

Rzeszów, 26.02.2026

dr hab. inż. Mariusz Węglarski, prof. PRz
wmar@prz.edu.pl
Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza
Wydział Elektrotechniki i Informatyki
Zakład Systemów Elektronicznych i Telekomunikacyjnych
35-029 Rzeszów, ul. Wincentego Pola 2

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Pana mgra inż. Rafała Kimli

Recenzję wykonano w odpowiedzi na pismo dr hab. inż. Adama Gałuszki, prof. PŚ, z dnia 7.01.2026, nr RDAEETK.512.2.2026, zgodnie z uchwałą Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Śląskiej.

Układ recenzji został dostosowany do wymagań określonych w umowie o dzieło UMC/4459/2025 na wykonanie recenzji (stopień doktora) do wniosku numer 4224/UMC/RAU0-3/2025.

A. Tytuł rozprawy doktorskiej stanowiącej podstawę ubiegania się o nadanie stopnia doktora

Mgr inż. Rafał Kimli: „Testowanie funkcjonalne złożonych systemów wbudowanych”

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska autorstwa mgra inż. Rafała Kimli została przygotowana pod opieką promotora dra hab. inż. Roberta Czerwińskiego, prof. PŚ z Katedry Systemów Cyfrowych Wydziału Automatyki, Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej.

B. Ocena układu rozprawy doktorskiej, w tym informacje o jej poszczególnych częściach składowych

1) Ogólny układ rozprawy doktorskiej

Rozprawa doktorska została spisana na 128 stronach w sześciu kolejno numerowanych rozdziałach. Po karcie tytułowej Doktorant zamieścił podziękowania skierowane do bliskich, mentorów, kolegów oraz członków zespołu badawczego, a następnie wstawił krótkie streszczenia w języku polskim i angielskim. Strony zawierające te elementy monografii nie zostały objęte numeracją. Na stronach oznaczonych liczbami rzymskimi od I do V Autor umieścił spis treści, spis rysunków oraz spis tabel. Pierwszy rozdział rozpoczyna się na stronie z numerem 1. Całość pracy zamyka bibliografia oraz dodatek A z wykazem symboli i oznaczeń.

2) Strona tytułowa

Strona tytułowa została skomponowana prawidłowo pod względem formalnym, jednak wydaje się, że powinna zawierać jeszcze dodatkowe informacje o charakterze porządkującym. W szczególności Autor nie wskazał, że przedstawiona do recenzji rozprawa została przygotowana w ramach doktoratu wdrożeniowego. Ponadto w pracy nie zamieszczono

jednoznacznej informacji dotyczącej powołania promotorów pomocniczych. Jedynie z treści podziękowań czytelnik może pośrednio wnioskować, że funkcję „Opiekunów Pomocniczych” pełnili dr inż. Robert Malczyk oraz dr inż. Danuta Pamuła.

3) Wprowadzenie

We wprowadzeniu (Rozdział 1) Doktorant ukierunkował obszar rozważań na systemy wbudowane, ze szczególnym uwzględnieniem metod ich testowania. Zwrócił uwagę na istotę problemu w kontekście bezpieczeństwa użytkowników oraz znaczenie realizowanych prac wdrożeniowych dla przedsiębiorstwa Rockwell Automation. Nie zawarł natomiast jasnego sformułowania celu projektowego, nie określił jednoznacznie zakresu badań ani nie przedstawił struktury pracy. Braki te utrudniają czytelnikowi pełne zrozumienie kierunku i ram badawczych rozprawy, tym bardziej, że rozważania prowadzone są na bardzo ogólnym poziomie.

4) Przegląd rozwiązań

Rozdział drugi Autor rozpoczął od przedstawienia charakterystyki systemów wbudowanych, omówił tendencje rozwojowe tego typu urządzeń oraz wyzwania związane z implementacją udoskonaleń technologicznych w praktycznych implementacjach, ze szczególnym zwróceniem uwagi na warstwę programową. Swoje rozważania ograniczył do zamkniętego zbioru przykładów, od razu ukierunkowując przegląd na złożone platformy sprzętowo-programowe, wymagające stosowania systemów operacyjnych i odnosząc się jedynie do systemu Linux. Brak osadzenia tych rozważań w szerszym kontekście niezwykle zróżnicowanej techniki systemów wbudowanych oraz całkowite pominięcie istotnych komponentów dedykowanych dla tego typu zaawansowanych układów programowalnych, (mikrokontrolery, ASIC, SoC ale też FPGA, CPLD, SiP, PoP lub MCP, RTOS) ogranicza pełny obraz dostępnych produktów w tej dziedzinie i może prowadzić do uproszczonego postrzegania tematu.

