RDIMe.512.17.2024

Prof. dr hab. inż. Jarosław MAMALA
Katedra Pojazdów
Wydział Mechaniczny
Politechnika Opolska
ul. Mikołajczyka 5, 45-271 Opole
e-mail: j.mamala@po.opole.pl

9 grudnia 2024 r.

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej
mgra inż. ***Bartłomieja Urbańskiego***

pt.
„Badania i wdrożenie alternatywnego układu napędowego w sporcie samochodowym"

Podstawą opracowania recenzji jest pismo Pani Przewodniczącej Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Śląskiej z dnia 23.10.2024 roku (nr RDIMe.512.17.2024).

1. Charakterystyka ogólna i cel pracy

Praca doktorska Bartłomieja Urbańskiego pt. **„Badania i wdrożenie alternatywnego układu napędowego w sporcie samochodowym"** jest interdyscyplinarnym opracowaniem w ramach programu doktoratu wdrożeniowego MNiSW. Realizacja doktoratu wdrożeniowego pozwala na jednoczesne rozwijanie kariery naukowej i zawodowej, łącząc badania z praktycznym zastosowaniem w danej firmie. Pozwala na rozwiązanie konkretnych problemów technologicznych co wymaga od doktoranta zaawansowanej wiedzy oraz umiejętności praktycznych, w tym przypadku łączy inżynierię mechaniczną z ekologią i sportem samochodowym. Przedstawiona rozprawa została zrealizowana na Politechnice Śląskiej w Katedrze Techniki Cieplnej, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, pod kierunkiem dr. hab. inż. Grzegorza Przybyły, prof. PŚ, oraz promotora pomocniczego dr. inż. Ryszarda Buchalika ze strony Politechniki Śląskiej, a także opiekuna pomocniczego mgr inż. Łukasza Brodzińskiego ze strony firmy M-Sport Poland Sp. z o.o. Współczesny sport samochodowy stoi przed wyzwaniem redukcji emisji substancji szkodliwych i zużycia paliwa, co wynika z rosnących wymagań środowiskowych i presji społecznej. Jednocześnie konieczne jest utrzymanie wysokiego poziomu osiągów pojazdów rajdowych, co wymaga wdrażania innowacyjnych technologii napędowych. Jako cel pracy przyjęto opracowanie alternatywnego układu napędowego dla samochodu rajdowego grupy FIA Rally3, który poprawi dynamikę jazdy, zmniejszy zużycie paliwa i emisję substancji szkodliwych, przy zachowaniu konkurencyjności kosztowej i zgodności z regulacjami FIA. Przy tak postawionym celu pracy, łączącym wiele aspektów sportów samochodowych należy uznać, iż tematyka pracy jest ciekawa i aktualna z punktu widzenia rozwoju sportów samochodowych oraz ochrony środowiska. Do tego Autor trafnie zauważył, że nie ma rozwiązań pomostowych między obecnymi napędami spalinowymi a hybrydami stosowanymi w Rally1, przy czym użyte słowo „pomostowych" w tym kontekście nie jest trafne. Zaproponowany w pracy układ mHEV jest zgodny z mapą drogową FIA, a przede wszystkim

Biuro Dziekana
str. 1
wpłynęło dnia 13.12.2024
RDIMe/273/511/2024
nr ..... zał. .....

stanowi odpowiedź na potrzebę redukcji emisji spalin oraz kosztów użytkowania samochodów w sporcie. W pracy, jak w przypadku typowych rozpraw doktorskich, postawiono także tezę, która w skrócie brzmi: że istnieje możliwość selekcji, a następnie adaptacji wybranych elementów alternatywnych układów napędowych w samochodzie rajdowym grupy Rally3 w celu poprawy własności trakcyjnych, w tym poprawy dynamiki, obniżenia zużycia paliwa oraz emisji substancji szkodliwych.

