

Opole, 07.01.2026 r.

Prof. dr hab. inż. Marian ŁUKANISZYN
Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki
Politechnika Opolska

POLITECHNIKA ŚLĄSKA
Biuro Rady Dyscypliny
Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika
i Technologie Kosmiczne
wpłynęło dnia 12-01-26
nr zał.

Recenzja rozprawy doktorskiej

Mgr. inż. Emila Króla

pt. " *Ograniczanie hałasu silników trakcyjnych* "

**wykonanej pod kierunkiem dra hab. inż. Marcina Maciążka, prof. PŚ
(Politechnika Śląska)**

Opiekun pomocniczy: dr inż. Robert Rossa, Sieć Badawcza Łukasiewicz –
Górnośląski Instytut Technologiczny

*Niniejszą recenzję wykonano na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny
Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Śląskiej
z dnia 21 października 2025 r.*

1. Ocena wyboru tematu rozprawy

Praca doktorska „*Ograniczanie hałasu silników trakcyjnych*”, dotyczy aktualnej i rozwijanej w ostatnich latach dziedziny wspomaganego komputerowo projektowania, optymalizacji konstrukcji i sterowania przetworników elektromechanicznych.

Proces projektowania i produkcji maszyn elektrycznych o cylindrycznej strukturze obwodu elektromagnetycznego został bardzo dobrze rozpoznany przez naukowców i konstruktorów w ciągu ostatnich dziesięcioleci.

Z uwagi na swoje zalety – proste uzwojenie i znaczny moment w stosunku do objętości – silniki synchroniczne z magnesami trwałymi mogą znaleźć zastosowanie nie tylko w specjalizowanych napędach elektrycznych, ale także szeroko rozpowszechnionym w literaturze napędzie kół pojazdów samochodowych. Dotyczy to zarówno pojazdów wolnobieżnych, takich jak wózki golfowe, wózki inwalidzkie i niewielkie skutery, jak również napędów do samochodów osobowych i ciężarowych. Olbrzymią zaletą tych silników w porównaniu z innymi silnikami elektrycznymi jest prosta konstrukcja wirnika i związana z nią pewność działania.

Problem ograniczania poziomu hałasu generowanego przez trakcyjne silniki synchroniczne z magnesami trwałymi wymaga jednak szczegółowej analizy mechanizmów

fizycznych odpowiedzialnych za jego powstawanie, a także opracowania efektywnych strategii redukcji emisji akustycznej. Poziom hałasu emitowany przez tego typu silniki stanowi też istotne wyzwanie, zarówno pod względem komfortu użytkowania pojazdów, jak i ochrony środowiska.

W elektrodynamice technicznej za kompleksowe można uważać rozwiązanie, które obejmuje adekwatność geometryczną i fizyczną między modelem i badanym obiektem we wszystkich detalach, takich jak między innymi: nieliniowość stali, prądy wirowe, straty mocy, siły elektrodynamiczne, wpływ temperatury oraz dobór rozwiązań i materiałów umożliwiających optymalizację konstrukcji, a także wyeliminowanie zagrożeń elektrycznych, elektromagnetycznych, dynamicznych i cieplnych oraz ograniczenie hałasu.

Współczesne badania wykorzystują zaawansowane narzędzia symulacyjne, takie jak ANSYS MotorCAD czy Eomys MANATEE, pozwalają na przeprowadzanie szczegółowych analiz wibroakustycznych NVH (Noise, Vibration, Harshness) już na etapie wirtualnego prototypowania. Umożliwia to identyfikację źródeł hałasu oraz ocenę skuteczności rozwiązań projektowych.

Autor rozprawy stara się uwzględnić te problemy. Tematyka rozprawy jest zatem ukierunkowana na problemy projektowania, wyznaczania zarówno parametrów elektromagnetycznych oraz aspektów związanych z ograniczaniem źródeł hałasu silników. Problemy te są zdecydowanie mniej rozpoznane w literaturze przedmiotu.

