

Szanowna Pani
dr hab. inż. Anna Timofiejczuk, prof. nzw. w Pol. Śl.
Dziekan Wydziału Mechanicznego Technologicznego
Politechniki Śląskiej
ul. Stanisława Konarskiego 18A,
44-100 Gliwice

Recenzja

rozprawy doktorskiej autorstwa mgr inż. **Mateusza Tyczki**
pt.

„Metoda optymalizacji energochłonności pojazdu z napędem hybrydowym z wykorzystaniem zarządzania energią w pojeździe”.

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Wojciech Skarka, prof. Pol. Śl.

1. Wstęp

Recenzja rozprawy doktorskiej pod wyżej wymienionym tytułem została opracowana na podstawie zlecenia Dziekana Wydziału Mechanicznego-Technologicznego Politechniki Śląskiej w Gliwicach.

Celem naukowym recenzowanej rozprawy jest sformułowanie nowej metody zarządzania energią w pojazdach hybrydowych. Doktorant usystematyzował zasadnicze wymagania co do nowej metody, między innymi, takie jak wymagany czas obliczeń, brak dostępu do zapisu prędkości pojazdu z ostatnich kilkunastu minut, brak dostępu do sygnału GPS, brak informacji pochodzących z innych pojazdów lub infrastruktury drogowej. Opracowana metoda stanowi syntezę istniejących metod zarządzania energią w pojeździe, wnosząc, jednakże nowe elementy analizy i przetwarzania danych, takie jak przykładowo rozpoznawanie wzorców profili

prędkości. Weryfikacja metody odbyła się na drodze symulacji oraz obliczeń numerycznych.

Aktualny dorobek publikacyjny Doktoranta obejmuje 18 (osiemnaście) publikacji dotyczących szeroko rozumianego zarządzania energią w pojazdach, w tym referaty konferencyjne w liczbie pięciu (5). W rozprawie Doktorant nie przywołał żadnego własnego piśmiennictwa.

2. Zawartość i struktura rozprawy

Rozprawa licząca 105 strony została napisana w języku polskim, składa się z 7 rozdziałów, streszczenia oraz wykazu bibliograficznego o 141 pozycjach. Treść rozprawy jest napisana właściwym językiem technicznym, zawiera czytelne i prawidłowo oznaczone schematy, tabele oraz wykresy.

Rozdział 1

Rozdział wprowadza główną tezę rozprawy oraz przedstawia rys historyczny udoskonalania pojazdów z napędem eklektycznym i hybrydowym, oraz samych metod zarządzania energią w pojeździe z uwzględnieniem obecnie wykorzystywanych algorytmów.

Rozdział 2

Rozdział opisuje wybrane aspekty zarządzania energią w pojazdach hybrydowych oraz istotne pojęcia wykorzystywane w rozprawie a dotyczące budowy pojazdów hybrydowych oraz optymalizacji zużycia energii w tych pojazdach. Doktorant załączył również obszerny przegląd literatury w zakresie wykorzystywanych metod i algorytmów zarządzania energią w pojeździe.

Rozdział 3

Rozdział przedstawia autorską metodę zarządzania energią w pojeździe, opisując elementy składowe metody wraz z uzasadnieniem ich zastosowania oraz sposób działania metody.

Rozdział 4

Rozdział zawiera opis modelu matematycznego pojazdu wraz z parametrami oraz informacją jak wyznaczyć lub przyjąć ich wartości. W rozdziale Doktorant opisał również dokładnie zaproponowaną metodę, uwzględniając wszystkie niezbędne wzory i równania. Doktorant sformułował również funkcję celu będącą kryterium oceny dla badanej metody.

Rozdział 5

Rozdział obejmuje badania wstępne poszczególnych modułów składających się na zaproponowaną metodę w celu znalezienia optymalnych parametrów zastosowanych algorytmów oraz modeli. W ramach badań Doktorant opisał opracowaną metodę tworzenia wzorców profili prędkości.

Rozdział 6

Rozdział obejmuje zasadnicze badania weryfikacyjne z użyciem różnych profili prędkości, co umożliwiło wyciągnięcie wniosków odnośnie praktycznych aspektów zastosowania metody. Wyniki działania metody zostały porównane z wynikami uzyskiwanymi przez inne algorytmy stosowane w komercyjnych pojazdach hybrydowych.

Rozdział 7

Rozdział zawiera podsumowanie, wnioski oraz rekomendacje co do dalszego rozwoju proponowanej metody.

