

Szczecin 25.05.2022

Prof. dr hab. inż. Mirosław Pajor  
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki  
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie  
Al. Piastów 19, 70-310 Szczecin

**Recenzja pracy doktorskiej pt. "Development of a Power and Communication Bus Using HIL and Computational Intelligence Techniques" autorstwa mgr inż. Marka Sznury.**

Recenzję opracowano na podstawie zlecenia RDIMe.512.7.2022 Przewodniczącej Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Prof. dr hab. inż. Ewy Majchrzak z dnia 26.01.2022r.

**1. Przedstawienie treści pracy**

W przemyśle maszynowym i motoryzacyjnym obserwuje się wyraźny wzrost nasycenia konstrukcji mechanicznych maszyn i pojazdów różnego rodzaju układami elektrycznymi wykorzystywanymi do diagnostyki, sterowania, wspomaganie operatora czy realizującymi dodatkowe funkcje poprawy komfortu użytkownika maszyny/pojazdu. Ponadto nowe rozwiązania napędów elektrycznych są implementowane w maszynach i pojazdach wypierając dotychczasowe rozwiązania. Przykładem takich trendów są coraz częściej tzw. napędy bezpośrednie w obrabiarkach (eliminujące przekładnie śrubowe czy z kołami zębatymi) oraz silniki elektryczne stosowane w pojazdach hybrydowych i elektrycznych (wypierające silniki spalinowe). Ważnym paradygmatem czwartej rewolucji przemysłowej jest zwiększenie liczby układów sensorycznych w pojazdach i maszynach w celu kompleksowej diagnostyki oraz poprawy poziomu interakcji pomiędzy człowiekiem a maszyną. Działania te implikują potrzebę rozprowadzenia w konstrukcji mechanicznej okablowania do zasilania oraz transmisji danych sterujących.

Szczególnie silnie trendy te obserwuje się w przemyśle motoryzacyjnym. Pojazdy są wyposażane poza oświetleniem, elektrycznymi wycieraczkami i układem zapłonu w dodatkowe układy elektryczne poprawiające komfort jazdy i wspomagające kierowcę w sterowaniu pojazdem. Do takich układów zaliczyć można: podgrzewanie szyb, lusterek, foteli i kierownicy, klimatyzacja, automatycznie sterowane szyby i lusterek,

sensory zbliżeniowe, monitor, kamery wizyjne i wiele innych urządzeń elektrycznych poprawiających komfort prowadzenia pojazdu. Urządzenia te wymagają doprowadzenia zasilania oraz przewodów do transmisji sygnałów sterujących. Okazuje się, że w pojazdach samochodowych (ale również w obrabiarkach CNC) problem zaprojektowania prawidłowego rozprowadzenia wszystkich przewodów jest poważnym zagadnieniem inżynierskim. Masa systemu okablowania może stanowić istotny składnik masy całego pojazdu. Ponadto materiały używane do produkcji kabli poważnie obciążają środowisko istotnie zwiększając ślad węglowy. Z uwagi na powyższe prowadzi się intensywne prace zmierzające do redukcji systemu okablowania.

Recenzowana praca mieści się w omówionym powyżej obszarze badawczym. Autor zaproponował integrację funkcji zasilania z funkcją transmisji danych, co prowadzi do istotnej redukcji niezbędnego okablowania w pojeździe samochodowym. Efektem realizowanych prac badawczych jest innowacyjna magistrala DNL (ang. Device Lightweight Network) umożliwiająca zasilanie i przekazywanie danych w dwóch przewodach. Badania tej problematyki są szczególnie ważne dla przemysłu motoryzacyjnego, bowiem umożliwiają redukcję negatywnych oddziaływań na środowisko, obniżają koszty produkcji oraz zwiększają potencjał automatyzacji procesu produkcyjnego, co przy wielkoseryjnej produkcji pojazdów samochodowych ma bardzo duże znaczenie ekonomiczne i społeczne.

Opiniowana praca doktorska liczy 108 stron i składa się z siedmiu rozdziałów, bibliografii oraz streszczenia w języku polskim i angielskim. Zamieszczony spis literatury zawierający zestaw 140 cytowanych pozycji literaturowych. Dobór źródeł literaturowych jest poprawny i nie budzi żadnych zastrzeżeń. Wyciągnięte wnioski z analizy stanu zagadnienia i przeglądu literatury są prawidłowe, a zaproponowana tematyka badań jest dobrze umotywowana.

