

Szamotuły, dn. 2025-12-28

Dr hab. inż. Rafał M. Wojciechowski, prof. PP.

*Instytut Elektrotechniki i Elektroniki Przemysłowej
Wydział Automatyki, Robotyki i Elektrotechniki
Politechnika Poznańska*

Recenzja rozprawy doktorskiej mgra inż. Emila Króla nt. „Ograniczanie hałasu silników trakcyjnych”

1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Niniejsza recenzja została przygotowana na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmicznej Politechniki Śląskiej dra hab. inż. Adama Gałuszki prof. PŚ, w związku z powołaniem mojej osoby pismem **RDAEETK. 0211.112.2025** z dn. 21.10.2025 r. na recenzenta rozprawy doktorskiej mgra inż. Emila Króla.

Podstawę prawną sporządzenia niniejszej oceny stanowią przepisy Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (tj. Dz. U. z 2024 r. poz. 1571 ze zm.), w szczególności art. 190 ust. 2, określający wymogi merytoryczne stawiane rozprawom doktorskim oraz tryb powoływania recenzentów. Zgodnie z art. 187 ust. 1 i 2 przywołanej Ustawy, rozprawa doktorska powinna prezentować ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, a jej przedmiotem powinno być oryginalne rozwiązanie problemu naukowego lub oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej.

Należy podkreślić, że recenzowana praca została zrealizowana w trybie **doktorat wdrożeniowy**. Jest to specyficzna ścieżka rozwoju naukowego, która łączy zaawansowaną działalność badawczą z bezpośrednim zastosowaniem jej wyników w praktyce przemysłowej. Niniejsza kwestia determinuje zatem charakter rozprawy, w której akcenty położone są nie tylko na aspekty poznawcze, ale w równym stopniu na aspekty utylitarne i wdrożeniowe. Rozprawa mgra inż. E. Króla powstała przy ścisłej współpracy Politechniki Śląskiej z Centrum Napędów i Maszyn Elektrycznych (KOMEL) wchodzącego w skład Sieci Badawczej Łukasiewicz – Górnośląskiego Instytutu Technologicznego.

Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Marcin Maciążek, prof. PŚ, reprezentujący środowisko akademickie, natomiast funkcję opiekuna pomocniczego ze strony przemysłu pełni dr inż. Robert Rossa. Taki dobór kadry opiekuńczej zapewnił Doktorantowi wsparcie zarówno w zakresie metodologii naukowej, jak i dostępu do zaawansowanej infrastruktury badawczej oraz wiedzy technologicznej.

2. Ocena wyboru tematu i celu pracy

Rozwój cywilizacyjny oraz rosnąca świadomość ekologiczna społeczeństw wymuszają ciągle poszukiwanie nowych, bardziej efektywnych i przyjaznych środowisku rozwiązań w transporcie. Elektromobilność, będąca jednym z filarów współczesnej transformacji energetycznej, stawia przed inżynierami szereg nowych wyzwań. O ile w początkowej fazie rozwoju pojazdów elektrycznych (EV) oraz hybrydowych (HEV) główny nacisk kładziono na zasięg, sprawność energetyczną układu napędowego oraz gęstość mocy, o tyle obecnie, w dobie dojrzewania nowych technologii, coraz większego znaczenia nabierają parametry związane z komfortem użytkowania, w tym z wibroakustyką (z ang. NVH – *Noise, Vibration, Harshness*).

Wybór tematu pracy, dotyczący ograniczania hałasu silników trakcyjnych, oceniam jako niezwykle trafny, aktualny i ważny, zarówno z punktu widzenia naukowego, jak i gospodarczego. Problem hałasu generowanego przez maszyny elektryczne, choć znany od dziesięcioleci, w kontekście napędów trakcyjnych nabiera zupełnie nowego wymiaru. Silniki synchroniczne z magnesami trwałymi (PMSM), powszechnie stosowane w pojazdach ze względu na swoje wysokie parametry dynamiczne, charakteryzują się specyficznym widmem akustycznym. Generowane przez nie siły pochodzenia magnetycznego, w szczególności siły promieniowe działające na stojan silnika, mogą prowadzić do powstawania uciążliwych dźwięków o odpowiednio wysokiej częstotliwości, często o charakterze tonalnym, które mogą być negatywnie odbierane przez otoczenie. Szczególnie istotne jest to w przypadku pojazdów transportu masowego, tj. autobusy elektryczne, trolejbusy czy tramwaje poruszające się w strefach miejskich, gdzie cicha praca jest jednym z kluczowych atutów napędu elektrycznego.

