych i referatów konferencyjnych, w tym zagranicznych (38), z zakresu szeroko pojętej problematyki aparatów, instalacji i urządzeń elektrycznych oraz energoelektronicznych, a także metrologii oraz materiałoznawstwa elektrotechnicznego. Należy przy tym zaznaczyć, że wykaz wykorzystanych publikacji literaturowych został zredagowany jednolicie, w sposób dość poprawny, bez znaczących błędów. Jedynie w przypadku cytowań internetowych brak jest daty odsłony. Natomiast w przypadku cytowań pozycji anglojęzycznych znajdują się wyrażenia w języku polskim (np. strony, czy skrót nazwy miesiąca). Ponadto w niektórych pozycjach brak jest numerów stron (np.: [25, 89, 95, 99, 102]), miejsca wydania (np.: [14, 88]), nazwy czasopisma, czy wydawnictwa (np.: [9, 12]). W pozycji [37] najprawdopodobniej niepoprawny jest numer tomu: 2005, a w pozycji [100] brak jest szczegółowych danych bibliograficznych.

Zaproponowana w doktoracie struktura rozdziałów nie jest typowa, ponieważ pierwsze pięć rozdziałów (w sumie 72 strony/37%) ma charakter przeglądowy i stanowi bardzo szerokie, teoretyczne wprowadzenie do problematyki podjętej w recenzowanej rozprawie doktorskiej.

Rozdział pierwszy stanowi bardzo syntetyczne wprowadzenie do tematyki rozprawy.

W rozdziale drugim przedstawiono klasyfikację łączników elektromagnetycznych prądu przemiennego, uwzględniając przy tym kilka podstawowych kryteriów podziału.

Ponadto zdefiniowano pojęcie przekąznika elektromagnetycznego, wymieniono ich potencjalne zastosowania, a także wskazano parametry elektryczne i mechaniczne je charakteryzujące. Następnie opisano budowę oraz zasadę działania przekązników elektromagnetycznych niskiego napięcia. W tym zakresie scharakteryzowano poszczególne elementy konstrukcyjne, ze szczególnym uwzględnieniem zestyków łączeniowych.

Przy czym, przekazywane w tym rozdziale informacje mają w mojej ocenie charakter wiedzy akademickiej zawartej w podręcznikach rekomendowanych dla studentów kierunku elektrotechnika [np.: 4-5, 8, 20-22], a nawet technikum elektrycznego (pozycja [6]) oraz znajdują się w katalogach producentów aparatury elektroenergetycznej (np.: [7], [15]). Dlatego uważam, że rozdział ten mógłby zostać w dysertacji pominięty bez znaczącego wpływu na jej poziom i zakres merytoryczny. Przede wszystkim dotyczy to rozdz. 2.3 pt. Zasady doboru zabezpieczeń nadmiarowo-prądowych do ochrony zabezpieczeń. Ponadto uważam, że charakterystyka i zdjęcia wykorzystanych podczas badań realizowanych w ramach niniejszej rozprawy doktorskiej przekązników elektromagnetycznych (str. 19-20) mogłyby znaleźć się w rozdziale 7, który dotyczy m.in. opisu zastosowanej aparatury i układów pomiarowych. Niepoprawny jest także pod względem stylistycznym tytuł rozdz. 2.1 Miejsce przekązników prądu przemiennego w klasyfikacji łączników elektroenergetycznych.

W **rozdziale trzecim** scharakteryzowano podstawowe parametry i własności fizykochemiczne podstawowych materiałów, które wykorzystywane są przy produkcji styków przekąznikowych. W tym szczególną uwagę poświęcono stykom wykonywanym ze srebra oraz materiałów złożonych typu: srebro-metal i srebro-tlenek metalu, jakie mają zastosowanie w przekąznikach niskiego napięcia.

Tematyka podjęta w **rozdziale czwartym** dotyczy szeroko rozumianej rezystancji zestykowej. W szczególności zwrócono uwagę na problem powstawania warstw nalotowych na powierzchni styków wykonanych z różnych materiałów podczas ich normalnej eksploatacji w warunkach przemysłowych i ich wpływ na wartości rezystancji zestyków. Ponadto przedstawiono sposób analitycznego wyznaczania rezystancji zestykowej oraz dokonano przeglądu podstawowych metod jej pomiaru. Przy czym informacje przedstawione w rozdz. 4.3 dotyczące omomierzy, mostków Wheatstone'a i Thomsona, a także układów do pomiarów rezystancji metodą techniczną z poprawnie mierzonym napięciem i odpowiednio prądem, mają charakter podstawowej wiedzy technicznej popartej cytowaniami z klasycznych podręczników z miernictwa elektrycznego (cytowania: [46-49]), w tym także materiałami skryptowymi do ćwiczeń laboratoryjnych (pozycja: [47]). Niepoprawny pod względem stylistycznym jest tytuł rozdz. 4.1 Rezystancja zestykowa w ujęciu teoretycznym.