Instytut Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL od kilkunastu lat realizuje w sposób ciągły badania z tej obszernej i ciekawej problematyki.

Dlatego też wybór tematu rozprawy doktorskiej mgr. inż. **Emila Króla** uważam za trafny i aktualny zarówno z punktu widzenia rozwiązania problemu naukowego, jakim jest analiza i projektowanie konstrukcji silników elektrycznych o ograniczonym poziomie hałasu, jak też ze względu na charakter aplikacyjny związany z napędami elektrycznymi.

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska znajduje się w głównym nurcie współczesnej analizy i projektowania urządzeń elektrotechnicznych za pomocą technik należących do tzw. elektromagnetyzmu obliczeniowego. Reasumując stwierdzam, że praca badawcza mgr. inż. **Emila Króla** w zakresie stosowania metod polowych, w obliczeniach pola elektromagnetycznego i identyfikacji źródeł hałasu, w strukturach obiektów fizycznych, doprowadziła do powstania - użytecznego i skutecznego narzędzia analizy i projektowania silników elektrycznych trakcyjnych o ograniczonym poziomie hałasu. Zaproponowane autorskie modele obliczeniowe silników elektrycznych do napędu pojazdów trakcyjnych, pozwalają na sprawne i skuteczne projektowanie oraz analizę wpływu zmian konstrukcyjnych

na parametry eksploatacyjne tego rodzaju silników ze szczególnym uwzględnieniem zagadnień wibroakustycznych.

Tematykę rozprawy uważam więc za aktualną i nowoczesną. Szerokie spektrum problemów, które pojawiły się w trakcie wykonywania badań, jak również aktualność tematyki z punktu widzenia technicznego gwarantują, że badania mogą być kontynuowane w przyszłości.

2. Cel i teza naukowa rozprawy

Praca Pana mgr. inż. **Emila Króla** jest wynikiem systematycznych studiów nad zagadnieniem analizy, modelowania i projektowania konstrukcji silników elektrycznych do napędu pojazdów trakcyjnych o ograniczonym poziomie hałasu.

Przedmiotem pracy jest opracowanie metody analizy rozwiązań konstrukcyjnych silnika o ograniczonym poziomie hałasu oraz wykonanie prototypów silników i szeregu badań, które pozwolą na uzyskanie zbieżnych wyników obliczeń z wynikami badań na modelach fizycznych silnika.

Zbudowane modele fizyczne silników synchronicznych z magnesami trwałymi o ograniczonym poziomie hałasu są też efektem pracy.

Autor formułuje cel pracy na str. 14, który sprowadza się do opracowania wytycznych projektowych, dla trakcyjnych silników synchronicznych z magnesami trwałymi, charakteryzujących się możliwie najmniejszym poziomem hałasu generowanego przez obwód elektromagnetyczny. W zakres pracy wchodzi: zaprojektowanie stanowiska badawczego, opracowanie modeli obliczeniowych (elektromagnetycznych i wibroakustycznych) silników w środowisku ANSYS MotorCAD czy Eomys MANATEE, wdrożenia nowych rozwiązań technologicznych i materiałowych, wykonanie modeli fizycznych silników oraz badań porównawczych i weryfikacji. Tak postawiony cel pracy uważam za w pełni poprawny i uzasadniony.

Autor wyszczególnia jedną tezę naukową rozprawy (str.15), stwierdzając, że: *„Możliwy jest dobór parametrów konstrukcyjnych obwodu magnetycznego i uzwojenia twornika silnika synchronicznego z magnesami trwałymi, przeznaczonego do zastosowań w napędach trakcyjnych, który umożliwi osiągnięcie wymaganych charakterystyk elektromechanicznych napędu, przy jednoczesnym ograniczeniu mocy akustycznej generowanej przez silnik....”*. Zagadnienie naukowe, jakie Autor postawił sobie do rozwiązania zostało określone logicznie i precyzyjnie. Prezentowane wyniki symulacji komputerowych i badań eksperymentalnych mające na celu udowodnienie postawionej tezy, przedstawiono w sposób czytelny i przejrzysty.

