

dr hab. inż. Anna TIMOFIEJCZUK  
Prof. nzw. w Politechnice Śląskiej  
e-mail:atimofiejczuk@polsl.pl

Gliwice, 14 października 2016

## OPINIA

o pracy doktorskiej mgr. inż. Przemysława SZULIMA

pt. *Wykorzystanie informacji diagnostycznej w planowaniu ruchu pojazdu autonomicznego*

Opinię opracowano na zlecenie Dziekana Wydziału Samochodów i Maszyn Roboczych  
Politechniki Warszawskiej

### 1 Wstęp

Rozwój różnych aspektów projektowania oraz działania pojazdów autonomicznych można podzielić na kilka kierunków. Wśród nich, opracowywanie i rozwój algorytmów systemów sterowania tymi pojazdami, w szczególności systemów, które pozwalają na ich autonomiczne działanie zajmuje bardzo ważne miejsce. Pełna autonomia działania pojazdu oznacza samodzielną realizację misji i pokonywanie różnych, najczęściej nieznanych przeszkód. Wymaga to zastosowania algorytmów, które wykorzystują i przetwarzają różne informacje, rejestrowane przez systemy sterowania pojazdem. Jednym ze źródeł takich informacji są informacje diagnostyczne, które mogą być rejestrowane poprzez obserwację wielu układów pojazdu. Opiniowana rozprawa doktorska dotyczy takiego zagadnienia. Temat rozprawy oceniam jako aktualny.

### 2 Opis rozprawy

Rozprawa składa się z siedmiu rozdziałów i została opracowana w języku polskim. Na początku pracy zamieszczono streszczenia w językach polskim oraz angielskim. Wraz ze streszczeniami oraz wykazem literatury, zawierającym 160 pozycji, rozprawa liczy 184 stron.

Na początku rozprawy zamieszczono wykaz oznaczeń stosowanych w pracy.

W rozdziale 1. pt. *Wprowadzenie*, liczącym 8 stron, zawarto opis problemu badawczego i sformułowano dwa zadania, których rozwiązania podjęto się w trakcie realizacji pracy. W rozdziale tym zawarto również tezę pracy oraz krótko scharakteryzowano przeprowadzone badania.

Rozdział 2, zatytułowany *Planowanie ruchu robota z wykorzystaniem kryterium energetycznego*, liczący 24 strony, poświęcono omówieniu różnych sposobów planowania ruchu robota oraz algorytmów planowania trajektorii, na podstawie przeglądu literatury, który włączono również do tego rozdziału. W tej części pracy zawarto również opis, opracowanego przez Autora rozprawy, algorytmu planowania trajektorii, a także pokazano i omówiono wyniki działania tego algorytmu. Do weryfikacji algorytmu zastosowano przykładowy model, który sprowadzono do punktu materialnego o skończonej masie, współczynnika oporów powietrza oraz toczenia.

Rozdział 3, zatytułowany *Modelowanie wpływu uszkodzenia na procesy zachodzące w silniku BLDC*, liczący 74 strony, składa się z czterech części. W pierwszej zawarto wprowadzenie do modelowania silnika BLDC wraz z fizycznymi podstawami i aparatem matematycznym. W części drugiej, poświęconej modelowaniu silnika BLDC, zawarto opisy budowy silnika, wprowadzenie do modelu magnetycznego silnika oraz przedstawiono bardzo obszerny, zajmujący 50 stron, opis magnetycznego modelu silnika. Opis tego modelu zawiera: model rozkładu magnetyzacji magnesów trwałych wraz z modelowaniem rozkładu pola od magnesów trwałych, przy uwzględnieniu obszaru wału wirnika, obszaru rdzenia magnetycznego rotora, obszaru magnesów trwałych, obszaru przestrzeni powietrznej, obszaru rdzenia stojana oraz obszaru przestrzeni wokół silnika. Przy każdym z omawianych zagadnień pokazano przykładowe wyniki symulacji. Część czwarta zawiera opis elektrycznego modelu silnika, a część piąta stanowi podsumowanie całego rozdziału.

Rozdział 4, zatytułowany *Modelowo wsparta diagnostyka uszkodzeń mechanicznych silnika BLDC z wykorzystaniem zewnętrznego pola magnetycznego*, który liczy 13 stron, jest poświęcony analizie modelu silnika, w tym, analizie pola pochodzącego od magnesów trwałych oraz analizie pola pochodzącego od uzwojeń stojana. W rozdziale pokazano przykładowe wyniki symulacji. Rozdział zakończono podsumowaniem.