Rozdział piąty stanowi teoretyczne wprowadzenia do głównej problematyki podjętej w dysertacji, która w ujęciu ogólnym dotyczy procesów elektrodowych, jakie mogą występować w niskonapięciowych przekąznikach prądu przemiennego. W tym zakresie Doktorant scharakteryzował kolejno zjawiska fizyczne, jakie zachodzą podczas zamykania się styków w przypadku braku obciążenia elektrycznego, a następnie opisał proces erozji powierzchni elektrod powodowanej łączeniem prądów roboczych i wywołanych przepływem prądów zwarciovych. Ponadto odniósł się do problemu nagrzewania się styków przekązników w wyniku przepływu prądów roboczych i przetężeniowych, a także przedstawił podstawowe wielkości charakteryzujące zjawisko oddziaływań elektrodynamicznych występujące w łącznikach elektrycznych.

W **rozdziale szóstym** Doktorant w sposób ogólny uzasadnił wybór podjętej problematyki oraz cel i genezę podjętych prac naukowo-badawczych, odnosząc się przy tym do wybranych pozycji literaturowych. Ponadto w rozdziale tym syntetycznie scharakteryzowano zakres pracy, a przede wszystkim sformułowano następującą tezę rozprawy:

„... Procesy elektrodowe wpływają na stan powierzchni stykowej ulegającej erozji oraz na wartość rezystancji przejścia zestyków. Stosowane powszechnie zabezpieczenia przetężeniowe nie chronią w sposób wystarczający zestyków przełączników przed destrukcyjnymi skutkami załączania i przepływu prądów zwarciowych występujących w instalacjach elektrycznych niskiego napięcia ...”

W moim przekonaniu Doktorant prawidłowo i w sposób przemyślany sformułował tezę pracy, którą następnie konsekwentnie, w logicznym ciągu rozprawy udowodnił.

Uważam jednak, że założona teza jest bardzo ogólna i w związku z tym mogłaby wydawać się oczywista, dlatego w mojej ocenie zyskałaby jej walor naukowo-poznawczy poprzez wprowadzenie uszczegółowień.

W rozdziale siódmym scharakteryzowano, wykorzystane przez Doktoranta dla potrzeb realizacji dysertacji, stanowisko laboratoryjne do prowadzenia prób łączeniowych badanych przełączników, przy wykorzystaniu zarówno znamionowych prądów roboczych, jak również zwarciowych. W szczególności w sposób szczegółowy opisano sposób realizacji poszczególnych operacji łączeniowych oraz omówiono schematy elektryczne układów do badań odskoków elektrodynamicznych styków, a także do badań przełączników, które zilustrowano oddzielnie dla torów prądowych oraz obwodów sterowania. W rozdziale tym przeprowadzono także analizę błędu pomiaru rezystancji zestykowej, którą uzupełniono o przykład obliczeniowy (mojej ocenie zbędny). Ponadto w sposób bardzo syntetyczny opisano dodatkowe urządzenia pomiarowe wykorzystane podczas badań i zastosowane oprogramowanie komputerowe. W tym zakresie prosiłbym o jednoznaczne podanie, jaki był udział Doktoranta w zaprojektowaniu i praktycznym wykonaniu dedykowanego stanowiska badawczego, którego widok rzeczywisty został przedstawiony na rys. 7.3 (str. 78). Ponadto, uważam, że przed rozdziałem siódmym, w którym przedstawiono charakterystykę wykorzystanego stanowiska badawczego i zastosowanej dodatkowej aparatury pomiarowej, należałoby w sposób jednoznaczny określić cel/e oraz zakres/y, a także metodykę prowadzonych badań i analizy wyników dla poszczególnych, konkretnie zaplanowanych zadań badawczych. W konsekwencji zwiększyłoby to przejrzystość dysertacji.