Należy zauważyć, że rozważane zagadnienie dotyczące hałasu jest wielowymiarowe i skomplikowane. Projektant silnika trakcyjnego stoi przed koniecznością rozwiązania problemu optymalizacji wielokryterialnej, w której nierzadko występują cele sprzeczne. Dążenie do maksymalizacji momentu obrotowego i minimalizacji masy (*poprzez stosowanie cienkościennych korpusów czy wysokich indukcyj w szczelinie*) często prowadzi do obniżenia sztywności strukturalnej i zwiększenia podatności na wzbudzenie rezonansowe. Ponadto, specyfika zasilania z przekształtników energoelektronicznych (*falowników*), wprowadza do widma prądu oraz napięcia szereg wyższych harmonicznych związanych m.in. z częstotliwością kluczowania, co dodatkowo komplikuje analizę wibroakustyczną.

W recenzowanej pracy Autor formułuje następującą tezę badawczą:

„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 podczas jego pracy do poziomu nieuciążliwego dla otoczenia”.

Tak sformułowana teza jest poprawna merytorycznie. Zakłada ona, że poprawa właściwości akustycznych nie musi odbywać się kosztem pogorszenia parametrów trakcyjnych, co jest kluczowe dla konkurencyjności rynkowej opracowywanych rozwiązań.

Jako cel pracy Doktorant przyjął opracowanie wytycznych projektowych dla trakcyjnych silników PMSM, które umożliwiłyby inżynierom skuteczne ograniczenie emisji hałasu pochodzenia elektromagnetycznego już na etapie prac koncepcyjnych. Cel ten, osadzony w realiach projektu badawczo-rozwojowego „Polska generacja elektrycznych układów napędowych z zastosowaniem do napędów autobusowych, samochodów dostawczych i ciężarowych oraz innych pojazdów użytkowych i przemysłowych” o akronimie POLNAPEL ma wymiar użytkowy. Autor rozprawy postawił sobie za zadanie nie tylko analizę zjawisk fizycznych, ale przede wszystkim stworzenie praktycznego narzędzia (*metodyki*) pozwalającego na uniknięcie kosztownych błędów projektowych, skutkujących koniecznością budowy wielu iteracji prototypów fizycznych.

Niniejszym uważam, że podjęta przez mgr inż. Emila Króla tematyka badawcza jest w pełni uzasadniona. Zagadnienie redukcji hałasu w silnikach dużej mocy (tzw. *klasa 200-300 kW*), przeznaczonych do pojazdów ciężkich, jest obszarem, w którym wciąż istnieje zapotrzebowanie na pogłębione badania, zwłaszcza w kontekście krajowego przemysłu elektromaszynowego. Postawiony cel pracy uznaję za ważny, a przedstawiony w rozprawie zakres badań – obejmujący modelowanie analityczne, symulacje numeryczne oraz weryfikację na rzeczywistych obiektach – potwierdza możliwość jego realizacji.

3. Redakcja i zakres pracy

Recenzowana dysertacja ma objętość 180 stron i składa się z 16 rozdziałów (*wliczając wykaz oznaczeń, bibliografię i spis publikacji*). Układ pracy jest logiczny i przejrzysty, prowadząc czytelnika od wprowadzenia teoretycznego, przez opis metodyki, aż po prezentację wyników badań i wnioski końcowe. Spis literatury obejmuje pozycje zwarte, artykuły naukowe oraz normy, co świadczy o dobrym rozeznaniu Autora w tematyce.

