

Gliwice 26.05.2023

Szanowna Pani
Prof. dr hab. inż. Ewa Majchrzak
Przewodniczący Rady Dyscypliny
Inżynieria Mechaniczna
Politechnika Śląska
ul. Stanisława Konarskiego 18A,
44-100 Gliwice

Recenzja Rozprawy Doktorskiej

autorstwa mgra inż. **Jacka Barcika**

pt.

Metoda pozyskiwania informacji eksploatacyjnych w układach mechatronicznych

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Mariusz Hetmańczyk, prof. PŚ

1. Podstawa prawna i przedmiot wykonania recenzji

Recenzję wykonano na podstawie uchwały Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Śląskiej w Gliwicach z dnia 29 marca 2023 roku oraz pisma Przewodniczącego ww. Rady Dyscypliny prof. dr hab. inż. Ewy Majchrzak z dnia 29.03.2023 roku.

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska o tytule „Metoda pozyskiwania informacji eksploatacyjnych w układach mechatronicznych”, której autorem jest mgr inż. Jacek Barcik. Dyscyplina naukowa pracy doktorskiej to: inżynieria mechaniczna.

2. Ocena układu rozprawy doktorskiej

Rozprawa licząca 150 strony została napisana w języku polskim, składa się z 6 rozdziałów, streszczenia w języku polskim i angielskim, wykazu bibliograficznego o 81 pozycjach oraz załącznika pomocniczego przedstawiającego omawiane w rozprawie algorytmy konfiguracji systemów oraz wyboru strategii sterowania w formie graficznych bloków. Rozprawa zawiera czytelne i prawidłowo oznaczone schematy, tabele, zdjęcia oraz wykresy.

Rozdział 1

Rozdział stanowi wprowadzenie do rozprawy definiujące jej zakres, przedmiot badań oraz krótkie omówienie zawartość wszystkich rozdziałów rozprawy.

Rozdział 2

W rozdziale Doktorant przedstawił motywację podjęcia badań oraz wyboru tematyki rozprawy. Rozdział zawiera przegląd wiedzy w temacie redukcji emisji gazów cieplarnianych w kontekście zwiększającej się liczby pojazdów elektrycznych, uzasadniając tym samym cel rozprawy, która w znacznej mierze dotyczy działań w zakresie metodologii monitorowania oraz diagnozowania pojazdów elektrycznych pozyskanych na drodze modernizacji pojazdów spalinowych. Przegląd zawiera zestawienie istotnych aktów prawnych oraz literatury naukowej.

Rozdział 3

Rozdział zawiera przegląd rozwiązań rynkowych w zakresie systemów monitorowania pojazdów elektrycznych, z ukierunkowaniem na pojazdy nowo produkowane oraz modernizowane poprzez wymianę napędu spalinowego na elektryczny. Doktorant uwzględnił dane pochodzące z systemu monitorowania pojazdu z podziałem na dane pomiarowe oraz sterujące, jak również wyznaczył ich kategorie (krytyczne, istotne, informacyjne).

Rozdział 4

Rozdział charakteryzuje autorskie osiągnięcia Doktoranta w zakresie narzędzi sprzętowych i oprogramowania, które opracował realizując cel rozprawy.

Rozdział 5

Rozdział przedstawia proces modernizacji autobusu miejskiego, poprzez konwersję jego napędu spalinowego w elektryczny. W trakcie konwersji Doktorant pokazuje rezultaty zastosowania osiągnięć własnych opisanych w Rozdziale 4. Doktorant przedstawia opracowane przez siebie metody pozyskiwania danych eksploatacyjnych, jednocześnie demonstrując ich użycie w zakresie detekcji niesprawności zmodernizowanego pojazdu (system zabezpieczający wysokiego napięcia, system odzyskiwania energii, zakłócenia tachografu, ogranicznik prędkości oraz system załączania wysokiego napięcia).

Rozdział 6

Rozdział zawiera podsumowanie oraz wnioski końcowe.