3. Ocena merytoryczna rozprawy

Przedstawiona rozprawa została przygotowana jako praca promocyjna (doktorska). Praca składa się z szesnastu rozdziałów podstawowych, w tym wykazu ważniejszych oznaczeń, spisu literatury (114 pozycji) oraz wykaz prac własnych Doktoranta. Recenzowaną rozprawę zaliczam do grupy prac technologiczno-projektowych.

Modelowanie oraz obliczenia poziomu hałasu i drgań w trakcyjnych silnikach synchronicznych z magnesami trwałymi PMSM stanowią złożony, interdyscyplinarny proces, który obejmuje analizy elektromagnetyczne, mechaniczne oraz termiczne. Po zakończeniu obliczeń elektromagnetycznych, uzyskane rozkłady sił służą jako dane wejściowe do analizy strukturalnej.

Można zgodzić się ze stwierdzeniem Autora ze str.49, że: *„Modelowanie wibroakustyczne silników PMSM, szczególnie tych przeznaczonych do zastosowań trakcyjnych, wymaga podejścia holistycznego, które uwzględnia ścisłe współzależności pomiędzy zjawiskami: mechanicznymi, elektromagnetycznymi, strukturalnymi, termicznymi oraz sterowaniem elektrycznym.”*. Zasilanie silników z magnesami trwałymi (PMSM) przy użyciu falowników ma również istotny wpływ na poziom generowanego hałasu, co wynika zarówno z charakterystyki modulowanego napięcia, jak i z obecności wyższych harmonicznych w przebiegach prądowych. Skutkuje to również powstawaniem drgań i emisją hałasu. Uwzględnienie wszystkich tych aspektów umożliwia rzeczywiste odwzorowanie zachowania układu napędowego oraz jego optymalizację. Jest zatem zagadnieniem bardzo złożonym pod kątem ograniczenia poziomu hałasu i drgań.

Uważam, że oceniana praca mgr. **Emila Króla** spełnia wymogi pracy doktorskiej, gdyż zawiera oryginalne wartości:

- poznawcze w obszarze badanych zjawisk elektromagnetycznych i wibroakustycznych;
- konceptyjno-konstrukcyjne w obszarze metod projektowania układów pomiarowych;
- teoretyczne w zakresie identyfikacji źródeł hałasu oraz oceny skuteczności rozwiązań projektowych, zweryfikowanych na stanowisku badawczym;
- praktyczne związane z wykonaniem konstrukcji silników synchronicznych z magnesami trwałymi o ograniczonym poziomie hałasu wraz z zasilaniem falownikowym umożliwiającym osiągnięcie założonych parametrów ruchowych i wibroakustycznych silnika;
- eksperymentalne w obszarze identyfikacji parametrów modelu fizycznego silnika synchronicznego z magnesami trwałymi o ograniczonym poziomie hałasu.

Stanowi ona moim zdaniem istotny wkład w rozwój technik analizy, projektowania, optymalizacji konstrukcji i technologii wykonania silników synchronicznych z magnesami trwałymi do napędu pojazdów trakcyjnych o ograniczonym poziomie hałasu. Nie ulega wątpliwości, że Doktorant osiągnął wysoki stopień opanowania teorii i techniki obliczeń elektromagnetycznych i wibroakustycznych oraz technik pomiarowych i metod sterowania.

Praca jest skonstruowana poprawnie. We wprowadzeniu Autor przedstawił genezę powstania pracy, problem badawczy i opisał główne zalety zastosowania silników synchronicznych z magnesami trwałymi w napędzie trakcyjnym. Krytycznie omówił też stan wiedzy dotyczący metod projektowania i zastosowań silników, wyraźnie sformułował cel oraz precyzyjnie postawioną tezę pracy (rozdział 2).

