

Poznań, 07.09.2021

dr hab. inż. Andrzej Tomczewski
Politechnika Poznańska
Wydział Automatyki, Robotyki i Elektrotechniki
Instytut Elektrotechniki i Elektroniki Przemysłowej
60-965 Poznań, ul. Piotrowo 3a

BIURO DZIEKANA
Wydział Elektryczny

Wpł. dn. 17.09.2021
RWE-51492/2021

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Autor rozprawy: mgr inż. Robert Żelazny

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

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Paweł Jabłoński, prof. PCz

Dziedzina: nauki inżyniersko-techniczne

Dyscyplina: automatyka, elektronika i elektrotechnika

Podstawa opracowania: ocenę rozprawy doktorskiej przygotowano na zlecenie dra hab. inż. Krzysztofa Chwastka, prof. PCz, Kierownika Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika Politechniki Częstochowskiej zgodnie z Uchwałą Nr 41/2020/2021 z dnia 24.06.2021 Rady Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika Politechniki Częstochowskiej.

I. Podstawowe dane o kandydacie

Pan mgr inż. Robert Żelazny ukończył studia pierwszego i drugiego stopnia na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach uzyskując w roku 2011 tytuł magistra inżyniera elektrotechniki. Studia trzeciego stopnia rozpoczął w roku 2014 na Wydziale Elektrycznym Politechniki Częstochowskiej.

Doktorant jest autorem lub współautorem 5 artykułów opublikowanych w Zeszytach Naukowych Politechniki Rzeszowskiej, Przeglądzie Elektrotechnicznym oraz w czasopiśmie Energies (IF=3,004). Doktorant uczestniczył i publikował także w ramach pięciu krajowych konferencji i sympozjów naukowych m.in. w Sympozjum Środowiskowym PTZE Zastosowanie elektromagnetyzmu w nowoczesnych technikach i medycynie oraz Seminarium Podstaw Elektrotechniki Teoretycznej (SPETO).

Pan mgr inż. Robert Żelazny od roku 1997 pracuje w firmie PKP S.A. kolejno jako: elektromonter, dyspozytor zasilania, inspektor i naczelnik w zakresie nadzoru i utrzymania urządzeń elektroenergetyki kolejowej. Pracował także jako nauczyciel w Zespole Szkół Techniczno-Informatycznych w Gliwicach oraz był biegłym w zakresie elektroenergetyki kolejowej w Sądzie Okręgowym w Warszawie.

II. Ocena tematyki rozprawy

Oczyszczanie rozjazdów kolejowych ze śniegu lub/i lodu jest ważnym zadaniem służb kolejowych mającym na celu utrzymanie bezpieczeństwa ruchu kolejowego w okresie zimowym. Zależnie od strefy klimatycznej oraz preferencji firm odpowiedzialnych za utrzymanie ruchu stosowane są do tego różne metody (pneumatyczna, ogrzewanie gazowe, wodne, geotermalne, elektryczne), przy czym w strefie klimatu umiarkowanego najczęściej elektryczne ogrzewanie oporowe. Celem stosowania wymienionych metod jest usunięcie materiału zalegającego w przestrzeni roboczej rozjazdu tj. między iglicą a opornicą i umożliwienie sprawnej zmiany położenia rozjazdu.

W przypadku elektrycznego ogrzewania oporowego, stosowanego w Polsce przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., istotnym problemem oprócz skutecznej zmiany ustawienia rozjazdu, są koszty związane ze zużyciem energii elektrycznej. Ogrzewaniu w tym przypadku podlega bowiem nie tylko obszar roboczy rozjazdu, ale także stopka szyny. Skutkuje to przenoszeniem

str. 1

A. J. P.

części energii cieplnej (głównie w drodze przewodnictwa cieplnego,) do stref poza obszarem roboczym, a w konsekwencji często do niecałkowitego wytopienia śniegu i/lub lodu z obszaru roboczego. W związku ze znaczną ilością energii rozpraszanej poza obszarem roboczym obniżeniu ulega efektywność energetyczna układu. Przy liczbie ogrzewanych na terenie Polski rozjazdów przekraczającej 33 000 (dane z roku 2019), koszty ich ogrzewania wynoszą około 30 milionów złotych rocznie. Należy podkreślić, że łączna moc urządzeń przeznaczonych do oczyszczania rozjazdów w spółce PKP PLK S.A. wynosi około 140 MW (dane z roku 2019).