3. Analiza krytyczna

- 3.1.1. Doktorant deklaruje, że (Strona 55) „Badania prowadzone w ramach niniejszej rozprawy doktorskiej miały charakter numeryczny. Miały one na celu symulację przepływu energii w pojeździe. W badaniach nie skupiano się na dokładnym modelowaniu całego pojazdu i otoczenia, a jedynie na elementach istotnych z punktu widzenia zarządzania energią w pojeździe.” Jeżeli rozprawa ma charakter teoretyczny, to zazwyczaj model powinien uwzględniać jak najbardziej realistyczny model obiektu oraz zakłóceń na niego oddziałujących w zakresie zastosowania i adekwatnie tutaj zarządzania energią. Jednakże Doktorant pisze (Strona 62) „Silnik elektryczny, sterownik silnika oraz układ przełożenia napędu zostały, w niniejszej rozprawie, zamodelowane jako elementy o stałej sprawności. Jest to podyktowane głównie brakiem wiarygodnej mapy sprawności poszczególnych elementów.” Czy takie uproszczenia zdaniem Doktoranta są akceptowalne w przypadku pracy wyłącznie o charakterze teoretyczno-symulacyjnym, gdzie głównym źródłem wiedzy o procesie jest model? W dodatku, model jest wykorzystywany w metodzie, której wynikiem są dane ilościowe? Czy tak uproszczony model dostarcza wiarygodnych wniosków?
- 3.1.2. Rozprawa zawiera bardzo dużą liczbę założeń w miejsce zmierzonych rzeczywistych parametrów: „W niniejszej rozprawie za sprawność silnika

R.

przyjęto 90%, za sprawność sterownika silnika – 90% a za sprawność układu przeniesienia napędu przyjęto 95%.” Przyjęto założenia jakościowe co do kształtu charakterystyk sprawnościowych (por. 3.1.1.) oraz ilościowych. Czy takie podejście nie będzie miało wpływ na wyciągnięte wnioski? Jak wartości tych parametrów występują w seryjnie produkowanych komponentach? Czy przyjęte wartości są średnimi, czy też granicznymi wartościami?

- 3.1.3. Doktorant zauważa, że (Strona 65) „Celem optymalizacji jest minimalizacja funkcji kosztu, uwzględniająca zużycie energii w pojeździe, spalanie paliwa w pojeździe oraz relację pomiędzy ceną paliwa i energii elektrycznej.”. Czy sformułowanie „relacja” oznacza, że w miejsce optymalizacji jednokryterialnej i ważonej funkcji celu można zastosować optymalizację wielokryterialną?
- 3.1.4. Strona 85: „O zaklasyfikowaniu profilu do danej podgrupy decyduje najmniejsza odległość euklidesowa pomiędzy parametrami profilu wzorcowego i badanego” – Dlaczego wybrano taką najprostszą metrykę? Czy takie podejście jest uzasadnione? Czy Doktorant może wykazać, że jest efektywne w sensie takim, że gdyby zastosować metrykę niższego lub wyższego rzędu, wyniki nie zmieniłyby się znacząco?
- 3.1.5. Doktorant formułuje główne wnioski rozprawy (Strona 94), do których zalicza to zdanie: „Istnieje możliwość opracowania metod zarządzania energią w pojeździe HEV, które mogłyby pracować online, zapewniając możliwość optymalnego zarządzania energią w trakcie eksploatacji pojazdu, zmniejszając jego całkowitą energochłonność, co podlegało badaniu w tezie rozprawy.” Czy taka była intencja Doktoranta, czy to zdanie jest wnioskiem, czy tylko powtórzeniem tezy?
- 3.1.6. Doktorant formułuje główne wnioski rozprawy (Strona 94), do których zalicza ten fragment: „W pracy opracowano metodę tworzenia sztucznych profili prędkości o zadanych parametrach. Metoda pozwala na utworzenie profili zbliżonych do rzeczywistych profili, zarejestrowanych w trakcie eksploatacji pojazdu. Prezentowana metoda może być skutecznie stosowana do tworzenia testowych profili prędkości na potrzeby symulacji numerycznych zużycia energii w pojazdach.” - Moim zdaniem, to nie są wnioski, tylko podsumowania lub omówienia badań podjętych w rozprawie.
- 3.1.7. Strona 95: „Zaprezentowana metoda nie nadaje się do zastosowania w przypadku pojazdów prowadzonych przez kierowcę.” To zdanie powinno znaleźć się w początkowych rozdziałach pracy zawężając zakres rozprawy. Czytelnicy zainteresowani pojazdami klasycznymi, nieautonomicznymi, nie musieliby by się wtedy zapoznawać się z całą rozprawą.