W rozdziale 3 opisano podstawowe pojęcia i definicje hałasu akustycznego, normy poziomu hałasu silników trakcyjnych oraz jego źródła i przyczyny. Rozdział 4 zawiera przegląd metod obliczeń poziomu hałasu. Omówiono szczegółowo metodę analityczną, metodę hybrydową MES 2D i metodę hybrydową MES 3D.

Rozdział 5 poświęcono analizie konstrukcji silników elektrycznych stosowanych w pojazdach elektrycznych, natomiast rozdział 6 zawiera analizę sił pochodzenia magnetycznego w szczelinie powietrznej silników PMSM. Szczególną uwagę zwrócono na siły promieniowe, których częstotliwości przy zbieżności z częstotliwościami własnymi stojana i kadłuba prowadzić do rezonansu i znacznego wzrostu poziomu generowanego poziomu hałasu. Szczególną rolę odgrywa kształt przestrzenny ($r = 0$), nazywany trybem oddechowym, który odpowiada za równomierne, pulsacyjne deformacje promieniowe.

Metody obniżenia poziomu hałasu silników trakcyjnych zostały zaprezentowane w rozdziale 7. Omówiono na podstawie literatury rozwiązania konstrukcyjne stojana, wirnika, kadłuba i tarcz łożyskowych oraz wpływ zasilania falownikowego i modyfikację jego oprogramowania, a także metody aktywnego tłumienia poziomu hałasu.

W rozdziale 8 opisano szczegółowo narzędzia i metody do obliczeń elektromagnetycznych i wibroakustycznych, niezbędne do opracowywania modeli: ANSYS Motor-CAD, FEMM z GNU Octave, PYLEECAN oraz Eomys MANATEE.

Opracowana autorska rozszerzona metoda hybrydowa (rozdział 9) została zastosowana zarówno do analizy wcześniej wykonanego silnika prototypowego SMwsK280M16, jak i do obliczeń silników seryjnych. Stanowi ona podstawowe narzędzie wstępnej oceny właściwości wibroakustycznych silników trakcyjnych z magnesami trwałymi opracowywanych w Łukasiewicz - GIT.

Wytyczne projektowe zastosowane w obliczeniach silników zawarto w rozdziale 10. Zastosowanie tych wytycznych pozwala projektantom na świadome i skuteczne minimalizowanie hałasu, przy jednoczesnej możliwości poprawiania parametrów elektromechanicznych napędów trakcyjnych.

W rozdziale 11 Autor omówił szczegółowo badania laboratoryjne zaprojektowanych silników prototypowych typu SMwsK280M20 oraz SMwsK280M16. Przeprowadzone badania silnika SMwsK280M20 umożliwiły wprowadzenie korekt konstrukcyjnych do kolejnego silnika prototypowego. Zastosowane zmiany w konstrukcji silnika nie przyniosły jednak zakładanych rezultatów w postaci znacznego obniżenia poziomu mocy akustycznej, a obniżono jedynie jego częstotliwość.

Rozdział 12 jest poświęcony analizie badań symulacyjnych seryjnych silników typu SMwsK280M16A oraz SMwsK280M16B o mocy powyżej 250 kW. Zostały one zaprojektowane ze zbliżonymi wymiarami gabarytowymi do wcześniejszych analizowanych konstrukcji prototypowych. Celem było opracowanie konstrukcji, która łączy wysoką sprawność i gęstość mocy z niskim poziomem hałasu i drgań, stanowiąc kompromis pomiędzy wymaganiami eksploatacyjnymi a komfortem akustycznym użytkownika pojazdu. W wyniku tych prac opracowano nową wersję silnika, o zwiększonej mocy i momencie maksymalnym, oznaczoną jako SMwsK280M16B. Na uwagę zasługuje stanowisko badawcze oraz opracowany przez Autora rozszerzony program badań.