Podjęta w rozprawie tematyka dotyczy badań (symulacyjnych i eksperymentalnych) pozwalających na porównanie dwóch metod ogrzewania rozjazdów z konwersją energii elektrycznej na energię ciepłą: EOR (elektrycznego ogrzewania rozjazdu) wykorzystującego elementy oporowe i IOR (indukcyjnego ogrzewania rozjazdów) wykorzystującego straty wiropądowe powstające w obudowie układu. Przeprowadzone rozważania prowadzą do wniosków w zakresie szybkości oczyszczania rozjazdów z takiej samej ilości zalegającego materiału oraz zużycia w tym celu energii elektrycznej – pozwalają zatem ustalić i porównać skuteczność działania układów i efektywność energetyczną wskazanych metod.

Prowadzenie badań naukowych podnoszących bezpieczeństwo ludzi (w tym przypadku odnoszące się do bezpieczeństwa ruchu kolejowego osobowego i towarowego), a także prowadzących do poprawy efektywności energetycznej stosowanych urządzeń powinny być, przy obecnie obowiązujących przepisach i umowach międzynarodowych, uznane za istotne. Z tej perspektywy uważam, że podjęta w rozprawie tematyka dotyczy zagadnienia istotnego i aktualnego, o czym dodatkowo świadczy zainteresowanie wskazaną tematyką spółki PKP PLK S.A.

Reasumując stwierdzam, że podjęta przez mgra inż. Roberta Żelaznego tematyka rozprawy została wybrana trafnie i posiada odpowiedni dla pracy doktorskiej potencjał w zakresie prowadzenia badań o charakterze naukowym. Należy podkreślić, że w recenzowanej rozprawie istotny jest także potencjał praktyczny proponowanych przez Autora rozwiązań.

III. Analiza i ocena zawartości, układu i języka rozprawy

Recenzowana rozprawa liczy 137 stron. W spisie literatury umieszczono 73 pozycje z czego 5 jest autorstwa lub współautorstwa mgra inż. Roberta Żelaznego. Dysertacja ma charakter klasyczny (nie jest opracowana w formie przewodnika po opublikowanych przez Autora publikacjach), a w jej strukturze wydzielono 8 rozdziałów poprzedzonych streszczeniem w języku polskim i angielskim. Ostatnią częścią pracy, nieuwzględnioną w spisie treści, jest literatura. W rozprawie nie umieszczono załączników oraz spisu rysunków i tabel.

Rozdziały ułożone są w sposób logiczny, jednak zastrzeżenia można mieć do tytułów niektórych z nich. Przykładem jest rozdział siódmy „Analiza porównawcza zużycia energii na ogrzewanie rozjazdów w Polsce”. Najważniejszą częścią wskazanego rozdziału, z punktu widzenia postawionej w rozprawie tezy, jest porównanie zużycia energii elektrycznej przeznaczonej do ogrzewania rozjazdu kolejowego przez równoważne układy EOR, IOR oraz autorski układ hybrydowy (EOR+IOR), a nie analiza globalnego zużycia w Polsce na cele ogrzewania rozjazdów.

Wprowadzenie do tematyki rozprawy (rozdział 1) obejmuje zagadnienia bezpieczeństwa ruchu kolejowego i związane z nim przyczyny i metody zapobiegania blokowaniu się rozjazdów kolejowych. W rozdziale tym zamieszczono także tezę, cele i zakres pracy. W dalszej części rozprawy (rozdział 2) opisano badane urządzenia do ogrzewania rozjazdów – układy EOR i IOR. Zamieszczona tam charakterystyka urządzeń obejmuje część elektryczną (układy zasilania i sterownia) oraz mechaniczną (budowa, wzajemna lokalizacja elementów i urządzeń ogrzewania rozjazdu), która jest istotna w kontekście prowadzonych w ramach rozprawy symulacji pracy ww. układów.

W dalszej części rozprawy zamieszczono opis autorskich badań układów EOR oraz IOR, zarówno symulacyjnych (rozdziały 3 i 4) jak i eksperymentalnych (rozdział 5) prowadzonych w warunkach laboratoryjnych i rzeczywistych. Rozdziały opisujące symulacje numeryczne układu indukcyjnego ogrzewania rozjazdów, zarówno w zakresie analizy strat wiroprądowych w obudowie urządzenia, jak i rozptyłu ciepła powstałego wskutek ich występowania, rozpoczynają się opisem modeli matematycznych wspomnianych zjawisk. Badania eksperymentalne przeprowadzono w komorze klimatycznej (warunki laboratoryjne) oraz w warunkach terenowych (warunki rzeczywiste). W warunkach terenowych pomiary temperatury układów EOR i IOR przeprowadzono z zastosowaniem techniki termowizyjnej.