Poszczególne rozdziały rozprawy doktorskiej obejmują: wprowadzenie, analizę literatury, cel i tezy pracy oraz siedem rozdziałów merytorycznych zakończonych wnioskami końcowymi. W pierwszym rozdziale rozprawy Autor definiuje problem, opisuje obecny rynek motoryzacyjny oraz identyfikuje trendy jego rozwoju. Jasno zostaje zdefiniowany cel pracy oraz omówiony jej zakres. Autor nie formułują jawnej tezy badawczej. Zarówno cel pracy jak i jej zakres mają bardzo praktyczny charakter i są adekwatne do rozwiązywanych problemów.

W następnym rozdziale zdefiniowane są podstawowe pojęcia oraz omówiono różne warianty architektury zasilania. Autor analizuje ślad węglowy poszczególnych architektur

w obszarze produkcji i eksploatacji. W rozdziale zwrócono uwagę, że poziom emisji CO<sub>2</sub> jest silnie zależny od kraju, w którym pojazd jest wytwarzany i eksploatowany.

W rozdziale trzecim Autor przedstawia możliwości optymalizacji wiązek samochodowych. Opisano jak są zbudowane i z jakich elementów składają się wiązki samochodowe. Następnie analizowane są techniki automatycznego adresowania stosowane w przemyśle motoryzacyjnym. Analizy te prowadzą do określenia wymagań dla nowego wariantu konstrukcji wiązki samochodowej i procedur jej adresowania. Autor prezentuje własny pomysł na konstrukcję i automatyczne adresowanie wiązki okablowania samochodowego i wskazuje na jej zalety z uwzględnieniem problemów automatyzacji jej wytwarzania.

W rozdziale czwartym Autor przedstawił stanowisko badawcze jego warstwy komunikacyjnej oraz filozofię integracji stanowiska z narzędziami programowymi systemu HIL (Hardware in the Loop). Następnie szczegółowo przedstawiono proces automatycznego adresowania modułów klienckich DLN. Autor prezentuje problematykę optymalizacji wielokryterialnej parametrów wiązki. Zaprezentowano zaplanowane do zastosowania procedury optymalizacji tj.: próbkowanie hipersześcianu łacińskiego LHS, algorytmy genetyczne GA oraz algorytmy roju cząstek PSO.

W kolejnym, piątym rozdziale opisane zostały wyniki wszystkich zastosowanych procedur optymalizacji LHS, GA i PSO. Ponadto Autor przedstawił sposób walidacji wyników końcowych. Przeprowadzono ponad 5 tys. testów każdej konfiguracji automatycznego adresowania.

Rozdział szósty zawiera wnioski płynące z realizacji badań. Wskazano na dużą redukcję śladu węglowego jaką można osiągnąć wdrażając wyniki zaprezentowanych badań. Na tej podstawie zostały wyciągnięte wnioski dotyczące osiągnięcia założonych celów pracy oraz wskazane etapy dalszych badań. W kolejnym rozdziale siódmym Autor prezentuje potencjał wdrożeniowy zaprojektowanego rozwiązania wiązki okablowania samochodowego.

Podsumowując można stwierdzić, że na podstawie zaprezentowanej analizy wyników badań optymalizacyjnych i eksperymentalnych Autor rozwiązał postawiony problem i uzyskał rozwiązanie nowej koncepcji wiązki DLN okablowania samochodowego o polepszonych parametrach technicznych i wyraźnie ograniczonym śladzie węglowym..

## **2. Oryginalne osiągnięcia pracy**

Bardzo ważnym atutem pracy doktorskiej Pana Marka Sznura jest wdrożeniowy charakter prezentowanych wyników badań. Autor sprawnie posługuje się narzędziami w zakresie komputerowej analizy i optymalizacji zaawansowanych procedur automatycznego adresowania. Badania testowe realizowano z zastosowaniem technologii HIL, co stanowi oryginalne osiągnięcie Autora. W pracy Autor wspiera zaawansowane analizy numeryczne technikami eksperymentalnymi na rzeczywistych obiektach jako wymóg technologii HIL. Silne ukierunkowanie wdrożeniowe podwyższa poziom implementacyjny pracy.