3. Główne osiągnięcia rozprawy

Rozprawa dotyczy istotnego i aktualnego tematu inżynierskiego, którym jest pozyskiwanie danych eksploatacyjnych z pojazdów z napędem elektrycznych EV (ang. Electric Vehicles) stanowiących przykład złożonych systemów mechatronicznych, do których odwołuje się sformułowany przez Doktoranta temat rozprawy: „Metoda pozyskiwania informacji eksploatacyjnych w układach mechatronicznych”. Przesłanką Doktoranta do zastosowania systemu monitorowania i telemetrii, stała się potrzeba strojenia parametrów układów pojazdu elektrycznego na różnych etapach jego testowania w trakcie konwersji jego napędu ze spalinowego w elektryczny.

korygowanie parametrów prowadzące do optymalizacji bieżącej pracy systemu sterowania napędami elektrycznymi oraz pozostałych podsystemów pojazdu. W obszarze tak określonego tematu, mogą być prowadzone zarówno badania podstawowe jak również stosowane, a wyniki prac badawczych mogą znaleźć natychmiastowe zastosowanie praktyczne zakończone wdrożeniem.

Doktorant w rozprawie skoncentrował się na omówieniu aspektów najbardziej złożonych z punktu widzenia systemów pozyskiwania danych oraz monitorowania w nowych pojazdach elektrycznych, jak również w pojazdach poddanych konwersji napędu spalinowego w elektryczny. W przypadku zastosowania takich systemów wymagana jest zdaniem Doktoranta konfiguracja układu monitoringu oraz telemetrii, a także po przeprowadzeniu konfiguracji, konieczna jest konfiguracja pozostałych istniejących podsystemów niezbędnych do prawidłowego funkcjonowania pojazdu. Odpowiednie algorytmy postępowania zostały umieszczone przez Doktoranta na Rys. 3.2.1-1 oraz Rys. 3.2.1-2.

Pozyskiwane dane, w rozumieniu celu rozprawy, mają wielorakie zastosowanie. Długoterminowo do monitorowania floty pojazdów elektrycznych. Krótkoterminowo do doboru, konfiguracji i diagnostyki gotowych komponentów napędu elektrycznego oferowanych przez firmy trzecie. Komponenty takie należy dopasować do istniejącej infrastruktury pojazdu (system hamulcowy, zasilania w sprężone powietrze, trakcja mechaniczna, itd.) oraz rozmieścić przestrzenie w zastanej konstrukcji autobusu spalinowego (np. konieczność rozłożenia masy akumulatorów trakcyjnych, dostępna ilość miejsca w komorach silnika i lukach inspekcyjnych)

Osiągnięcia doktoranta oraz oryginalność jego podejścia dotyczy wielu aspektów technicznych oraz komercyjnych. Najważniejszym z punktu widzenia doktoratu wdrożeniowego jest osiągnięcie przez Doktoranta celu polegającego na komercjalizacji przeprowadzonych badań oraz uzyskania efektu wdrożenia w praktyce przemysłowej.

Do najważniejszych osiągnięć doktoranta można zaliczyć:

- Opracowanie oryginalnych algorytmów w zakresie procedury rekuperacji oraz optymalnego wykorzystania energii kinetycznej autobusu elektrycznego w trakcie procesu zwalniania lub hamowania. Wdrożone algorytmy pozwoliły na intencjonalne użycie rekuperacji przez kierowcę, w celu zmniejszenia prędkości pojazdu, co wiąże się z zaleceniem użycia tzw. wolnobiegu (ang. freewheeling) oraz wykorzystania naturalnych warunków drogowych w zakresie swobodnego toczenia pojazdu. Doktorant wykazał, że dystans przejechany na wolnobiegu daje większą ilość odzyskanej energii, niż podczas procesu hamowania, gdy dochodzi do znacznych strat energetycznych w efekcie konieczności rozpraszania ciepła). Doktorant podaje, że dzięki wdrożeniu jego metody rekuperacji, udało się zmniejszyć zużycie energii elektrycznej przez pojazd o 18÷25%. W rezultacie zasięg pojazdu wzrasta o dodatkowe 45÷62 kilometrów stosunku do zasięgu bazowego wynoszącego 250 km,. W efekcie opracowane algorytmy wpłynęły również pozytywnie na warunki eksploatacji autobusu, podnosząc niezawodność oraz dostępność floty pojazdów elektrycznych.
- Opracowanie dedykowanego protokołu CAN umożliwiającego zmniejszenie ilości danych przekazywanych do systemu telemetrii w celu ich dalszego przesłania zgodnie ze wybranym standardem sieci komórkowych, zgodnie z zasadą równomiernego obciążenia magistrali CAN. Protokół pozwala na pakietowanie danych w celu ich konsolidacji, poprzez utworzenie grup w zakresie danej kategorii danych (np. temperatury).
- Pogrupowanie danych przesyłanych magistralą CAN uwzględniając, że w wielu układach pojazdu elektrycznego występuje jednoczesny pomiar, np. temperatury płynu chłodzącego, oleju, korpusu, powietrza, komponentów elektronicznych, złącz, ogrzewania, klimatyzacji. Doktorant wyróżnił następujące kryteria optymalizacyjne: wielkości fizyczne (temperatura, ciśnienie, natężenie prądu, napięcie), statusy, ostrzeżenia oraz alarmy. Grupowanie pozwoliło uzyskać mniejszą objętość pakietu minimalizując obciążenie magistrali CAN. W efekcie zaoszczędzone przepustowość magistrali wykorzystano do zwiększenia czasu próbkowania dla danych krytycznych.
- Zastosowanie optymalnej postaci danych, w opracowanej przez Doktoranta definicji ramki w protokole CAN, usprawniło przesyłania danych wolnozmiennych lub danych niewymagających krótkich okresów rejestracji, co doprowadziło do zmniejszenia liczby komunikatów wysyłanych przez sieć komórkową oraz podziału zmiennych na krytyczne, istotne oraz informacyjne.
- Przyjęcie zasady unifikacji komunikatów przesyłanych magistralą CAN pozwoliło wprowadzić standaryzację, minimalizującą koszty adaptacji, niezależnie od zastosowanego osprzętu oraz typu i marki pojazdu w którym użytkowana jest dana magistrala CAN (Strona 59).

