

Dr hab. inż. Paweł Skruch, prof. AGH
Katedra Automatyki i Robotyki
Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie
Al. Mickiewicza 30/B1, 30-059 Kraków
E-mail: pawel.skruch@agh.edu.pl

Kraków, dn. 30. grudnia 2024 r.

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgra inż. Tomasza Koniora

pt. „Nowe algorytmy przetwarzania, analizy i oceny danych dla niestacjonarnych systemów ważenia pojazdów w ruchu”

I. Podstawa opracowania recenzji

Niniejsza recenzja dotyczy rozprawy doktorskiej mgra inż. Tomasza Koniora zatytułowanej „Nowe algorytmy przetwarzania, analizy i oceny danych dla niestacjonarnych systemów ważenia pojazdów w ruchu” w dyscyplinie naukowej informatyka techniczna i telekomunikacja. Promotorem opiniowanej rozprawy doktorskiej jest prof. dr hab. inż. Jacek Izydorczyk. Recenzję opracowałem na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja prof. dr. hab. inż. Andrzeja Polańskiego działającego na podstawie Uchwały nr 47/2024 Rady Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja Politechniki Śląskiej z dnia 29 października 2024 r.

II. Ocena oryginalności problemu badawczego podjętego w rozprawie i jego znaczenia dla rozwoju dyscypliny

Problem badawczy podjęty w rozprawie dotyczy przetwarzania i analizy danych pochodzących z systemów pomiarowych wykorzystywanych do ważenia pojazdów w ruchu drogowym. Dane te obejmują przede wszystkim sygnały z pętli indukcyjnych oraz czujników wagowych. Czujniki te są instalowane w nawierzchniach dróg i ze względu na trudne warunki eksploatacyjne charakteryzują się zmiennymi w czasie parametrami, które istotnie wpływają na jakość uzyskiwanych danych pomiarowych. Ta zmienność parametrów powoduje, że systemy ważenia pojazdów w ruchu mają charakter niestacjonarny, co stanowi dodatkowe wyzwanie w procesie analizy danych.

Celem prowadzonej analizy jest precyzyjne określenie parametrów przejeżdżających pojazdów, takich jak długość pojazdu, liczba osi pojazdu, masa całkowita, w tym w szczególności wykrywanie przypadków przekroczenia dopuszczalnej wagi. Rozwiązanie tego problemu badawczego ma kluczowe znaczenie z punktu widzenia praktycznych zastosowań, szczególnie dla systemów zarządzania i kontroli infrastruktury drogowej. Prawidłowe funkcjonowanie takich systemów przyczynia się do poprawy

bezpieczeństwa ruchu drogowego, ochrony nawierzchni dróg przed nadmiernym obciążeniem oraz optymalizacji kosztów utrzymania infrastruktury.

Dodatkowo, rozprawa uwzględnia również aspekty techniczne i technologiczne związane z projektowaniem, kalibracją oraz adaptacją systemów ważenia w ruchu, co może stanowić istotny wkład w rozwój nowoczesnych rozwiązań w obszarze inteligentnych systemów transportowych.

Zagadnienie ważenia pojazdów w ruchu nie jest nowe, ponieważ badania w tym obszarze są prowadzone od lat 70. XX wieku. Niemniej jednak, aspekty związane z niestacjonarnością systemów pomiarowych oraz wykorzystaniem nowoczesnych technik przetwarzania i analizy danych, zarówno w dziedzinie czasu, jak i częstotliwości, można uznać za oryginalne i nowatorskie. Wprowadzenie takich podejść stanowi istotny wkład w rozwój wiedzy w tej dziedzinie, oferując nowe możliwości poprawy dokładności pomiarów, identyfikacji kluczowych parametrów oraz zwiększenia efektywności systemów ważenia pojazdów w ruchu.

III. Ocena poprawności i kompletności celów oraz hipotez badawczych

Autor pracy stawia trzy tezy badawczej. Pierwsza teza zakłada, że „odpowiednio dobrane i zaprojektowane algorytmy przetwarzania sygnałów z czujników mogą znacząco zwiększyć funkcjonalność stacji ważenia pojazdów w ruchu, bez konieczności istotnej rozbudowy infrastruktury fizycznej”. Teza jest poprawna pod względem logicznym i merytorycznym. Jasno przedstawia związek między zastosowaniem algorytmów a wzrostem funkcjonalności systemów ważenia pojazdów. Podkreśla ona nowatorski aspekt zastosowania algorytmów zamiast rozbudowy fizycznej infrastruktury. Dodatkowo koncentruje się na praktycznym problemie, istotnym dla rozwoju ważenia pojazdów w ruchu. Warto by jednak doprecyzować, jakie konkretne funkcjonalności mogą zostać zwiększone i w oparciu o jaki rodzaj algorytmów (np. uczenie maszynowe). Dodatkowo, wskazanie mierzalnych kryteriów oceny poprawności hipotezy ułatwiłoby jej weryfikację.