Dokonano oceny skuteczności proponowanych rozwiązań, technologii wykonania silników prototypowych oraz wpływu parametrów zasilania silnika na jego temperaturę pracy w różnych warunkach. Celem badań Autora było opracowanie silnika o lepszych parametrach elektromechanicznych a jednocześnie spełniającego normy hałasu. Przeprowadzone obszerne badania wibroakustyczne umożliwiają dokonanie analizy oraz porównania wyników wartości poziomów mocy akustycznej wyliczonych na podstawie wykonanych pomiarów poziomu ciśnienia akustycznego dla badanego silnika seryjnego SMwsK280M16B. Określono również poziom emisji hałasu w różnych warunkach pracy, a także wpływ parametrów eksploatacyjnych, takich jak prędkość obrotowa, stan pracy czy sposób zasilania, na całkowitą moc akustyczną generowaną przez silnik. Ważnym efektem badań jest określenie korekt poziomu mocy akustycznej do wyników obliczeń. Wynikają one z braku uwzględniania w obliczeniach wibroakustycznych rzeczywistego kadłuba i jego dokładnych częstotliwości modalnych, braku uwzględnienia zasilania falownikowego a także z uproszczeń stosowanych przy analizie modalnej uzwojonego pakietu stojana. Przeprowadzone badania wykazały jednoznacznie, że dominującym mechanizmem

generowania hałasu w analizowanych silnikach synchronicznych są siły elektromagnetyczne powodujące drgania kształtu oddechowego ($r = 0$) dla częstotliwości wynikających z liczby zębów stojana i liczby biegunów oraz prędkości obrotowej.

Kolejny rozdział 13 zawiera opracowane w ramach pracy i wdrożone autorskie wytyczne projektowe, które dzięki ścisłemu powiązaniu analiz wibroakustycznych z obliczeniami elektromagnetycznymi pozwalają projektować ciche, a jednocześnie wysokosprawne napędy trakcyjne. Na uwagę zasługuje opracowany kompletny, autorski zestaw wytycznych, algorytmów i procedur projektowych, które łączą metody analityczne, hybrydowe i zaawansowane symulacje MES 2D z rozbudowanymi badaniami laboratoryjnymi.

W rozdziale 14 Autor zaprezentował podsumowanie i osiągnięcia w pracy.

Oceniając pracę chcę podkreślić, że została ona wykonana na bardzo dobrym poziomie i jest wartościowa z punktu widzenia pogłębienia wiedzy na temat modelowania i projektowania silników elektrycznych synchronicznych do napędu pojazdów trakcyjnych o ograniczonym poziomie hałasu. Wnosi ona także oryginalny wkład naukowy i potwierdza wysokie kwalifikacje Autora rozprawy.

Do oryginalnych osiągnięć w pracy doktorskiej można zaliczyć:

1. Autorskie opracowanie metodyki analizy i środowiska komputerowego, które może być uniwersalnym narzędziem do analizy stanów pracy, wspomagania procesu projektowania oraz optymalizacji do napędu pojazdów trakcyjnych o ograniczonym poziomie hałasu;
2. opracowanie modeli komputerowych silników elektrycznych synchronicznych w programie ANSYS MotorCAD i Eomys MANATEE;
3. opracowanie i wdrożenie rozwiązań konstrukcyjnych i technologicznych silników do napędu pojazdów trakcyjnych o ograniczonym poziomie hałasu;
4. analizę efektywności i dokładności modeli symulacyjnych w szczególności dotyczących hałasu maszyny;
5. opracowanie, zaprojektowanie i wykonanie prototypów silników elektrycznych do napędu pojazdów trakcyjnych o ograniczonym poziomie hałasu;
6. przeprowadzenie analizy pracy silnika z uwzględnieniem zasilania z falownika;
7. analizę wpływu zmian konstrukcyjnych obwodu elektromagnetycznego i zmian technologicznych oraz parametrów zasilania silnika na jego charakterystyki eksploatacyjne i hałas;
8. zaprojektowanie stanowiska pomiarowego i wykonanie badań eksperymentalnych;

9. poprawienie parametrów silnika SMwsK280M16B w zakresie wibroakustyki (z wartości 99,16 dB(A) do 89,42 dB(A)) przy jednoczesnym znacznym poprawieniu jego parametrów trakcyjnych (moc znamionowa z 250 kW do 300 kW, a sprawność z 0,945 do 0,971) w porównaniu do wcześniejszych wersji prototypowych i seryjnych.