Szczegółowa analiza rozprawy mgr inż. Emila Króla przedstawia się następująco:

Wprowadzenie i tło teoretyczne (rozdziały 2÷5):

Autor rozpoczyna rozprawę od przedstawienia jej genezy, wynikającej z realnych potrzeb przemysłu zgłoszonych w ramach projektów realizowanych w Instytucie KOMEL (*obecnie Sieć Badawcza Łukasiewicz-GIT*). Precyzyjnie definiuje problem badawczy, wskazując na złożoność zjawisk wibroakustycznych w silnikach z magnesami trwałymi typu PMSM. W *rozdziałach 3 i 4* dokonuje przeglądu podstawowych pojęć z zakresu akustyki oraz źródeł hałasu w maszynach elektrycznych, dzieląc je na mechaniczne, aerodynamiczne i magnetyczne. Autor słusznie identyfikuje siły pochodzenia magnetycznego jako dominujące źródło hałasu w nowoczesnych silnikach trakcyjnych chłodzonych cieczą, gdzie hałas wentylacyjny jest minimalizowany. Przegląd metod obliczeniowych (*analityczne, hybrydowe MES 2D/3D*) jest poprawny, choć w mojej ocenie mógłby zostać wzbogacony o szersze odniesienie szczególnie w obszarze dorobku krajowego, o czym szerzej piszę w uwagach dyskusyjnych.

Metodyka badań i narzędzia (rozdziały 6÷9):

W tej części Autor rozprawy przedstawia proces modelowania wibroakustycznego. Na szczególną uwagę zasługuje *Rozdział 9*, w którym zaprezentowano autorską „*metodę hybrydową 2D obliczeń wibroakustycznych*”. Propozycja ta, polegająca na połączeniu szybkich obliczeń analitycznych (*wyznaczanie wartości częstotliwości źródeł wymuszeń*) i numerycznych 2D (*analiza polowa*) z empirycznymi korektami uwzględniającymi wpływ rzeczywistego korpusu i zasilania, jest interesującym podejściem inżynierskim. Autor świadomie rezygnuje z pełnych, czasochłonnych modeli 3D na wczesnym etapie projektowania na rzecz szybszych metod, które po odpowiednim skalibrowaniu pozwalają na otrzymanie wystarczająco dokładnych modeli dla celów przemysłowych. Omawiane w pracy oprogramowanie takie jak *Ansys Motor-CAD*, *Eomys MANATEE* oraz *FEMM/GNU Octave* świadczy o dobrej znajomości Autora rozprawy o nowoczesnych narzędziach inżynierskich stosowanych w analizie problemów typu NVH.

Badania własne oraz wyniki obliczeń (rozdziały 10÷12):

Niniejsza część pracy to najobszerniejsza i najbardziej wartościowa merytorycznie część rozprawy. Autor szczegółowo omawia proces projektowania i badania czterech typów silników:

1. **Silniki prototypowe (SMwsK280M20, SMwsK280M16):** Analiza tych konstrukcji pozwoliła na identyfikację problemów projektowych skutkujących generacją nadmiernego hałasu (*rezonans częstotliwości oddechowej $r = 0$ z drganiami własnymi stojana*).
2. **Silniki seryjne (SMwsK280M16A, SMwsK280M16B):** Na bazie doświadczeń związanych z budową silników prototypowych z pkt. 1, Autor zaprojektował i zoptymalizował nowe wersje silników. Wprowadzenie zmian w geometrii obwodu magnetycznego (*m.in. zmiana liczby żłobków, zmiana topologii magnesów z układu „V” na układ „delta” w wersji silnika typu B*) przyniosło wymierne korzyści.

Rozdział 12 zawiera unikalne wyniki badań laboratoryjnych, w których Autor analizuje wpływ temperatury uzwojeń oraz sposób zasilania silników (*poprzez falowniki*) na poziom mocy akustycznej. Wykazanie, że silnik w stanie „gorącym” generuje niższy poziom hałasu niż w stanie „zimnym” dla pewnych punktów pracy, jest cenną obserwacją empiryczną, rzadko spotykaną w literaturze przedmiotu.

Podsumowanie i wnioski (rozdziały 13÷14):

Autor formułuje zbiór wytycznych projektowych („*Metodologia projektowania*”), które systematyzują zdobytą wiedzę i mogą służyć jako „drogowskaz” dla konstruktorów maszyn elektrycznych. Wnioski końcowe są sformułowane poprawnie i wynikają bezpośrednio z przeprowadzonych badań.

