

Lublin, 12.01.2026

Prof. dr hab. inż. Jacek Hunicz
Politechnika Lubelska
Wydział Mechaniczny
Katedra Zrównoważonego Transportu i Źródeł Napędu
ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Reddy'ego Babu Siddareddy'ego pt. *Transient engine simulations using the stochastic reactor model for driving cycle performance studies*

Podstawę opracowania stanowi pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej, prof. dr. hab. Krzysztofa Labusa z dnia 31 października 2025 roku.

Ogólna charakterystyka rozprawy

Rozprawa doktorska autorstwa **Reddy Babu Siddareddy**, zatytułowana *Transient engine simulations using the stochastic reactor model for driving cycle performance studies* (Symulacje przejściowe silnika z wykorzystaniem stochastycznego modelu reaktora do badań wydajności cyklu jazdy), została napisana w języku angielskim jako maszynopis na Politechnice Śląskiej w 2025 r. Promotorem pracy jest prof. Wojciech Adamczyk, a opiekunem branżowym dr Michał Pasternak. Warto zauważyć, że procedura doktorska przebiega zgodnie z tzw. schematem doktoratu implementacyjnego, co ma pewne znaczenie dla mojej ostatecznej oceny rozprawy.

Rozprawa liczy 118 stron i ma prawidłową strukturę. Zawiera wstęp z motywacją i celami badawczymi, przegląd literatury, opis zastosowanej metodologii i opracowanych narzędzi, a następnie prezentację wyników symulacji i ich omówienie oraz podsumowanie. W rozprawie brakuje typowej sekcji zawierającej wnioski.

Praca doktorska koncentruje się na symulacji przejściowej silników spalinowych w celu prognozowania zachowania spalania, zużycia paliwa i emisji spalin podczas cykli jazdy, takich jak WLTP [Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedure – światowa zharmonizowana procedura badania pojazdów lekkich] i NRTC [Nonroad Transient Cycle – cykl testowy dla silników niesamochodowych]. W tym celu kandydat opracował i zastosował łańcuch narzędzi symulacyjnych, w którym procesy zachodzące w cylindrze są rejestrowane przez SRM [Stochastic Reactor Model – stochastyczny model reaktora] z tabelaryczną chemią. SRM jest zintegrowany ze środowiskami MiL [Model-in-the-Loop] i HiL [Hardware-in-the-Loop] przy użyciu standardu FMI/FMU [Functional Mock-up Interface/Functional Mock-up Unit]. Istnieją również dodatkowe zadania badawcze, takie jak zastąpienie SRM modelem ANN [Artificial Neural Network – sztuczna sieć neuronowa] i symulacja układu oczyszczania spalin. Badania obejmują zarówno silniki z zapłonem iskrowym, jak i silniki z zapłonem samoczynnym. Dotyczą one również zachowania podczas rozruchu na zimno. Ponadto autor wykorzystuje różne paliwa: olej napędowy, gaz ziemny, benzynę i amoniak jako alternatywne paliwo niewęglowe.

Ocena tematu pracy doktorskiej

Wybrany temat pracy doktorskiej jest moim zdaniem bardzo istotny, aktualny i dobrze uzasadniony w kontekście obecnych trendów rozwoju układów napędowych i wymogów regulacyjnych. Wiarygodne

przewidywanie emisji spalin w realistycznych, przejściowych warunkach pracy jest obecnie kluczowym wyzwaniem inżynierskim i naukowym, ściśle związanym z zaostrożaniem norm emisji. Symulacje są również uzasadnione potrzebą obniżenia kosztów rozwoju, podczas gdy złożoność układów napędowych stale rośnie. Same testy eksperymentalne nie są już wystarczające, ponieważ są kosztowne, czasochłonne i często ograniczone pod względem elastyczności. Dlatego zaawansowane narzędzia symulacyjne odgrywają coraz ważniejszą rolę, skutecznie wspierając zakres prac eksperymentalnych.