Druga teza stanowi, że „zastosowanie odpowiednich algorytmów oraz oprogramowania do przetwarzania danych umożliwi uruchomienie stacji ważenia pojazdów w ruchu do celów administracyjnych”. Ta teza odnosi się do ważnego i praktycznego zastosowania systemów WIM (ang. *Weigh-In-Motion*) w kontekście administracyjnym. Warto by tutaj doprecyzować, jakie dokładnie cele administracyjne mają być realizowane. Teza mogłaby też wskazać, że uruchomienie stacji do celów administracyjnych wymaga spełnienia określonych wymagań technicznych, takich jak zgodność z normami prawnymi czy odpowiednia dokładność pomiarowa, szczególnie, że te aspekty są dosyć szeroko opisywane w pracy. Doprecyzowanie sformułowania tezy ułatwiłoby także określenie kryteriów weryfikacji oraz odniesienie się do praktycznych aspektów wdrożenia systemów WIM.

Sformułowanie trzeciej tezy badawczej wskazuje, że „istnieją algorytmy przetwarzania sygnałów, które zastosowane w przypadku niestacjonarnych systemów ważenia pojazdów w ruchu (WIM) wykazują wysoką odporność na zmieniające się warunki operacyjne i środowiskowe”. Ta teza dotyczy realnego problemu związanego z niestacjonarnością systemów WIM i zmiennymi warunkami pracy, co jest istotnym wyzwaniem w tej dziedzinie. Daje ona możliwość empirycznego sprawdzenia odporności algorytmów na zmieniające się warunki. Teza nie wskazuje jednak jakie konkretne algorytmy są rozważane (np. algorytmy uczenia maszynowego, logika rozmyta, metody adaptacyjne). Dodatkowo warto by określić, co oznacza „wysoka odporność” w kontekście systemów WIM oraz można by dodać, jakie konkretne funkcjonalności systemu WIM mają być wspierana przez te algorytmy.

Podsumowując stwierdzam, że sformułowane w pracy tezy badawcze są poprawne pod względem logicznym i merytorycznym, ale wymagają doprecyzowania i uzupełnienia, aby lepiej oddawały cele badawcze i były łatwiejsze do weryfikacji w kontekście prowadzonych badań.

IV. Ocena poprawności struktury rozprawy

Praca składa się z sześciu rozdziałów oraz spisu literatury. Rozdział pierwszy stanowi wprowadzenie do zagadnienia badawczego będącego przedmiotem pracy. W rozdziale tym przedstawiono cele pracy oraz sformułowano tezę badawczą. Dodatkowo opisano strukturę pracy, co pozwala czytelnikowi na lepsze zrozumienie jej organizacji. Rozdział drugi koncentruje się na opisie systemów WIM. Zawiera przegląd istniejących rozwiązań algorytmicznych i technologicznych stosowanych w tego typu systemach. Rozdział ten jest znacząco obszerny, gdyż obejmuje on ponad połowę całej pracy. Taka objętość sugeruje konieczność jego podziału na mniejsze sekcje, co ułatwiłoby czytelność i usystematyzowanie treści. Rozdział trzeci prezentuje prace eksperymentalne i wdrożeniowe, których celem jest potwierdzenie postawionych hipotez badawczych. Rozdział ten wydaje się kluczowy dla osiągnięcia celów pracy, ale jego objętość w porównaniu z rozdziałem drugim jest stosunkowo niewielka, co rodzi wrażenie braku proporcjonalności. Rozdział czwarty jest bardzo krótki i zawiera jedynie podsumowanie uzyskanych wyników. Warto by było rozważyć jego rozszerzenie, aby w sposób bardziej szczegółowy przedstawić wnioski z przeprowadzonych badań oraz ich znaczenie praktyczne i naukowe. Rozdział piąty opisuje zestawy danych wykorzystywane do opracowania algorytmów. Opis jest jednak dość ogólny i brakuje szczegółowych informacji o charakterystyce danych, takich jak ich źródło, struktura, zakres, czy parametry kluczowe dla przetwarzania sygnałów. Rozdział szósty zawiera spis funkcji i bibliotek języka Python. Niestety, nie podano szczegółowych informacji dotyczących tych elementów, takich jak ich funkcjonalność, parametry wejściowe i wyjściowe, czy sposób wykorzystania w opracowanych algorytmach – podanie przebiegów sygnałów w postaci graficznej wydaje się tutaj niewystarczające.

