

RECENZJA
rozprawy doktorskiej mgra inż. Sebastiana Łapczyńskiego
pt.: „Analiza zjawisk fizycznych w układach stykowych i torach prądowych
podczas przepływu prądu znamionowego i zwarciovego”

Recenzja rozprawy mgra inż. Sebastiana Łapczyńskiego została opracowana na podstawie uchwały Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Warszawskiej zawartej w piśmie Przewodniczącego Rady prof. dra hab. inż. Tomasza Stareckiego - pismo z dnia 28.09.2023r. i zlecenia prof. dra hab. inż. Lecha Grzesiaka - Dziekana Wydziału Elektrycznego Politechniki Warszawskiej.

1. Ocena wyboru tematyki, celu, tezy i zakresu rozprawy.

Opiniowana rozprawa mgra inż. Sebastiana Łapczyńskiego pt.: „*Analiza zjawisk fizycznych w układach stykowych i torach prądowych podczas przepływu prądu znamionowego i zwarciovego*” wydana w 2023 roku, zawiera 230 stron, składa się z: 10 rozdziałów, bibliografii, spisu rysunków i spisu tabel. Bibliografia zawiera 120 pozycji. W bibliografii brak publikacji Doktoranta. Rozprawa dotyczy dyscypliny naukowej *Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne*.

Promotorem rozprawy doktorskiej jest dr hab. inż. Łukasz Kolimas, prof. Uczelni.

Problematyka związana z badaniami eksperymentalnymi oraz modelowaniem numerycznym zjawisk w urządzeniach i aparatach elektrycznych jest ważna i aktualna, zwłaszcza w aspekcie wspomaganie projektowania i optymalizacji konstrukcji tych obiektów metodami symulacyjnymi. Pozwala to istotnie skrócić i zmniejszyć koszt opracowania nowych konstrukcji. Problematyka podjęta w rozprawie jest ważna z teoretycznego oraz z praktycznego punktu widzenia.

W tytule rozprawy podano, że zjawiska w rozpatrywanych układach będą analizowane dla prądów znamionowych i zwarciovych. W rozprawie najwięcej miejsca poświęcono badaniu zjawisk przy prądach znamionowych a znacznie mniej miejsca analizie zjawisk przy prądach zwarciovych - pojedyncza symulacja dla układu szyn zbiorczych rozdzielnicy niskiego napięcia oraz badania eksperymentalne komory gaszeniowej wyłącznika niskiego napięcia.

Celem rozprawy jest zbadanie zjawisk fizycznych w aparatach elektrycznych i urządzeniach rozdzielczych, ze szczególnym uwzględnieniem procesów termicznych. Niezbyt zrozumiałe jest wymienienie jako jednego z celów badanie „rozkładów ładunku elektrycznego”. Być może Doktorant miał na myśli rozkład gęstości prądu elektrycznego lub plazmę, która jest w tym przypadku elektrycznie obojętna. Ogólnie cel pracy opiniujący ocenia pozytywnie.

Tezą rozprawy jest stwierdzenie „W procesie analizy zjawisk fizycznych występujących w układach stykowych oraz torach prądowych możliwe jest wykorzystanie metody elementów skończonych w celu otrzymania wyników będących porównywalnymi, co do jakości oraz wartości z tymi, które zostały uzyskane na drodze rzeczywistego eksperymentu. Otrzymane w ten sposób modele zjawisk fizycznych pozwalają na optymalizację projektowania konstrukcji układów stykowych oraz torów prądowych”. Tak sformułowana teza jest trywialna. W ogromnej liczbie dotychczasowych wydawnictw i publikacji pokazano, że wykorzystanie symulacji do projektowania, badania i optymalizacji różnych układów, urządzeń i systemów, nawet znacznie bardziej złożonych, niż analizowane w opiniowanej monografii, jest bardzo skuteczną i efektywną metodą postępowania. W wielu dotychczasowych publikacjach przedstawiono skuteczność badań różnych zjawisk w aparatach elektrycznych metodą symulacji komputerowych. Co zatem należy udowodnić przy tak sformułowanej tezie? Dodatkowo, należy zwrócić uwagę, że nie tyle chodzi o wykorzystanie metody elementów skończonych a o wykorzystanie komercyjnych programów symulacyjnych.

Jeśli chodzi o zakres rozprawy, to dotyczy on badań eksperymentalnych i symulacyjnych kilku wybranych aparatów elektrycznych i ich podzespołów oraz układów rozdzielczych, głównie w warunkach znamionowych. Jest to istotne zawężenie w stosunku do tytułu rozprawy, gdzie wyeksponowano również badania w warunkach zwarciovych, które są znacznie bardziej wymagające w zakresie uzyskiwanych parametrów. Porównania wyników badań eksperymentalnych i symulacyjnych mają stanowić dowód na prawdziwość postawionej w rozprawie tezy. Porównywaniu podlegały głównie wartości temperatury uzyskane w eksperymentach i w symulacjach. Zrealizowany zakres ma według Doktoranta spełniać cel i udowadniać tezę rozprawy. Odnośnie sposobu realizacji celu i zakresu rozprawy opiniujący ma szereg uwag krytycznych, co zostanie przedstawione w omówieniu treści rozprawy.

Konkluzja oceny wyboru tematyki, celu, zakresu i tezy rozprawy.