Brak też moim zdaniem poważniejszych błędów i uchybień, które należałoby podnieść.

W trakcie zapoznawania się z treścią pracy nasunęło mi się kilka pytań i uwag dyskusyjnych, do których prosiłbym o komentarz ze strony Doktoranta:

1. Dokonując przeglądu literatury, nie wspomina Pan o pracach prof. S. Szymańca, Wacha i innych, związanych z minimalizacją hałasu silników indukcyjnych dużej mocy;
2. Ponieważ stosowany jest rozruch częstotliwościowy, brak klatki tłumiącej może powodować kołysanie maszyny. Proszę o komentarz.
3. Na str. 69, Autor napisał o silniku przyjętym do badań, jako model podstawowy - SMwsK280M20. Czy Autor brał udział w projektowaniu tej maszyny?
4. Czy zmiany liczby żłobków w stojanie i układu magnesów w wirniku („Odwrócona Delta”), to autorskie rozwiązania Doktoranta ?
5. Ograniczenia proponowanych w pracy algorytmów;
6. Obliczenia wykonano dla 3-fazowych silników elektrycznych synchronicznych. Czy to oprogramowanie można zastosować do innych struktur silników (np. tarczowych)?
7. Czy Autor widzi możliwość uwzględnienia skosu żłobków (magnesów) w opracowanym oprogramowaniu, chociaż Autor stwierdza, że ze względów technologicznych wykonuje się skos w wirniku (str. 53) ?
8. Czy analizowano moment zaczepowy silnika ?
9. Niewątpliwie, osiągnięciem Autora jest również opracowanie modelu silników elektrycznych do napędu pojazdów trakcyjnych o ograniczonym poziomie hałasu (program ANSYS MotorCAD czy Eomys MANATEE), który umożliwia uwzględnienie zjawisk elektromagnetycznych, wibroakustycznych i cieplnych oraz wykonanie prototypów silników. Czy zdaniem Autora istnieje możliwość optymalizacji konstrukcji takich maszyn? Czy Autor mógłby przedstawić na podstawie literatury możliwości optymalizacji kształtu obwodu magnetycznego z punktu widzenia minimalizacji hałasu i zachowania wartości średniej momentu silnika i sprawności za pomocą algorytmów deterministycznych lub ewolucyjnych? Jakie postaci przyjęłyby funkcje celu?

10. Dlaczego zdecydował się Pan na metodę hybrydową opartą o MES 2D, skoro wiadomo, że nie uwzględnia ona skomplikowanych kształtów przestrzennych drgań kadłuba, które można wyznaczyć w MES 3D? Gdzie leży granica stosowalności Pana metody?
11. W pracy wykazuje Pan różnicę rzędu 30 dB między symulacją a pomiarem dla silnika. Jakie konkretnie zjawiska fizyczne - pominięte w modelu Motor-CAD składają się na tak dużą wartość?
12. W pracy pomija Pan siły osiowe. Czy można zastosować to uproszczenie również w przypadku wystąpienia dynamicznego mimośrodów lub błędu montażowego łożysk?
13. Wspomina Pan o niesynchronizowanych falownikach jako źródle dodatkowego hałasu. Czy zmiana częstotliwości kluczenia (np. z 4kHz na 8kHz) lub zastosowanie techniki *Random PWM* mogłoby zredukować konieczność stosowania tak dużej korekty (+8 dB)?
14. Dlaczego w silnikach o tej konkretnej konstrukcji (duża średnica, cienkie jarzmo, 20 biegunów) to właśnie kształt przestrzenny oddechowy jest dominujący ($r=0$), a nie kształty o większym rzędzie?
15. Czy wyznaczone współczynniki korekcyjne (tabela 15) można bezpiecznie ekstrapolować do silników o innej liczbie biegunów lub innej technologii chłodzenia (np. płaszcz wodny vs. powietrze)?
16. Porównywał Pan kadłub spawany i odlewany. Który z nich ma korzystniejsze właściwości tłumiące i jak to wpływa na "kulturę pracy" napędu?
17. Gdyby miał Pan zaprojektować kolejną generację tego silnika (np. wersję "C"), jakie zmiany w obwodzie magnetycznym wprowadziłby Pan w pierwszej kolejności, aby wyeliminować źródło hałasu 4.8 kHz ?