Za najważniejsze w treści rozprawie, z punktu widzenia naukowego i poznawczego, uważam przede wszystkim dwa rozdziały ósmy oraz dziewiąty.

W rozdziale ósmym zostały omówione wyniki badań eksperymentalnych przeprowadzonych w warunkach laboratoryjnych z wykorzystaniem zaprojektowanego i wykonanego układu pomiarowego do prób łączeniowych przełączników. W pierwszym podrozdziale zostały określone podstawowe parametry techniczne charakteryzujące cztery rozpatrywane modele miniaturowych przełączników elektromagnetycznych. W podrozdziale 8.2 zostały przedstawione rezultaty dotyczące oceny skutków wzajemnego oddziaływania mechanicznego w stanie bezprądowym styków wykonanych z różnych materiałów. Dla badanych przełączników zostały zarejestrowane przebiegi czasowe odskoków styków roboczych podczas powtarzanych cyklicznie połączeń bezprądowych, na podstawie których wyznaczono czasy trwania kolejnych odskoków i częstość ich wystąpień. Określone zostały także zmiany wartości rezystancji przejścia zestyków zachodzące pod wpływem wykonywanych wielokrotnie, bez obciążenia elektrycznego styków, cykli zamknij – otwórz.

W kolejnym podrozdziale zostały omówione wyniki badań związanych z oceną zmian wartości rezystancji zestykowej i erozji powierzchni stykowej wywołanych połączeniem znamionowych prądów roboczych. Rozważano, przy tym wielowariantowe przypadki prób łączeniowych prowadząc pomiary i analizy dla różnych wartości/fazy napięcia zasilającego i dodatkowo przy prądowym oraz bezprądowym wykonywaniu operacji otwierania i zamykania styków. Na podstawie uzyskanych zależności dokonano analizy porównawczej wyników otrzymanych dla styków wykonanych z różnych materiałów, kondycjonowanych i

niekondycjonowanych. Przy czym uważam, że sformułowanie wykorzystane w tytule podrozdziałów 8.3 i 8.4 „ewaluacja erozji powierzchni styków”, nie jest do końca poprawne pod względem stylistycznym, a przede wszystkim pod względem definicyjnym wyrażenia „ewaluacja”. Podobnie, jak w tytule podrozdziału 8.3.3 „załączanie znamionowego prądu roboczego w zerze napięcia zasilającego”, gdzie poprawniej pod względem stylistycznym można było użyć zwrotu „dla zerowej wartości napięcia zasilającego”. Ponadto pojęcie „zerodowana powierzchnia stykowa”, nie jest raczej wykorzystywane w szeroko rozumianym materiałoznawstwie elektrotechnicznym i stosuje się najczęściej w odniesieniu do erozji zewnętrznych warstw skorupy ziemi.

Ponadto, zostały zaprezentowane wyniki przeprowadzonych obliczeń stopnia nagrzewania się styków (rozdz. 8.5) i oddziaływań elektrodynamicznych (rozdz. 8.6) wywołanych przepływem prądów zwarciovych. Doktorant dokonał oceny stanu cieplnego badanych zestyków w oparciu o wyniki obliczeń analitycznych wartości temperatury w stanie ustalonym w punkcie styku i wartości granicznych przyrostów temperatury. Badania dotyczyły zarówno przepływu znamionowych prądów obciążenia, jak również zwarciovych. Uzyskane wartości zostały następnie poddane weryfikacji przy wykorzystaniu pomiarów termowizyjnych wykonanych w warunkach laboratoryjnych i symulacji komputerowych procesu nagrzewania, które przeprowadzono w programie Agros2D.

Natomiast w rozdz. 8.6 przedstawiono wyniki obliczeń wartości sił oddziaływania elektrodynamicznego styków oraz torów prądowych przekładników, które wyznaczono dla różnych wartości przepływających prądów i materiałów stykowych. Ponadto, głównie na podstawie badań eksperymentalnych dokonano analizy zjawiska odskoków elektrodynamicznych styków i ich szczytów w warunkach zwarciovych. Dodatkowo Doktorant przeanalizował skuteczność działania różnego typu zabezpieczeń (wyłączniki instalacyjne, bezpieczniki) przy przepływie prądów zwarciovych.