Pozytywnie oceniam wybór tematyki i celu rozprawy doktorskiej mgra inż. Sebastiana Łapczyńskiego. Zakres rozprawy, w odniesieniu do liczby badanych obiektów oceniam jako zbyt obszerny, co ograniczyło w ramach rozsądnej objętości możliwość szczegółowego omówienia, zwłaszcza symulacji komputerowych. Tezę rozprawy uznaję jako zbyt trywialną i uważam, że powinna być sformułowana inaczej.

2. Omówienie i ocena treści rozprawy

W rozdziale 1., będącym wstępem, podano ogólne wprowadzenie w tematykę rozprawy. Zaznaczono, że rozprawa składa się z dwóch części: teoretycznej i badawczej. Podano co zostanie przedstawione w części teoretycznej i wykonane w części badawczej. Doktorant przywołał również swoją współpracę z laboratoriami badawczymi oraz firmami komercyjnymi z branży elektrycznej.

Rozdział 2. jest obszerny (70 stron) i stanowi przegląd wiedzy dotyczącej układów stykowych i torów wieloprądowych. W rozdziale tym omówiono wybrane zagadnienia konstrukcyjne, technologiczne, konkretne rozwiązania techniczne, zjawiska fizyczne, zależności empiryczne i modele matematyczne zjawisk na podstawie istniejącej literatury przedmiotu i badań własnych Doktoranta. Jest to rodzaj pewnego wyselekcjonowanego kompendium wiedzy nawet wykraczającej poza tematykę rozprawy. Powołania na literaturę są sporadyczne i niekonsekwentne. Niemal regułą jest brak wskazania źródeł literaturowych dotyczących różnych faktów, danych i zależności. W mojej opinii wiele podanych informacji jest powszechnie znana specjalistom i ich omawianie w rozprawie nie jest celowe. Jest to tzw. klasyka. Rozdział ten powinien być zwyczajowo przeglądem literatury powiązanej z tematem i celem rozprawy z zaznaczeniem co w tej tematyce zostało zrobione, co nie zostało zrobione lub zrobione niewłaściwie i jakie wnioski stąd wynikają, biorąc pod uwagę cel, tezę i zakres rozprawy. Powinien być również uzasadniony również wybór obiektów do badań.

Bardziej szczegółowo omówiono następujące zagadnienia:

- a) rozwiązania konstrukcyjne układów stykowych i torów prądowych,
- b) zjawiska fizyczne w układach stykowych i torach prądowych,
- c) numeryczna analiza zjawisk fizycznych z wykorzystaniem MES (powinno być raczej komercyjnych programów symulacyjnych).

W części a) omówiono różne rozwiązania konstrukcyjne i funkcjonalne układów stykowych i torów prądowych, w większości nie analizowane w głównej części rozprawy. Można zatem mieć wątpliwość odnośnie celowości prezentacji większości tych rozwiązań.

W części b) omówiono również różne zjawiska występujące w układach stykowych i torach prądowych, a zwłaszcza proces nagrzewania elementów tych układów ciepłem Joule'a. Podano modele matematyczne procesu nagrzewania i transportu ciepła. Przywołano znane kryteria podobieństwa dotyczące transportu ciepła, ale nie podano w jaki sposób zostaną one wykorzystane w rozprawie. Podano równania służące do określenia temperatury toru prądowego, a mianowicie: (27) – dla toru prądowego w funkcji czasu i równanie (33) – dla toru prądowego przy wzdłużnym transporcie ciepła w stanie ustalonym. Równanie (27) opisuje proces nagrzewania jednorodnie nagrzewanego przewodnika z uwzględnieniem energii wewnętrznej, konwekcji ale bez uwzględniania energii promieniowania. Nie podano czy równanie to zostanie w rozprawie wykorzystane. Równanie (33) opisuje rozkład temperatury wzdłuż przewodnika (w domyśle układu stykowego), również bez uwzględniania energii promieniowania. Uwzględnienie energii promieniowania powodowałoby, że w obydwu przypadkach równia te byłyby silnie nieliniowe. Podane

rozwiązanie równania (33) nie uwzględnia zmiany przekroju układu stykowego, co powoduje, że rozważanie to nie ma większego sensu. W podanych rozważaniach jest szereg niejasności dotyczących różnych symboli i oznaczeń, niezgodności wymiarów fizycznych oraz błędów (korekcyjnych?) polegających na nieuwzględnianiu różnych składników. Zresztą powstaje pytanie po co przytaczać te równania, skoro i tak Doktorant zamierza stosować komercyjne programy symulacyjne (określane w rozprawie jako metoda MES), a więc analizować rozkłady przestrzenne i przestrzenno-czasowe różnych wielkości fizycznych? Nie są to równania stanowiące modele matematyczne badanych zjawisk. Po omówieniu tych równań Doktorant podał odniesienia do publikacji, w których autorzy analizowali procesy nagrzewania z uwzględnieniem rozkładów czasowo-przestrzennych. Rozważania dotyczące zjawiska naskórkowości i efektu zbliżenia są podane w sposób nieprecyzyjny i niezbyt jasny. Oprócz ogólnego opisu tych zjawisk nie podano czy Doktorant będzie je uwzględniał, czy zostaną w rozważaniach pominięte. Brak ustosunkowania się do procesu nagrzewania się styków, ich odskoków a także ewentualnego zgrzewania się styków. Jest to bardzo ważne przy konstruowaniu układów stykowych i ich eksploatacji, ale nie jest bezpośrednio związane z celem i zakresem opiniowanej rozprawy. Podano szereg zależności teoretyczno-empirycznych dotyczących rezystancji zestykowej nie podając źródeł ich pochodzenia a także celowości przytaczania w rozprawie. Omówiono również wybrane techniki gaszenia łuku elektrycznego oraz oddziaływań elektrodynamicznych w układach przewodów, które również nie są bezpośrednio związane z celem i zakresem opiniowanej rozprawy.