- 3.1.8. Rozprawa nie zawiera odniesień do publikacji Doktoranta, pomimo że jest on współautorem 18 pozycji bibliograficznych w zakresie szeroko rozumianego zarządzania energią w pojazdach. Dlaczego?
- 3.1.9. Doktorant zastosował bardzo uproszczony model, w zasadzie pozbawiony dynamiki. Analizując składniki modelu możemy wyszczególnić moduły (modele) statyczne: *bateria superkondensatorów, konwerter DC/DC, Jednostka pomocnicza APU, opory pojazdu* oraz jeden moduł (model) dynamiczny, tj. baterię akumulatorów. Czy tak znacząco uproszczony model pojazdu może służyć do prowadzenia symulacji w zastępstwie danych pomiarowych? Niektóre z opisów modułów stanowią podstawowe równania zjawisk fizycznych, przykładowo bateria superkondensatorów to równanie spadku napięcia w zależności od płynącego prądu oraz rezystancji elementów baterii superkondensatorów (Wzór 9). W przypadku modułów: silnika elektrycznego, sterownika silnika oraz układ przełożenia napędu nie przedstawiono żadnych równań. Zastosowany model zamiany energii chemicznej paliwa i elektrycznej na pracę wprowadza uproszczenia w zakresie modelowania zjawisk fizycznych w tym ich dynamiki oraz nieliniowości. Jaki jest błąd tak zredukowanego modelu?
- 3.1.10. Na czym polega oryginalne osiągnięcie Doktoranta, jeżeli rozprawa stanowi „syntezę obecnie stosowanych algorytmów”? Co Doktorant potwierdza w tym zdaniu (Strona 14): „Zadanie realizowano poprzez zrozumienie działania obecnie stosowanych algorytmów zarządzania energią w pojeździe i zaproponowaniu nowej strategii zarządzania energią w pojeździe, będącej syntezą obecnie stosowanych algorytmów”.
- 3.1.11. Czy Doktorant rozważył zastosowanie bardziej efektywnych metod predykcji opartych na metodach autoregresji z dłuższą „pamięcią” dynamiki procesu, przykładowo modelach AR lub ARMA? Czy możliwe byłoby rozszerzenie metody predykcji w taki sposób, żeby zawierała dwa modele predykcyjne, jeden z krótkim horyzontem czasowym dla celów chwilowego oszacowania dynamiki pojazdu, a drugą dla celów oszacowania trendu związanego z pokonywaniem przeszkód terenowych np. najazdów oraz zjazdów ze wzniesień.
- 3.1.12. Doktorant uwzględnił w badaniach weryfikacyjnych (Strona 87) stały koszt energii elektrycznej. Skąd takie założenie. Koszt energii elektrycznej w sieci to średnio około 0.57 PLN/kWh. W jaki sposób obliczyć całkowity koszt energii czerpanej z baterii akumulatorów lub kondensatorów, uwzględniając koszt ładowania oraz koszt magazynowania? Czy powinien on być zmienny w czasie dla typowych źródeł prądu i zależny od zmniejszającej się pojemności

akumulatora? Moim zdaniem koszt ten powinien być przyjęty jako zmienny, gdyż jest kluczowy w procesie podejmowania decyzji w napędzie hybrydowym [przykładowy raport branżowy: *Park Naukowo-Technologiczny Euro-Centrum; koszty magazynowania energii w rzeczywistych zasobnikach; źródło: <http://pnt.euro-centrum.com.pl/files/post/830/Koszty-magazynowania-energii-w-rzeczywistych-zasobnikach.pdf>*]

3.2. Uwagi szczegółowe

- Strona 95: „Metoda zarządzania energią w przypadku pojazdu typu HEV ma istotne znaczenie dla całkowitej energochłonności pojazdu oraz kosztów jego eksploatacji.” – to jest bardzo trywialny wniosek. Zadanie nie przekazuje żadnej istotnej informacji.

- Strona 95: „(...) jednak możliwe jest znaczące zmniejszenie czasu obliczeń” – to zdanie nie wskazuje na wniosek, gdyż nie przekazuje żadnej informacji, tj. bezwzględnej lub względnej ilości czasu, o który skraca się czas obliczeń.