Na podstawie analizy uzyskanych wyników, oddzielnie dla każdego z rozpatrywanych przypadków, zostały sformułowane szczegółowe wnioski końcowe. Na podkreślenie zasługuje, że Doktorant każdorazowo przedstawione wyniki badań uzupełniał o omówienie podstaw fizycznych analizowanych zjawisk i procesów.

Na podstawie uzyskanych i zaprezentowanych w rozprawie wyników Doktorant sformułował osiem wniosków o charakterze ogólnym, które przedstawił w **rozdziale dziewiątym**, stanowiących podsumowanie zrealizowanych prac. W rozdziale tym brakuje mi określenia propozycji przyszłych kierunków prowadzenia prac naukowo-badawczych w podjętej przez Doktoranta tematyce, a także bardziej szczegółowego wskazania problemów otwartych oraz sformułowania zaleceń dla producentów przekładników elektromagnetycznych niskiego napięcia.

Sformułowane w sposób syntetyczny wnioski końcowe stanowią potwierdzenie przyjętej w rozprawie tezy.

Pomimo nietypowej struktury, zaproponowany układ pracy, jest w miarę czytelny, a kolejne rozdziały tworzą powiązaną logicznie i zamkniętą całość.

Reasumując, podjęte w rozprawie zagadnienia zostały sprecyzowane jednoznacznie i w mojej ocenie mają rangę naukową odpowiadającą rozprawom doktorskim.

3. Najważniejsze osiągnięcia rozprawy

Do najważniejszych osiągnięć Doktoranta w zakresie naukowym, poznawczym i implementacyjnym zaliczam:

- przeprowadzenie wnikliwego przeglądu doniesień literaturowych, głównie w oparciu o pozycje krajowe, dotyczącego rezystancji przejścia i szeroko rozumianej problematyki procesów elektrodowych parametrów oraz własności fizyko-chemicznych materiałów stykowych wykorzystywanych w elektromagnetycznych przekładnikach niskiego napięcia.
- Zaprojektowanie i praktyczne wykonanie stanowiska badawczego, dokonanie doboru urządzeń pomiarowych, a także szczegółowe zaplanowanie metodyki pomiarów, dokonanie doboru parametrów metrologicznych rejestrowanych wielkości oraz przeprowadzenie wielowariantowych badań w warunkach laboratoryjnych procesów elektrodowych zachodzących w czterech typach niskonapięciowych przekładników prądu przemienne.
- Przeprowadzenie wnikliwej interpretacji uzyskanych wyników oraz zależności z uwzględnieniem szczegółowego opisu podłoża fizycznego badanych procesów i zjawisk.
- Określenie, w oparciu o badania eksperymentalne, wpływu mechanicznego oddziaływania styków wykonanych z czterech różnych materiałów, na zmiany wartości rezystancji przejścia badanych przekładników.
- Dokonanie oceny zmian wartości rezystancji zestykowej i degradacji powierzchni stykowej wywołanych łączeniem znamionowych prądów roboczych dla czterech rozważanych materiałów poddanych procesowi kondycjonowania oraz niekondycjonowanych. Przy czym pomiary i analizę uzyskanych zależności przeprowadzono dla różnych wartości fazy napięcia zasilającego oraz przy prądowym i porównawczo bezprądowym wykonywaniu operacji otwierania i zamykania styków.
- Wykonanie oceny stanu cieplnego badanych zestyków na podstawie wyników obliczeń analitycznych wartości temperatury w stanie ustalonym w punkcie styku i wartości granicznych przyrostów temperatury, dla znamionowego obciążenia oraz przy przepływie prądów zwarciovych.
- Przeprowadzenie weryfikacji uzyskanych zależności opisujących przebieg procesu nagrzewania się styków przy wykorzystaniu pomiarów termowizyjnych wykonanych w warunkach laboratoryjnych oraz w oparciu o wyniki symulacji komputerowych w programie Agros2D.
- Wyznaczenie sił oddziaływania elektrodynamicznego styków oraz torów prądowych przekładników, dla różnych wartości przepływających prądów i materiałów stykowych.
- Przeprowadzenie szczegółowej analizy zjawiska odskoków elektrodynamicznych styków i ich szepień w warunkach zwarciovych badanych przekładników i określenie ich wpływu na stan elektrod.
- Wskazanie, na podstawie analizy otrzymanych rezultatów i zależności, zaleceń w zakresie projektowania oraz eksploatacji elektromagnetycznych przekładników niskiego napięcia, a także dotyczących właściwego doboru zabezpieczeń nadprądowych stosowanych w celu ochrony przed przepływem prądów zwarciovych.