- Opracowanie autorskich konwerterów sygnałów z magistrali CAN do standardu USB w celu akwizycji danych z monitorowanych pojazdów (Strona 62).
- Opracowanie komponentów sprzętowych oraz autorskiego oprogramowania, stanowiącego docelowe rozwiązanie komercyjne systemu monitorowania i telemetrii pokładowej. Przy czym Doktorant nie określił, czy był wyłącznym autorem elektroniki oraz oprogramowania, czy stanowiła ona efekt pracy zespołu projektowo-wdrożeniowego, którego był członkiem.

Przedstawiony w recenzowanej rozprawie materiał badawczy i testowy pochodzi z bardzo obszernych i wieloletnich badań teoretycznych, rozwoju oprogramowania oraz konfiguracji komponentów elektronicznych a także eksploatacji floty autobusów elektrycznych, a w szczególności autobusów elektrycznych powstałych w wyniku modernizacji (konwersji) napędów spalinowych w napędy elektryczne. Doktorant w rozprawie odnosi się do stanu obecnej wiedzy w zakresie pojazdów elektrycznych, wykorzystuje informacje zawarte w bazie danych pomiarów eksploatacyjnych autobusów elektrycznych. Dlatego nie ulegają wątpliwości jego kompetencje inżynierskie oraz wdrożeniowe.

4. Ocena merytoryczna rozprawy

4.1. Uwagi krytyczne o charakterze ogólnym

- 4.1.1. Tytuł rozprawy jest sformułowany bardzo szeroko „Metoda pozyskiwania informacji eksploatacyjnych w układach mechatronicznych”, natomiast badania oraz testy walidacyjne które przeprowadził Doktorant dotyczą dość wąskiej grupy reprezentantów relatywnie szerokiego pojęcia jakim są „układy mechatroniczne” i nie wykraczają poza pojazdy elektryczne.
- 4.1.2. Rozdział 2 rozprawy według mojej opinii zawiera nadmiar szczegółowych informacji w formie wycień oraz tablic, które powinny znaleźć swoje miejsce w załącznikach do pracy, np. Tab. 2.3-4 „Zestawienie dokumentów technicznych stowarzyszenia CiA”. Wiele zaprezentowanych informacji nie jest powiązanych bezpośrednio z tematem rozprawy, którym jest opracowanie odpowiedniej metodologii monitorowania i wykrywania niesprawności pojazdów elektrycznych.
- 4.1.3. Rozdział 2 ukazuje motywację Doktorant, potrzeby wdrożeniowe oraz istniejące rozwiązania komercyjne. Z tej perspektywy, Doktorant selektywnie omawia „Przegląd rozwiązań rynkowych telemetrii pojazdów EV.” W tym aspekcie Doktorant pominął jednak konfrontacje własnych rozwiązań w

h.

zakresie oprogramowania magistrali CAN do rozwiązań istniejących na rynku. Pomijając aspekt ochrony własności intelektualnej rozwiązań, oczekiwaloby się chociaż podania idei oraz zarysowania odmienności podejścia obranego przez Doktoranta.