4. Uwagi szczegółowe

Praca została napisana poprawnym i zrozumiałym stylem. Podkreślam staranność Autora w poprawnym zapisywaniu wzorów matematycznych oraz bardzo dobrą stronę graficzną pracy.

W pracy znalazłem niewiele błędów edytorskich (np. str.: 32, 64, 67, 68, 122) oraz dotyczących stylu (np. str.: 12, , 34, 51, 74, 79, 120, 122), które nie wpływają na ostateczną pozytywną ocenę pracy. Spis literatury zawiera jednak wiele błędów interpunkcyjnych.

Należy też zwrócić uwagę na pewne niedociągnięcia:

- str. 49, „*Analiza sił w szczelinie powietrznej silników PMSM*” – niezrozumiałe stwierdzenie;

- str. 31, 76, 92,... 123 - niejasne podpisy pod rysunkami;
- str. 58, 103 - nie „przy pomocy”, a „za pomocą”.

5. Konkluzja recenzji

Stwierdzam, iż rozprawa jest napisana bardzo starannie, układ pracy jest precyzyjny i logiczny, a strona graficzna jest wzorowa. Wnioski końcowe uzyskane w pracy są poprawne i interesujące.

Przedstawione powyżej uwagi ogólne i szczegółowe nie obniżają mojej pozytywnej oceny pracy.

Wyniki rozważań zawarte w rozprawie upoważniają do stwierdzenia, iż została udowodniona teza oraz osiągnięto założone cele pracy.

Przedstawiona rozprawa dowodzi, że Doktorant umiejętnie korzysta z najnowszej literatury w obranej dziedzinie wiedzy, podchodzi do niej krytycznie, a ponadto potrafi twórczo rozwijać osiągnięcia innych autorów.

Doktorant wykazał się bardzo dobrą znajomością nowoczesnej metodyki modelowania złożonych obiektów fizycznych, metod numerycznych oraz technik pomiarów i sterowania. Uważam, że praca stanowi samodzielne rozwiązanie przez Autora szeregu zagadnień naukowych przy użyciu nowoczesnych metod badawczych.

Doktorant od około 20 lat pracuje w INiME KOMEL na stanowisku głównego specjalisty i kierownika Grupy Badawczej. Przedstawione zagadnienia, w znacznej mierze są efektem prac zrealizowanych przez Autora w Instytucie Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL w ramach projektów badawczych. Na uwagę zasługuje dorobek naukowy Doktoranta w liczbie 51 artykułów, 17 projektów naukowo-badawczych oraz 9 patentów. Praca została wykonana w ramach doktoratu wdrożeniowego.

Stwierdzam, iż recenzowana rozprawa pt.: "*Ograniczanie hałasu silników trakcyjnych*" autorstwa Pana mgr. inż. **Emila Króla** stanowi samodzielne rozwiązanie zadania badawczego i spełnia z wyraźnym nadmiarem kryteria stawiane kandydatom do stopnia naukowego doktora w Ustawie - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (j.t. Dz. U. z 2023 r. poz. 742, z późn. zm.). Można, moim zdaniem, rozważyć wyróżnienie pracy.

W związku z powyższym stawiam wniosek o przyjęcie przedstawionej pracy jako rozprawy doktorskiej i dopuszczenie jej Autora Pana mgr. inż. **Emila Króla** do dalszych etapów przewodu doktorskiego w dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne.