

Częstochowa, 05.01.2026 r.

Prof. dr hab. inż. Jarosław Krzywański
Katedra Zaawansowanych Metod Obliczeniowych
Wydział Nauk Ścisłych, Przyrodniczych i Technicznych
Uniwersytet Jana Długosza w Częstochowie

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr inż. Reddy Babu Siddareddy

pt. „Transient engine simulations using the stochastic reactor model for driving cycle performance studies”

Podstawą do opracowania recenzji rozprawy doktorskiej mgr inż. Reddy Babu Siddareddy jest pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej, prof. dr. hab. Krzysztofa Labus.

A. Wprowadzenie

W erze dekarbonizacji transportu i implementacji restrykcyjnych standardów Euro 7, paradygmat modelowania jednostek napędowych ulega radykalnemu przeobrażeniu. Adaptacja nowych nośników energii wymusza przesunięcie ciężkości symulacji z etapu koncepcyjnego offline na fazę weryfikacji i strojenia układów sterowania w środowisku pętli sprzętowej (Hardware-in-the-Loop, HiL) oraz modelowej (Model-in-the-Loop, MiL). W tym nowym reżimie badawczym, fundamentalną barierą technologiczną staje się integracja złożonych mechanizmów kinetyki chemicznej, niezbędnych m.in. do precyzyjnej estymacji emisji, przy jednoczesnym zachowaniu wymogu obliczeń w czasie rzeczywistym.

W świetle powyższego przedłożona praca podejmuje istotny i aktualny problem jakim jest konieczność optymalizacji silników spalinowych pod kątem rygorystycznych norm emisji spalin w warunkach rzeczywistej eksploatacji, przez

co podjęty przez Doktoranta, mgr inż. mgr inż. Reddy Babu Siddareddy temat należy uznać za istotny nie tylko z perspektywy badań poznawczych, lecz również z uwagi na wysoki potencjał aplikacyjny.

B. Zakres rozprawy

Przedłożona do oceny praca doktorska mgr inż. REDDY BABU SIDDAREDDY nosi tytuł „**Transient engine simulations using the stochastic reactor model for driving cycle performance studies**”.

Promotorem pracy jest prof. dr hab. inż. Wojciech Adamczyk.

Praca liczy łącznie 118 stron, na które składa się 5 rozdziałów, streszczenie, spis oznaczeń i skrótów, wykaz współautorskich publikacji Doktoranta w liczbie 15 prac oraz bibliografia licząca 106 pozycji.

W rozdziale pierwszym Doktorant definiuje tło naukowe podjętego tematu, uzasadnienie podjęcia analizowanego problemu badawczego oraz cele i zakres pracy. Autor identyfikuje główny problem badawczy, zgodnie z którym istniejący model stochastycznego reaktora (SRM) jest precyzyjny, ale dotychczas nie był przystosowany do symulacji w czasie rzeczywistym, ani zintegrowany ze standardami sterowania takimi jak FMI/FMU.

Rozdział drugi stanowi stadium literaturowe zawierające w szczególności krytyczną analizę dostępnej literatury na temat symulacji silników spalinowych w stanach przejściowych oraz wykorzystania standardów FMI/FMU oraz platform MiL/HiL w inżynierii motoryzacyjnej. Szczegółowo omówiono standard FMI (Functional Mock-up Interface) i jednostki FMU jako kluczowe technologie umożliwiające wymianę modeli między różnymi platformami programistycznymi. Rozdział ten definiuje również środowiska testowe MiL i HiL, wyjaśniając ich rolę w weryfikacji algorytmów sterowania i wirtualnej kalibracji silników przed fazą fizycznych testów.

W rozdziale trzecim, dotyczącym metod i narzędzi symulacyjnych, Doktorant przedstawił autorski łańcuch narzędzi (simulation toolchain), w tym implementację stochastycznego modelu reaktora (SRM). Kluczową częścią jest opis technicznej integracji kodu SRM (napisanego w Fortranie) z "opakowaniem"

(wrapperem) C++ zgodnym ze standardem FMI 2.0, co umożliwia symulacje w czasie rzeczywistym. Przedstawiono również architekturę meta-modelu opartego na sztucznych sieciach neuronowych (ANN), służącego jako ultraszybki surogat modelu fizycznego.

Rozdział 4 stanowi kluczową część pracy, w której Autor zaprezentował m.in. walidację opracowanego narzędzia oraz wyniki symulacji dla różnych silników. Autor demonstruje także możliwości współsymulacji (co-simulation) silnika z układem oczyszczania spalin (SCR) oraz porównuje wyniki meta-modelu ANN z modelem fizycznym, wykazując wysoką dokładność przy znacznym skróceniu czasu obliczeń.

Pracę zamyka rozdział 5, zawierający podsumowanie oraz wnioski końcowe. Potwierdzono, że integracja SRM poprzez FMI/FMU pozwala na deterministyczne wykonywanie symulacji na platformach dSPACE (MiL/HiL). Rozdział wskazuje również na potencjalne kierunki dalszych prac, takie jak wykorzystanie narzędzia w koncepcji cyfrowych bliźniaków (digital twins) czy optymalizacja układów napędowych z paliwami alternatywnymi.

C. Ocena rozprawy

1. Zdaniem recenzenta problematyka badawcza podjęta w rozprawie jest ważna, interesująca i wpisuje się w najnowsze światowe trendy badawcze w inżynierii środowiska i energetyce, stanowiąc istotny wkład w jej rozwój. Przejrzysta konstrukcja opracowania świadczy o systematycznym podejściu do analizowanego zagadnienia. Doktorant wykazał się szerokim horyzontem poznawczym, sprawnie operując aparatem pojęciowym dotyczącym technik pomiarowych oraz modelowania matematycznego.

2. W pracy zaproponowano autorskie, innowacyjne rozwiązanie polegające na opracowaniu nowatorskiej metodyki integracji i architektury systemu (toolchain), która pozwala na zastosowanie zaawansowanej chemii spalania w symulacjach czasu rzeczywistego.

3. Zastosowana metodyka zasługuje na uznanie ze względu na jej interdyscyplinarny charakter, łączący termodynamikę, chemię spalania i inżynierię oprogramowania.

4. Praca nie ogranicza się tylko do walidacji modelu, ale dostarcza konkretnych wniosków na temat wpływu jakości gazu na emisję, co jest kluczowe w kontekście dekarbonizacji.

5. Warto podkreślić, że Doktorant nie tylko połączył silnik z modelem układu wydechowego, ale przeprowadził analizę wrażliwości (sensitivity analysis) parametrów fizycznych katalizatora.

6. Z technicznego punktu widzenia, na duże uznanie zasługuje sposób, w jaki autor rozwiązał problem integracji starszego kodu naukowego ("legacy code") z nowoczesnymi standardami. Autor opracował autorski wrapper w języku C++ zgodny ze standardem FMI dla solwera SRM napisanego w Fortranie. Umożliwiło to skompilowanie modelu do formy biblioteki dynamicznej (DLL/SO) i jego bezpośrednią implementację w przemysłowych platformach czasu rzeczywistego, co wcześniej nie było możliwe.

7. W podsumowaniu pracy Doktorant wyraźnie pozycjonuje swoje narzędzie jako bazę technologiczną dla Cyfrowych Bliźniaków (Digital Twins). Stworzony "symulator cyklu jezdny oparty na fizyce" (physics-based driving cycle simulator) może służyć nie tylko do rozwoju sterowników, ale także jako wirtualny sensor w pojeździe lub narzędzie do predykcyjnego utrzymania ruchu, co wykracza poza standardowe zastosowania HiL.

8. Przedstawiony materiał badawczy charakteryzuje się dojrzałością naukową, co predestynuje go do rozpowszechnienia w światowym obiegu naukowym. Jego jakość spełnia standardy obowiązujące w wysoko punktowanych międzynarodowych czasopismach specjalistycznych.

D. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

- Model oparty na sieciach neuronowych jest trenowany na wynikach z modelu fizycznego (SRM), a nie na danych eksperymentalnych. Oznacza to, że ANN powiela błędy modelu i nie może funkcjonować jako samodzielne narzędzie bez wcześniejszego uruchomienia pełnej symulacji fizycznej.
- Dobór architektury sztucznej sieci neuronowej, z warstwami ukrytymi zawierającymi 64 i 128 neuronów, powinien zostać uzasadniony, jako że poprawność i dokładność wyników obliczeń, generowanych przy użyciu sztucznych sieci neuronowych, silnie zależy od topologii (architektury) sieci.
- Dlaczego wprowadzony w podrozdziale 3.7 na stronie 36, model oparty na sztucznej sieci neuronowej traktowany jest jako meta-model?
Tę kwestię należałoby dokładniej uzasadnić.
- Nie zdefiniowano jednoznacznie wejść i wyjść wykorzystywanych w neurokomputingu.
- Nie podano ilości danych uczących i testowych użytych w procesie trenowania sieci neuronowej.
- Sugeruję, aby w dalszym rozwoju skupić się na implementacji modelu wygaszania płomienia, co znacznie podniesie dokładność predykcji emisji węglowodorów w warunkach zimnego startu, kluczowych dla norm Euro 7 i przyszłych regulacji.

E. Uwagi szczegółowe

- Praca sporządzona została starannie. Drobne błędy językowe i stylistyczne nie obniżają jej walorów merytorycznych.
- Niektóre akronimy, np. NRMM, RMSE, EDGAR pominięto w sekcji Abbreviations,
- ReLU to Rectified Linear Unit zamiast Reflective Linear Unit (str. 37),
- Omawiając model oparty na sztucznej sieci neuronowej, Doktorant używa pojęcia druga warstwa zamiast warstwa ukryta.

F. Wniosek końcowy

Praca została wykonana rzetelnie, a uzyskane wyniki i stworzone oprogramowanie stanowią nowoczesne narzędzie badawcze, gotowe do zastosowania w przemyśle.

Rozprawa doktorska Pana mgr inż. Reddy Babu Siddareddy, pt. „Transient engine simulations using the stochastic reactor model for driving cycle performance studies”. zawiera więc oryginalne i ważne dla inżynierii środowiska i energetyki sformułowanie i rozwiązanie problemu naukowego oraz oryginalne zastosowanie wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej, wpisujące się w aktualne światowe trendy badawcze. Oceniana praca stanowi więc znaczący wkład w rozwój reprezentowanej dyscypliny naukowej.

Doktorant wykazał się ogólną wiedzą teoretyczną w dyscyplinie naukowej inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. Praca stanowi przemyślaną, logiczną i spójną całość, potwierdzającą umiejętność samodzielnego prowadzenia przez Doktoranta pracy naukowej.

Uważam, że opiniowana praca mgr inż. Reddy Babu Siddareddy spełnia ustawowe wymogi stawiane rozprawom doktorskim w odpowiednich przepisach.

Wobec powyższego stawiam wniosek o dopuszczenie jej do publicznej obrony na Wydziale Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej.

Podpisał Jarosław Krzywański