2. Zawartość i układ rozprawy

Praca doktorska Bartłomieja Urbańskiego pt. „Badania i wdrożenie alternatywnego układu napędowego w sporcie samochodowym" liczy 129 stron i jest napisana w języku polskim. Praca składa się z 7 rozdziałów, wykazu oznaczeń oraz bibliografii, która to zawiera 97 pozycji literaturowych, z czego 1 autocytowanie Autora. W pracy zamieszczono 36 rysunków i 12 wzorów matematycznych. Struktura pracy obejmuje zarówno część teoretyczną jak i praktyczną, co nadaje jej charakter analityczno-eksperymentalny.

Praca rozpoczyna się od podziękowania, po czym jest przedstawiony jednostronicowy spis treści i dwustronicowy wykaz ważniejszych stosowanych oznaczeń. Następnie w pierwszym rozdziale pt. **Wprowadzenie,** przedstawiono tło problematyki sportu samochodowego, jego historię oraz znaczenie technologii napędowych w rozwoju motoryzacji. Autor opisuje również aktualne wyzwania związane z emisją spalin i koniecznością wdrażania ekologicznych rozwiązań w rajdach samochodowych. Doktorant wskazuje cel pracy a także podaje tezę pracy.

Rozdział drugi pt. **Wybór alternatywnego układu napędowego z wykorzystaniem analizy wielokryterialnej,** opisuje wykonaną analizę dostępnych technologii napędowych (mHEV, HEV, BEV, FCEV) pod kątem ich zastosowania w sporcie samochodowym. Zwrócono uwagę na takie kryteria jak: koszty, osiągi, bezpieczeństwo i wpływ na środowisko naturalne. Na podstawie wyników analizy wybiera technologię mHEV jako najbardziej odpowiednią dla grupy Rally3. W rozdziale przedstawiono szczegółowe porównania parametrów technicznych różnych modeli samochodów.

Następny rozdział pt. **Jednowymiarowe analizy numeryczne,** stanowi opis autorskiego modelu symulacyjnego w programie AVL CruiseM oraz wyników z przeprowadzonych symulacji numerycznych. Celem badań symulacyjnych było określenie wpływu zastosowania BISG (Belt-Integrated Starter Generator) na dynamikę pojazdu i zużycie paliwa. Wyniki symulacji wskazują na poprawę parametrów pracy silnika spalinowego dzięki zastosowaniu hybrydowego napędu elektrycznego.

Meritum pracy stanowi rozdział czwarty pt. **Badania eksperymentalne,** który skupia się na badaniach przeprowadzonych na hamowni silnikowej oraz w warunkach rzeczywistych podczas testów rajdowych wykonanych na samochodzie firmowym. Autor opisuje narzędzia badawcze, procedury pomiarowe oraz przedstawione wyniki testów, które potwierdzają skuteczność proponowanego rozwiązania w redukcji emisji i zużycia paliwa przy zachowaniu konkurencyjnych osiągów.

W rozdziale następnym pt. **Bezpieczeństwo użytkowania oraz zmiany w przepisach,** Autor analizuje kwestie bezpieczeństwa związane z wdrożeniem nowych technologii napędowych w sporcie samochodowym oraz proponuje zmiany w regulacjach FIA dla grupy Rally3, przedstawia procedury homologacyjne i dopuszczenie samochodów rajdowych do ruchu drogowego.

Podsumowanie rozprawy stanowi rozdział szósty pt. **Podsumowanie i wnioski,** który zawiera syntetyczne podsumowanie wyników badań teoretycznych i eksperymentalnych oraz ich znaczenie dla rozwoju sportu samochodowego. Autor formułuje wnioski naukowe i wdrożeniowe oraz wskazuje kierunki dalszych badań.

Ostatni rozdział to **Bibliografia** obejmująca 97 pozycji literaturowych, w tym publikacje naukowe, normy techniczne oraz źródła internetowe.

Podsumowując, struktura pracy jest logiczna i spójna, a poszczególne rozdziały tworzą zwartą całość prowadzącą od analizy teoretycznej do praktycznych badań eksperymentalnych. Przejrzysty układ treści umożliwia łatwe śledzenie toku myślenia Autora oraz realizacji założonych celów badawczych. Praca jest dobrze zaplanowana pod względem strukturalnym i merytorycznym, co pozwala na pełne zrozumienie problematyki oraz uzyskanych wyników badawczych.