W rozdziale 6. rozpatrzono pracę układów indukcyjnego ogrzewania rozjazdów w kontekście jakości energii elektrycznej oraz kompatybilności elektromagnetycznej (oddziaływanie powstałego w układzie pola magnetycznego na inne obiekty infrastruktury technicznej i organizmy żywe, z odniesieniem do wymagań normatywnych).

W końcowej części rozprawy (rozdział 7) zamieszczono analizę porównawczą równoważnych układów EOR i IOR. Wykorzystanie zaprezentowanych w poprzednich rozdziałach szczegółowych wyników badań pozwoliło na wyraźne wykazanie różnic (zalet i wad) układów EOR i IOR oraz na przedstawienie propozycji autorskiego systemu hybrydowego EOR+IOR.

W mojej opinii zarówno zawartość jak i struktura recenzowanej pracy odpowiadają wymaganiom stawianym rozprawom doktorskim.

Zamieszczona w rozprawie literatura (73 pozycje) nie jest obszerna jak na rozprawę doktorską, zawiera jednak zarówno pozycje książkowe, artykuły z czasopism naukowych, normy, ustawy, opis patentu oraz różnego typu wytyczne PKP w zakresie elektroenergetyki kolejowej. Część pozycji literatury opublikowana została w ostatnich latach, co świadczy o uwzględnieniu przez Autora wyników najnowszych badań z obszaru podjętej tematyki. Należy podkreślić, że tematyka rozprawy należy do niszowych i w związku z tym liczba pozycji literaturowych może być mniejsza niż w przypadku bardziej popularnych tematów. **Uwzględniając powyższe można stwierdzić, że zamieszczona w rozprawie literatura jest wystarczająca w kontekście wymagań stawianych rozprawom doktorskim**, chociaż mogłaby uwzględnić dokumentację programów FEMM 4.2 i Ansys Icepak, a także szerzej ujmować zagadnienia strat wiroprądowych, będących podstawą funkcjonowania układu IOR i układu hybrydowego.

Od strony językowej recenzowana rozprawa zawiera szereg niedociągnięć. W wielu jej miejscach wykorzystano niefortunne, a nawet niepoprawne pod względem językowym i naukowym zwroty. Oprócz pewnej liczby błędów stylistycznych zauważyłem, że w części rozprawy myśli formułowane są w niejasny sposób. Dotyczy to szczególnie rozdziałów obejmujących opis badań oraz analizę wyników. Pewne fragmenty pracy trzeba przeczytać kilkakrotnie, aby zawarte tam informacje były dla odbiorcy zrozumiałe. Zauważone w tym obszarze niedociągnięcia nie mają jednak istotnego znaczenia na ogólną ocenę rozprawy.

IV. Ocena celu i tezy rozprawy

W rozprawie zdefiniowano tezę: *„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”*. W mojej ocenie powinna być ona zapisana w prostszej postaci (zamiast *„indukcyjnego ogrzewania rozjazdów w połączeniu z tradycyjnym urządzeniem elektrycznego ogrzewania rozjazdów”* można zapisać *„hybrydowego układu ogrzewania rozjazdów”*) oraz pozbawiona niefortunnego użycia synonimów *„energochłonności”* i *„poboru energii elektrycznej”*. Wówczas w tezie wystarczyłoby *„... zmniejszenie energochłonności ...”* lub *„... zmniejszenie poboru energii elektrycznej...”*. Nie ma to jednak istotnego wpływu na sens przyjętej tezy.

Rozprawa ma charakter symulacyjno-eksperymentalny. Ustalono w niej cele obejmujące: przeprowadzenie numerycznej analizy pracy indukcyjnego układu ogrzewania rozjazdów i badań

eksperymentalnych (w warunkach laboratoryjnych i terenowych) układu konwencjonalnego (rezystancyjnego) i prototypowego (indukcyjnego) ogrzewania rozjazdów kolejowych, opracowanie i analizę wyników zużycia energii elektrycznej wymaganej do usunięcia materiału (lodu i śniegu) zalegającego w obszarze roboczym rozjazdu dla obu typów układów, oszacowanie efektywności energetycznej autorskiego układu hybrydowego, a także parametrów jakościowych w zakresie energii elektrycznej i kompatybilności elektromagnetycznej w przypadku stosowania układu indukcyjnego. Realizacja ustalonych przez Autora celów pozwala, w moim odczuciu, na udowodnienie przyjętej tezy.

Uwzględniając powyższe uważam, że cele oraz teza pracy są właściwe i prezentują poziom odpowiedni dla rozpraw doktorskich.

V. Ocena merytoryczna rozprawy

Zasadniczą część rozprawy stanowią rozdziały 3-5 oraz 7. Zamieszczone w nich wyniki badań symulacyjnych i eksperymentalnych oraz analizy porównawcze pracy układów EOR, IOR i układu hybrydowego (EOR+IOR) pozwalają osiągnąć ustalone w rozdziale 1. cele i udowodnić postawioną tezę. Uzyskane rezultaty rozszerzają znane dotychczas ustalenia w zakresie wyników badań naukowych nad metodami ogrzewania rozjazdów kolejowych, a na ich podstawie można określić metody obniżenia zużycia energii (poprawy efektywności energetycznej) wspomnianych układów do oczyszczenia jednakowo „zabrudzonego” rozjazdu. Chociaż rozdział 6. nie jest bezpośrednio związany z postawioną tezą, jednak należy traktować go jako integralną i ważną część rozprawy bowiem wnioski w nim zawarte mają wpływ na możliwości praktycznego stosowania zaproponowanego przez Autora układu hybrydowego.

Wobec rozwiązywanego w rozprawie problemu mgr inż. Robert Żelazny zaproponował metodę badawczą obejmującą: opracowanie modelu matematycznego i numerycznego układu indukcyjnego ogrzewania rozjazdów kolejowych, zaplanowanie i przeprowadzenie eksperymentów numerycznych i fizycznych oraz analizę wyników pod względem zużycia energii elektrycznej w celu skutecznego oczyszczenia obszaru roboczego rozjazdu kolejowego ogrzewanego metodą klasyczną (rezystancyjną) i indukcyjną. Do modelowania numerycznego układu IOR Autor wykorzystał dwie aplikacje: FEMM4.2 oraz Ansys Icepak. Takie podejście, łączące badania symulacyjne i eksperymentalne, należy uznać za poprawne i skuteczne, pozwalające na wielowariantowe prace prowadzące w konsekwencji do ograniczenia czasu i kosztów badań naukowych. Z tej perspektywy **zaproponowane i zastosowane przez Autora narzędzia i metody badawcze można uznać za poprawne i odpowiednio dobrane do postawionego problemu naukowego.**

Zamieszczona w rozdziale 7. analiza wyników badań eksperymentalnych układów EOR i IOR wraz z przeprowadzonym w rozdziale 1. przeglądem literatury pozwoliły Autorowi rozprawy na ustalenie ważnych wniosków w zakresie zużycia energii elektrycznej przez badane rozwiązania i doprowadziły do przedstawienia propozycji autorskiego hybrydowego układu ogrzewania rozjazdów EOR+IOR. Według zamieszczonych w rozprawie szacunków układ ten pozwala na obniżenie kosztów eksploatacji, w porównaniu z klasycznie stosowanymi układami rezystancyjnymi, oraz poprawę bezpieczeństwa ruchu kolejowego (skuteczniejsze usuwanie śniegu i lód z obszaru roboczego). **Zaproponowane przez Autora rozwiązanie ma w moim odczuciu duży potencjał praktyczny dzięki znacznym (ponad 30%) oszczędnościom zużycia energii w porównaniu z układami EOR oraz możliwości sterowania mocą układu ogrzewania, zależnie od aktualnych warunków atmosferycznych, poprzez zmianę częstotliwości napięcia zasilającego sekcję IOR. Duży potencjał praktyczny zaproponowanego rozwiązania potwierdza także zainteresowanie PKP S.A. badaniami w tym zakresie i umieszczenie eksperymentalnego układu IOR w swojej infrastrukturze kolejowej (informacja na podstawie treści rozprawy).**

Moim zdaniem, w rozprawie niedostatecznie dokładnie opisany został badany układ IOR, zarówno pod względem budowy tzw. grzejnika, jak i modułów zasilania i sterowania. Opisy

układu są niekompletne i porozrzucane w treści rozprawy (rozdziały 2, 3 i 4), pozbawione szczegółowych rysunków np. przekroju podłużnego. Utrudnia to analizę zawartości pracy, a szczególnie uciążliwe jest w przypadku powracania do charakterystyki układu przy zamieszczonych w rozdziale 7. analizach porównawczych.

