

Katowice, 21.12.2020r.

Dr hab. inż. Rafał Burdzik, prof. PŚ
Wydział Transportu i Inżynierii Lotniczej
Politechnika Śląska
40-019 Katowice
Ul. Krasińskiego 8

Recenzja rozprawy doktorskiej
mgr inż. Emila Sadowskiego

pt.

„Wpływ wybranych czynników środowiskowych na funkcjonowanie układów sterowania ruchem kolejowym”

Podstawą opracowania niniejszej recenzji jest uchwała Nr 000-8/6/2020 Senatu Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu z dnia 8 października 2020 r. oraz pismo PK-042/49/59-1/dr-r/2020 z dnia 23 listopada 2020 r. Rektora Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu prof. dr. hab. Sławomira Bukowskiego.

1. Ocena aktualności tematu rozprawy oraz poprawności sformułowanych celów i tezy oraz wskazanie dyscypliny wiodącej

Przedstawiona do oceny rozprawa dotyczy badań wpływu wybranych czynników środowiskowych na funkcjonowanie układów sterowania ruchem kolejowym (SRK). Co warto podkreślić dysertacja znacząco przekracza tylko badania tego wpływu i uwzględnia także analizę rozwiązań eksperymentalnych z użyciem ogniw Peltiera, które mogą poprawić niezawodność tych systemów, w ujęciu oddziaływania czynników środowiskowych (temperatury i wilgotności). Należy wyróżnić trzy zasadnicze obszary badawcze, w których Autor realizuje pracę. Pierwszy to innowacyjne i ekologiczne rozwiązania techniczne z rekuperacją energii, które w pracy wykorzystują zjawisko Peltiera polegające na powstawaniu różnicy temperatur pod wpływem przepływu prądu elektrycznego przez złącza. Drugi to niezawodność urządzeń i systemów, który powiązany jest z trzecim

obszarem badawczym jakim jest bezpieczeństwo i dostępność systemów SRK. Aktualnie podnoszenie standardów i niezawodności w transporcie kolejowym stanowi priorytetową oś działań i w znaczącej liczbie odnoszą się do systemów sterowania ruchem i systemów bezpieczeństwa. **Dlatego poruszana w rozprawie doktorskiej tematyka jest ważna w dyscyplinie inżynieria lądowa i transport. Biorąc pod uwagę fundamentalne znaczenie urządzeń SRK w bezpieczeństwie transportu kolejowego, tematyka rozprawy doktorskiej jest bardzo istotna i aktualna. Szczególnie w ujęciu niezawodności działania i pracy tych urządzeń w warunkach skrajnych oddziaływań środowiskowych.**

Przedstawione badania pośrednio dotyczą podniesienia bezpieczeństwa ruchu pojazdów szynowych w wyniku podniesienia niezawodności urządzeń SRK. Chociaż opiniowana rozprawa ma charakter bardziej teoretyczny to potencjalne obszary wykorzystanie prezentowanych modeli obliczeniowych wydają się przydatne do zastosowań praktycznych dotyczących urządzeń SRK. Autor rozprawy przeprowadził badania symulacyjne i eksperymentalne oraz analizy niezawodności metod generujących łańcuchy Markowa. Do implementacji metod posłużono się sekwencjami rozkładów prawdopodobieństwa, które zdefiniowano na podstawie funkcji Hazarda. Co warte podkreślenia Autor podjął próbę zastosowania analiz niezawodności systemu z elementem półprzewodnikowym zmieniającym swoją temperaturę w zależności od warunków środowiskowych. **W tym kontekście problem badawczy należy uznać za interesujący poznawczo.**

Autor sformułowała tezę rozprawy, jako:

„Możliwe jest zwiększenie niezawodności elektronicznych systemów sterowania w transporcie poprzez stabilizację wybranych parametrów środowiskowych”.

Określając jednocześnie założenia badawcze.

Przyjęta teza potwierdza poznawczy charakter rozprawy doktorskiej, jednak wskazuje jednocześnie na potencjalne obszary zastosowania tej wiedzy w zastosowaniach praktycznych.