3. Uzasadnienie podjęcia tematyki i tezy rozprawy

Tematyka pracy jest aktualna i istotna z punktu widzenia rozwoju sportów samochodowych oraz ochrony środowiska. Autor trafnie zauważył brak rozwiązań pomostowych, w tym kontekście nie jest trafne użycie tego słowa. Bardziej trafnym określeniem byłoby użycie słowa przejściowe rozwiązanie między obecnymi spalinowymi a hybrydyzowanymi układami napędowymi samochodów sportowych stosowanych w Rally1. Proponowany układ mHEV jest zgodny z mapą drogową FIA i stanowi odpowiedź na potrzebę redukcji emisji spalin oraz kosztów eksploatacji.

Teza pracy doktorskiej Bartłomieja Urbańskiego brzmi: ***„Biorąc pod uwagę dostępne na rynku alternatywne rozwiązania napędowe stosowane w samochodach osobowych, istnieje możliwość selekcji, a następnie adaptacji wybranych elementów tych układów w samochodzie rajdowym grupy Rally3. Zastosowanie tych elementów poprawi dynamikę jazdy takiego samochodu, spowoduje obniżenie zużycia paliwa oraz emisji substancji szkodliwych przy zachowaniu wymagań regulaminowych FIA”***.

Uzasadnienie tej tezy można przedstawić na podstawie zgodności z regulacjami FIA dla sportu samochodowego, która określiła mapę drogową wdrażania alternatywnych układów napędowych. Jednak dotychczasowe działania skupiają się głównie na grupie Rally1 (hybrydy wysokiego napięcia) oraz eksperymentalnych elektrycznych samochodach Rally5 BEV. Autor w pracy wskazuje na brak rozwiązań przejściowych dla grupy Rally3, które byłyby bardziej przystępne kosztowo i technologicznie. Teza pracy zakłada wypełnienie tej luki poprzez adaptację technologii mHEV (mild-Hybrid Electric Vehicle), co wpisuje się w potrzeby regulacyjne i rynkowe. Technologia mHEV, stosowana w samochodach osobowych, oferuje relatywnie niskie koszty wdrożenia, dzięki wykorzystaniu istniejących komponentów, takich jak BISG (Belt-Integrated Starter Generator). Doktorant zakłada, że elementy tego układu napędowego można zaadaptować do samochodów rajdowych grupy Rally3 bez konieczności opracowywania całkowicie nowych rozwiązań technicznych. Stąd też wykorzystanie BISG pozwala na zwiększenie momentu obrotowego silnika spalinowego w stanach przejściowych oraz odzysk energii podczas hamowania. Dzięki temu możliwe jest nie tylko poprawienie osiągów samochodu rajdowego, ale również zmniejszenie zużycia paliwa i emisji szkodliwych substancji. Jest to szczególnie istotne w kontekście rosnącej liczby wydarzeń rajdowych odbywających się na terenach otwartych. Zasadnicze pytanie, które się tu pojawia to: co Autor rozumie przez pojęcie ograniczenie emisji szkodliwych substancji, jakich i gdzie?

Podsumowując, teza pracy jest dobrze uzasadniona zarówno z punktu widzenia technicznego, jak i ekonomicznego oraz środowiskowego. Proponowane rozwiązanie odpowiada na aktualne potrzeby rynku sportu samochodowego oraz wpisuje się w globalne trendy związane z redukcją emisji i poprawą efektywności energetycznej pojazdów rajdowych.

4. Pytania do autora rozprawy

4.1. Pytania dotyczące wątków merytorycznych pracy:

1. W jaki sposób wybrano technologię mHEV jako najbardziej odpowiednią dla grupy Rally3? Czy przeprowadzono porównanie alternatywnych technologii (np. HEV, BEV) w kontekście specyficznych wymagań rajdowych, takich jak odporność na przeciążenia czy trwałość w ekstremalnych warunkach?

2. Jakie były kluczowe założenia przyjęte podczas symulacji numerycznych w AVL CruiseM? Czy uwzględniono wszystkie istotne parametry, takie jak zmienne warunki drogowe czy różne profile trasy rajdowej?