W części c) dotyczącej numerycznej analizy zjawisk fizycznych z wykorzystaniem MES podano ogólne informacje dotyczące analizy numerycznej zjawisk. Nie podkreślono wyraźnie, że na obecnym etapie symulacji komputerowych użytkownicy wykorzystują różnego rodzaju dostępne komercyjne oprogramowanie komputerowe, w których użytkownik ma pewne opcje wyboru szczegółów dotyczących metody numerycznej oraz wprowadza geometrię, odpowiednie warunki brzegowe i ew. początkowe oraz dane materiałowe i wymagane współczynniki. Metodą MES, jako taką zajmują się firmy produkujące gotowe pakiety odpowiednich programów symulacyjnych i oczywiście naukowcy zajmujący się metodami numerycznymi. Pisząc o „sprzężonych symulacjach MES” nie podano na czym polega to sprzężenie i jak zostanie zrealizowane w rozprawie doktorskiej. Podano ogólną informację dotyczącą „numerycznej syntezy układów stykowych oraz torów prądowych” ale nie podano w jakim oprogramowaniu jest możliwa realizacja tej syntezy i czy będzie to realizowane w rozprawie. Schematy blokowe podane na rys. 2.31 i 2.32 dotyczące rozwiązywania zadania projektowego i procesu decyzyjnego nie są związane bezpośrednio z badaniami realizowanymi w rozprawie i nie są w niej realizowane. Podsumowując ten obszerny rozdział należy stwierdzić, że nie stanowi on przejrzystego i jasnego uzasadnienia celu, tezy i zakresu opiniowanej rozprawy doktorskiej.

W rozdziale 3. przedstawiono cel, tezę i zakres rozprawy doktorskiej omówionych w punkcie 1. recenzji.

W rozdziale 4. przedstawiono analizę i symulacje dotyczące nagrzewania wkładki topikowej. We wprowadzeniu do rozdziału podano wiele dziwnych informacji dotyczących parametrów a także modelowania bezpiecznika. Co np. oznacza stwierdzenie, że „wielu badaczy jako podstawowy parametr wybiera jedynie energię początkową zabezpieczenia”? Czy zabezpieczenie ma energię początkową, jaką? Dalej mówi się o optymalnym modelu wkładki bezpiecznikowej w oparciu o katalogową wartość całki Joule’a. Nie podaje się czy całki przedłukowej czy całkowitej. Model wkładki bezpiecznikowej jest znacznie bardziej złożony niż sugeruje Doktorant. Podstawowym problemem jest konstrukcja elementu topikowego bezpiecznika, który powinien spełniać wiele warunków. Bardzo ważny jest również rozkład temperatury w topik w różnych warunkach, co nie jest w ogóle analizowane w rozprawie. Zdumiewa opis modelu matematycznego bezpiecznika, który wg Doktoranta opiera się o równania Maxwella oraz o równania Naviera-Stokesa. Już same objaśnienia wielkości fizycznych budzą zdumienie, jak np. „wektor prędkości gęstości prądu”, „wektor gęstości strumienia prądu elektrycznego”, pod symbolem E kryje się jednocześnie „wektor natężenia pola elektrycznego” i „wektor gęstości strumienia magnetycznego”, są dwa różne symbole operatora nabla, symbole u , v , w – oznaczają „szybkości w układzie kartezjańskim”!!, symbole T_x , T_y i T_z nie są w ogóle objaśnione itd. To świadczy o braku zrozumienia istoty i sensu fizycznego tych ważnych w fizyce i technice praw i wyrażających je równań. Czy równania Maxwella i Navier-Stokesa stanowią model matematyczny bezpiecznika? To są prawa zbyt ogólne jak na obiekt który

mają opisywać. Trzeba wprowadzić wiele założeń i uproszczeń do tych ogólnych praw aby można było opisać taki aparat jak bezpiecznik. W literaturze są podane równania opisujące proces nagrzewania wkładki bezpiecznikowej. Przedstawiając bilans energii cieplnej niepotrzebnie wprowadzono określenie „fala elektromagnetyczna”, co nie jest błędem ale w sposób sztuczny komplikuje sens fizyczny zjawisk.