Dla udowodnienia postawionej tezy określono następujące cele pośrednie i cel główny.

Celem głównym rozprawy jest:

„Opracowanie metody poprawy niezawodności poprzez stabilizację temperatury elektronicznych systemów sterowania przy zastosowaniu ogniwa Peltiera”.

Cele pośrednie określono jako:

- analiza procesów wymiany ciepła w elementach elektronicznych,
- opracowanie modelu matematycznego zjawisk fizycznych zachodzących w modułach elektronicznych z ogniwnem Peltiera,
- zdefiniowanie układu zastępczego modułu z ogniwnem Peltiera,
- przebadanie różnych rodzajów ogniw Peltiera i metod ich sterowania,
- analiza statystyczna wyników pomiarów,
- budowa stanowiska badawczego oraz budowa układu sterującego realizującego założenia zaproponowanego algorytmu sterowania,
- opracowanie algorytmu sterowania stabilizacją temperatury z uwzględnieniem czynników środowiskowych t.j. temperatura i wilgotność.

Na podstawie lektury rozprawy doktorskiej należy stwierdzić, że postawione przez Autora cele zostały osiągnięte.

Uważam, że teza pracy została sformułowana prawidłowo i ma charakter twórczy. Ponadto jednoznacznie określa kierunek badań i pozwala opracować ich plan. Pewne wątpliwości może wykazywać liczba i poziom szczegółowości określonych celów pośrednich. W przedstawionym ujęciu mają one raczej charakter etapów pracy. Na przyszłość proponowałbym rozróżniać etapy od celów i starać się opracować tylko jeden cel główny, wiodący.

2. Struktura i charakterystyka rozprawy

Treść opiniowanej rozprawy doktorskiej mgr. inż. Emila Sadowskiego zawiera się na 156 stronach, podzielonych na 6 rozdziałów. Ponadto zamieszczono bibliografię i spis rysunków. Spis literatury składa się z 164 pozycji (w tym aż 9 pozycji współautorskich z czego 8 z promotorem Prof. Romanem Pniewskim).

Kolejne tytuły rozdziałów odzwierciedlają logiczne powiązanie całości rozprawy. Treści następnego rozdziału wynikają z treści poprzedniego rozdziału. Struktura rozprawy jest logiczna i spójna.

We wstępie Autor pokrótce przedstawia motywację podjęcia tematu rozprawy, ogólny przegląd aktualnego stanu wiedzy w zagadnieniu oraz formułuje cel, tezę i założenia badawcze. Już na tym etapie analiza bibliografii dotyczącej zagadnień związanych z wpływem parametrów środowiskowych, w tym w szczególności temperatury i wilgotności, na zmianę parametrów eksploatacyjnych elementów elektronicznych umożliwiła Autorowi określenie szczegółowych celów pośrednich. Pozwala to uporządkować proces badawczy i weryfikować poprawność wyników częściowych. Rozdział ten kończy się na 7 stronie.

Rozdział drugi zawiera opis teoretycznych budowy ogniwa Peltiera i zjawisk w nim występujących. Przedstawiono modele matematyczne i symulacyjne opisujące przepływ ciepła w układach chłodzenia systemów SRK, wykorzystujących to ogniwo. Opracowane modele wykorzystano do symulacji, których wyniki zamieszczono w podrozdziale 2.9. W badaniach symulacyjnych otrzymano zakresy i charakterystyki zmienności temperatury w ogniwie Peltiera w urządzeniu SRK. W celu sprawdzenia wydajności zastosowania ogniwa Peltiera w zespole urządzeń elektrycznych systemu SRK, przeprowadzono szereg testów symulacyjnych oceniających wydajność modułu. Głównym badanym parametrem była sprawność elektryczna i sprawność cieplna. W związku z tym w testach użyto tylko jednego ogniwa do testowania zjawisk zmienności cieplnej (termoelektrycznej) urządzenia SRK. W eksperymencie wykorzystano skrzynkę, w której znajdowały się zespoły elektroniczne SRK oraz jeden moduł Peltiera. Badania przeprowadzone zostały dla kilku różnych materiałów takich jak: tellurek bizmutu Bi_2Te_3 , aluminium Al , strukturę krystaliczną Sb_2Te_3 , oraz węgiel krzemu SiC . Badania przeprowadzono dla różnych zmian