3. W badaniach eksperymentalnych na hamowni silnikowej i w warunkach rzeczywistych, jakie były główne wyzwania związane z pomiarem wskaźników pracy układu napędowego? Czy zastosowane metody pomiarowe są skalowalne do innych grup rajdowych?

4. Jaka jest różnica pomiędzy wskaźnikami a parametrami pracy układów napędowych?

5. Jakie konkretne zmiany regulacyjne FIA zaproponowano w pracy? Czy były one konsultowane z przedstawicielami FIA lub innymi ekspertami branżowymi?

6. Jakie są ograniczenia wdrożenia technologii BISG w samochodach rajdowych grupy Rally3? Czy istnieją przeszkody techniczne lub finansowe, które mogą opóźnić adaptację tej technologii?

7. Czy wprowadzenie technologii BISG w samochodach rajdowych wpłynie na wskaźniki, stabilność i zużycie energii w przeliczeniu na Wh/km w układzie napędowym?

8. Na rysunku 7 przedstawiono mapę drogową FIA dotyczącą wdrażania alternatywnych układów napędowych. Czy Autor może szczegółowo wyjaśnić, w jaki sposób proponowane rozwiązanie mHEV wpisuje się w tę mapę oraz jakie są potencjalne przeszkody przy jego wdrożeniu, biorąc pod uwagę, że obecnie jest grudzień 2024 roku, a przedstawiona mapa dotyczy okresu do roku 2025 (czy odnosi się ona do początku, czy końca roku)?

9. Na rysunku 15 zaprezentowano niedobór ciśnienia w kolektorze dolotowym dla jednostek spalinowych wyposażonych w elektryczne wspomaganie turbosprężarki. Czy istnieją inne sposoby kompensacji niedostatku ciśnienia w kolektorze dolotowym i czy takie technologie mogą być bezpośrednio przeniesione do samochodów rajdowych?

10. Na rysunku 21 i 22 zaprezentowano różnice w czasie przejazdu samochodu rajdowego na odcinku specjalnym. Czy zastosowanie offsetu na początku zniweluje wskazane różnice czasowe przedstawione w tabeli 24?

11. Wzory użyte do modelowania przepływu powietrza przez układ dolotowy zawierają założenia dotyczące strat ciśnienia i turbulencji. Czy Autor uwzględnił wpływ zmiennych warunków pracy (np. różnej wysokości nad poziomem morza) na te parametry?

12. W bibliografii znajduje się 97 pozycji literaturowych, z czego większość wydano po 2010 roku. Czy Autor może wskazać kluczowe publikacje naukowe, które miały największy wpływ na wybór technologii mHEV jako rozwiązania dla grupy Rally3?

4.2. Błędy stylistyczne, edytorskie i słowne w pracy doktorskiej Bartłomieja Urbańskiego

1. Błędy stylistyczne: Niekonsekwentne użycie terminologii:

W pracy zamiennie stosowane są terminy „wskaźnik energetyczny" i „parametry pracy silnika". Brakuje jasnego rozróżnienia między tymi pojęciami, co może prowadzić do nieścisłości w interpretacji wyników.

Użycie różnorodnych określeń dla tego samego elementu układu napędowego, np. „BISG" (Belt-Integrated Starter Generator) oraz „urządzenie elektryczne wspomagające", bez wyjaśnienia, że chodzi o ten sam komponent.

Powtarzanie informacji:

W kilku miejscach (np. w rozdziale 1 i 2) powtarzane są te same informacje dotyczące technologii mHEV i jej zalet, co niepotrzebnie wydłuża tekst.

Brak spójności w stylu pisania:

W niektórych fragmentach Autor stosuje bardziej potoczny język, np. „to rozwiązanie jest bardzo interesujące" zamiast bardziej precyzyjnego „to rozwiązanie wykazuje potencjał wdrożeniowy".

2. Błędy edytorskie:

W spisie treści brakuje pełnej numeracji niektórych podrozdziałów, co utrudnia nawigację po pracy.

W niektórych miejscach występują literówki, np. „Mecrcedes-AMG" zamiast „Mercedes-AMG" w tabeli 15.