- 4.1.4. Dziesięć początkowych stron rozprawy, przedstawia zestawienie aktów prawnych, wytycznych, itd., Doktorant na Stronie 33 konkluduje "W żadnej z norm oraz dokumentach technicznych nie wspomniano jednak o zasadach dotyczących monitorowania pojazdów mobilnych w zakresie szeroko pojętej telemetrii (tj. budowy, struktury systemu oraz zaleceń dotyczących zdefiniowania, pozyskiwania, obróbki sygnałów oraz wskaźnikach definiujących stan eksploatacyjny pojazdu i jego komponentów)". Dlaczego w takim razie zostało zaprezentowanych aż tyle szczegółowych informacji? Bardziej pożądane byłoby krótkie podsumowanie jakie wytyczne nieobligatoryjne warto uwzględnić projektując własny system monitoringu pojazdu elektrycznego. Jako właściwe podsumowanie może służyć Rys. 2.3-1, natomiast wyciągi z aktów prawnych i norm branżowych mogłyby stanowić ciekawe uzupełnienie zawarte w załącznikach do rozprawy.
- 4.1.5. Doktorant zastrzega brak dostępu szczegółowych opisów opracowanych rozwiązań, co staje się kuriozalne, gdyż w takim przypadku, nikt poza Doktorantem nie jest w stanie w pełni zweryfikować deklarowanych osiągnięć badawczo-wdrożeniowych: „Ze względów ochrony własności intelektualnej w pracy ograniczono szczegółowy opis wielu rozwiązań, które zostały do tej pory zaimplementowane w układach sterowania oraz akwizycji danych.”

4.2. Uwagi krytyczne o charakterze szczegółowym

- 4.2.1. Strona 9: W wielu miejscach w rozprawie występują powtórzenia wyrazów oraz inne usterki stylistyczne: „(...) niedobór danych **eliminuje** możliwość szybkiej reakcji i **eliminacji** przyczyn występujących błędów i awarii.” Doktorant używa również potocznych dość ryzykownych stylistycznie zapożyczeń z języka angielskiego: „Dzięki **ucyfrowieniu** pojazdów”.
- 4.2.2. Strona 34:” Doktorant używa często sformułowania „w zakresie **norm i standardów**” – czy te pojęcia dla Doktoranta są synonimami czy też są w rozprawie rozróżnione? Normy to zbiory zasad, wytycznych lub wymagań opracowanych przez organizacje, takie jak instytuty standaryzacyjne lub organy regulacyjne. Normy są ustalane w celu zapewnienia jednolitości, jakości, bezpieczeństwa i interoperacyjności w danym obszarze. Z kolei standardy są rozumiane jako szczegółowe specyfikacje techniczne lub

procedury, które określają wymagania, jakie muszą spełniać produkty, usługi lub procesy w celu uzyskania określonego poziomu jakości. Jaka jest interpretacja pojęć „norma” oraz „standard” przez Doktoranta?

- 4.2.3. Strona 35: W jaki sposób Doktorant interpretuje: „(...) wydłużeniu żywotności i zwiększeniu niezawodności akumulatorów.”? Jakie parametry decydują o niezawodności akumulatora i jak ta niezawodność jest rozumiana? Brakuje tutaj odniesienia do mierzalnych wskaźników oraz pojęć zawartych w normach branżowych (np. PN-93/N-50191) gdzie niezawodność obiektu jest definiowana jako „zespół właściwości, które opisują gotowość obiektu i wpływające na nią nieuszkodzalność, obsługiwalność i zapewnienie środków obsługi”.
- 4.2.4. Strona 54: Modernizacja pojazdu spalinowego poprzez wymianę napędu na elektryczny wydaje się z wątpliwa z ekonomicznego punktu widzenia, biorąc pod uwagę różnorodność konstrukcji autobusów, konieczność rozwiązywania wielu niestandardowych zadań technicznych oraz stopień zużycia układów modernizowanego autobusu. Pomijając aspekty ekonomiczne i techniczne, pozostają do rozważenia aspekty bezpieczeństwa w ruchu drogowym tak zmodernizowanych konstrukcji, z których każda stanowi w pewnym sensie prototyp pojazdu, który trudno w 100% przetestować i dopracować, podobnie jak to ma miejsce w produkcji małoseryjnej. Czy zmodernizowany w ten sposób pojazd (autobus) powinien uzyskać ponownie świadectwo homologacji lub jednostkowego dopuszczenia pojazdu do ruchu drogowego? Żaden z algorytmów przedstawionych na Rys. 3.2.1-1 oraz Rys. 3.2.1-2 nie przewiduje takiej sytuacji.
- 4.2.5. Strona 81: W przypadku tytułu rozdziału 5.1, który brzmi: „(...) BADAŃ EKSPLOATACYJNYCH **OBIEKTÓW RZECZYWISTYCH**”, pojawia się pytanie, Czy Doktorant zna jakieś obiekty nie będące **obiektami rzeczywistymi**, które można poddać badaniom eksploatacyjnym?
- 4.2.6. Strona 95: Doktorant nie podaje na czym polega oryginalność wykonanego przez siebie algorytmu monitorowania: „Przebiegi pozyskano za pomocą **autorskiego algorytmu monitorowania** wartości napięcia falowników napędów oraz układu BMS.”
- 4.2.7. Strona 94: W zdaniu „Warunek zezwolenia załączenia stycznika **preładowania**.”, należałoby zastosować bardziej poprawną polską terminologię: „Załączenia stycznika **wstępnego ładowania**”