Analizując strukturę rozprawy, można zauważyć brak osobnego rozdziału poświęconego kompleksowemu opisowi algorytmów przetwarzania i analizy danych pomiarowych, co stanowi główny cel pracy. Taki rozdział mógłby znacząco podnieść wartość merytoryczną pracy, umożliwiając szczegółowe omówienie metod i technik zastosowanych w badaniach. Dodatkowo należy zwrócić uwagę na brak proporcjonalności między rozdziałami. Rozdziały drugi i trzeci różnią się znacznie objętością, co utrudnia zachowanie spójnej struktury pracy. W celu poprawy organizacji i równowagi treści warto by było rozważyć skrócenie rozdziału drugiego oraz rozwinięcie pozostałych, szczególnie trzeciego i czwartego.

Podsumowując, struktura rozprawy, aczkolwiek poprawna, wymaga pewnych modyfikacji, aby lepiej odzwierciedlała cele i zakres badawczy. Obecny układ rozdziałów jest nierównomierny pod względem objętości i szczegółowości, co wpływa na czytelność i spójność całego opracowania. Ponadto, brakuje osobnego rozdziału kompleksowo opisującego algorytmy przetwarzania i analizy danych pomiarowych, które stanowią sedno pracy. Wprowadzenie tych zmian zwiększyłoby przejrzystość pracy, poprawiłoby jej strukturę logiczną oraz w większym stopniu umożliwiło realizację postawionych celów badawczych.

V. Ocena znajomości metodologii badań oraz przyjętych i zastosowanych metod badawczych

Metodologia badań przedstawionych w rozprawie doktorskiej opiera się głównie na eksperymentach, w których dane pozyskiwane są ze stacji ważenia pojazdów w ruchu (WIM). Dane te pochodzą z czujników indukcyjnych pętlowych oraz czujników wagowych i stanowią podstawę do dalszych etapów badawczych, obejmujących ich analizę ilościową i jakościową.

W ramach przeprowadzonych badań opracowano algorytmy przetwarzania i analizy danych, których celem jest ekstrakcja wektora cech istotnych dla opisanie badanych zjawisk. Podstawę tych nowo opracowanych algorytmów, jak również analizy porównawczej z innymi algorytmami, stanowią znane i szeroko wykorzystywane techniki analizy sygnałów w dziedzinie czasu i częstotliwości. Podejścia te zostały zwięźle opisane w podrozdziałach od 2.12 do 2.19.

Dodatkowo w pracy zastosowano metody uczenia maszynowego jako drugą grupę algorytmów, co pozwoliło na zwiększenie możliwości analitycznych systemu. Wykorzystanie metod uczenia maszynowego umożliwiło automatyzację procesów przetwarzania danych oraz poprawę dokładności klasyfikacji i interpretacji wyników w zmiennych warunkach operacyjnych.

Przedstawiona metodologia łączy tradycyjne podejścia analizy sygnałów z nowoczesnymi technikami uczenia maszynowego, co pozwala na uzyskanie kompleksowych i wiarygodnych wyników, odpowiadających na postawione cele badawcze.

VI. Ocena stopnia zaawansowania zawartej w rozprawie wiedzy teoretycznej z zakresu dyscypliny

Rozprawa doktorska ma w przeważającym stopniu charakter aplikacyjno-wdrożeniowy, w którym nabyta przez Autora wiedza teoretyczna z zakresu przetwarzania sygnałów, analizy danych oraz uczenia maszynowego została skutecznie wykorzystana do opracowania algorytmów umożliwiających ekstrakcję wektora cech istotnych dla opisu badanych zjawisk związanych z ważeniem pojazdów w ruchu. **W kontekście rozwiązywanego problemu badawczego, poziom zaawansowania wiedzy teoretycznej przedstawionej w rozprawie z zakresu dyscypliny informatyka techniczna i telekomunikacja należy ocenić jako zadowalający i adekwatny do osiągnięcia zamierzonych celów badawczych.**

Problem badawczy będący przedmiotem rozprawy został poprawnie zdefiniowany przy wykorzystaniu odpowiedniej notacji stosowanej w przetwarzaniu i analizie danych. Autor stosuje w przeważającej mierze właściwą nomenklaturę naukową, co sprzyja przejrzystości i precyzji przedstawianych treści. Jednakże naprzemienne używanie notacji programistycznej i matematycznej, na przykład w podrozdziałach 2.17.1, 2.17.2, 2.17.4 oraz 2.17.5, jest niewłaściwe i nie znajduje merytorycznego uzasadnienia. Takie podejście może wprowadzać niejasności w odbiorze treści i powinno zostać skorygowane w przyszłości.

Dodatkowo Autor rozprawy poprawnie zdefiniował wskaźniki jakościowe oraz przeprowadził eksperymenty w sposób zapewniający uzyskanie miarodajnych i powtarzalnych wyników. Uzyskane wyniki stanowiły solidną podstawę do weryfikacji postawionych hipotez badawczych, co pozytywnie wpływa na wiarygodność i wartość naukową pracy.

VII. Ocena umiejętności poprawnego przedstawienia uzyskanych przez doktoranta wyników

Autor rozprawy przykłada odpowiednią wagę do poprawnej weryfikacji przyjętych hipotez oraz zakładanych celów badawczych. Wnioski wynikające z analizy uzyskanych wyników eksperymentalnych są zazwyczaj przedstawiane w sposób jasny i zwięzły, choć w niektórych przypadkach są zbyt skrócone, co sprawia, że brakuje pogłębionej analizy. W takich sytuacjach warto by było rozważyć bardziej szczegółową interpretację wyników, która mogłaby lepiej uzasadnić wyciągane wnioski.

Wyniki eksperymentów i przeprowadzonej analizy są przedstawiane za pomocą tabel i rysunków w sposób poprawny. Niemniej jednak, niektóre z rysunków mają zbyt małą rozdzielczość, co znacząco zmniejsza ich czytelność. Dobrą praktyką byłoby poprawienie jakości tych rysunków, aby zapewnić wyraźność i łatwość w odbiorze przedstawianych informacji. Ponadto, zamieszczanie rysunków z opisami w języku angielskim w tekście napisanym w języku polskim nie jest zalecane. Rysunki te powinny zostać dostosowane, a opisy i adnotacje powinny być w języku polskim, aby zachować spójność językową pracy. W pracy pojawiają się również rysunki (np. rys. 3.12, 3.33), które nie mają podpisanych osi. W takim przypadku warto zadbać o ich odpowiednią etykietę, ponieważ jest to niezbędne dla pełnej interpretacji przedstawionych danych i zapewnienia przejrzystości wyników.

Podsumowując, stwierdzam, że doktorant opanował w stopniu zadowalającym umiejętność poprawnego przedstawiania wyników badań i opracowywania tekstu technicznego.

VIII. Ocena formalnej strony rozprawy

Rozprawa doktorska jest napisana starannie, poprawnie pod względem językowym i stylistycznym. Pod względem redakcyjnym, w kilku miejscach zauważyłem drobne uchybienia, które zostały opisane w uwagach szczegółowych. Uchybienia te dotyczą głównie notacji matematycznej, formatowania tekstu oraz interpunkcji. Ich liczba jest jednak stosunkowo niewielka, co nie wpływa w sposób istotny na ogólne pozytywne wrażenie związane z jakością redakcyjną pracy.

Tabele zostały przygotowane prawidłowo, co pozwala na klarowne przedstawienie wyników. Natomiast rysunki, które zawierają opisy w języku angielskim, powinny zostać dostosowane do wersji polskiej pracy. Zgodność językowa w takich elementach graficznych jest istotna dla zachowania spójności i przejrzystości całego tekstu.

IX. Ocena znajomości, doboru, analizy i interpretacji wykorzystywanych w rozprawie źródeł literaturowych

Spis literaturowy zawiera łącznie 101 pozycji, w tym artykuły opublikowane w czasopiśmie, materiały konferencyjne, pozycje książkowe, rozdziały w książkach, prace doktorskie, raporty techniczne oraz materiały elektroniczne, w tym odwołania do stron internetowych. Wśród tych pozycji znajdują się przede wszystkim prace stosunkowo nowe, z przewagą publikacji z ostatnich 10 lat. W spisie literatury uwzględniono również 10 pozycji, w których doktorant jest autorem lub współautorem, a są to pozycje [12], [53], [55], [56], [57], [58], [59], [60], [88] i [89].

W wielu miejscach pracy jako źródło podane są „materiały firmy APM PRO” lub „materiały AGH”, co może utrudniać dostęp do tych źródeł, szczególnie w przypadku, gdy nie są dostępne publicznie. Przegląd literatury w kontekście postawionych hipotez i celów badawczych znajduje się w podrozdziale 2.1.

Spis literatury, pod względem edycyjnym, wykazuje pewną niejednorodność. W niektórych przypadkach pełne imiona i nazwiska autorów są podane w całości, w innych jedynie inicjały imienia oraz pełne nazwisko. Dodatkowo, dla niektórych materiałów elektronicznych użyto adnotacji w języku angielskim dotyczącej daty, w którym źródło było sprawdzane, a dla innych zastosowano wersję polską. Należy dążyć do ujednolicenia tych zapisów w całym spisie literatury.

Podsumowując, przedstawiony przez autora spis literatury jest dobry, reprezentatywny i odzwierciedla obecny stan wiedzy w obszarze badawczym. Warto by było jednak wprowadzić pewne poprawki, które poprawią jego czytelność i spójność edycyjną.

X. Wskazanie oryginalnych osiągnięć

Autor rozprawy w ramach realizacji postawionych celów badawczych uzyskał nowe, oryginalne i wyróżniające rezultaty, do których zaliczam projekt, implementację oraz weryfikację:

- (1) algorytmów do estymacji długości pojazdu oraz określania liczby osi pojazdu na podstawie sygnałów z pętli indukcyjnych;**
- (2) algorytmów estymacji wagi pojazdu na podstawie sygnałów z czujników wagowych;**
- (3) klasyfikatora modelu i marki pojazdu na podstawie profilu magnetycznego.**

Opisane algorytmy bazują na znanych metodach i technikach przetwarzania sygnałów w dziedzinie czasu i częstotliwości i nie można ich traktować jako całkowicie nowego podejścia koncepcyjnego. Niemniej jednak wprowadzone usprawnienia, w tym zastosowanie technik uczenia maszynowego, wprowadzają istotny element oryginalności. Dzięki temu algorytmy te osiągają lepsze wyniki w porównaniu z istniejącymi metodami, zwłaszcza pod względem wskaźników jakościowych, oraz skutecznie radzą sobie z niestacjonarnością układu pomiarowego. Dodatkowym atutem, wartym szczególnego podkreślenia, jest fakt, że niektóre z tych algorytmów zostały wdrożone i z powodzeniem wykorzystane w rzeczywistych warunkach drogowych, co stanowi potwierdzenie ich praktycznej użyteczności i efektywności.

XI. Uwagi i komentarze

Po przeczytaniu rozprawy doktorskiej nasuwają się następujące uwagi ogólne:

- (1) Opracowane nowe algorytmy są opisane w pracy zbyt ogólnie, raczej opisowo niż za pomocą pseudokodu, diagramów przepływu, maszyn stanów, schematów UML, itp. Utrudnia to w pełni zrozumienie ich zasady działania. Jako przykłady takich opisów można wymienić procedurę oceny trajektorii (strona 112), określanie szerokości opony (strona 112), wykrywanie podwójnych kół (strona 113), metodę porównywania odległości (strona 113), metodę porównywania przedziałów czasowych (strona 113), algorytm oceny wiarygodności (strona 113);
- (2) Rysunki z opisem w języku angielskim powinny zostać dostosowane do wersji polskiej pracy;
- (3) Notacja matematyczna nie powinna być przeplatana z notacją programistyczną, dotyczy to m.in. takich rozdziałów jak 2.17.1, 2.17.2, 2.17.3, 2.17.4, 2.17.5;

- (4) Notacja matematyczna jest niejednolita: prawidłowa pisownia zmiennych, funkcji, operatorów jest kluczowa w poprawnym formatowaniu tekstów technicznych. Np. wzory (2.42), (2.43), (2.44), (2.47), (2.48), (2.49), (2.50) nie mają wydźwięku matematycznego;
- (5) Zestawy danych opisane w rozdziale 5 powinny zostać bardziej dokładnie scharakteryzowane w sposób jakościowy i ilościowy.