W zakresie badań symulacyjnych największe zastrzeżenia budzi brak uwzględnienia w modelu rozptyłu ciepła przemiany fazowej materiału zalegającego w obszarze roboczym rozjazdu. Powoduje to pominięcie dużej ilości ciepła jaką w stałej temperaturze dostarczyć należy do układu celem roztopienia lodu. Fałszuje to zużycie energii elektrycznej wymagane do oczyszczenia rozjazdu i nie pozwala na przeprowadzenie porównań ilościowych między wynikami badań symulacyjnych i eksperymentów fizycznych.

Pewne wątpliwości budzi zastosowanie programu ANSYS Icepak, przeznaczonego zgodnie z informacją producenta, do analizy rozptyłu ciepła w układach elektronicznych do modelowania procesów cieplnych w obiekcie o znacznie większych gabarytach.

Niedociągnięciem rozprawy jest z pewnością brak oszacowania niepewności wykonanych pomiarów, brak obróbki statystycznej pewnej części wyników oraz szczegółowego opisu stanowisk pomiarowych wykorzystywanych w badaniach eksperymentalnych (zastosowanych mierników, czujników itd.). Elementy te powinny pojawić w każdej pracy naukowej prezentującej wyniki badań eksperymentalnych.

Podsumowując rozprawa doktorska mgr inż. Roberta Żelaznego stanowi oryginalne rozwiązanie zagadnienia naukowego, a Doktorant wykazał się umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowo-badawczej oraz opanował ogólną wiedzę teoretyczną z zakresu dyscypliny automatyka, elektronika i elektrotechnika. Wiedza ta, ze względu na zakres badań, objęła dodatkowo zagadnienia analizy rozptyłu ciepła, przez co można mówić o opanowaniu przez Autora wiedzy interdyscyplinarnej. Należy także podkreślić zaangażowanie Autora rozprawy, który pomimo pracy zawodowej i zajmowania odpowiedzialnego stanowiska w spółce PKP PLK S.A., zdołał doprowadzić do zakończenia czasochłonne badania, wykonywane zimą, często w trudnych warunkach terenowych, dokonał szczegółowej ich analizy i zaproponował autorskie rozwiązanie hybrydowego układu ogrzewania rozjazdów kolejowych obniżające zużycie energii elektrycznej, przy utrzymaniu wysokiego stopnia bezpieczeństwa ruchu kolejowego.

VI. Pytania i uwagi dyskusyjne

W trakcie zapoznawania się z treścią rozprawy, oprócz uwag umieszczonych w poszczególnych punktach niniejszej recenzji, nasunęły mi się następujące pytania szczegółowe i uwagi dyskusyjne:

- 1) W tytule rozprawy pojawia się sformułowanie „*Poprawa efektywności energetycznej ogrzewania*”. Pojęcie efektywności energetycznej i związane z nią zagadnienia szczegółowe zdefiniowane są w ustawie z dnia 20 maja 2016 r. o efektywności energetycznej. Dlaczego Autor jasno nie odniósł się w tekście rozprawy do zawartych w niej definicji, a do wspomnianej ustawy odniósł się tylko jeden raz pod koniec rozprawy (strona 116 wiersz 2 od góry)? Jeszcze bardziej zastanawiający jest brak definicji lub wskazania parametru powiązanego z efektywnością energetyczną pozwalającego porównać właściwości badanych układów. Czytający rozprawę musi samodzielnie, po analizie dużej jej części, ustalić jaki wskaźnik jest wykorzystany do porównywania analizowanych rozwiązań.
- 2) Na stronie 26, wiersze 4-5 od dołu zapisano, że badania dotyczą „*prototypowego urządzenia IOR*”. Czy Autor rozprawy samodzielnie zaprojektował i wykonał to urządzenie? Jeśli nie to jaki dostęp do dokumentacji technicznej oraz wewnętrznej struktury tzw. grzejnika oraz układów zasilania i sterowania ma Autor rozprawy? Czy rozwiązanie to jest chronione?
- 3) W treści rozprawy (rozdział 3) Autor niedostatecznie dokładnie przedstawił charakterystykę urządzenia IOR, a szczególnie budowę grzejnika – brakuje np. przekroju podłużnego, bez którego nie wiadomo w jaki sposób ułożona jest cewka w stosunku do obudowy i radiatora.