W tym kontekście opracowana platforma symulacyjna z możliwością symulacji przejściowej oparta na SRM, zintegrowana ze środowiskami MiL/HiL, stanowi dobrze ukierunkowany kierunek badań. Równie ważna jest optymalizacja modeli w celu zapewnienia zarówno szybkości obliczeniowej, jak i wysokiej dokładności, wspierana przez tabelaryczną chemię i efektywne przetwarzanie zmiennych parametrów silnika. Wykorzystanie uczenia maszynowego, w tym metamodelów ANN, dodatkowo zwiększa autonomię modelu i umożliwia ultraszybkie prognozy, co jest szczególnie cenne w aplikacjach czasu rzeczywistego. Możliwość wykorzystania takich modeli do kalibracji silnika jest niezwykle korzystna, szczególnie biorąc pod uwagę różnorodność obecnie stosowanych i pojawiających się paliw, w tym opcji niskoemisyjnych i alternatywnych.

Temat ten idealnie wpisuje się w koncepcję tworzenia cyfrowych bliźniaków silników i układów napędowych, które obecnie odgrywają kluczową rolę w optymalizacji działania, poprawie efektywności ekonomicznej, wydajności środowiskowej oraz bezpieczeństwie transportu lub energii. Wreszcie, temat ten jest nie tylko interesujący z naukowego punktu widzenia, ale także ma szerokie zastosowanie, odpowiadając na rzeczywiste potrzeby nowoczesnej technologii silników i wspierając przejście na czystsze i inteligentniejsze systemy napędowe.

Ocena metodologii badawczej

Moja ocena zastosowanych narzędzi badawczych jest bardzo pozytywna. Doktorant wykazał się wysokimi kompetencjami w zakresie narzędzi badawczych i środowisk symulacyjnych wykorzystywanych w nowoczesnych badaniach silników. Jego praca świadczy nie tylko o pewnym i samodzielnym posługiwaniu się zaawansowanym oprogramowaniem do modelowania, ale także o umiejętności opracowywania, dostosowywania i integrowania różnych narzędzi w jedną spójną strukturę symulacyjną. Opanował SRM i jego praktyczne wdrożenie, w tym wykorzystanie chemii tabelarycznej, obsługę parametrów przejściowych oraz szczegółowe modelowanie spalania i emisji. Jednocześnie z powodzeniem zastosował standard FMI/FMU, który wymaga zaawansowanych umiejętności technicznych związanych z eksportem modeli, realizacją w czasie rzeczywistym, wymianą danych i komunikacją między platformami. Ważną zaletą jego pracy jest skuteczna integracja kilku podsystemów, takich jak modele silników, środowiska MiL/HiL, moduły oczyszczania spalin i modele oparte na sieciach neuronowych, w jeden działający łańcuch narzędzi. Oznacza to, że kandydat jest nie tylko użytkownikiem istniejącego oprogramowania, ale także programistą zdolnym do tworzenia zaawansowanych, wielopoziomowych struktur symulacyjnych. Ta praca doktorska pokazuje, że potrafi on projektować procedury symulacyjne, zarządzać złożonymi architekturami modeli i rozwiązywać problemy techniczne.

Mimo że kandydat opanował narzędzia symulacyjne, rozproszone tematy badawcze i niepełna spójność badań budzą moje obawy. Choć autor porusza wiele cennych aspektów, praca sprawia czasem wrażenie zbyt szerokiej, łącząc różne typy silników, różne paliwa, różne warunki pracy i wiele podejść modelowych w ramach jednego projektu. Ta różnorodność może sugerować próbę wykazania zbyt wielu możliwości naraz, co odbywa się kosztem jasno zdefiniowanego, jednolitego przedsięwzięcia badawczego, cechy oczekiwanej od pracy doktorskiej. Sekcja „Wyniki i dyskusja”, centralna dla rozprawy doktorskiej, kładzie większy nacisk na prezentację poszczególnych badań niż na opracowanie spójnej ścieżki badawczej. Innymi słowy, kandydat przedstawił wszystko, co miał, ale bardziej w formie demonstracyjnej niż jako systematycznie zbadany problem.

Bardziej precyzyjnie ukierunkowana i spójnie skonstruowana koncepcja metodologiczna mogłaby wzmocnić przekaz naukowy. Co ważne, wyniki badań przedstawione w pracy doktorskiej powinny być opisane

wystarczająco szczegółowo, aby umożliwić ich powtórzenie i weryfikację przez innych. Z podrozdziału 1.2 wynika również, że cele rozprawy mają charakter głównie techniczny i inżynierski, podczas gdy wymiar ściśle naukowy schodzi nieco na dalszy plan. W pewnym stopniu może to być uzasadnione programem doktoratu wdrożeniowego.

Ocena treści rozprawy

W poniższej sekcji przedstawiono krytyczną ocenę treści rozprawy. Moje uwagi mają na celu wsparcie dyskusji naukowej i wskazanie obszarów, w których rozprawa mogłaby zostać jeszcze bardziej wzmocniona.

Chociaż rozdział 2 zawiera przydatne informacje na temat dostępnych narzędzi symulacyjnych i oferuje uporządkowany przegląd istniejących środowisk modelowania, pełni on przede wszystkim funkcję opisowego przeglądu i zyskałby na bardziej rozbudowanym krytycznym przeglądzie literatury. Nawet autor zauważa na dole strony 8, że „przedstawia on krótki przegląd powszechnie stosowanych narzędzi symulacyjnych...”, co dokładnie odzwierciedla jego charakter.

Jednak w rozprawie doktorskiej czytelnik zazwyczaj oczekuje nie tylko prezentacji narzędzi, ale także głębszej, analitycznej syntezy stanu wiedzy. W szczególności pożądanym byłoby omówienie aktualnego stanu wiedzy na temat symulacji spalania i emisji w warunkach przejściowych, dotychczasowych osiągnięć oraz pozostałych wyzwań. Czytelnikom przydałaby się również wiedza na temat modeli powszechnie stosowanych przez innych badaczy do rozwiązywania podobnych problemów, ich dokładności oraz ograniczeń. Należy zwrócić większą uwagę na takie kwestie, jak: które składniki emisji można obecnie wiarygodnie przewidzieć, które nadal stanowią trudność i dlaczego.

W tym sensie rozdział 2 zyskałby znacznie na rozszerzeniu dyskusji o bardziej kompleksowe i krytyczne podsumowanie istniejącej bazy wiedzy oraz pozostałych luk badawczych.

Podrozdział 3.5.3 „Kwantyfikacja niepewności w symulacjach przejściowych” zawiera jedynie ograniczoną kwantyfikację niepewności i koncentruje się na typowym poziomie błędów w badaniach. Tabela 3.2 zawiera interesujące informacje na temat niepewności szacowania emisji pochodzących z różnych badań lub zaleceń, ale podpis jest mylący. Podrozdział ten byłby bardziej odpowiedni w przeglądzie najnowszych osiągnięć, w którym krytycznie ocenia się dokładność różnych modeli w odniesieniu do konkretnych zastosowań.

Czytając sekcję poświęconą badaniom (rozdział 4), można odnieść wrażenie, że poszczególne podrozdziały są w dużej mierze samodzielnymi opracowaniami. Świadczy to o bogactwie i różnorodności prac, ale oznacza również, że podrozdziały czasami czyta się jako odrębne opracowania badawcze, a nie jako części jednego spójnego badania. Fakt, że analizowane są różne silniki i paliwa, nie stanowi sam w sobie problemu, ponieważ deklarowanym celem pracy jest weryfikacja metodologii. Trudności pojawiają się jednak, gdy poziom uproszczenia modelu i podejście analityczne różnią się znacznie w poszczególnych sekcjach. W rezultacie bezpośrednie porównanie wyników staje się trudne. Wykorzystywane są różne zbiory danych, które są oceniane według różnych kryteriów, a powiązania między poszczególnymi częściami nie zawsze są jasno wyjaśnione. W praktyce najsilniejszą wspólną cechą jest wykorzystanie opracowanych narzędzi symulacyjnych w różnych studiach przypadków.