Do najważniejszych osiągnięć pracy można zaliczyć:

- Zaprojektowaną nową koncepcję lekkiej wiązki samochodowej DLN z procedurą automatycznego adresowania i szybką transmisją danych (do 2 Mb/s) bazującej na jednej parze przewodów. Lekka wiązka DNL ma znacznie zredukowany ślad węglowy i jest bardziej predysponowana do automatyzacji procesu jej wytwarzania i instalacji w pojeździe samochodowym.
- Zastosowanie technik sztucznej inteligencji LHS, GA i PSO do optymalizacji wielokryterialnej parametrów wiązki DLN.
- Opracowanie zaawansowanej metody testowania procedur adresowania z zastosowaniem technologii HIL (Hardware in the Loop).

Wysoko oceniam poziom naukowy pracy oraz jej silny charakter implementacyjny w obszarze przemysłu motoryzacyjnego.

## **3. Uwagi krytyczne i dyskusyjne**

Do uwag dyskusyjnych i krytycznych zaliczyłbym:

1. Str.50. Konstrukcja stanowiska badawczego, algorytmy jego testowania oraz skrypty sterujące jego działaniem zostały opisane dość pobieżnie, co utrudnia zrozumienie pracy. Autor powinien zdać sobie sprawę, że praca jest oceniana przez inżynierów mechaników a nie przez informatyków-elektroników, dla których zastosowany w pracy opis pewnie byłby bardziej zrozumiały. Bardzo cenne byłoby, gdyby Autor przedstawił algorytmy działania w postaci schematów blokowych (rys.4.4 nie jest wystarczający) objaśniających szczegóły działania stanowiska. Istotne wydaje się tu szczegółowe objaśnienie technologii

HIL, która jak pokazano w spisie literatury w zagadnieniach inżynierii mechanicznej nie jest powszechna.

2. Str.53. (rys.4.6) Autor powołuje się na wyniki niepublikowanych wcześniejszych badań i na rys.4.6 prezentuje wykres, który ma ilustrować charakterystyczne trendy adresów. Zwracam uwagę, że praca jest broniona w gronie inżynierów mechaników i taki skrót myślowy sprawia, że praca jest trudna do zrozumienia. Proszę o wyjaśnienie jaką formę mają owe adresy (oś Y na wykresie, czy to poziomy napięcia, cyfra binarna, czy ciąg przeskalowanych liczb?) i co Autor ma na myśli mówiąc o ich trendach.
3. Str.59. Zamieszczenie w spisie literatury pozycji z 1859 roku Karola Darwina i poświęcenie jej całego akapitu rozprawy, (mimo jej przełomowego znaczenia) wydaje się zbędne. Przez analogie można wówczas w poważnych współczesnych badaniach astronomicznych cytować Kopernika. Myślę, że Karol Darwin opracowując swoją teorię ewolucji nie myślał o algorytmach genetycznych i raczej trudno go traktować jako prekursora tej technologii.
4. Str.59. W rozdziale 4.4.2 Autor bardzo szeroko opisał działanie algorytmów genetycznych GE, niemal w formie wykładowej. Tymczasem tego typu podstawowe zagadnienia są stosunkowo dobrze rozpoznane na gruncie inżynierii mechanicznej, o czym świadczy częste stosowanie tej technologii do optymalizacji problemów z zakresu mechaniki. Sugeruję, że rozprawa byłaby bardziej zrozumiała z punktu widzenia inżyniera mechanika, gdyby skrócono ten rozdział, a rozbudowano inne fragmenty pracy np. o szczegółowy opis działanie stanowiska, technologii HIL, czy **bardzo** szczegółowe wyjaśnienie procedur adresowania.
5. Str. 70-71. Na rys.5.3-5.5 Autor prezentuje wyniki optymalizacji z zastosowaniem algorytmów genetycznych. Proszę o wyjaśnienie czym są pionowe linie na wykresach. Czy są to zbiory wielu optymalnych rozwiązań, których wartości funkcji kryterialnych  $c_2$  i  $c_3$  uzyskują prezentowany rozkład wartości? Jeżeli tak, to jak wytłumaczyć, że układają się one w tak regularne linie podczas gdy metoda LHS daje w wyniku dość swobodnie rozłożone punkty?
6. Str.75. Autor stwierdza, że liczba poprawnych rozwiązań rośnie proporcjonalnie do wielkości roju. Poprawne rozwiązania istnieją niezależnie od wielkości roju. To procedura optymalizacji skuteczniej wykrywa te rozwiązania jeżeli wzrasta wielkość roju.
7. Str.76. Na rys. (rys.5.7-5.9) Autor prezentuje wyniki optymalizacji z zastosowaniem algorytmów rojowych. Wiele z tych rozwiązań posiada wartość funkcji kryterialnej  $c_2$  poniżej wartości 0,5. Na str. 67 (ostatni akapit) Autor zaznacza, że aby układ był

prawidłowo adresowany funkcja kryterialna  $c_2$  winna osiągać poziom powyżej 0,5. Jak zatem wytłumaczyć tę rozbieżność?

8. Str.78. Analizując wyniki optymalizacji logicznym wydaje się oczekiwanie, że różne procedury optymalizacji powinny dać wyniki identyczne lub zbliżone. Tymczasem na rys.5.10 wyraźnie widać, że Autor uzyskuje wiele różnych rozwiązań. Czy można zatem mówić o rozwiązaniu optymalnym, czy raczej o rozwiązaniu akceptowalnym?

Recenzowana praca od strony redakcyjnej nie budzi większych zastrzeżeń. Rysunki są czytelne i dobrze ilustrują treść pracy. Rozprawa jest starannie przygotowana.

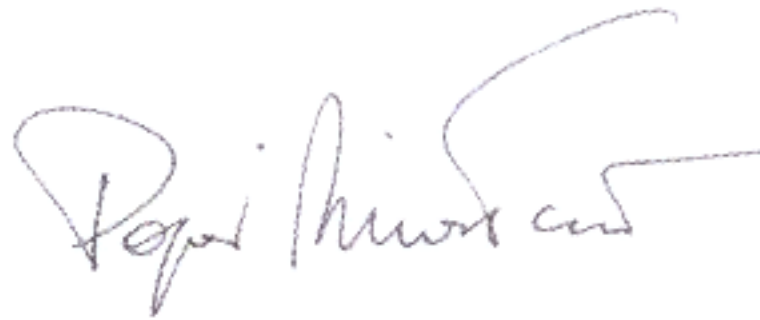
#### **4. Podsumowanie**

Podsumowując powyższą recenzję należy stwierdzić, że Autor zrealizował wszystkie założone cele pracy. W początkowym etapie recenzowania niniejszej rozprawy miałem wątpliwość, czy została ona poprawnie zakwalifikowana do dyscypliny inżynieria mechaniczna. Praca istotnie ma wyraźny charakter interdyscyplinarny z obszaru szeroko pojętej mechatroniki. Biorąc pod uwagę fakt, że zgodnie z obecnym stanem prawnym, inżynieria utrzymania ruchu została włączona do inżynierii mechanicznej oraz analizując całościowo recenzowaną rozprawę i porównując ją z podobną problematyką prac badawczych realizowanych w obszarze obrabiarek numerycznych CNC, skłaniam się do wniosku, że praca ta może być zakwalifikowana do dyscypliny inżynieria mechaniczna.

Dużą zaletą pracy jest jej charakter implementacyjny. Autor wykazał duże umiejętności w zakresie zaawansowanych symulacji numerycznych, w których zastosował nowoczesne algorytmy z obszaru sztucznej inteligencji. Ponadto Autor wykazał duże umiejętności w prowadzeniu badań eksperymentalnych złożonych układów mechatronicznych z zastosowaniem technologii HIL. W efekcie końcowym Autor uzyskał rozwiązanie wdrożeniowe o polepszonych parametrach eksploatacyjnych i zdecydowanym ograniczeniu niekorzystnego oddziaływania na środowisko.

**Biorąc pod uwagę wdrożeniowy charakter doktoratu stwierdzam, że w ocenie całościowej praca ta spełnia na dobrym poziomie wymagania stawiane pracom doktorskim przez ustawę z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 poz. 1668 z zm.). Zrealizowana przez mgr. inż. Marka Sznura praca stanowi autorskie rozwiązanie sformułowanego problemu projektowo-badawczego i wnosi interesujący przykład zastosowania technologii HIL oraz procedur optymalizacji metodami**

sztucznej inteligencji w projektowaniu okablowania maszyn. Ponadto zrealizowane prace projektowo-badawcze wskazują na zadowalający poziom wiedzy teoretycznej i praktycznej jej Autora. **Reasumując stwierdzam, że opiniowana rozprawa doktorska może być dopuszczona do publicznej obrony.**

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Piotr Kowalski". The signature is fluid and cursive, with a large initial 'P' and a long horizontal stroke at the end.