Ocena redakcyjna:

Praca napisana jest starannie, językiem technicznym o odpowiednim stopniu precyzji. Materiał ilustracyjny (*wykresy charakterystyk, mapy sprawności, spektrogramy hałasu, przekroje silników*) jest dość bogaty i czytelny, co znacząco ułatwia zrozumienie prezentowanych treści. Pewne zastrzeżenia budzić mogą drobne błędy interpunkcyjne oraz sporadyczne literówki, które jednak nie obniżają ogólnej, oceny redakcyjnej dysertacji.

4. Ocena wartości naukowej

Mgr inż. Emil Król wykazał się dojrzałością naukową oraz umiejętnością łączenia wiedzy teoretycznej z praktyką inżynierską. Przeprowadzone badania wskazują słuszność postawionej tezy. Do najważniejszych osiągnięć naukowo-technicznych Autora rozprawy zaliczam:

1. **Opracowanie oraz weryfikację „metody hybrydowej 2D”:** Autor zaproponował metodykę, która pozwala na efektywne projektowanie silników generujących niski poziom hałasu w warunkach zarówno przemysłowych jak i trakcyjnych. Kluczowym elementem jest tutaj wprowadzenie współczynników korekcyjnych (*przy zasilaniu falownikowym oraz dla konstrukcji korpusu*), wyznaczonych eksperymentalnie, co pozwala na skorygowanie wyników symulacji dwuwymiarowych (2D) z stanem rzeczywistym bez konieczności stosowania kosztownych obliczeniowo modeli trójwymiarowych (3D).
2. **Analizę wpływu topologii wirnika na parametry wibroakustyczne:** Porównanie konstrukcji silników z magnesami w układzie „V” oraz „delta” (*silnik SMwsK280M16B*) oraz wykazanie, że odpowiedni dobór geometrii wirnika w połączeniu z liczbą żłobków stojana (*tu: 96 żłobków oraz 16 biegunów*) pozwala na istotną redukcję sił promieniowych oraz pulsacji momentu przy jednoczesnym wzroście momentu elektromagnetycznego z 4.1 kNm do 6 kNm.
3. **Identyfikację wpływu warunków pracy na emisję hałasu:** Przeprowadzenie kompleksowych badań laboratoryjnych uwzględniających stan termiczny maszyny oraz specyfikę zasilania (*np. poprzez zastosowanie dwóch współpracujących ze sobą niesynchronizowanych falowników*). Autor rozprawy wykazał, że brak synchronizacji modułu PWM może prowadzić do wzrostu poziomu mocy akustycznej nawet o 32 dB w stosunku do obliczeń teoretycznych, co jest osiągnięciem o znaczeniu praktycznym jak i naukowym.
4. **Wdrożenie wyników badań:** Niewątpliwym atutem recenzowanej pracy jest jej charakter wdrożeniowy. Opracowane silniki nie są jedynie modelami teoretycznymi, lecz realnie zbudowanymi urządzeniami, które zostały przebadane i przygotowane do produkcji seryjnej. **Niniejsza kwestia jest zatem spełnieniem jednego z kluczowych postulatów stawianych doktoratom wdrożeniowym.**

Uważam, że recenzowana rozprawa wnosi istotny wkład w rozwój dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne. Wyniki badań mogą być bezpośrednio wykorzystane przez projektantów napędów elektrycznych, przyczyniając się do podniesienia konkurencyjności polskich rozwiązań w obszarze elektromobilności.

5. Uwagi dyskusyjne

W trakcie lektury rozprawy oraz analizy przedstawionych wyników nasunęło mi się kilka pytań i uwag, które chciałbym poddać pod dyskusję. Mają one na celu nie tyle podważenie wartości pracy, co wskazanie obszarów, które mogłyby zostać doprecyzowane lub rozwinięte w dalszej działalności naukowej Autora.