- 4) Czy zastosowana w analizowanym układzie IOR cewka jest rzeczywiście toroidalna (strona 33 wiersz 5 od góry)? W cewce toroidalnej zwoje nawijane są wokół toroidalnego rdzenia, a jej cechą jest zamknięcie strumienia magnetycznego wewnątrz rdzenia. Dodatkowo z rysunku 3.1 (strona 33) wynika inny sposób nawinięcia przewodów i zastosowanie cewki kołowej.
- 5) Na początku rozdziału 3. (strona 33, wiersze 1 i 2) zamieszczono stwierdzenie, że celem badań symulacyjnych są rozważania w zakresie poprawy efektywności energetycznej. Nie jest to jednak potwierdzone zawartością rozdziału i przedstawionymi wynikami. Proszę zatem precyzyjnie określić co jest celem prowadzonych w rozdziale 3. badań i jakie ma to znaczenie w kontekście postawionej tezy.
- 6) W rozprawie, we fragmencie obejmującym modelowanie i analizę rozptyłu ciepła w układzie IOR (rozdział 4.), przyjęto założenie o pominięciu zjawiska przemiany fazowej. W mojej opinii jest to uproszczenie w istotny sposób zniekształcające uzyskane wyniki symulacji. Proszę o wyjaśnienie tej kwestii.
- 7) W rozdziale 5. brakuje specyfikacji zastosowanych mierników, opisu komory klimatycznej, schematów stosowanych układów pomiarowych, a przede wszystkim ustalenia niepewności pomiarowej. Na jakiej podstawie podano np. na stronie 66 wiersz 5 od góry, że różnica $0,9^{\circ}\text{C}$ jest przyjęta jako błąd pomiaru?
- 8) Proszę wyjaśnić, czy pomiary, których wyniki zamieszczono w rozdziale 5. wykonywane były jednorazowo, czy była to seria pomiarów, a wyniki w postaci przebiegów temperatury są jej uśrednieniem? Jeśli wykonywano serie pomiarów, to dlaczego nie wykonano odpowiedniej obróbki statystycznej wyników?
- 9) Jak uzyskano powtarzalność ilości śniegu wykorzystywanego w badaniach terenowych układów IOR i EOR? Formowanie jednakowej „warstwy” śniegu (strona 77, wiersz 12 od góry) jest moim zdaniem niewystarczające. Ważniejszą sprawą jest tu raczej masa śniegu, o której kontroli w rozprawie nie wspomniano.
- 10) Jak zinterpretować fakt, że przy temperaturze otoczenia -13°C początkowa temperatura grzejnika wynosi -3°C – opis na stronie 91 i rysunek 5.38? Moim zdaniem powinna być zbliżona do temp. otoczenia, chyba że prowadzono wcześniej badania i niedostatecznie długo odczekano do kolejnych pomiarów. W takim przypadku jednak badania nie odpowiadają rzeczywistym warunkom pracy układu.

VII. Uwagi edycyjne

Recenzowana rozprawa nie jest dopracowana pod względem edycyjnym i posiada sporą liczbę drobnych oraz nieco większych usterek i niedociągnięć. Pracę charakteryzuje także brak standaryzacji w zakresie edycji np. zamieszczane na rysunkach opisy są raz w języku polskim, raz w języku angielskim. Dyskusyjna jest jakość części rysunków, a także sposób skalowania osi na kilku wykresach. Na wielu stronach rozprawy pozostawiono dolną ich część pustą. Praca powinna być wyedytowana w taki sposób, aby poprzez wzajemne ustawienie rysunków i tekstu minimalizować tego typu miejsca.

Przy opracowywaniu tekstów technicznych, także w formie zwartej, istnieje pewna dualność w obszarze zasad zapisu jednostek po wartościach liczbowych. Z jednej strony obowiązuje Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 5 czerwca 2020 r. w sprawie legalnych jednostek miar, z drugiej strony **bezwzględnie stosować należy zasady poprawnej pisowni języka polskiego**. W kontekście powyższego w wielu miejscach rozprawy, w sposób według mnie niepoprawny, zapisano jednostki po wartościach liczbowych. Przykładem jest tu strona 10, wiersz 7, gdzie wstawiono niepoprawnie odstęp (-30°C) – powinno być -30°C , a także strona 19, wiersz 9, gdzie nie wstawiono odstęp między wartością liczbową a jednostką (230V) – powinno być 230 V . W rozprawie znajduje się także sporo miejsc, w których nie wstawiono jednej, tzw. twardej spacji, między wartością i jednostką, a automatyczne formatowanie tekstu rozszerzyło wskazany odstęp w sposób niepoprawny (większy). Wszystkie te elementy obniżają ostateczną ocenę w zakresie edycji rozprawy.

Poniżej zamieszczono wybrane szczegółowe uwagi edycyjne (przy ich opisie zastosowano oznaczenia s5, w3g – strona 5, wiersz 3 od góry, s5, w3d – strona 5, wiersz 3 od dołu):

- 1) s33, wzór (3.3) – symbol „~” nie jest stosowny do oznaczania „w przybliżeniu”. Do tego stosuje się symbole matematyczne „≈” lub „≅”,
- 2) s21, rysunek 2.6 – ani w tekście rozprawy (s20, w1-13d), ani w podpisie rysunku nie wskazano co oznaczają kolory strzałek. Opisany na rysunku element „ogrzewanie klasyczne” jest tak naprawdę „elementem oporowym” lub „grzałką rezystancyjną”,
- 3) s22, w11-12d – zamieszczono dość niefortunne zdanie: „Dzięki rozwojowi energoelektroniki możliwe stało się dużych częstotliwości przy stosunkowo niedużych nakładach finansowych”. Brakuje w nim informacji jakiej wielkości dotyczy wspomniana duża częstotliwość,
- 4) s23, rysunek 2.7 – zamieszczono nieprecyzyjny podpis. Element zamieszczony na rysunku jest raczej cewką, a nie grzejnikiem,
- 5) s23, w4d – wpisano niepotrzebne słowo „mocy”,
- 6) s24, rysunek 2.8 – brak objaśnień używanych na rysunku symboli np. PCB, UIC60,
- 7) s25, rysunek 2.9 – brak objaśnienia używanego na rysunku symbolu „i z daszkiem”, słaba jakość rysunku,
- 8) s25, rysunek 2.10 – słaba jakość,
- 9) s27, w2d – zastosowano niefortunne sformułowanie „...układ przetwarza prąd o częstotliwości 50 Hz na znacznie większą częstotliwość ...”,
- 10) s28, rysunek 2.14 – zauważono pewną niekonsekwencję między opisem (powyżej rysunku), a opisem elementów na rysunku: w tekście jest „dystrybutor ciepła”, na rysunku „radiator ogrzewania indukcyjnego”,
- 11) s29, w1-6d – ostatni akapit na stronie jest powtórzeniem dużej części akapitu 2 ze strony 29,
- 12) s29, rysunek 2.15 – słaba jakość,
- 13) s30, rysunek 2.16 – słaba jakość. Istnieje możliwość takiego opracowania grafiki będącej tzw. „zrzutem ekranu”, aby jakość była znacznie lepsza,
- 14) s32, wzory (3.2) i (3.3) – brak powołania na literaturę,
- 15) s33, w10d – zastosowano niefortunne sformułowanie „parametry materiałowe są niezależne od pól”,
- 16) s34, wzór (3.9) i wielu innych miejscach – zastosowano zły symbol oznaczający przenikalność elektryczną: jest „ε”, powinno być „ε”,
- 17) s34, w2d i w4d – po wyjaśnieniu symboli we wzorach (3.4)-(3.7) oraz (3.8)-(3.10) opis kolejnych równań powinien zaczynać się od nowej linii,
- 18) s38, rysunek 3.2 – dla rysunków b) i c) są to raczej „rozkłady” podanych wielkości,
- 19) s38, w8d – zapisano „Wykonano symulacje dla liczby” : brakuje informacji czego symulacje dotyczą
- 20) s38, w4-5d – zapisano „...- obudowie stalowej i magnetycznej”. Zgodnie z wcześniejszym zapisem powinno być „stalowej magnetycznej”,
- 21) s39, tabela 3.1 – w kolumnie oznaczenie jednostka „MS/m” powinna być ujęta w nawiasie kwadratowym [MS/m]. Co oznaczają znaki „=” w wierszu „Rdzeń”?,
- 22) s45, w 12d – zapisano „... z uwagi na dużą niepewność do wartości niektórych parametrów, ...”. Moim zdaniem powinno być „... z uwagi na dużą niepewność co do wartości niektórych parametrów, ...”
- 23) s46 i s47, rysunki 4.1-4.4 – na rysunkach nie zaznaczono wykorzystywanych w opisie (s45) symboli obszarów. W związku z tym rysunek jest nieczytelny, nie wiadomo czym są poszczególne obiekty na tych rysunkach,
- 24) s48, tabela 4.1 – jednostki parametrów np. konduktywność elektryczna powinny być ujęte w nawias kwadratowy np. [MS/m],
- 25) s48, w6d – zapisano „...w obszarze przewodzącym o konduktywności γ w których istnieją prądy”. Moim zdaniem powinno być: „...w obszarze przewodzącym o konduktywności γ , w którym istnieją prądy”