Moim zdaniem, wymienione wyżej główne osiągnięcia Doktoranta uzasadniają Jego kompetencje naukowe i rekomendują Go do stopnia naukowego doktora nauk technicznych.

4. Uwagi do rozprawy

Moje uwagi i zastrzeżenia do recenzowanej rozprawy podzieliłem na trzy grupy tj.:

- uwagi merytoryczne o charakterze ogólnym (10),

- uwagi merytoryczne o charakterze szczegółowym (9),
- uwagi redakcyjne (30).

4.1 Uwagi merytoryczne o charakterze ogólnym

1. Dlaczego i na jakiej podstawie Doktorant założył liczbę 2000 bezobciążeniowych cykli łączeniowych, jako wartość tzw. kondycjonowania. Podczas gdy dla badanych przełączników, niezależnie od ich typu, gwarantowana przez producenta trwałość mechaniczna (liczba cykli) jest większa niż 3×10^7 , a trwałość łączenia (liczba połączeń w kategorii AC1) jest w najgorszym przypadku większa od $0,7 \times 10^5$?
2. Proszę o jednoznaczne wskazanie czy Doktorant samodzielnie zaprojektował, a następnie wykonał układ pomiarowy opisany w rozdziale 7.1 dysertacji, który umożliwiał wykonywanie wielowariantowych prób łączeniowych badanych przełączników.
3. Proszę o podanie kryterium porównawczego, na podstawie którego zostały określone przez Doktoranta m.in. w tab. 8.3 i 8.5 itd. wielkości tzw. „zerodowanej powierzchni stykowej” i dlaczego zostały one zbadane po 50 cyklach załączania i wyłączania prądu znamionowego? W związku z tym z jaką dokładnością zostały określone wartości zerodowanej powierzchni stykowej, które są na przykład porównywane w tab. 8.12 ?
4. Na str. 101 Doktorant napisał „... dla losowo wybranych prób wykonywane były rejestracje ...”. Mając na uwadze statystykę matematyczną prosiłbym o podanie zastosowanej metody losowania.
5. Doktorant w dysertacji użył m.in. następujących sformułowań „... wartość ta korelowała z przedstawionymi na rysunku 8.5. ...”, a także „... można zauważyć, że wartość średnia rezystancji przejścia przed próbą korelują, dla danego materiału stykowego, z wartościami przedstawionymi na rysunku 8.5 ...”, czy we wnioskach „... wielkość zerodowanej powierzchni styków nie wykazuje wyraźnej korelacji z wartością rezystancji zestykowej ...”. Zatem czy Doktorant określał, jaka jest współzależność, z punktu widzenia statystycznego, między analizowanymi zmiennymi (funkcyjna, czy probabilistyczna) i czy wykorzystywał w tym zakresie np. opisowe miary korelacji ?
6. Prosiłbym o komentarz dotyczący zastosowanej liczby miejsc znaczących dla wartości rezystancji zestykowej, odchylenia standardowego i wielkości zerodowanej powierzchni stykowej (np. tablica 8.4 i 8.5), uwzględniając przedziały ufności. Zwłaszcza, że w tekście dysertacji wyniki prezentowane są z inną dokładnością niż w tablicach, a w przypadku wartości zerodowanej powierzchni stykowej liczba miejsc dziesiętnych jest różna np. tab. 8.16 (trzy miejsca znaczące) czy 8.10 (dwa miejsca znaczące).
7. W dysertacji najczęściej jako jedyny wskaźnik miar położenia zarejestrowanych danych w próbie wykorzystywana jest wartość średnia. Natomiast Doktorant nie określił czy jest to średnia arytmetyczna prosta czy ważona. Ponadto średnią arytmetyczną wykorzystuje się w przypadku gdy rozkład cechy w próbie jest w przybliżeniu symetryczny, czyli w sytuacji gdy poszczególne wartości rozkładają się w przybliżeniu symetrycznie wokół wartości średniej. Dotyczy to przede wszystkim zbiorów jednorodnych, o niewielkim zróżnicowaniu zmiennych wartości rozpatrywanej cechy. Natomiast w miarę wzrostu asymetrii i zróżnicowania analizowanych rozkładów, a także dla rozkładów biomodalnych i wielomodalnych średnia arytmetyczna traci swoją wartość poznawczą. Czy mając powyższe na uwadze Doktorant rozważał wykorzystanie innych wskaźników statystyk opisowych, czy badał rozkłady uzyskanych danych pomiarowych i dlaczego tylko w jednym przypadku obliczył wartość mediany, a jako jedyny wskaźnik będący miarą rozproszenia wykorzystał odchylenie standardowe ?
8. Doktorant najczęściej wykorzystywał w badaniach pięć egzemplarzy przełączników dla każdego z czterech rozpatrywanych typów, wykonując wielokrotnie dla każdego z analizowanych wariantów, operacje łączeniowe. Czy mając powyższe na uwadze