Przedstawiono stanowisko i wyniki pomiarów temperatury w różnych punktach na powierzchniach bocznych wkładki bezpiecznikowej i jej styków. Symulacje rozkładu temperatury w bezpieczniku wykonano w programie ANSYS Workbench, w środowiskach Maxwell i Transient Thermal. Podano, że jest to „sprzężona analiza matematyczna”. Jak rozumieć sprzężenie i jak je realizowano? Chodzi przecież o sprzężenie pola elektromagnetycznego z polem termicznym. W trakcie nagrzewania zmieniają się właściwości fizyczne materiałów wkładki, w tym zwłaszcza rezystywność elementu topikowego (wzrasta o około 40% przy wzroście temperatury o 100°C) i całego toru prądowego, a także inne parametry. Wymaga to uwzględniania sprzężenia pól w każdym kroku czasowym symulacji. Podano, że po obliczeniach związanych z przepływami prądu wykonano „analizę termiczną”. W takim podejściu to nie jest sprzężenie pola elektromagnetycznego i termicznego zdefiniowane w literaturze. Nie podano w ogóle stosowanych uproszczeń, wartości wielu parametrów i danych, przy użyciu których wykonano symulacje. Jak modelowano np. złożony kształt topika w bezpieczniku? W warunkach pracy znamionowej bezpiecznik pracuje w warunkach ustalonych, więc czy nie należało modelować nagrzewania jako procesu ustalonego? To bardzo uprościłoby i istotnie skróciłoby symulacje i sugerowałoby ewentualnym czytelnikom rozprawy sposób postępowania. Jest zatem wiele pytań i niejasności dotyczących symulacji bezpiecznika. Badania eksperymentalne i symulacje bezpiecznika wykonano tylko dla warunków znamionowych i zbliżonych do znamionowych. Uzyskano dobrą zgodność wartości temperatury w określonych punktach na obudowie bezpiecznika z pomiarów i symulacji. Należy wątpić że stanowi to potwierdzenie równoważności badań eksperymentalnych i symulacyjnych.

W rozdziale 5. przedstawiono analizę i symulacje nagrzewania toru prądowego wyłącznika niskiego napięcia. We wprowadzeniu do rozdziału Autor podaje, że opracowany na potrzeby rozprawy „dynamiczny model numeryczny” może zostać wykorzystany do wspomagania badań w zasadzie wszystkich podzespołów wyłącznika oraz do ich optymalizacji. Na czym polegało to opracowanie i co to jest „model dynamiczny”? Nie wiadomo po co tak duża uniwersalność modelu, skoro rozdział dotyczy tylko nagrzewania toru prądowego.

W modelu matematycznym Doktorant podaje w bardzo ogólnej postaci równanie Siegala i Howella (jako rozszerzenie prawa Stefana-Boltzmann) (80) dotyczące energii promieniowania oraz równanie (81) „na przewodzenie i konwekcję” sic! Czy to jest inne podejście niż zastosowane w rozdziale trzecim dotyczącym bezpiecznika? W objaśnieniach do równania (81) jest szereg niejasnych i powtarzających się oznaczeń. Co fizycznie oznacza trzecia pochodna gęstości ciepła (nad symbolem strumienia ciepła są trzy kropki, co standardowo oznacza trzecią pochodną po czasie) nazwana „stopniem powstawania ciepła”? Po co tworzyć nowe pojęcia?

Symulacje komputerowe zjawisk elektromagnetycznych i termicznych wykonano przy użyciu solverów Maxwell 3D i Transient Thermal. Podano informację o sprzężeniu, chociaż podobnie jak w poprzednim rozdziale nie sprecyzowano na czym ono polega. Jeżeli całościowe wyniki uzyskane z pierwszego solvera wykorzystano w drugim, to nie jest to sprzężenie. Podobnie jak w poprzednim rozdziale nie podano wielu szczegółów dotyczących symulacji, co uniemożliwia ich odtworzenie. W tym przypadku pojawia się pytanie: dlaczego wykonywano symulacje w stanie nieustalonym, chociaż poszukiwano wyników w stanie ustalonym?

Opisany układ eksperymentalny do pomiaru rozkładu temperatury w różnych punktach toru prądowego nie budzi wątpliwości. Uzyskano dobrą zgodność wartości temperatury w określonych punktach na obudowie bezpiecznika z pomiarów i symulacji. Badania wykonywano tylko w warunkach normalnej (znamionowej) pracy wyłącznika.



W rozdziale 6. rozprawy omówiono analizę i symulacje nagrzewania torów prądowych przemysłowej rozdzielniczy niskiego napięcia w znamionowych warunkach pracy. We wprowadzeniu podano szereg oczywistych informacji dotyczących procesu nagrzewania i różnych mechanizmów transportu ciepła, omówionych również w podanych w poprzednich rozdziałach. Takie podejście zbędnie zwiększyło objętość rozprawy. Omówiono również stanowisko do badań eksperymentalnych rozdzielniczy w normalnych warunkach pracy i podano wyniki pomiarów temperatury w wielu różnych punktach, zarówno w formie wykresów jak i w formie tabel. Omawiając symulacje z zaznaczeniem „sprężone” nie podano, czy sprężenie jest jedno- czy dwukierunkowe. Z opisu wynika, że raczej jednokierunkowe, co może powodować znaczne błędy, zwłaszcza przy nagrzewaniu torów prądowych do wysokiej temperatury. Nie ustosunkowano się do tego zagadnienia. Wykonano dwa różne model symulacyjne: pierwszy, z wykorzystaniem modułów Maxwell 3D i Transient Thermal, oraz drugi z wykorzystaniem modułów Maxwell 3D i Fluent CFD 2D. Symulacje 2D wykonywano ze względu na posiadany sprzęt komputerowy o ograniczonych możliwościach. Symulacje 2D wykonano dla modelu o bardzo uproszczonej geometrii. W obydwu przypadkach nie podano wielu szczegółowych, ważnych informacji dotyczących wykonanych symulacji. Dotyczy to również ewentualnego porównania symulacji 3D i 2D. Nie wyjaśniono na czym polegają różnice pomiędzy tymi modelami symulacyjnymi. Analiza rozkładu temperatury z wykorzystaniem modułu Transient Thermal nie uwzględnia w sposób bezpośredni naturalnych procesów takich jak, np. transportu ciepła metodą konwekcji. Wykonano również bardzo ograniczone symulacje rozdzielniczy dla prądu zwarciovego, ale ze względu na brak odpowiednich badań eksperymentalnych dla tego prądu nie dokonano weryfikacji modelu symulacyjnego. W podsumowaniu Doktorant pisze o „zgodności” wyników z solverów Fluent i Transient Thermal, co nie znajduje potwierdzenia w przedstawionych wynikach symulacji. Wnioski podane w podsumowaniu rozdziału są trywialne.