- Strona 87: „Proponowana metoda zarządzania energią w pojazdach HEV została **zweryfikowana** poprzez badania **weryfikacyjne**” styl nazywany kolokwialnie „masłem maślanym”

Strona 90: „(...) koszt pokonania 100 km dla poszczególnych metod Wyniki zostały przedstawione w postaci histogramu na rys. 24.(...)” – przykład usterki edytorskiej, brak znaku interpunkcji.

Strona 82: Wartości czasu symulacji modelu nie są odniesione do czasu zegarowego, co utrudnia interpretację. Warto byłoby zastosować procentową skalę, gdzie 100% oznacza, że czas symulacji jest równy czasowi zegarowemu (rzeczywistego ruchu pojazdu).

4. Główne osiągnięcia rozprawy

Rozprawa dotyczy istotnego i aktualnego tematu inżynierskiego, którym jest optymalizacja energochłonności pojazdów z napędem hybrydowym. Doktorant wykazał poprawność sformułowanych tez rozprawy przeprowadzając badania symulacyjne w oparciu o opracowany model pojazdu hybrydowego.

Podsumowując, do osiągnięć Doktoranta oraz mocnych strony recenzowanej rozprawy zaliczam, między innymi:

- a) zastosowanie profilowania prędkości oraz wzorcowania, co wynikowo doprowadziło do oryginalnej kombinowanej metody predykcji,
- b) wyznaczenie początkowej wartości parametru sterującego ε dla potrzeb predykcji z użyciem algorytmów metodą symulowanego wyżarzania dla przygotowanych wzorców prędkości,
- c) wyznaczenie i zastosowanie w modelu pojazdu hybrydowego charakterystyk statycznych rezystancji baterii kondensatorów.

Oryginalność przedstawionej w rozprawie metody Doktoranta dotyczy dwóch zasadniczych osiągnięć:

- a) opracowania algorytmu syntezy wzorców prędkości,
- b) opracowania metody rozpoznawania wzorców prędkości.

Doktorant sformułował następujący wniosek pośredni (Strona 92): „Po analizie danych należy stwierdzić, że w każdym z przypadków koszty pokonania trasy z użyciem reguł, okazały się mniejsze niż w przypadku zaproponowanej metody. Oznacza to, że proponowana metoda nie spełnia pokładanych w niej nadziei i jej stosowanie nie jest uzasadnione ekonomicznie.” Pomimo tych mankamentów wykazanych na poziomie badań symulacyjnych, uważam, że metoda oparta na rozpoznawaniu wzorców profili prędkości może stać się użyteczna przy uwzględnieniu uwag, które zawarłem w recenzji.

Analiza tematyki podjęta przez Doktoranta, postawionych problemów oraz zastosowanych metod badawczych pozwala na stwierdzenie, że tematyka rozprawy doktorskiej mieści się w zakresie dyscypliny naukowej Budowa i Eksploatacja Maszyn. Tematyka rozprawy posiada duży potencjał badawczy z możliwością dalszego prowadzenia badań.

5. Wniosek końcowy

Podsumowując uważam, że w opiniowanej rozprawie doktorskiej pt.: „Metoda optymalizacji energochłonności pojazdu z napędem hybrydowym z wykorzystaniem zarządzania energią w pojeździe”, mgr inż. Mateusz Tyczka samodzielnie rozwiązał postawione zadanie naukowe i wykazał się wiedzą oraz umiejętnościami wymaganymi dla uzyskania stopnia doktora nauk technicznych.

Podjęcie tematu badań przedstawionych przez Doktoranta, uważam za uzasadnione, zarówno z punktu widzenia poznawczego, jak również utylitarnego.

Zawartość rozprawy przedstawia oryginalne osiągnięcia własne Doktoranta o charakterze teoretycznym w obszarze zagadnień optymalizacji energochłonności pojazdu z napędem hybrydowym z wykorzystaniem zarządzania energią w pojeździe.

Stwierdzam, że rozprawa mgra inż. Mateusza Tyczki spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy i wnioskuję o dopuszczenie jej do publicznej obrony w dyscyplinie Budowa i Eksploatacja Maszyn. Sformułowane przez mnie uwagi krytyczne nie wpływają na ogólną pozytywną ocenę rozprawy.



dr hab. inż. Piotr Czop

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