Doktorant stosował metody wnioskowania statystycznego w celu określenia odtwarzalności i powtarzalności uzyskiwanych wyników, a w szczególności wartości rezystancji zestykowej ? Jaki walor poznawczy o charakterze ogólnym w ujęciu powtarzalności mają wartości wyrażające wielkość pola powierzchni zerodowanej powierzchni stykowej ?

9. W podsumowaniu rozdz. 8.3.7 znajduje się sformułowanie, że „... erozja łukowa prowadzić będzie zarówno do zmian masy stycek (rozdz. 5.2) ...”. Czy zatem oprócz obserwacji zmian struktury ich powierzchni wykonywane były dodatkowo pomiary ich masy ?
10. Jak Doktorant skomentuje ujemną wartość średniej wartości rezystancji przejścia w tabeli 8.19 ?

4.2 Uwagi merytoryczne o charakterze szczegółowym

1. Moim zdaniem Doktorant wielokrotnie używa niepoprawnego sformułowania „styczki” m.in. na str. 17 i 18 itd. Poprawnie powinno być styki.
2. Na rysunkach przedstawiających przebiegi prądu i napięcia między stykami przekaźnika (np. 8.2, 8.9 itd.), Doktorant nie podaje jego typu. Czy zatem są one takie same, reprezentatywne i niezależne od modelu badanego przekaźnika ?
3. W kilku przypadkach w dysertacji brakuje wskazania cytowań literaturowych. W szczególności dotyczy to przedstawianych w pracy wzorów i wyrażeń matematycznych (np.: 4.2-4.6; 4.11; 5.5; 5.6; 5.32) czy kilku rysunków (np.: rys. 2.2) opracowanych na podstawie informacji literaturowych.
4. W tablicach 8.14, 8.15, 8.19 itd. podano wartości odchylenia standardowego, dla których wartości rezystancji przejścia zostały one wyznaczone ?
5. W tekście jest „... wykonywano pomiary rezystancji przejścia $\bar{R}_p$...”. Moim zdaniem, raczej nie wykonywano pomiarów wartości średniej rezystancji przejścia.
6. Brak konsekwencji w zastosowaniu znaku: „ . „ (kropki) i „ , „ (przecinka) w celu oddzielenia części całkowitej i dziesiętnej liczb. W tabelach jest znak przecinka, a na wykresach najczęściej wykorzystywany jest znak kropki.
7. Brak odniesienia się w tekście pracy do tablicy 2.2 na str. 16 oraz tablicy 3.5 na str. 30.
8. Brak cytowania lub stosownego komentarza do rysunku 2.2 na str. 16.
9. Doktorant niepoprawnie zamiennie używa wyrazu „ilość i „liczba” w stosunku do rzeczy policzalnych.

4.3 Uwagi redakcyjne

Moim zadaniem, recenzowana rozprawa została zredagowana w sposób poprawny, zawiera jednak kilka powtórzeń, a także błędów redakcyjnych. Występują natomiast stosunkowo liczne błędy stylistyczne, niezręczności językowe, czy sformułowania nietechniczne. Należy przy tym podkreślić, że wskazane błędy o charakterze redakcyjnym nie wpływają w sposób znaczący na ocenę merytoryczną recenzowanej dysertacji.

W recenzowanej pracy znalazłem tylko kilka błędów interpunkcyjnych, pomimo tego, że Doktorant często stosuje długie i wielokrotnie złożone zdania. W szczególności dotyczy to części opisowych związanych z analizą i próbami fizycznej interpretacji uzyskanych wyników oraz wykazanych zależności. W tym zakresie sugerowałbym aby w przyszłości stosować zdania i wyrażenia mniej złożone, mając na uwadze możliwości publikacji wyników w czasopiśmie międzynarodowych oraz konieczności wykonywania tłumaczeń na język angielski. Ponadto zwiększy to czytelność oraz ułatwi czytelnikom jednoznaczną interpretację przekazywanych treści merytorycznych.