temperatur między końcem gorącym, a zimnym półprzewodnika i zwarte były w zakresie między 1 [K] do 10 [K]. Dodatkowo przeprowadzono badania eksperymentalne dla kilku ogniw Peltiera, w których przeprowadzono pomiar temperatury ΔT , po obu stronach ogniw Peltiera (zimna i ciepła strona). W efekcie dokonano porównania między wartościami rzeczywistymi i symulacyjnymi. W celu lepszego zaobserwowania efektu Peltiera przeprowadzono serię symulacji komputerowych dla różnych wartości współczynnika Seebecka, który zmieniany był w przedziale 140 do 250 [$\mu V/K$]. Rozdział ten kończy się na 40 stronie.

W rozdziale trzecim omówiono wybrane zagadnienia związane z teorią niezawodności w kontekście tematu rozprawy doktorskiej. Przedstawiono podstawowe rozkłady, opisujące intensywność uszkodzeń elektronicznych: wykładniczy i Weibulla oraz jedną z miar niezawodności - oczekiwany pozostały czas zdatności obiektu. Oczekiwany pozostały czas zdatności jest charakterystyką funkcyjną niezawodności obiektu nieodnawialnego. Rozdział ten kończy się na 48 stronie.

W rozdziale czwartym przedstawiono opis, opracowanego przez Autora stanowiska laboratoryjnego, pozwalającego na rejestrację zmian parametrów: temperatura, wilgotność, ciśnienie atmosferyczne. Stanowisko badawcze wykorzystuje komorę klimatyczną, system sterowania komorą, system sterowania dla urządzeń SRK z użyciem ogniw Peltiera, system rejestracji wybranych parametrów środowiskowych, oraz odpowiednich obudów ESK stosowanych w systemach transportu kolejowego. W rozdziale przedstawiono zastosowane rozwiązania sprzętowe i opracowane przez Autora oprogramowanie do rejestracji i analizy danych pomiarowych, włącznie z aplikacją mobilną. Wyniki badań z wykorzystaniem opracowanego stanowiska są podstawą do dalszych rozważań dotyczących niezawodności systemów SRK. Rozdział kończy się na 63 stronie.

W rozdziale piątym przedstawiono wyniki analiz wpływu stabilizacji temperatury na zmianę niezawodności systemów sterowania ruchem kolejowym. W sensie niezawodności szafa SRK jest obiektem złożonym. Składa się z podsystemów i elementów o szeregowej strukturze niezawodnościowej, czyli uszkodzenie dowolnego z nich powoduje uszkodzenie wszystkich elementów szafy SRK. Głównym czynnikiem brany pod uwagę był średni czas wystąpienia awarii MTTF (*Mean Time To Failure*, średni czas wystąpienia awarii)