Niekonsekwentne formatowanie jednostek (np. czasami używane są spacje przed jednostką, a czasami nie).

„Rozwiązanie pomostowe" jest wielokrotnie używane bez dokładnego wyjaśnienia, co Autor rozumie pod tym pojęciem w kontekście technologii mHEV.

W opisie wyników badań eksperymentalnych brakuje dokładnych definicji używanych wskaźników (np. SFR).

Podsumowując, wskazane uwagi mają charakter porządkowy i nie wpływają na wartość merytoryczną rozprawy doktorskiej, która wnosi istotny wkład do dziedziny inżynierii mechanicznej oraz sportu samochodowego. Samo wskazanie, co prawda licznych ale drobnych błędów stylistycznych, edytorskich i słownych, które mogą wpływać na jej odbiór. Poprawa tych elementów uczyniłaby pracę bardziej przejrzystą i profesjonalną, mając na uwadze dalszy rozwój technologii opracowanej w ramach rozprawy doktorskiej wdrożeniowej na rzecz firmy M-Sport Poland Sp. z o.o..

5. Podsumowanie

Praca doktorska mgr inż. Bartłomieja Urbańskiego pt. **„Badania i wdrożenie alternatywnego układu napędowego w sporcie samochodowym"** dotyczy opracowania i wdrożenia alternatywnego układu napędowego w samochodach rajdowych grupy FIA Rally3. Głównym celem było stworzenie rozwiązania pomostowego pomiędzy obecnie stosowanymi napędami spalinowymi a bardziej zaawansowanymi hybrydami, które są stosowane w grupie Rally1. Zaprezentowana rozprawa doktorska wdrożeniowa ma charakter interdyscyplinarny, łącząc inżynierię mechaniczną, ekologię oraz sport samochodowy.

Doktorant na podstawie przedstawionej pracy doktorskiej udowodnił, że wykazał się:

- **umiejętnością prowadzenia badań naukowych** - przeprowadził kompleksowe analizy teoretyczne, symulacyjne i eksperymentalne;
- **zdolnością do samodzielnego rozwiązywania problemów badawczych** – opracował model numeryczny oraz przeprowadził badania eksperymentalne na hamowni;
- **znajomością literatury i stanu techniki** – w pracy przedstawiono liczne odniesienia do aktualnych publikacji naukowych oraz przepisów FIA;
- **praktycznym zastosowaniem wiedzy** – zaproponowano autorskie rozwiązanie, które ma potencjał wdrożeniowy w sporcie samochodowym;
- **umiejętnością wyciągania syntetycznych wniosków** z badań własnych i ich rekomendacje na przyszłość.

Umiejętności te doprowadziły do osiągnięcia założonego głównego celu badawczego rozprawy, a Doktorant mgr inż. Bartłomiej Urbański udowodnił, że potrafi samodzielnie formułować i rozwiązywać zadania naukowe na poziomie prac doktorskich wdrożeniowych i reprezentuje wystarczający poziom wiedzy związanej z tematyką rozprawy. Ponadto, praca zakończyła się wdrożeniem w firmie M Sport Poland Sp. z o.o..

Wobec powyższego stwierdzam, że rozprawa doktorska wdrożeniowa Pana mgra inż. **Bartłomieja Urbańskiego pt. „Badania i wdrożenie alternatywnego układu napędowego w sporcie samochodowym"** spełnia wymagania stawiane pracom na stopień doktora nauk inżynieryjno-technicznych, w rozumieniu art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2018, poz. 1668 z późniejszymi zmianami), w związku z czym stawiam wniosek **o dopuszczenie jej do publicznej obrony przed Radą Dyscypliny Inżynierii Mechanicznej Politechniki Śląskiej** w dyscyplinie - *inżynieria mechaniczna*.

Prof. J. Mamala

/podpis odręczny/

*wyłączenie jawności w zakresie danych osobowych oraz ochrony prywatności osoby fizycznej na podstawie art. 5 ust. 2 ustawy z dnia 6 września 2001 r. o dostępie do informacji publicznej (tj. Dz.U. z 2016 r., poz. 1764)