Rozdział 7. poświęcono analizie i symulacji zjawisk w komorach gaszeniowych wyłączników niskiego napięcia z płytkami dejonizacyjnymi. Badania eksperymentalne wykonano w układzie zwarciovym zasilanym z sieci i w układzie syntetycznym przy prądach zwarciovych. Wyniki badań przedstawiono w formie przebiegów rejestrowanych przy użyciu oscyloskopu. Wyłączniki zawierające w komorze 9 płytek dejonizacyjnych nie wytrzymały próby zwarciowej, natomiast z 13 płytkami dały wynik pozytywny. Opis modelu symulacyjnego jest bardzo chaotyczny. Doktorant wymienia bardzo ogólnie cechy oprogramowania COMSOL Multiphysics oraz po raz kolejny oprogramowania ANSYS, nie podając jak zamierza je wykorzystać. Doktorant pisze o „zastosowaniu kilku pól sprzężonych” nie podając jakie to pola i jak zamierza przeprowadzić symulacje. Cel symulacji podany na str. 159 jest sformułowany w sposób bardzo niejasny. Omawiając symulacje Doktorant w pierwszej kolejności podaje wyniki „rozkładu ciepła w Kelwinach” sic! przy występowaniu łuku elektrycznego w komorze gaszeniowej wyznaczone w programie SOLIDWORKS. Nie podano jakichkolwiek warunków i parametrów symulacji. Doktorant raz pisze o „rozkładzie temperatury” raz o „rozkładzie ciepła” jakby to było tożsame. W kolejnych symulacjach wyznaczono rozkłady natężenia pola elektrycznego i potencjału w układzie stykowym i w komorze dejonizacyjnej w oprogramowaniu COMSOL, nie precyzując również dla jakich warunków i parametrów wykonano symulacje. W dalszej kolejności symulowano prędkości ładunku elektrycznego i drogi jego przemieszczania. W takim ujęciu jest to kompletne nieporozumienie. Otóż w wyłączniku występuje łuk elektryczny, a więc plazma, która makroskopowo jest elektrycznie obojętna. Po co wyróżniać zatem ładunki elektryczne w tym również prędkości ich przemieszczania. Z załączonych wykresów przedstawiających wyniki symulacji można zauważyć, że prędkości ładunków są rzędu 10^7 m/s, a więc są tylko o rząd wielkości mniejsze od prędkości światła. Jak to wyjaśnić!! Brak jakiegokolwiek ustosunkowania się do takich wyników. Wnikanie łuku elektrycznego do komory dejonizacyjnej i jego wędrówka wzdłuż płytek jest zjawiskiem bardzo złożonym i bez podania wielu szczegółów ocena symulacji jest niemożliwa. Przedstawione fragmentaryczne wyniki symulacji są bardzo niejasne. W tej sytuacji uzyskane wyniki symulacji z punktu widzenia oceny rozprawy są bezużyteczne. Podsumowanie kończące rozdział zawiera ogólne stwierdzenia nie mające bezpośrednich korelacji z celem i tezą rozprawy.



Rozdział 8. dotyczy analizy i symulacji zjawisk mechanicznych oraz elektrycznych układu stykowego średniego napięcia. Do rozważań przyjęto układ stykowy wieńcowy, zwany również tulipanowym. Badanie eksperymentalne wykonano dla układu stykowego tulipanowego o innej geometrii niż geometria przyjęta do badań symulacyjnych. Nie podano przyczyn takiego postępowania. Ten fakt, pomimo zapewnień Doktoranta, utrudnia konfrontację wyników eksperymentalnych i symulacyjnych. Zresztą wynik badań eksperymentalnych ma jedynie formę przebiegu drogi, prędkości i przyspieszenia styku ruchomego, nawet bez podania skali oraz bez komentarzy. Zjawiska mechaniczne w układzie stykowym modelowano w programie ANSYS, w module Explicit Dynamics, natomiast analiza pola elektromagnetycznego, a w zasadzie pola elektrycznego została wykonana w programie COMSOL Multiphysics. Symulacyjna analiza dynamiki zjawisk mechanicznych polegająca na obliczeniu deformacji styku oraz współczynników bezpieczeństwa (nie zdefiniowano co on oznacza) niewiele mówi o tym czy są to deformacje dopuszczalne czy nie?. Nie dokonano również oceny poziomu odkształceń, czy są odkształcenia sprężyste, czy plastyczne. Zamieszczono również wykresy różnego rodzaju energii związanej z układem stykowym w funkcji liczby cykli, które nie zostały przeskalowane na funkcję czasu. Nie podano wyjaśnienia fizycznego znaczenia różnych rodzajów energii a także oscylacyjnego charakteru drgań przebiegów energii. Co to oznacza? Energia układu stykowego nie jest skorelowana z oscylacjami styczek pokazanymi na rys. 8.17. Określenie „oscylacja styczek” nie jest właściwa, są to raczej „drgania”. Nie wyjaśniono tego efektu. Symulowano również deformacje elementów stykowych, w tym również zjawiska uszkodzenia układu stykowego. Nie podano jak zapobiegać tego rodzaju zjawiskom. W przypadku symulacji dynamiki styków, bardzo istotne są oddziaływania elektrodynamiczne, w tym zwłaszcza przy prądzie zwarciovym. Czy zatem analiza dynamiki układu stykowego, nie uwzględniająca sił elektrodynamicznych ma sens? Symulacje zjawisk elektrycznych w układzie stykowym tulipanowym wykonano dla zestyku otwartego, wyznaczając jedynie rozkłady potencjału oraz natężenia pola elektrycznego przy napięciu 110kV (to jest napięcie wysokie a nie średnie, które jest wymienione w tytule) wykonano dla dwóch położań styków. Na wykresach przedstawiających rozkłady natężenia pola elektrycznego nie podano skali, co uniemożliwia ocenę tych rozkładów.

W podsumowaniu tego rozdziału podano bardzo ogólne wnioski dotyczące tulipanowego układu stykowego luźno powiązane z wykonanymi badaniami. Na koniec stwierdzono, że środowiska obliczeniowe nie pozwalają w symulacjach na sprzężenie zjawisk mechanicznych i elektromagnetycznych w układach stykowych.

W rozdziale 9. zestawiono i porównano wyniki eksperymentalne i symulacyjne uzyskane w trakcie badań. Podano słupkowe wykresy wartości temperatury w różnych punktach pomiarowych uzyskane w badaniach eksperymentalnych i symulacyjnych dla wkładki topikowej, wyłącznika nadprądowego i rozdzielnicy. W tabelach podano zestawienia różnic wyników wyrażone w procentach. Różnice dla wkładki topikowej nie przekraczają 16%, dla wyłącznika nadprądowego 5% a dla rozdzielnicy w wariancie I 17% a w wariancie II 5%. Stwierdzono, że uzyskano zadowalającą zgodność wyników, co oceniono jako osiągnięcie zasadniczego celu rozprawy. Powstaje pytanie, czy rozkład temperatury jest jedynym kryterium oceny poprawności badan symulacyjnych?

Rozdział 10. stanowi podsumowanie pracy i wnioski końcowe. Doktorant podał krótkie streszczenie rozprawy i zakres wykonanych badań eksperymentalnych i symulacyjnych. Na zakończenie Doktorant wymienił siedem głównych oryginalnych osiągnięć rozprawy. Osiągnięcia te dotyczą w istocie trzech obszarów, a mianowicie:

- 1) zbudowanie modeli numerycznych 3D kilku wybranych aparatów elektrycznych oraz przygotowanie i wykonanie symulacji w różnych komercyjnych programach komputerowych (różne moduły ANSYS, COMSOL itp.) i otrzymanie wyników symulacyjnych o zadowalającym poziomie zbieżności z wynikami badań eksperymentalnych;



- 2) zaplanowanie i wykonanie badań eksperymentalnych wybranych aparatów elektrycznych lub ich podzespołów,
- 3) propozycja modyfikacji konstrukcji wybranych w celu poprawy parametrów elektrycznych oraz mechanicznych aparatów oraz przedstawienie sposobu prototypowania oraz projektowania urządzeń.

Oceniając te osiągnięcia należy podkreślić, że Doktorant włożył dużo pracy, zwłaszcza w obszarach 1) i 2) z zaznaczeniem wielu podanych wyżej uwag krytycznych wskazujących, że prezentacja wyników badań jest niezadawalająca. Osiągnięcia z obszaru 3) nie mogą być traktowane jako kompletny zestaw zaleceń i procedur użytecznych dla konstruktorów i projektantów.

Konkluzja oceny treści rozprawy.

W oparciu o omówienie i analizę treści rozprawy doktorskiej mgra inż. Sebastiana Łapczyńskiego, w tym zwłaszcza wymienionych wielu uwag krytycznych i dyskusyjnych oraz błędów uznaję, że pomimo pewnych wartościowych wyników i rozważań, rozprawa powinna być przerezegowana i uzupełniona. Dotyczy to zwłaszcza metod i modeli symulacyjnych a także danych i parametrów wymaganych do symulacji. Nie wystarczy stwierdzić, że symulacja została przeprowadzona i podać wyniki, ale powinny zostać podane różne szczegóły umożliwiające powtórzenie tych symulacji przez ewentualnego czytelnika. Na podkreślenie i pozytywną ocenę zasługują przeprowadzone i opisane w rozprawie wyniki badań eksperymentalnych wybranych zjawisk w analizowanych aparatach elektrycznych.

3. Uwagi krytyczne i dyskusyjne dotyczące rozprawy

Do opiniowanej rozprawy zgłaszam następujące ogólne uwagi krytyczne i dyskusyjne:

- 1) Rozprawa jest dziełem obszernym. Uważam, że rozdział 2. stanowiący wprowadzenie został przesadnie rozbudowany, być może kosztem następnych rozdziałów merytorycznych. We wprowadzeniu nie podano omówienia wielu pozycji literaturowych, również krajowych, w których autorzy przedstawili modele i wyniki symulacji zjawisk w aparatach elektrycznych. W poszczególnych rozdziałach występuje dosyć dużo powtórzeń, jak np. opisu cech i możliwości stosowanych programów i modułów symulacyjnych, danych materiałowych – np. identyczne tabele 5.2 i 8.1 itp. W wielu przypadkach zamieszczając parametry, dane materiałowe i wzory teoretyczno-empiryczne, czy empiryczne nie podano źródeł ich pochodzenia.
- 2) Omawiając różne symulacje Doktorat pisze o „wykorzystaniu MES” „symulacjach MES” itp. Przecież w rozprawie wykorzystano tylko profesjonalne komputerowe programy symulacyjne, które oczywiście wykorzystują MES, ale nie tylko. Metodą MES jako taką Doktorant się nie zajmował. Podane modele matematyczne zjawisk są nieadekwatne do zjawisk występujących w badanych aparatach. Podanie równań Maxwella i Naviera-Stokesa jest chyba nieporozumieniem.
- 3) Bardzo ważny jest problem sprzężenia pól, w tym przypadku głównie pola elektromagnetycznego i termicznego, ale również pola przepływowego i pola odkształceń. Sprzężenia mogą być jednostronne oraz dwustronne, czy wielostronne. W sprzężeniach bardzo istotne jest uwzględnienie zmian wartości parametrów materiałowych, głównie w funkcji temperatury. Używane w rozprawie programy i moduły tych programów w zasadzie bezpośrednio nie uwzględniają sprzężeń. W tej sytuacji użytkownik sam musi sobie z tym radzić, co opisane jest w wielu publikacjach. Skutkiem nie uwzględnienia sprzężeń mogą być istotne błędy w wartościach wielkości uzyskiwanych z symulacji. Doktorant nie ustosunkował się do tego bardzo istotnego problemu, zwłaszcza, że w przedmiotowej literaturze przedmiotu jest to dość dobrze opisane.
- 4) Kolejnym ważnym problemem w modelach symulacyjnych jest określenie czy dany zjawisko czy proces może być w zadawalającym przybliżeniu potraktowany jako statyczny, quasistatyczny (lub quasistacjonarny), czy dynamiczny (czasami określane jako przejściowy, czy w języku angielskim - „transient”)? Przyjęcie w wielu sytuacjach modelu statycznego czy quasistatycznego bardzo istotnie skraca czas obliczeń. Uważam, że w przypadku symulacji zjawisk elektromagnetycznych i termicznych w aparatach elektrycznych w warunkach normalnych (nazywanych przez Doktoranta



„znamionowymi”), można przyjąć model quasistatyczny. Inna sytuacja występuje w warunkach zwarciovych, w których należy standardowo przyjmować model dynamiczny. Każdorazowo przed wykonaniem symulacji wybór modelu należy uzasadnić.

- 5) Modele poszczególnych zjawisk są opisywane określonymi równaniami. Takie modele, odpowiednio uproszczone powinny być podane. Podanie w sposób ogólny praw i odpowiednich równań Maxwella, Naviera-Stokesa itp. nie jest rozwiązaniem, zwłaszcza, że występuje w nich wiele składników trudnych do określenia ze względu na brak danych materiałowych oraz często pomijalnego ich wpływu na analizowane zjawiska. Do programów symulacyjnych należy wprowadzić wiele parametrów, warunków i danych. Doktorant ten aspekt pominął, co w istocie uniemożliwia powtórzenie symulacji przez ewentualnych czytelników rozprawy. Szczegóły te powinny być w rozprawie przedstawione i skomentowane.
- 6) W rozprawie występuje dużo niewłaściwych i nieprecyzyjnych nazw i określeń, brak objaśnień do niektórych symboli, stosowanie różnych symboli dla tych samych wielkości fizycznych, co nie jest raczej wynikiem braku właściwej korekty tekstu rozprawy. Przesadnie używa się np. określenia strumienia ciepła jako fali elektromagnetycznej, czy wyznaczania rozkładu ładunków elektrycznych oraz prędkości tych ładunków. W analizowanych zjawiskach ładunki elektryczne są dokładnie skompensowane i najczęściej używa się pojęcia „gęstości prądu elektrycznego” lub wręcz „natężenia prądu elektrycznego”. Ruch ładunków rozpatruje się więc w ujęciu makroskopowym.
- 7) W rozprawie podano wiele wykresów stanowiących wyniki badań symulacyjnych i eksperymentalnych. W wielu przypadkach wykresy te są słabo czytelne. Kolory są słabo rozróżnialne. Niepełne lub niewystarczające są komentarze dotyczące uzyskanych wyników.

Wiele różnych uwag szczegółowych podano w punkcie 2., przy omawianiu treści rozprawy. Podanie w recenzji szczegółowych wykazów różnych rodzajów niedociągnięć merytorycznych i redakcyjnych występujących w rozprawie spowodowałoby istotne wydłużenie recenzji i wyrazistość wniosków.

4. Ocena rozprawy doktorskiej w zakresie wymagań podanych przez Zleceniodawcę recenzji

Poniżej zamieszczam odpowiedzi na pytania wskazane w Umowie przez Zleceniodawcę:

- 1) *Tytuł rozprawy doktorskiej stanowiącej podstawę ubiegania się w aktualnym postępowaniu o nadanie stopnia doktora:*
Tytuł rozprawy w brzmieniu „Analiza zjawisk fizycznych w układach stykowych i torach prądowych podczas przepływu prądu znamionowego i zwarciovego” jest szerszy niż wynika to z zawartości rozprawy, gdyż zjawiska przy przepływie prądu zwarciovego były badane tylko w bardzo niewielkim zakresie.
- 2) *Ocena układu rozprawy doktorskiej, w tym informacja o jej poszczególnych częściach składowych:*
Pozytywnie oceniam układ rozprawy, ale jej części składowe w wielu aspektach oceniam negatywnie. co przedstawiłem w punktach 2. i 3. recenzji.
- 3) *Ocena zastosowanego piśmiennictwa w ramach rozprawy doktorskiej.*
Piśmiennictwo jest liczne ale cytowane wybiórczo. Zamieszczonych pozycji Doktorant nie w pełni skorzystał.
- 4) *Wskazane przez ocenę celu pracy kandydata.*
Cel pracy został sformułowany właściwie, ale jego realizacja nie jest zadawalająca.
- 5) *Wskazanie oraz ocenę zastosowanych metod badawczych.*
Przyjęte do analizy i sformułowane problemy badawcze badano metodami: eksperymentalną i symulacyjną. Metodę eksperymentalną oceniam pozytywnie, natomiast metodę symulacyjną ogólnie oceniam negatywnie, ze względu na brak wielu szczegółów dotyczących jej stosowania, co przedstawiłem w punkcie 2. recenzji.
- 6) *Ocenę części rozprawy dotyczącej omówienie wyników badań.*



Wyniki badań przedstawiono w formie wykresów i rysunków, niestety w większości słabo czytelnych, gdyż wielkość czcionek w opisach jest zbyt mała a kolory wykresów i rozkładów prezentowanych wielkości są trudne do rozróżnienia. Komentarze do wyników badań w wielu przypadkach są szersze niż wynika to z uzyskanych wyników.

7) *Informacje dotyczące praktycznego zastosowania uzyskanych wyników.*

Uzyskane wyniki trudno zastosować bezpośrednio w praktyce, gdyż Doktorant zamierzał jedynie wykazać, że metoda symulacyjna może w pewnym zakresie zastąpić badania eksperymentalne, a także ułatwić projektowanie aparatów elektrycznych.

8) *Informacje o ewentualnych nieprawidłowościach, które pojawiły się w ocenianej rozprawie doktorskiej.*

Nieprawidłowości w rozprawie jest dużo. Najważniejsze z nich wymieniłem w punkcie 2. recenzji, a w formie ogólnej podałem dodatkowo w punkcie 3. Wnioskiem wynikającym z tych nieprawidłowości jest potrzeba przeredagowania, uzupełnienia i korekty rozprawy. Zgromadzony materiał odpowiednio przedstawiony może stanowić rozprawę doktorską spełniającą wymagania odnośnych przepisów.

9) *Ocenę, czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.*

W obecnej formie rozprawa doktorska nie może być uznana jako stanowiąca oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Rozwiązania niektórych problemów przyjętych do rozważań w rozprawie zostały opisane w literaturze krajowej i zagranicznej. Doktorant nie odniósł się do istotnych pozycji literaturowych związanych ściśle z tematyką rozprawy. Po odpowiednim uzupełnieniu rozprawy można byłoby uznać, że postawiony w rozprawie problem równoważności w pewnym zakresie badań eksperymentalnych i symulacyjnych stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Należałoby również wskazać ograniczenia możliwości stosowanych programów symulacyjnych.

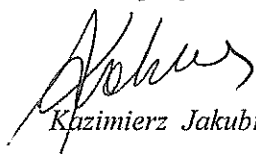
10) *Ocenę, czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie albo dyscyplinach oraz umiejętność samodzielnego prowadzenie pracy naukowej.*

Doktorant prowadził badania w zakresie symulacji komputerowych i prac eksperymentalnych. W tych dwóch obszarach wykazał się pewną wprawą i kompetencjami. Opanował i efektywnie stosował kilka złożonych komputerowych programów symulacyjnych. Jednak prezentacja w rozprawie doktorskiej sposobu użycia tych programów, opis odpowiednich modeli matematycznych, formułowanie problemów obliczeniowych i nazewnictwo pozostawiają wiele do życzenia. W tym zakresie istnieją uzasadnione wątpliwości dotyczące prezentowania ogólnej, ugruntowanej wiedzy teoretycznej Kandydata w zakresie modelowania matematycznego i metod symulacyjnych. W zakresie przedstawionych metod i wyników badań eksperymentalnych wiedzę i kompetencje Kandydata oceniam pozytywnie. Potwierdzają to również komentarze i wnioski zamieszczone w poszczególnych rozdziałach rozprawy. Na podstawie ocenianej rozprawy trudno jest ocenić umiejętność samodzielnego prowadzenia badań naukowych przez Doktoranta, zwłaszcza, że nie podał on w bibliografii żadnej własnej lub współautorskiej publikacji naukowej.

6. Wniosek końcowy

Biorąc pod uwagę zawarte w poprzednich punktach oceny i uwagi krytyczne dotyczące rozprawy doktorskiej mgr inż. Sebastiana Łapczyńskiego pt.: „*Analiza zjawisk fizycznych w układach stykowych i torach prądowych podczas przepływu prądu znamionowego i zwarciovowego*” stwierdzam, że rozprawa ta w przedstawionej formie nie spełnia wymagań Ustawy Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce z dnia 20.07.2018 (Dz.U. 2023, poz. 742). Rozprawa moim zdaniem wymaga przeredagowania, uzupełnienia i korekty oraz ponownego recenzowania.

Uwzględniając powyższe uważam, że rozprawa doktorska mgr inż. Sebastiana Łapczyńskiego nie powinna być dopuszczona do publicznej obrony.


Kazimierz Jakubiuk