i jego wpływ na niezawodność całego systemu. Zastosowany model niezawodności dla urządzeń mechaniczno-elektronicznych przytorowych przedstawiono na rys 5.8 (str. 83). W analizowanym przypadku założono, że liczba włączeń w szafie torowej jest taka sama dla elementów SRK z ogniwnem Peltiera i bez tego elementu, w określonych przedziałach czasu jest jednakowa. Przyjęto, że w próbie analizy uwzględniono jedynie 3 000 włączeń w systemach szaf SRK. Modelowanie i symulację systemu niezawodnościowego oceniającego elementy SRK wyposażone w ogniwo Peltiera oraz jego brak przedstawiono z wykorzystaniem oprogramowania symulacyjnego Mathematica. Głównym celem modelowania i symulacji pracy systemu SRK była analiza porównawcza wydajności obecnego systemu z wydajnością systemów SRK z zainstalowanym ogniwnem Peltiera. Obliczenia wskaźników potrzebnych do oceny poziomu nienaruszalności bezpieczeństwa wykonano również z wykorzystaniem oprogramowania Mathematica. Wyniki prowadzonych badań zostały przedstawione w postaci charakterystyk prawdopodobieństwa pozostawania układu w stanie niezdatności. W rozprawie przedstawione zostały wykresy porównujące przebiegi funkcji prawdopodobieństwa stanu niezdatności wyznaczonych dla procesów markowskich i semimarkowskich oraz procesów semi - Markowa z założeniem zmiennej intensywności zmian stanów. Dla oszacowanych wartości intensywności uszkodzeń i intensywności napraw przeanalizowano zadanie poprawnej pracy szafy SRK trwające 40 godzin. Algorytm wykonał analizę dla 21 godzin pracy w szafie i 19 godzin dla pracy urządzeń szafy współpracujących z elementami infrastruktury. Autor sam zwraca uwagę, że wiarygodność uzyskanego oszacowania gotowości pracy szafy torowej zależy od wiarygodności danych wejściowych. W celu badania niezawodności funkcjonowania systemu SRK z ogniwnem Peltiera wprowadzono dwa modele. W pierwszym przyjęto, że uszkodzenie wykrywane jest niezwłocznie po wystąpieniu, bez przeprowadzenia inspekcji. W drugim założono, że uszkodzenia wykrywane są podczas następnej inspekcji. Autor przyjął jedną szafę SRK. W związku z tym zaproponowano dwie miary niezawodności dla szafy SRK:

- prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzenia niewykrytego w jednej szafie SRK,
- prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzenia wykrytego w jednej szafie SRK.

Rozdział kończy się na 140 stronie.

Ostatni numerowany rozdział rozprawy to wnioski. Autor zawarł w tym rozdziale krótkie, syntetyczne podsumowanie rozprawy oraz sformułował wnioski końcowe. Podkreślono także wartości i potencjał aplikacyjny uzyskanych wyników. Dodatkowo Autor przedstawił kierunki dalszych badań dotyczących prezentowanej w pracy tematyki. Rozdział ten kończy się na 145 stronie.

Podsumowując należy jednoznacznie stwierdzić, że **Autor zweryfikowała w sposób teoretyczny postawioną w rozprawie tezę.**

Dodatkowo należy wskazać na rozległy i aktualny przegląd literatury. Spis literatury kończy się na 156 stronie.

Język rozprawy jest prosty i komunikatywny. Nie uniknięto jednak usterek i nieścisłości, które w żadnym stopniu nie wpływają na jednoznacznie pozytywną ocenę formalną rozprawy.

3. Ocena rozprawy

Merytoryczna ocena opiniowanej rozprawy doktorskiej mgr. inż. Emila Sadowskiego jest bardzo dobra. Podjęta tematyka jest ważna i ma charakter interdyscyplinarny. Pod względem rozważań teoretycznych wnosi wkład w dyscyplinę inżynieria mechaniczna, zaś pod względem potencjału zastosowania w dyscyplinę inżynieria lądowa i transport.

Autor rozprawy wykazał słuszność postawionej tezy i przeprowadził kompleksowe badania symulacyjne i laboratoryjne. Tym samym należy uznać, że cele rozprawy zostały zrealizowane.

Autor nie ustrzegł się błędów, które wskazałem w recenzowanym egzemplarzu. Błędy te jednak nie wpływają na moją pozytywną ocenę merytoryczną opiniowanej rozprawy doktorskiej.

Dlatego też moja ocena całości rozprawy doktorskiej jest pozytywna.

4. Uwagi i zapytania

Staranna lektura rozprawy prowadzi do następujących uwag i pytań.

Błędy formalne:

- str. 23 „W efekcie otrzymano moc: (wzór 2.33) która równa jest energii”;
- str. 49 napisano „Maksymalna pobierana energia elektroniki w takiej skrzynce wynosi 11W, standardowo jest to 6W”.

Uwagi ogólne:

- Autor rozprawy dość często używa żargonu stosowanego w praktyce inżynierskiej, co należy uznać za niewłaściwe w opracowaniach o charakterze naukowym;
- W treści rozprawy znaleziono wiele błędów językowych, które w przypadku przekazania pracy do druku należałoby poddać korekcie redakcyjnej.