Etapy badań i podejścia analityczne nie są w pełni spójne i różnią się poziomem szczegółowości. Zamiast ograniczyć ilość prezentowanych danych i skupić się na ich dokładnej interpretacji, autor wydaje się próbować uwzględnić prawie wszystkie dostępne wyniki, zamiast skoncentrować się na jasno zdefiniowanym problemie naukowym. Bardziej szczegółowe uwagi znajdują się poniżej.

W sekcji 4.1 autor stwierdza, że przedstawione badania odpowiadają pracom [24–27], jednak w kolejnych sekcjach odwołuje się do dodatkowych publikacji. Ponadto publikacja [27] wydaje się być identyczna z [44]. W sekcji 4.3 wspomniano o „danych referencyjnych silnika”, ale ani w pracy, ani w publikacji [44] nie wyjaśniono ich pochodzenia. Nie jest jasne, czy są to dane pomiarowe, w jaki sposób przeprowadzono

pomiary ani jaka jest ich niepewność. Czytelnik wie tylko, że istnieją pewne nieokreślone dane referencyjne. Nie podano również, jakiego rodzaju zestawu narzędzi użyto do symulacji: HiL czy MiL.

W wielu przypadkach zadania symulacyjne są wykonywane poprawnie, ale wyniki są przedstawiane z ograniczoną dyskusją. Na przykład rys. 4.6 przedstawia porównanie emisji w wybranych punktach pracy, ale analiza ogranicza się głównie do wskazania, które wartości są szacowane zbyt wysoko, a które zbyt nisko, bez dalszej interpretacji. Chociaż całkowite symulowane emisje CO i HC w sekcji 4.3.4 są zbliżone do wartości referencyjnych, w środkowej części cyklu (rys. 4.13 i 4.14) niedoszacowanie sięga prawie 50%. Autor nie wyjaśnia, dlaczego szacunki CO i HC odbiegają tak znacząco, podczas gdy prognozy NOx pozostają dokładne. Nie przeprowadzono szczegółowej analizy, kiedy i dlaczego występują te rozbieżności. Rodzi to naturalne pytanie, dlaczego kandydat nie podjął próby poprawy kalibracji modelu.

Analiza zmienności emisji oparta na danych z podrozdziału 3.5.3 również budzi wątpliwości. Podrozdział 3.5.3 przedstawia typowe błędy szacowania emisji zgłaszane w różnych badaniach, w tym opartych na symulacjach, ale wartości te niekoniecznie są odpowiednie dla badań silnika przedstawionych w niniejszej pracy doktorskiej. Na tym etapie rozprawa zyskałaby na uwzględnieniu wyników kilku powtórzonych pomiarów emisji rzeczywistego silnika w warunkach WLTP. Największe rozbieżności pojawiłyby się prawdopodobnie podczas dynamicznej pracy silnika.

W sekcji 4.4 silnik CNG [Compressed Natural Gas – sprężony gaz ziemny] jest symulowany przy użyciu uproszczonego (wygładzonego) cyklu WLTP. Wyniki emisji, zwłaszcza dla NOx, CO i HC, uzyskane w mniej dynamicznym cyklu, nie mogą być w rozsądny sposób porównywane z wynikami uzyskanymi w cyklu w pełni dynamicznym. Ponadto w sekcji 4.3 nie omówiono w ogóle limitów emisji, podczas gdy w sekcji 4.4 przeanalizowano je szczegółowo, chociaż praca koncentruje się na emisjach z cylindra, a limity prawne dotyczą kompletnych układów napędowych, w tym układów oczyszczania spalin. Dodatkowo emisje w tych sekcjach są przedstawione w różnych jednostkach: gramach i gramach na kilometr.