Podczas czytania pracy nasunęły się następujące uwagi szczegółowe:

- (1) Strona 5: jest '...[17]. w związku ...', powinno być '...[17]. W związku ...';
- (2) Strona 7: jest '... rys. 1.3. w odpowiedzi ...', powinno być '... rys. 1.3. W odpowiedzi ...';
- (3) Rysunek 2.1: ten rysunek można by zaprezentować w sposób bardziej przejrzysty, w szczególności dobrze by było wyjaśnić co oznaczają poszczególne kolory;
- (4) Strona 20: jest 'Systemów WIM według organizacji ...', powinno być 'Systemy WIM według organizacji ...';
- (5) Strona 27: czasami jest 'Lidar' a czasami 'LiDAR';
- (6) Strona 30: zbyt dużo pustych linii po nazwach paragrafów: 'Czujniki magnetyczne' i 'Wirtualne pętle';
- (7) Strona 39: we wzorze (2.4) zmienna 'próg' powinna być określona za pomocą jednoliterowego symbolu;
- (8) Strona 40: we wzorze (2.5) zmienna 'Szczyt' powinna być określona za pomocą jednoliterowego symbolu;
- (9) Brakuje opisu osi na rysunkach 2.16 i 2.17;
- (10) We wzorze (2.9) zamiast 'Min' powinno być 'min';
- (11) We wzorze (2.63) nie jest jasne co oznacza funkcja 'model';
- (12) Strona 64: nie jest jasne dlaczego w opisie sztucznych sieci neuronowych są podane konkretne wartości warstw oraz liczby neuronów oraz innych parametrów uczenia maszynowego – tego typu informacje powinny być podane w miejscu, w którym jest opisywana implementacja konkretnego algorytmu;
- (13) Strona 64: określenie 'bounding box' nie funkcjonuje w języku polskim;
- (14) W opisie rysunku 2.19 występują sformułowania 'głowa', 'głowa odłączona', a wcześniej jest używane sformułowanie 'head' – lepiej jest trzymać się jednej konwencji nazewnictwa;
- (15) Strona 68: wzory (2.72), (2.73), (2.74) nie mają wydźwięku matematycznego;
- (16) Strona 69: nie jest jasne jak interpretować wzór (2.77);
- (17) Strona 92: zdanie 'Podobnie jak w poprzednich badaniach ...' powinno się kończyć kropką po '... z losowym lasem';
- (18) Strona 96: pod rysunkiem 3.15 występuje za dużo pustego miejsca;
- (19) Strona 98: zdanie 'Wektor cech, który zostały użyte ...' jest stylistycznie niepoprawne;
- (20) Strona 100: zdanie 'Do stworzenia modeli regresora ...' jest stylistycznie niepoprawne;

- (21) Strona 101: nie jest jasne czy 'R-squared' jest tożsame z R^2 ;
- (22) Tabela 3.9 nie jest dokładnie omówiona w tekście;
- (23) Strona 119: na określenie 'resamplowanie' można znaleźć odpowiednik w języku polskim;
- (24) Strona 130: zdanie 'Do stworzenia modelu na podstawie obrazów ...' jest stylistycznie niepoprawne.

XII. Ocena ogólna i wnioski końcowe

Stwierdzam, że autor rozprawy doktorskiej w sposób przekonujący udowodnił prawdziwość postawionych hipotez badawczych. W tym celu zastosował odpowiednią metodologię badawczą, opartą na pracach eksperymentalnych oraz analizie jakościowej i ilościowej uzyskanych wyników. Przedstawiony schemat badań jest właściwie zaplanowany i zgodny z zasadami prowadzenia badań naukowych, co świadczy o wysokim poziomie kompetencji autora. Tym samym doktorant potwierdził swoje predyspozycje do uzyskania stopnia naukowego doktora nauk technicznych.

Dodatkowym atutem prowadzonych badań i uzyskanych wyników jest ich praktyczne zastosowanie w rzeczywistych warunkach inżynierskich. Wdrożenie opracowanych rozwiązań do praktyki inżynierskiej dowodzi nie tylko użyteczności naukowej pracy, ale także jej istotnego znaczenia aplikacyjnego w kontekście rozwiązywania realnych problemów technicznych.

Recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Tomasza Koniora spełnia warunki określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, w szczególności rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, a przedmiotem rozprawy doktorskiej jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

Wnoszę o przyjęcie rozprawy oraz jej dopuszczenie do publicznej obrony.

 Paweł Skruch