Rozdział 5, zatytułowany *Modelowanie strat w silniku BLDC*, liczący 18 stron zawiera dyskusję oraz model matematyczny zjawisk związanych z rozpraszaniem energii w silniku BLDC. Rozdział ten rozpoczęto od przeglądu literatury, na podstawie której opisano modelowanie strat w magnesach trwałych wraz z przykładowymi wynikami symulacji. Rozdział zakończono podsumowaniem.

W rozdziale 6, zatytułowanym *Badania stanowiskowe*, liczącym 16 stron, zawarto opis stanowiska badawczego, które zostało zbudowane w trakcie realizacji pracy przez Autora. W rozdziale tym zawarto także wyniki analizy wybranych sygnałów pomiarowych, zarejestrowanych podczas działania stanowiska. Rozdział zakończono podsumowaniem.



W rozdziale 7, zatytułowanym *Podsumowanie*, liczącym 5 stron, zawarto propozycję algorytmu, który jest realizacją zadań sformułowanych w rozdziale *Wprowadzenie*. W rozdziale tym zawarto także wnioski oraz uwagi końcowe dotyczące otrzymanych wyników.

Układ pracy odbiega od typowego układu dla prac doktorskich z dziedziny *budowa i eksploatacja maszyn*, gdzie określa się na początku zakres badań, definiuje aktualny stan wiedzy na podstawie wyników badań literaturowych, formułuje się problem badawczy oraz tezy prac, omawia się opracowane rozwiązanie problemu badawczego i wyniki weryfikacji tego rozwiązania.

W recenzowanej rozprawie doktorskiej na początku sformułowano dwa zadania badawcze oraz tezę, ale pozostała część pracy to przeplatające się wyniki badań literaturowych, opisy teoretyczne oraz wyniki symulacji poszczególnych elementów modelu. W końcowej części pracy opisano stanowisko badawcze lecz nie pokazano weryfikacji omawianych wcześniej wszystkich aspektów modelu. Układ pracy przyjęty przez Autor znacznie utrudnia zrozumienie zasadności realizacji kolejnych działań oraz tego co jest wynikiem badań literaturowych, a co wynikiem pracy Autora.

### **3 Uwagi dotyczące doboru tematu, celu, tez i zakresu rozprawy**

Temat pracy dotyczy systemów monitorowania stanu maszyn wirnikowych. Autor słusznie zauważa, że maszyny wirnikowe są jednym z najpopularniejszych rodzajów maszyn. Mnogość podejść do monitorowania ich stanu oraz zastosowania różnych metod analizy sygnałów resztkowych, oraz procesowych powoduje, że istnieje konieczność interpretacji dużych zbiorów danych, co często prowadzi do zbyt późno wykrywanych uszkodzeń lub fałszywych alarmów. Temat pracy jest aktualny i wpisuje się w trendy rozwoju metod diagnostyki technicznej, a w szczególności zastosowań metod sztucznej inteligencji w diagnostyce obiektów technicznych.

Celem pracy jest „poprawa niezawodności i efektywności systemów monitorowania maszyn wirnikowych”. W świetle opisanej wyżej tematyki pracy, cel pracy został sformułowany prawidłowo.

W pracy sformułowano jedną tezę:

Możliwa jest integracja wskaźników diagnostycznych maszyny w sposób pozwalający na zaprezentowanie stanu dynamicznego maszyny za pomocą hierarchicznej struktury wskaźników.

Teza została sformułowana zgodnie z określonym celem pracy.

Zakres rozprawy dobrano prawidłowo, odpowiednio do celu rozprawy, sformułowanego przez Doktoranta. Zakres ten obejmuje wyniki badań, które zrealizował Autor. Należy jednak podkreślić, że

rozprawa jest w niektórych fragmentach za bardzo obszerna i zawiera dobrze znane z literatury opisy metod, obiektów i rodzajów uszkodzeń. Część zawartych treści jest niezbędna, ale w części rozdziałów można było krótko scharakteryzować zagadnienie i wskazać odpowiednią literaturę.