W sekcji 4.5 analizowany jest inny silnik CNG w warunkach NRTC [Non-Road Transient Cycle - Cyklu przejściowego dla pojazdów nieporuszających się po drogach], jednak z profilem prędkości różniącym się od tego przedstawionego wcześniej w sekcji dotyczącej metodologii (patrz rys. 3.7). Walidacja modelu w warunkach stałych wyraźnie pokazuje systematyczne błędy emisji, jednak nie podjęto próby kalibracji modelu. Porównanie na rys. 4.54 ujawnia znaczne rozbieżności momentu obrotowego w całym cyklu. Autor zauważa, że symulowany moment obrotowy jest wyższy niż moment hamowania, co jest naturalne, i że między tymi dwiema wartościami powinna istnieć stała różnica określona przez moment oporu silnika. Dlaczego więc w prawej części rys. 4.54 wartości te zbiegają się? Ponadto, podczas gdy przepływ paliwa jest symulowany dokładnie (rys. 4.53), profile stężenia CO₂ na rys. 4.55 nie są zgodne. Warto zauważyć, że zgłaszane są duże rozbieżności w emisjach CO i CH₄, ale autor jedynie przyznaje się do potencjalnych niedoskonałości modelu, nie podejmując próby jego ponownej kalibracji.

W sekcji 4.6 wprowadzono dwa zupełnie nowe i złożone tematy: spalanie amoniaku i biodiesla oraz oczyszczanie spalin. Żadne z nich nie zostało zweryfikowane i oba są badane tylko w jednym punkcie roboczym, mimo że praca jest poświęcona symulacjom przejściowym. Nie jest również jasne, czy emisje na rys. 4.63 przedstawiają wyniki z silnika lub rury wydechowej. Ponadto nie przedstawiono żadnej weryfikacji modelu oczyszczania spalin, a żaden model oczyszczania spalin nie został opisany w sekcji dotyczącej metodologii. W rezultacie wyniki te wydają się nieco oderwane od głównej narracji naukowej pracy.

W tej części autor wspomina, że treść opiera się na wcześniej opublikowanych wynikach (np. praca [25]). Jednak nie tylko wyniki zostały ponownie wykorzystane, ale cała grafika tej sekcji została skopiowana bezpośrednio z cytowanej pracy. W takim przypadku dobrą praktyką byłoby ponowne zredagowanie rysunków. Pozwoliłoby to uniknąć potencjalnego autoplagiatowania i zapewniłoby spójność graficzną całej pracy doktorskiej.

Ostatni wynik przedstawiony w sekcji 4.7 wprowadza ANN do narzędzia symulacyjnego. SRM zostaje zastąpiony modelem ANN w celu symulacji spalania i emisji. Autor porównuje wyniki uzyskane przy użyciu tych dwóch narzędzi symulacyjnych. Zgodnie z oczekiwaniami, ANN dobrze odtwarza symulowane charakterystyki spalania i emisji modelu SRM. Jednak wyniki symulacji użyte jako punkt odniesienia (z sekcji 4.3) nie odtwarzają dokładnie rzeczywistych emisji. Dlaczego zatem model ANN nie został wytrenowany przy użyciu rzeczywistych danych pomiarowych? Wydajność modelu ANN została wykazana tylko na jednym przebiegu WLTP, tym samym, na którym model został wytrenowany. Nie potwierdza to zdolności predykcyjnej takiego modelu.

Podsumowując tę część recenzji, należy podkreślić, że chociaż prezentacja badań jest miejscami niekompletna, same wyniki są cenne i interesujące. W kilku przypadkach omówienie wyników jest zbyt ograniczone; brakuje w nim rozumowania przyczynowo-skutkowego. Aby zrozumieć pełny obraz badań, czytelnik musi odnieść się do poszczególnych artykułów naukowych.

Rozprawa nie zawiera oddzielnego rozdziału zawierającego wnioski. Wprowadzenie takiego rozdziału mogłoby wzmocnić syntezę przedstawionych wyników i sformułowanie wniosków naukowych.

Ocena jakości redakcyjnej

Ogólna jakość redakcyjna pracy doktorskiej jest dobra, a praca jest ogólnie dobrze przygotowana pod względem struktury, formatowania i prezentacji technicznej, z niewielkimi nieścisłościami formalnymi. Praca jest napisana dobrym technicznym językiem angielskim, a użyta nomenklatura jest dobrze ugruntowana w badaniach nad silnikami. Chociaż praca jest ogólnie zrozumiała, niektóre zdania są zbyt długie i złożone, co miejscami utrudnia czytanie. Liczba błędów gramatycznych i typograficznych jest niewielka. Na przyszłość należy pamiętać, że moment obrotowy jest „wskazywany”, a nie „wskazujący”, oraz że „hamulec” pisze się „brake”, a nie „break” (str. 84). Niektóre rysunki warto przerysować zamiast kopiować z opublikowanych artykułów, aby zapewnić spójny styl graficzny.