1. Niewystarczające odniesienie się Autora do prac w krajowym dorobku naukowym

Analizując bibliografię rozprawy, zauważyłem pewien niedosyt w zakresie referencji Autora do prac naukowych realizowanych przez badaczy krajowych, którzy od lat zajmują się problematyką maszyn elektrycznych, w tym wibroakustyką. W szczególności brakuje mi odniesienia do prac członków Zespołu prof. M. Łukaniszyna z Katedry Automatyzacji Napędów i Robotyki Politechniki Opolskiej. Warto w tym miejscu przywołać chociażby badania nad optymalizacją kształtu magnesów w celu minimalizacji momentu zaczepowego i pulsacji momentu, które są jednymi z głównych źródeł drgań. Dalej, prace dotyczące wpływu uzwojeń ułamkowych na redukcję sił promieniowych czy analizę wibroakustyczną maszyn z magnesami trwałymi zasilanymi z przekształtników energoelektronicznych, które stanowią fundamentalny kontekst dla badań prowadzonych przez Doktoranta. W pracy „*On reducing the vibration and noise level of induction motors with integral and fractional slot windings*. *Archiv f. Elektrotechnik*, 73, 163–171 (1990), przedstawiono metodykę obliczania sił promieniowych w maszynach elektrycznych – zwłaszcza w maszynach indukcyjnych, która mogłaby stanowić interesujący punkt odniesienia dla „rozszerzonej metody hybrydowej” zaproponowanej przez Doktoranta. Z kolei w pracy „*Influence of a winding short-circuit fault on demagnetization risk and local magnetic forces in v-shaped interior pmsm with distributed and concentrated winding*”, *Energies* 2021, 14, 5125; jej autorzy dotyczą aspektów niezawodnościowych związanych z wpływem zwarć w uzwojeniach na siły pochodzenia magnetycznego, które również przekładają się na kulturę pracy silnika.

Prosiłbym, aby Autor niniejszej rozprawy podczas obrony ustosunkował się do ww. dorobku, a także przedstawił w jaki sposób wyniki uzyskane przez Zespół Opolski (np. w zakresie optymalizacji kształtu magnesów) odnoszą się do rozwiązań przyjętych w silniku **SMwsK280M16B**, np. w kontekście doboru magnesów typu „delta”? Czy Autor korzystał z podobnych założeń teoretycznych jakie wskazano w pracach Zespołu Opolskiego podczas analizy sił promieniowych?

2. Fizyczna interpretacja wpływu temperatury na hałas

W rozdziale 12.6.2 i 12.6.3 Autor opisuje zjawisko obniżenia poziomu hałasu silnika pracującego w tzw. stanie „gorącym” (*temp. uzwojeń osiąga wartość na poziomie 100°C*) w porównaniu do tzw. stanu „zimnego”. Dla prędkości 1040 rpm różnica ta jest znacząca i eliminuje uciążliwy dźwięk. Autor wiąże to ze stanem cieplnym, jednak w mojej opinii brakuje w pracy głębszej analizy tego zjawiska. Czy główną przyczyną nie jest jednak zmiana właściwości mechanicznych materiałów izolacyjnych, np. żywicy impregnacyjnej, która w wyższej temperaturze może stać się bardziej elastyczna i lepiej tłumić drgania? A może kluczową rolę odgrywa rozszerzalność cieplna pakietu blach jak i samego korpusu, która zmienia stan naprężeń w samej konstrukcji, przesuwając tym samym rezonans w zakres wyższych częstotliwości? Prosiłbym o stosowny komentarz i próbę wyjaśnienia mechanizmu tego zjawiska.

3. Uniwersalność współczynników korekcyjnych

Zaproponowana przez Autora metoda zakłada stosowanie korekt, np. +8 dB dla zasilania falownikowego czy +22 dB dla wpływu korpusu, do wyników symulacji 2D. Podejście takie

jest pragmatyczne, jednak rodzi pytanie o jego uniwersalność. Czy wyznaczone wartości korekt są specyficzne tylko dla konkretnej serii silników (*tu silników o wznosie 280 mm i określonej technologii wykonania korpusu*) a także rodzaju zastosowanego typu? W jakim stopniu można ekstrapolować ww. współczynniki korekcyjne na inne konstrukcje, np. silniki o innej średnicy, innej liczbie biegunów czy zasilane z falowników, w których zastosowano tranzystory typu SiC o znacznie wyższej częstotliwości łączeń? Czy wrażliwości tych współczynników w zaproponowanej metodzie może mieć ograniczony charakter?