#### **4 Ocena merytoryczna**

Tematyka pracy, podjęta przez Doktoranta, wpisuje się w trendy rozwoju diagnostyki technicznej, a w szczególności systemów diagnostycznych, w których przetwarzane i interpretowane są duże zbiory informacji diagnostycznych. Rozwój systemów transportowych, a wśród nich pojazdów autonomicznych, związany jest także z koniecznością wprowadzania różnego rodzaju systemów pozwalających na optymalizację działania tych pojazdów oraz zwiększenie pewności realizacji misji. Badania opisane w rozprawie, w szczególności badania związane z wykryciem wpływu uszkodzeń mechanicznych na rejestrowane sygnały diagnostyczne, dowodzą o dobrym teoretycznym przygotowaniu Doktoranta do realizacji zadań zaplanowanych w toku realizacji pracy. Badania weryfikacyjne, zmierzające do udowodnienia postawionej tezy, zostały przeprowadzone na stanowisku laboratoryjnym, którego głównym elementem jest napęd pojazdu autonomicznego, czyli badany silnik. Badania te oraz końcowe rozdziały pracy budzą niedosyt. We wstępie do pracy oraz w początkowych rozdziałach, a także tytule pracy Autor powołuje się na pojazd autonomiczny, z którego w pracy badany jest napęd. Za badania weryfikacyjne można także uznać symulacje przeprowadzone przez Autora, przy omawianiu elementów modeli silnika. Symulacje te jednak uwzględniają, ze względu na ich częściowy zakres, jedynie wybrane parametry i zjawiska. Przedstawiona do recenzji rozprawa jest bardzo interesująca, stąd, jeżeli Autor zamierza kontynuować badania oraz je opublikować, niezwykle cenne będzie uzupełnienie pracy o badania na rzeczywistym pojeździe autonomicznym.

##### **4.1 Elementy oryginalne**

Na podstawie rozprawy oceniam, że najważniejszymi oryginalnymi elementami są:

1. Opracowanie algorytmu planowania trajektorii.
2. Modelowanie wpływu uszkodzeń mechanicznych oraz zjawisk zachodzących podczas działania silnika na pole magnetyczne.
3. Opracowanie algorytmu uwzględniania informacji diagnostycznej na etapie planowania ruchu pojazdu.



## 4.2 Uwagi dyskusyjne

1. Główną ideą metody zaproponowanej przez Doktoranta jest uwzględnienie informacji diagnostycznej w planowaniu ruchu pojazdu autonomicznego. W pracy założono, że rozpatrywane są uszkodzenia mechaniczne silnika, które wymieniono na str. 55. Są nimi: wygięcie wału i niewyważenie. Jako uszkodzenie wymieniono także przekroczenie dopuszczalnej temperatury. W części weryfikacji opracowanej metody pokazano wyniki przetwarzania sygnałów zarejestrowanych podczas działania stanowiska laboratoryjnego. Wyniki te pokazano w postaci widm, na których można zauważyć zależności między stanem technicznym, a sygnałem diagnostycznym, co tym samym dowodzi tezie. W świetle tytułu pracy, wyniki te budzą jednak pewien niedosyt. Pojawia się pytanie: jak Autor przewiduje wykorzystanie tych wyników w planowaniu ruchu pojazdu autonomicznego? Czy można pokazać przykład symulacji?
2. Pojazd autonomiczny to złożony system mechatroniczny, którego działanie jest uzależnione od bardzo wielu czynników. Zakładając, że czynniki związane z działaniem podukładów pojazdu są przewidywalne i możliwe do wykrycia, co pokazuje Autor w swojej pracy, czynniki związane z otoczeniem pojazdu, takie jak: rodzaj podłoża, po którym porusza się pojazd, warunki atmosferyczne, topografia terenu oraz sąsiedztwo innych obiektów, są w losowe. Pewne rozważania na ten temat pojawiły się w rozdz. 7. Podsumowanie, ale nie są one według mnie wystarczająco wyjaśnione. Czy i jak tego rodzaju czynniki mogłyby być włączone do algorytmu planowania ruchu pojazdu, który został opracowany przez Autora? Czy możliwe byłoby rozważanie tych czynników w kontekście określonej misji pojazdu?
3. Autor pracy używa różnych pojęć. Przykładami są: pojazd autonomiczny (w tytule) i robot (tytuł rozdziału 2.), błędy mechaniczne (str. 152) i uszkodzenia mechaniczne (str. 7), planowanie ruchu pojazdu (str.13) i planowanie trajektorii. Czy pojęcia te oznaczają według Autora to samo? Jeżeli nie, które z nich są poprawne w świetle tematyki pracy?

## 5 Wniosek końcowy

Podjęty i rozwiązany przez Doktoranta problem badawczy jest ważny z perspektywy rozwoju systemów diagnostycznych, a w szczególności przetwarzania i interpretacji informacji diagnostycznych. Doktorant wykazał się ogólną wiedzą teoretyczną w dyscyplinie *Budowa i eksploatacja maszyn* oraz wymaganą umiejętnością zaplanowania i samodzielnego przeprowadzenia

badań naukowych. Sformułowane przeze mnie uwagi dyskusyjne i szczegółowe nie umniejszają w żaden sposób wartości merytorycznej rozprawy.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że opiniowana rozprawa doktorska Mgr. inż. Przemysława Szulima pt. *Wykorzystanie informacji diagnostycznej w planowaniu ruchu pojazdu autonomicznego* spełnia wymagania Art. 13 p.1 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dziennik Ustaw nr 65, poz. 595) i może zostać dopuszczona do publicznej obrony.