Oryginalność i indywidualny wkład kandydata

Oryginalność i wkład tej pracy doktorskiej wynikają z opracowania ujednoliconej struktury symulacji przejściowej silnika. Łączy ona wszystkie komponenty w jeden stabilny i niezawodny łańcuch narzędzi i jest odpowiednia zarówno dla środowisk MiL, jak i HiL. Praca przyczynia się do rozwoju tej dziedziny, umożliwiając oparte na SRM przewidywanie spalania i emisji w warunkach całkowicie przejściowych. Jednocześnie model zachowuje dobrą dokładność symulacji spalania (choć prognozowanie emisji jest mniej przekonujące) i wysoką wydajność obliczeniową. Modułowa architektura FMU jest kolejną mocną stroną pracy. Jest ona wspierana przez model zastępczy oparty na sieciach neuronowych, który może działać szybciej niż w czasie rzeczywistym. Razem tworzą one skalowalną i przenośną platformę łączącą szczegółową fizykę spalania z praktycznymi potrzebami w zakresie rozwoju sterowania i rzeczywistych zastosowań inżynierskich. Dlatego też praca ta stanowi rzeczywisty wkład metodologiczny, a nie tylko integrację istniejących narzędzi programowych.

Jak już wspomniano, same wyniki mają wartość archiwalną. Istnieje duży potencjał kontynuacji badań i publikacji w formie wysokiej jakości artykułów naukowych.

Dane badawcze wykorzystane w rozprawie zostały już opublikowane w kilku wieloautorskich artykułach, które ukazały się w czasopiśmie takich jak *Renewable Energy*, *Energies* i czasopiśmie SAE. Biorąc pod uwagę wieloautorski charakter tych publikacji, wskazane byłoby wyraźne wskazanie w rozprawie osobistego wkładu kandydata w uzyskane wyniki badań i przygotowanie tych publikacji. Informacje te można zaczerpnąć z sekcji „Wkład” tych artykułów, ale należałoby to również wyraźnie zaznaczyć w samej rozprawie.

Wnioski

Rozprawa przedłożona do oceny stanowi oryginalny wkład naukowy, a wyniki badań i analizy przedstawione w pracy potwierdzają rzetelność i sumienność naukową autora. Kandydat wykazał się zaawansowaną wiedzą teoretyczną w dziedzinie inżynierii środowiska, górnictwa i energetyki, połączoną z umiejętnością przełożenia tej wiedzy na praktyczne badania i prowadzenia niezależnych badań naukowych.

Przedstawione powyżej uwagi krytyczne stanowią część dyskusji naukowej. Nie mają one na celu umniejszenia wartości pracy doktorskiej, ale podjęcie naukowej dyskusji z autorem i odzwierciedlenie punktu widzenia recenzenta na temat pracy doktorskiej. Punkt widzenia recenzenta może oczywiście różnić się od punktu widzenia promotorów i doktoranta.

W związku z tym stwierdzam, że rozprawa doktorska pana **Reddy'ego Babu Siddareddy'ego**, zatytułowana *Transient engine simulations using the stochastic reactor model for driving cycle performance studies*, pod kierunkiem **prof. Wojciecha Adamczyka** i współkierowana przez **dr Michała Pasternaka**, spełnia wymagania dotyczące rozpraw doktorskich określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, a autor może zostać dopuszczony do publicznej obrony.

[podpis odręczny] Jacek Hunicz

Ja, Małgorzata Sokołowska, tłumacz przysięgły języka angielskiego w Gliwicach, nr wpisu na listę tłumaczy przysięgłych TP/1509/05. Poświadczam zgodność niniejszego tłumaczenia z okazanym mi dokumentem pdf sporządzonym w języku angielskim. Gliwice, dnia 16 stycznia 2026 r. Repertorium nr 010/2026.