Uwagi szczegółowe:

- str. 8: „wydzielaniu lub pochłaniania”?
- str. 13: „bardziej praktycznych do wytworzenia parametrach elektrycznych”?
- str. 14 zamieszczono tabelę 2.1, brakuje opisu informacji w poszczególnych kolumnach (część z nich opisano w tekście poniżej tabeli);
- str. 22: „regulację widzialnego ciepła”?
- str. 27: „proces gromadzenia temperatury zimnej”?
- str. 37: wystarczado (brak spacji);
- str. 52: „Próbkowanie wynosi ponad 157 Hz” - (powinno być: częstotliwość próbkowania);
- str. 117: „informacje w rozpatrywanym obiekcie” (o rozpatrywanym);
- str. 124: „prawdopodobieństwa podzespołów” (uszkodzenia, poprawnej pracy?);
- str. 141: „wpływu zmian wielkości temperatury i wilgotności” – powinno być bez „wielkości” lub „wartości temperatury i wilgotności;
- w kilku pozycjach literatury (39,48,96) brak jest wydawnictwa i/lub roku wydania.

Pozostałe drobne uwagi redakcyjne zaznaczyłem na otrzymanym egzemplarzu i nie mają one istotnego znaczenia dla wartości merytorycznej pracy.

5. Konkluzja

Opiniowana rozprawa doktorska mgr. inż. Emila Sadowskiego stanowi ciekawe i komplementarne ujęcie problematyki niezawodności oraz bezpieczeństwa urządzeń SRK przy zastosowaniu innowacyjnych rozwiązań kompensujących wpływ czynników środowiskowych poprzez zastosowanie ogniw Peltiera. Na podkreślenie zasługuje poprawność zaplanowanych i wykonanych badań. Realizacja określonych etapów pracy oraz uzyskane wyniki potwierdzają poprawność przyjętej metodyki postępowania zmierzającej do udowodnienia sformułowanej tezy. Pozwala to na wnioskowanie o umiejętności i dojrzałości mgr. inż. Emila Sadowskiego w prowadzeniu badań naukowych.

Recenzowana rozprawa doktorska porządkuje i znacznie poszerza aktualny stan wiedzy oraz wskazuje kierunki dalszych badań związanych z zastosowaniem ogniw Peltiera oraz stanowi oryginalne rozwiązanie problemu badawczego. Zaprezentowane wyniki badań symulacyjnych i laboratoryjnych oraz przedstawione wyniki analiz świadczą o szerokiej wiedzy teoretycznej i praktycznej Autora rozprawy. Chociaż w rozprawie nie zostały bezpośrednio wyszczególnione oryginalne osiągnięcia Autora, to w opinii recenzenta są to autorskie stanowisko badawcze i przedstawione w rozdziale 5 analizy niezawodnościowe będące wynikiem badań oraz modele symulacyjne dotyczące przepływu ciepła w ogniwie Peltiera.

Przedstawione w niniejszej opinii uwagi nie mają większego wpływu na fakt samodzielnego zrealizowania przez Autorkę zadania naukowo-badawczego.

Uważam, że opiniowana rozprawa doktorska mgr. inż. Emila Sadowskiego pt. „Wpływ wybranych czynników środowiskowych na funkcjonowanie układów sterowania ruchem kolejowym” spełnia wymogi określone w Ustawie z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (oraz ustawie z dnia 18 marca 2011 o zmianie ustawy – prawo o szkolnictwie wyższym, ustawy o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki oraz o zmianie niektórych innych ustaw). Może zatem służyć jako podstawa do rozpatrzenia wniosku o nadanie Kandydatowi stopnia doktora nauk technicznych. W związku z powyższym stawiam wniosek o dopuszczenie mgr. inż. Emila Sadowskiego

do publicznej obrony opiniowanej rozprawy jako dzieła w zakresie dyscypliny transport naukowej inżynieria lądowa i transport.

Jednocześnie biorąc pod uwagę poziom rozprawy doktorskiej oraz obszerny plan badań Pana mgr. inż. Emila Sadowskiego składam wniosek o wyróżnienie opiniowanej rozprawy doktorskiej.

Rafał Budał