Poniżej przedstawiłem przykłady niepoprawnych wyrażen, sformułowań i błędów o charakterze redakcyjnym:

1. Wybrane przykłady zwrotów potocznych i sformułowań nietechnicznych: „... mnogość systemów ...” (str. 11); „... jest to kolejny przyczynek do pojęcia tematu ...” (str. 11); „... można zauważyć zagłębiając się w dane ich katalogowe ...” (str. 14); „... platyna jest materiałem opronym na zużycie ...” (str. 25); „... w rozmaitych kształtach ...” (str. 27); „... na które wyrabia się styczki ...” (str. 27); „... nie osiągają dużych wartości ...” (str. 46); „... o bardzo wysokiej temperaturze ...” (str. 48); „... wysoka temperatura ...” (str. 48); „... powodować drastycznie odmienne skutki ...” (str. 56); „... każda plamka łukowa ...” (str. 57); „... stawia łagodniejsze warunki ...” (str. 56); „... o znacznej sile ...” (str. 59); „... o dłuższym czasie trwania ...” (str. 59); „... z dala od punktu ...” (str. 59); „... prądu o znacznej wartości ...” (str. 70); „... o umiarkowanych wartościach prądu ...” (str. 73); „... o niewielkim natężeniu prądu ...” (str. 73); „... wykonywaniu dużej liczby pomiarów ...” (str. 79); „... na podstawie wielu wyników ...” (str. 79); „... są niezmiernie krótkie ...” (str. 88); „... znacznej liczby odskoków ...” (str. 88); „... wykresów można orzec ...” (str. 92); „... niewielki wzrost rezystancji ...” (str. 92); „... charakteryzuje się pewną ziarnistością ...” (str. 92); „... rozmiar jest niewielki ...” (str. 98); „... jest dość znaczna ...” (str. 108); „... jest szybki spadek temperatury styczki w niewielkiej odległości ...” (str. 141); „... przyrost ten jest niewielki ...” (str. 143); „... przy dużej stromości narastania ...” (str. 143); „... zmienia się niewiele w zależności ...” (str. 157).
2. Wybrane przykłady niepoprawnych pod względem stylistycznym i gramatycznym sformułowań: „... odprowadzający go zeń ...” (str. 9); „... literatura naukowa objaśnia ...” (str. 11); „... modyfikacja ta będzie manifestować się ...” (str. 12); „oczywiste staje się to, że ...” (str. 14); „... bogato opisana w literaturze ...” (str. 50); „... próba uchwycenia zależności ...” (str. 73); „... uwag wspartych przeprowadzoną analizą ...” (str. 74); „... korzystano również z szeregu aparatury ...” (str. 81); „... na zakresie pomiarowym ...” (str. 80); „... sytuacja prezentuje się inaczej ...” (str. 101); „... Do oceny globalnej ...” (str. 112); „... nie odbyło się centrycznie ...” (str. 118); „... może być dominującym przyczynkiem ...” (str. 129); „... to przytaczane badania podważają ...” (str. 130); „... przy większej tej powierzchni ...” (str. 152); „... przywoływane w literaturze ...” (str. 152).
3. W pracy dostrzegłem tylko dwa powtórzenia wyrazów w następujących zdaniach: „... przedstawiono w tablicy 3.1. Przedstawiono w niej również ...” (str. 25); „... wykonywany był pomiar rezystancji przejścia, wykonywany ...” (str. 95).
4. W tekście rozprawy znajdują się trzy błędy ortograficzne: „który eroduje” – poprawnie „który eroduje” (str. 122); przez „konwekcje i radiację” – powinno być „konwekcję i radiację” (str. 140); „wyższym wartością maksymalnej temperatury” – powinno być „wyższymi wartościami maksymalnej temperatury” (str. 145).
5. W tekście jest niepoprawnie „mogą być większe”, a powinno być „może być większa” (str. 128).
6. W tekście jest niepoprawnie „jest umiejscowiona”, a powinno być bez „jest umiejscowiony” (str. 137).
7. W pracy jest niepoprawnie „granicą”, a powinno być „granica” (str. 126).
8. W tekście jest niepoprawnie „... aby mechanizm łącznik wywierał ...”, a powinno być „... aby mechanizm łącznika wywierał ...” (str. 25).
9. W tekście jest niepoprawnie „materiału”, a powinno być „materiały” (str. 27).
10. W tekście jest niepoprawnie „utworzona”, a powinno być „utworzonej” (str. 34).
11. W tekście jest niepoprawnie „powstałem”, a powinno być „powstałej” (str. 59).
12. W tekście jest niepoprawnie „postania”, a powinno być „powstania” (str. 59).
13. W tekście jest niepoprawnie „wywierające”, a powinno być „wywierający” (str. 71).