4. Technika synchronizacji falowników w układzie dwugwiazdowym

Badania wykazały, że brak synchronizacji modulacji szerokości impulsów (z ang. *Pulse Width Modulation PWM*) w dwóch falownikach zasilających ten sam silnik w układzie dwugwiazdowym, prowadzi do drastycznego wzrostu hałasu. Czy w docelowej aplikacji trakcyjnej (autobus, ciężarówka, tramwaj) przewiduje się techniczną możliwość synchronizacji tych falowników? Jeśli tak, to czy wyniki pomiarów w stanie niesynchronizowanym nie przedstawiają w tym przypadku „*najgorszego przypadku*”, który w praktyce eksploatacyjnej zostałby wyeliminowany programowo? Warto byłoby to doprecyzować, gdyż może to mieć wpływ na ocenę rzeczywistej uciążliwości akustycznej samego napędu.

5. Modelowanie korpusu w układzie trójwymiarowym

Autor w pracy wielokrotnie podkreśla ograniczenia modeli 2D w zakresie odwzorowania sztywności korpusu i stosuje uproszczone modele. Biorąc pod uwagę dostępność zaawansowanych narzędzi, tj. Ansys, Ansys MotoCAD czy MANATEE, dlaczego nie zdecydował się (*brak w tym względnie jasnych i klarownych informacji*) na wykonanie pełnej trójwymiarowej analizy modalnej kompletnego silnika wraz z korpusem w celu weryfikacji częstotliwości drgań własnych, zwłaszcza dla modów wzdłużnych, których model 2D nie rozpatruje? Mogłoby to pozwolić na precyzyjniejsze wyznaczenie częstotliwości rezonansowych dla badanego silnika bez konieczności bazowania wyłącznie na korektach empirycznych.

6. Precyzja terminologiczna

W treści rozprawy (*m.in. w podrozdziale 3.4 oraz 6.2*) Autor wielokrotnie posługuje się sformułowaniami typu: „*rozkład przestrzenny gęstości sił promieniowych w szczelinie powietrznej*” czy „*siły magnetyczne w szczelinie powietrznej*”. Z fizycznego punktu widzenia sformułowania te są nieprecyzyjne. Siły elektromagnetyczne w maszynie elektrycznej działają na elementy materialne obwodu (tj. *powierzchnię zębów stojana, powierzchnię wirnika, przewody z prądem*), a nie na „*szczelinę powietrzną*”. Rozumiem, że stosowana terminologia może wynikać ze skrótów myślowych związanych z wykorzystaniem przez Doktoranta **Metody Tensora Naprężeń Maxwella**, gdzie powierzchnia całkowania przebiega w szczelinie powietrznej. Należy jednak pamiętać, że w szczelinie występuje pole magnetyczne i związane z nim naprężenia, natomiast siła jako oddziaływanie mechaniczne ujawnia się na granicy ośrodków o różnej przenikalności magnetycznej. W pracy doktorskiej wymagana jest ścisłość terminologiczna, dlatego sugeruję, aby Autor ustosunkował się do tej uwagi i sprostował interpretację fizyczną dla tego zjawiska.

6. Wniosek końcowy

Recenzowana rozprawa doktorska mgra inż. Emila Króla nt. „*Ograniczanie hałasu silników trakcyjnych*” jest obszernym, kompletnym i wartościowym opracowaniem naukowo-technicznym. Podjęta tematyka jest niezwykle aktualna, a uzyskane wyniki mają duży potencjał praktyczny dla rozwoju m.in. krajowych technologii napędowych w obszarze elektromobilności.

Autor wykazał się ugruntowaną wiedzą teoretyczną z zakresu maszyn elektrycznych, wibroakustyki oraz metrologii, a także umiejętnością stosowania zaawansowanych metod numerycznych. Potrafił poprawnie zidentyfikować problem badawczy, dobrać adekwatne metody badawcze (*łączyć symulacje z eksperymentem*) oraz krytycznie przeanalizować uzyskane wyniki, wyciągając z nich wnioski o charakterze aplikacyjnym.

Reasumując, wyrażam przekonanie, że opiniowana przeze mnie dysertacja mgra inż. Emila Króla spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim przez art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce. Przedmiotem rozprawy jest oryginalne rozwiązanie problemu technicznego w zakresie minimalizacji hałasu silników trakcyjnych, a wyniki pracy znalazły zastosowanie w sferze gospodarczej.

Niniejszym, wnioskuję o przyjęcie przez Radę Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Śląskiej rozprawy doktorskiej mgra inż. Emila Króla i jej dalsze procedowanie.