

Łódź, 7 września 2021

Dr hab. inż. Ewa Raj
Politechnika Łódzka
Wydział Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki
Katedra Przyrządów Półprzewodnikowych i Optoelektronicznych
al. Politechniki 10
93-590 Łódź

BIURO DZIEKANA
Wydział Elektryczny

Wpł. dn. . 20.09.2021
RWE - 5/403/2021

Recenzja rozprawy doktorskiej dla Rady Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika Politechniki Częstochowskiej

Tytuł rozprawy: „Poprawa efektywności energetycznej ogrzewania rozjazdów kolejowych z wykorzystaniem urządzeń indukcyjnych”

Autor rozprawy: mgr inż. Robert Żelazny

Promotor rozprawy: Dr hab. inż. Paweł Jabłoński, prof. ucz.

Promotor pomocniczy: Dr inż. Ewa Łada-Tondyra

Sylwetka Autora

Mgr inż. Robert Żelazny ukończył studia II stopnia na kierunku Elektrotechnika na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach w 2011 r. Trzy lata później podjął studia III stopnia na Wydziale Elektrycznym Politechniki Częstochowskiej, których zwieńczeniem jest przedstawiona do oceny rozprawa doktorska. Mgr inż. Robert Żelazny pracę zawodową rozpoczął w PKP Energetyka S.A. w 1997 r. wraz z ukończeniem Technikum Kolejowego i rozpoczęciem studiów I stopnia. Od 2016 r. jest pracownikiem PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. zajmując stanowiska kierownicze związane z utrzymaniem urządzeń elektroenergetyki kolejowej.

Ocena pracy

Rozprawa doktorska pod tytułem „Poprawa efektywności energetycznej ogrzewania rozjazdów kolejowych z wykorzystaniem urządzeń indukcyjnych” poświęcona jest urządzeniom elektrycznym wykorzystywanym do usuwania śniegu i/lub lodu z rozjazdów kolejowych oraz ich zapotrzebowaniu na energię elektryczną i sposobach ograniczenia jej zużycia. Wpisuje się ona w zakres bezpieczeństwa w transporcie szynowy oraz efektywność energetyczną urządzeń elektrycznych, a więc podejmowany w dysertacji problem badawczy należy uznać za ważny i aktualny.

Rozprawa ma charakter eksperymentalno-teoretyczny. Liczy 137 stron i zawiera osiem rozdziałów, w tym wstęp oraz podsumowanie i wnioski, jak również spis treści, spis literatury oraz streszczenie w języku polskim i w języku angielskim. W pracy zabrakło spisu oznaczeń i symboli, który znacząco ułatwiłby jej czytanie. Praca została napisana poprawnie pod względem merytorycznym oraz językowym, a drobne błędy edytorskie nie wpływają na jej zrozumienie i pozytywny odbiór.

Pierwszy rozdział jest zarazem wstępem, w którym Autor zwięźle wprowadza zagadnienie związane z blokowaniem rozjazdów kolejowych przez zalegający śnieg i/lub lód, oraz przedstawia aktualnie stosowane metody mające zapobiegać temu problemowi. Następnie definiuje tezę rozprawy, cytując: „zastosowanie indukcyjnego ogrzewania rozjazdów w połączeniu z tradycyjnym urządzeniem elektrycznego ogrzewania rozjazdów pozwoli na istotne zmniejszenie energochłonności poboru energii elektrycznej w porównaniu z obecnie stosowanym tradycyjnym elektrycznym ogrzewaniem rozjazdów”. Wykazanie jej prawdziwości było możliwe dzięki poprawnie zdefiniowanym celom szczegółowym oraz przyjętej metodyce badań zamykającej rozdział pierwszy rozprawy.

W drugim rozdziale Autor przedstawia aktualny stan wiedzy dotyczący urządzeń elektrycznych stosowanych do ogrzewania rozjazdów kolejowych, szczegółowo omawia zarówno szeroko stosowane rozwiązania rezystancyjne, jak również mające duży potencjał rozwiązania indukcyjne, a także nowe rozwiązania konstrukcyjne i technologiczne mające zredukować zużycie energii i efektywność roztopiania zalegającego śniegu przez te urządzenia. Odwołuje się do 73 pozycji bibliograficznych w tym do 5 swojego autorstwa lub współautorstwa (w tym 1 pozycja posiada współczynnik wpływu 3,004). Prawie 50% to artykuły opublikowane w międzynarodowych czasopismach lub na konferencjach w ostatnich 10 latach, dobrze oddające aktualny stan wiedzy w tym obszarze.

Rozdział trzeci poświęcony jest symulacjom elektromagnetycznym zaproponowanego przez Doktoranta urządzenia indukcyjnego ogrzewania rozjazdów (IOR). Przeprowadzone analizy numeryczne pozwalają zaobserwować wpływ geometrii cewki, parametrów materiałowych oraz częstotliwości pracy urządzenia na jego parametry elektryczne. W rozdziale jasno przedstawiono i uzasadniono wszystkie przyjęte uproszczenia, zabrakło jednak jawnego zestawienia warunków brzegowych oraz krótkiego podsumowania zaleceń konstrukcyjnych dla opracowywanego rozwiązania.

W rozdziale czwartym, Autor przedstawił przeprowadzone przez siebie wyniki termicznych analiz numerycznych urządzenia IOR. Analiza uwzględnia zarówno pracę urządzenia z różną częstotliwością i w konsekwencji z różną mocą cieplną oraz pracę w warunkach z zalegającym śniegiem oraz bez niego. Przyjęte założenia są poprawne, wyniki ciekawe a sposób podejścia do problemu pokazuje dobrą znajomość narzędzi symulacyjnych oraz interpretacji otrzymywanych rezultatów. Podobnie jak w rozdziale trzecim zabrakło jawnego zestawienia przyjętych warunków brzegowych, jednakże tutaj Autor zamieścił już zwięźle podsumowanie.

Analizę pracy rzeczywistych urządzeń elektrycznych w tym popularnie stosowanego konwencjonalnego rozwiązania rezystancyjnego (EOR) oraz zaproponowanego nowego rozwiązania indukcyjnego w warunkach laboratoryjnych i terenowych przedstawiono w rozdziale piątym. W przypadku badań laboratoryjnych wykorzystano bryłkę lodu o objętości 200 cm³ i kształcie walca a pomiary przeprowadzono w komorze klimatycznej z możliwością kontroli temperatury otoczenia dla wartości 0°C oraz -10°C. Z kolei badania terenowe zostały wykonane odpowiednio w temperaturze otoczenia z zakresu od -3°C do -13°C z wykorzystaniem śniegu uformowanego w prostopadłościan o objętości 1200 cm³ oraz 420 cm³. Autor przeprowadził ciekawe badania eksperymentalne obejmujące pomiar temperatury (z wykorzystaniem czujników najprawdopodobniej termopar oraz kamery termowizyjnej), czasu wytapiania zalegającego śniegu lub lodu oraz mocy pobieranej przez pracujące urządzenie ogrzewania rozjazdów. Przedstawiona w rozprawie analiza rezultatów badań eksperymentalnych pokazuje krytyczne podejście Doktoranta do otrzymywanych wyników. Porównał on rezultaty eksperymentów przeprowadzonych dla urządzeń IOR i EOR w różnych warunkach środowiskowych. Zabrakło porównania wyników rzeczywistych urządzeń z wynikami symulacji numerycznych oraz szczegółowego opisu części wykorzystanych urządzeń pomiarowych.

W rozdziale szóstym, Autor przedstawił wyniki pomiarów jakości energii elektrycznej i kompatybilności elektromagnetycznej urządzeń elektrycznych oraz indukcyjnych ogrzewania rozjazdów zamontowanych w terenie oraz dodatkowe testy laboratoryjne dla rozwiązania IOR. Wykazał się dobrym warsztatem pomiarowym oraz znajomością wymagań jakie muszą spełniać tego typu urządzenia elektryczne.

Rozdział siódmy zawiera analizy układów urządzeń elektrycznych niezbędnych do usuwania śniegu i/lub lodu z wybranych typów rozjazdów wykorzystywanych w Polsce. Autor na tle aktualnych danych zużycia energii przez odbiorniki PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., w tym szeroko stosowane rezystancyjne urządzenia ogrzewania rozjazdów, przedstawia zaproponowane przez siebie układy obejmujące urządzenia IOR oraz rozwiązania hybrydowe (EOR+IOR) w różnych konfiguracjach. Rozwiązania te pozwalają na szybkie i efektywne oczyszczenie przestrzeni roboczej rozjazdu przy jednoczesnym zmniejszeniu zużycia energii od 35% do nawet 58%. Zaproponowane rozwiązania powinny być poddane dalszym badaniom szczególnie pod kątem optymalizacji i niezawodności układu zasilania oraz automatycznego sterowania. Takie kierunki rozwoju nakreśla Autor w rozdziale ósmym, w którym także znajduje się zwięzłe podsumowanie osiągniętych celów oraz uzyskanych wyników dot. opracowanych rozwiązań.

Uwagi ogólne

Zakres badań przedstawiony w rozprawie jest szeroki i szczegółowy. Obejmuje wykorzystanie zarówno narzędzi symulacyjnych jak i pomiarowych. Przedstawione wyniki w mojej opinii są wartościowe i mają charakter aplikacyjny, co też Autor pokazał w pracy. Do najważniejszych osiągnięć Doktoranta zaliczam:

1. Przeprowadzenie analiz elektromagnetycznych nowego rozwiązania indukcyjnego ogrzewania rozjazdów dających szeroki obraz wpływu różnych parametrów na pracę urządzenia.
2. Przeprowadzenie analiz termicznych zaproponowanego urządzenia indukcyjnego potwierdzających poprawę efektywności ogrzewania przestrzeni roboczej rozjazdów kolejowych.
3. Przeprowadzenie badań porównawczych terenowych i laboratoryjnych efektywności działania nowego rozwiązania indukcyjnego względem standardowo stosowanych urządzeń konwencjonalnych.
4. Wykonanie badań porównawczych jakości energii elektrycznej i kompatybilności elektromagnetycznej.
5. Zaproponowanie różnych układów urządzeń IOR oraz rozwiązań hybrydowych (EOR+IOR) mających na celu redukcję zużycia energii w trakcie ogrzewania rozjazdów kolejowych.

W trakcie lektury pracy nasunęło mi się także kilka uwag, częściowo zasygnalizowanych już wcześniej. Mają one charakter dyskusyjny i nie wpływają na moją pozytywną ocenę rozprawy.

1. W symulacjach elektromagnetycznych zabrakło jawnego zestawienia warunków brzegowych. Pokazano badaną geometrię z radiatorom (Rys. 3.2), jednakże we właściwych symulacjach, element ten był już pominięty. Pokazano przykładowe wyniki z programu FEMM, jednakże brak legendy powoduje, że stają się one niemiarodajne.
2. W symulacjach termicznych zabrakło jawnego zestawienia warunków brzegowych oraz początkowych. Dane znajdują się w pracy, ale niejednokrotnie należy ich szukać w omówieniach otrzymanych wyników lub wręcz w podpisach rysunków. Nie jest także jasne jaki obszar otoczenia dookoła badanego urządzenia został założony dla przeprowadzonych analiz numerycznych.
3. Przeprowadzone badania eksperymentalne terenowe i laboratoryjne są szerokie i wydają się dobrze zaplanowane. W ich opisie brakuje szczegółowych informacji jakie urządzenia zostały wykorzystane do pomiarów (uwaga nie dotyczy kamery termowizyjnej oraz analizatora jakości energii elektrycznej). Jaką niepewnością pomiarową się one charakteryzowały?
4. Przeprowadzono szerokie badania eksperymentalne i symulacyjne. Niestety nie porównano wyników pomiarów z wynikami analiz numerycznych. Spodziewam się różnic ze względu na przyjęte uproszczenia, jednakże brak ich zestawienia powoduje, że odbierane są jako dwie niezależne części.
5. Nie podoba mi się określenie temperatura konwekcji dla temperatury powietrza w bezpośredniej bliskości główki szyny dla przeprowadzonych badań laboratoryjnych urządzenia EOR. Podejrzewam, że udział mechanizmu wymiany ciepła jakim jest promieniowanie termiczne nie jest bez znaczenia. Ponadto, określenie to jest używane rzadko i dot. raczej uśrednionej temperatury płynu.
6. Dla badań laboratoryjnych urządzenia elektrycznego ogrzewania rozjazdów zabrakło informacji o zużyciu energii i porównania go względem rozwiązania

indukcyjnego (takie porównanie znalazło się w części badań terenowych, a następnie w rozdziale 7.2), choć przedstawione wnioski obejmują sformułowanie o „relatywnie niskim zużyciu energii elektrycznej”. Ponadto, z Rys. 5.17 wynika, że został przeprowadzony jeden pomiar dla temperatury otoczenia -10°C oraz trzy dla wartości 0°C . Jakie było uzasadnienie dla takiego podejście do eksperymentu?

7. W podrozdziale 5.1.1 poświęconym badaniom laboratoryjnym urządzenia IOR pojawia się wniosek cytując: „dodatkowo zabudowanie proponowanego dalej rozwiązania dla układu hybrydowego ze specjalnym grzejnikiem w okolicy siodełka jest w stanie zagwarantować optymalną pracę rozjazdów”, który nie jest poparty badaniami przeprowadzonymi w tej sekcji. W tej części rozprawy jeszcze nie wiadomo o jakie rozwiązanie chodzi Autorowi. Może część analiz i rozważań z rozdziału 7 warto było przenieść do rozdziału 5.
8. W rozdziale 7 w celu lepszej ilustracji opracowanych rozwiązań warto było przedstawić schematyczne rozmieszczenie poszczególnych urządzeń w zaproponowanych konfiguracjach dla wybranego typu rozjazdu.

Uwagi szczegółowe

W trakcie lektury rozprawy nasunęło mi się także kilka uwag szczegółowych głównie o charakterze edytorskim:

- Niektóre rysunki, szczególnie zaczerpnięte ze źródeł obcych są mało czytelne np. Rys. 1.3, Rys. 1.4 czy Rys. 1.5. Uwaga ta dotyczy także niektórych zdjęć zamieszczonych w części eksperymentalnej. Przykładowo, czujniki temperatury na Rys. 5.13 są słabo widoczne, co utrudnia analizę opisu trzech badanych konfiguracji pomiarowych.
- W pracy pojawiają się pojedyncze błędy edytorskie np. odwołanie do równania (3.46) zamiast do równania (3.19) na str. 35, odwołanie do równania (3.28) zamiast do równania (3.38) na str. 37, czy też na str. 49 zamiast „składnik oscylacyjny w wynikający” powinno być „składnik oscylacyjny wynikający” oraz zamiast „większą równomierność w temperaturze radiatora” powinno być „większą równomierność w rozkładzie temperatury”.
- Oznaczenie punktów kontrolnych (nie są to punkty pomiarowe jak nazwano je w podpisie rysunku) na Rys. 4.10 nie jest jednoznaczne. W tekście jest informacja, że punkty zlokalizowane są przy powierzchni radiatora, podczas gdy w podpisie rysunku Autor sugeruje, że są one umieszczone na radiatorze. Ich położenie należałoby odpowiednio zwymiarować.
- Brak precyzyjnych informacji o umieszczeniu czujników w trakcie pomiarów oraz ich odniesienia do punktów kontrolnych przyjętych w trakcie analizy wyników symulacji numerycznych.
- Brak legendy na Rys. 3.2 (rozkład gęstości prądu oraz indukcji magnetycznej w badanej strukturze), na Rys. 5.35 (termogramy dla urządzenia elektrycznego

ogrzewania rozjazdów), oraz na Rys. 5.43 (termogramy dla urządzenia indukcyjnego ogrzewania rozjazdów).

- W przypadku Rys. 5.35 oraz Rys. 5.43 nie jest jednoznaczne czy termogramy przedstawione odpowiednio na Rys. 5.35a oraz Rys. 5.43a zostały wykonane po 1 min od rozpoczęcia pomiarów czy też w momencie ich rozpoczęcia.

Wnioski końcowe

Biorąc pod uwagę dobór tematu rozprawy, postawioną tezę, sformułowane cele oraz wykorzystane metody i narzędzia badawcze, jak również uzyskane wyniki i ich dyskusję, pozytywnie oceniam wartość naukową i aplikacyjną dysertacji. W mojej ocenie Doktorant wykazał, iż posiada umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Ponadto, rozprawa przedstawia oryginalne rozwiązanie problemu naukowego w dyscyplinie automatyka, elektronika i elektrotechnika oraz potwierdza szeroką wiedzę teoretyczną Autora głównie z obszaru elektrotechniki. Tym samym spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim określone w art. 187 ust. 1 i 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2020 poz. 85 z późniejszymi zmianami). W związku z powyższym, zgłaszam wniosek do Rady Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika Politechniki Częstochowskiej o dopuszczenie mgr inż. Roberta Żelaznego do publicznej obrony.