- 4.2.8. Strona 130: Rozprawa nie ukazuje w żadnym aspekcie długoterminowej (2-3 lata) analizy danych eksploatacyjnych floty pojazdów elektrycznych, co sugeruje Doktorant w Rozdziale 6 - „Wyniki analiz pozwoliły między innymi na określenie szacunkowych oszczędności (rekuperacji) energii w badanej grupie pojazdów. Z pozyskanych danych wynika, że wartość odzyskiwanej energii zawiera się w zakresie 18÷25% energii używanej do napędzania pojazdu elektrycznego (odzysk energii na wskazanym poziomie, przy zasięgu pojazdu rzędu 250 km, daje dodatkowe 45÷62.5 kilometrów zasięgu).”
- 4.2.9. Strona 130: Doktorant wymieniając własne osiągnięcia nie podaje żadnych odniesień do udokumentowanych rozwiązań alternatywnych, stąd trudno rozpoznać szczegółową oryginalność wyników prac badawczo-rozwojowych Doktoranta: „**Algorytmy rekuperacji producentów autobusów** nie uwzględniały tego faktu, w przeciwieństwie do modyfikacji wprowadzonych przez Autora pracy.”
- 4.2.10. Strona 130: Doktorant używa dyskusyjnej stylistyki w zakresie pojęć i opisów technicznych, np. „(...) silnik **kręci się** z powodu bezwładności” lub „W przypadku rekuperacji część energii jest odzyskiwana, ale znaczna część energii jest **wytrącana** na rozpraszane ciepło.”

5. Wniosek końcowy

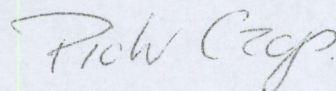
Podsumowując uważam, że w opiniowanej rozprawie doktorskiej pt.: „Metoda pozyskiwania informacji eksploatacyjnych w układach mechatronicznych”, mgr inż. Jacek Barcik samodzielnie rozwiązał postawione zadanie badawcze i wykazał się wiedzą oraz umiejętnościami wymaganymi dla uzyskania stopnia doktora nauk technicznych.

Podjęcie tematu badań przedstawionych przez Doktoranta, uważam za uzasadnione, z punktu widzenia naukowego, a przede wszystkim użytecznego. Merytoryczny zakres rozprawy dowodzi, że Doktorant wykazał się umiejętnością prowadzenia badań teoretycznych i eksperymentalnych oraz posiadał umiejętność zastosowania ich wyników w praktyce przemysłowej.

Zawartość rozprawy przedstawia oryginalne osiągnięcia własne Doktoranta o charakterze badawczo-użytecznym w obszarze eksploatacji układów mechatronicznych, a w szczególności pojazdów elektrycznych.

Stwierdzam, że rozprawa mgr inż. Jacka Barcika spełnia wymagania formalne stawiane rozprawom doktorskim określone w art.13 ust.1 ustawy z dnia 14 marca 2003 roku, o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach w zakresie sztuki

(Dz. U. z 2017r. poz. 1789 z późn. zm.). Wniosuję o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony. Sformułowane przez mnie uwagi krytyczne nie wpływają na ogólną pozytywną ocenę rozprawy.



dr hab. inż. Piotr Czop, prof. AGH

Katedra Robotyki i Mechatroniki
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki
Akademia Górniczo Hutnicza im. St. Staszica
Al. Mickiewicza 30
30-059 Kraków