- 26) s49, w4g – zapisano: „...składnik średniookresowy odpowiedzialny z moc czynną.”. Moim zdaniem powinno być „... składnik średniookresowy odpowiedzialny za moc czynną.”,
- 27) s50, wzór (4.12) – we wzorze wykorzystano symbol „ ϵ ”, który wykorzystano już wcześniej do oznaczenia przenikalności elektrycznej, do tego symbol ten jest niepoprawny – uwaga 16,
- 28) s51, tabela 4.2 – jednostki powinny być ujęte w nawias kwadratowy,
- 29) s51 i 52 – na skali temperatury rysunków 4.5-4.8 pojawia się wartość -15°C , a temperatura początkowa tego układu wynosi -10°C ,
- 30) s61, rysunek 5.2 – w podpisie użyto zwrotu „Opomiarowanie”. Moim zdaniem powinno być np. „Stanowisko pomiarowe”,
- 31) s62, w1g – jest to powtórzenie zapisów z pierwszego akapitu strony 61,
- 32) s64, rysunek 5.5 – opis osi wykonano małymi literami,
- 33) s64-67 – osie czasu rysunków 5.5, 5.6, 5.8 i 5.9 opisano w nieujednolicony sposób – raz w sekundach, raz w minutach,
- 34) s69, rysunek 5.11 – częstotliwość wyrażono w Hz, a powinna być w kHz,
- 35) s69-72 – podpisy osi rysunków wykonano małymi literami
- 36) s74, w3g – zapisano „...temperatura stopki szyny była $23,7^{\circ}\text{C}$..”. Wydaje mi się, że jest to niepoprawna forma gramatyczna,
- 37) s86 – w kilku miejscach strony pojawiają się niefortunnie sformułowania. Jednym z nich jest „.. tj. przy założeniu prawie bezbłędnego wczytania pięciu wartości ...”,
- 38) W rozdziale 5.2.3 na części rysunków zawierających termogramy nie zamieszczono skali temperatury np. rysunek 5.35 i 5.43. Dodatkowo nie wiadomo dla jakiego czasu, od momentu załączenia układu, odpowiadają prezentowane termogramy,
- 39) s90, w1g oraz s96, w1g i s96, w6d – zamieszczono niefortunne sformułowanie „... wykres pomiaru temperatury ..”,
- 40) s91, rysunek 5.37 i s96, rysunek 5.44, s97 rysunek 5.46 – zbyt gęsta skala na osi czasu. Na innych rysunkach nie zastosowano tak gęstej skali,
- 41) s101, w10-11g – zamieszczono zdanie „Wykonano również pomiar wartości pola magnetycznego dla układu IOR.” W moim odczuciu chodzi tu o pomiary natężenia pola magnetycznego lub indukcji magnetycznej w otoczeniu układu IOR,
- 42) s102, rysunek 6.3 – bardzo nieczytelny rysunek,
- 43) s103, rysunek 6.4 – chyba chodzi o wartości skuteczne napięcia zasilającego,
- 44) s103 – zgodnie z odpowiednim rozporządzeniem THDi to współczynnik odkształcenia wyższymi harmonicznymi (napięcia lub prądu),
- 45) s103-104 – rysunki 6.4-6.6 osie powinny być inaczej wyskalowane np. 0, 20, 40 itd.
- 46) s106, rysunek 6.8 – w podpisie powinno być „Szafa zasilająco-sterująca ...”,
- 47) s109, w4-5g – fragment „W tym przypadku, kiedy wartość THDi jest mniejsza” Brakuje części zdania lub fragment zapisano niepoprawnie stylistycznie,
- 48) s109, w5g - jest „...operator system dystrybucyjnego ...”, powinno być „operator systemu dystrybucyjnego ...”,
- 49) s106, rysunek 6.9, s109, rysunki 6.13 i 6.14 – bardzo nieczytelne rysunki.

VII. Wniosek końcowy

Stwierdzam, że tematyka rozprawy doktorskiej mgra inż. Roberta Żelaznego mieści się w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, dyscyplinie automatyka, elektronika i elektrotechnika, a rozprawa pomimo pewnych niedociągnięć **spełnia wymagania określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz. U. z 2021 r. poz. 478, 619)**. W związku z powyższym wnoszę o jej przyjęcie i dopuszczenie do publicznej obrony.

Andrzej Tomczak