14. W tekście jest niepoprawnie „miedzy”, a powinno być „między” (str. 73).
15. W tekście jest niepoprawnie „techniczne”, a powinno być „techniczno” (str. 73).
16. W tekście jest niepoprawnie „dokonywana”, a powinno być „dokonywano” (str. 77).
17. W tekście jest niepoprawnie „stany”, a powinno być „stanu” (str. 87).
18. W tekście jest niepoprawnie „w przypadku”, a powinno być „przypadku” (str. 96).
19. W tekście jest niepoprawnie „po mikroskopem”, a powinno być „pod mikroskopem” (str. 105).
20. Jaki jest sens zdań: „...W rezultacie takiego sposób pracy układu przekaźnik ...” (str. 111); „...W rozpatrywanym przypadku pojawienie się roztopionego materiału, przy przepływie prądu, będzie zdominowane oddziaływaniem łuku elektrycznego i transportem płynnego metalu...” (str. 110); „...Wynika to z największej wartości rezystancji przejścia wykorzystanej w obliczeniach, a uzyskanej z pomiarów. ...” (str. 145).
21. W tekście jest niepoprawnie „średnią”, a powinno być „średnia” (str. 111).
22. W tekście jest niepoprawnie „w każdej”, a powinno być „w każdym” (str. 111).
23. W tekście jest niepoprawnie „umiejscowiona”, a powinno być „umiejscowiony” (str. 137).
24. W tekście jest niepoprawnie „zmierzenie”, a powinno być „zmierzenia” (str. 143).
25. W tekście brakuje „się” w wyrażeniu „nagrzewa w stosunku” (str. 143).
26. W kilku miejscach dysertacji brak konsekwencji w stosowaniu skrótu SEM w odniesieniu do mikroskopu skaningowego.
27. Jest „styko” a powinno być „styków” (str. 145).
28. W tekście jest niepoprawnie „jest dwukrotnie”, a powinno być „są dwukrotnie” (str. 145).
29. Jaki jest sens wyrażenia: „jest prawie 257 większy niż ...” (str. 150).
30. W tekście jest niepoprawnie „umiejscowiona”, a powinno być „umiejscowiony” (str. 153).

Podsumowując, przedstawione w recenzji uwagi i zastrzeżenia nie wpływają na wartość merytoryczną rozprawy. Proszę jednak Doktoranta o odniesienie się do nich przed obroną. W związku z powyższym recenzowana praca nie wymaga żadnych zmian czy dodatkowych uzupełnień.

5. Wniosek końcowy

Oceniana rozprawa doktorska dotyczy aktualnego i oryginalnego zagadnienia naukowego o zaznaczonym charakterze implementacyjnym związanym z możliwością wdrożenia uzyskanych wyników w procesie projektowania, a także eksploatacji przekaźników niskiego napięcia.

Główne cele rozprawy były konsekwentnie realizowane i w mojej ocenie zostały osiągnięte. Doktorant wykazał się zdolnością samodzielnego formułowania i rozwiązywania problemów o charakterze naukowym i poznawczym, a także bardzo dobrym opanowaniem wiedzy teoretycznej z zakresu szeroko rozumianej elektrotechniki, energoelektroniki, metrologii, przede wszystkim materiałoznawstwa elektrotechnicznego i fizyki technicznej. Ponadto, Doktorant posiada praktyczne umiejętności w zakresie planowania eksperymentów naukowych i wykonywania pomiarów wielkości elektrycznych i nieelektrycznych w warunkach laboratoryjnych.

Uważam, że przedłożona dysertacja spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim, określone w obowiązującej Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki. Dlatego stawiam wniosek o jej przyjęcie i dopuszczenie przez Radę Wydziału Elektrycznego Politechniki Poznańskiej, mgr inż. Andrzeja Książkiewicza do publicznej obrony przedłożonej rozprawy.