W dalszej części rozdziału Autor podjął próbę usystematyzowania wiedzy w zakresie testowania systemów wbudowanych. Na początku zdefiniował proces testowania i jego rolę w odniesieniu do rozważanych platform sprzętowo-programowych, krótko omówił uwarunkowania budowy środowiska testowego, a także kolejne etapy oraz sposób i znaczenie ich odpowiedniego planowania. Podsumowując ten fragment stwierdzeniem: *„Pewne podstawowe zasady testowania muszą mieć zastosowanie do wszystkich projektów testowania systemów wbudowanych. Celem projektu i pracy doktorskiej było opracowanie tych metod...”* wskazał jak ważne jest ustalenie uniwersalnych zasad dla całej rozważanej branży. Niestety przyjęta forma przeglądu nie sprzyja realizacji tego zadania. Brakuje konsekwentnego usystematyzowania stosowanej terminologii, a także ujednolicenia schematu kolejnych procesów w omawianych strategiach testowania. Chaos informacyjny szczególnie widoczny jest w odniesieniu do fragmentu omawiającego rysunek 2.5. Również zawartość merytoryczna rysunków 2.3 i 2.4 nie koresponduje jednoznacznie z treściami przekazywanymi w rozważaniach. Nieczytelny jest także układ narracyjny rozdziałów, np. po ogólnym omówieniu strategii testowania Autor nagle przechodzi do prezentacji metod testowania funkcjonalnego, stanowiącego jedynie jeden z wielu pośrednich etapów całego procesu. Co więcej, we wcześniejszych rozdziałach wyraźnie ukierunkowywał On rozważania na testy oprogramowania, co dodatkowo zaburza spójność logiczną wywodu.

Przegląd metod testowania jest nieco bardziej klarowny, jednak również i w tym przypadku – bez wyraźnie ujawnionej myśli przewodniej badań – Autor odnosi się bardziej szczegółowo do wybranych zagadnień automatyzacji procesów oraz ich certyfikacji, co sprawia wrażenie fragmentaryczności i braku spójności przyjętej koncepcji prezentacji wyników przeprowadzonej analizy.

Tym samym Doktorant dokonał mało przekonującej próby usystematyzowania wiedzy niezbędnej do rozwiązania postawionego problemu projektowego. Z każdym kolejnym rozdziałem czytelnik coraz wyraźniej utwierdza się w przekonaniu, że dobór omawianych zagadnień jest zbyt swobodny i często nie znajduje wystarczającego uzasadnienia w potrzebie przygotowania do rozwiązania postawionego problemu badawczego rozprawy doktorskiej. Niewątpliwie, jednoznaczne wskazanie celu rozprawy już we wstępie mogłoby w istotny sposób zminimalizować ten negatywny efekt.

5) Hipoteza badawcza, cel i zakres pracy

Cały rozdział 3 został poświęcony przedstawieniu przyjętej tezy oraz sformułowanych celów badawczych pracy doktorskiej. Zaproponowana teza badawcza została osadzona w szczegółowo scharakteryzowanym kontekście projektów realizowanych w środowisku testów przemysłowych. Zostały również wskazane główne cele ukierunkowane na weryfikację przyjętych założeń, ocenę skuteczności proponowanego podejścia oraz identyfikację uwarunkowań organizacyjno-technicznych sprzyjających wdrażaniu nowych strategii testowych.

Doktorant przedstawił przyjętą metodykę badawczą wraz z ogólnym uzasadnieniem doboru strategii usprawnienia procesu testowania. Spośród licznych projektów, realizowanych na rzecz firmy Rockwell Automation w latach 2020–2024, wyodrębnił grupę reprezentatywną, przeznaczoną do dalszych analiz. W celu umożliwienia jednoznacznej oceny jakościowej prowadzonych badań zaproponował, a następnie precyzyjnie zdefiniował stosowane metryki.

6) Opis wdrożonych zmian w strategii testowania

W rozdziale 4 Doktorant omówił kolejne kluczowe usprawnienia wprowadzone do zmodyfikowanej strategii testowania. W szczególności, w ramach prac realizowanych na rzecz pracodawcy, zadbał o zdefiniowanie spójnej notacji wymagań, która umożliwiła automatyczną generację przypadków testowych. Dla wybranych projektów, zrealizował modyfikację polegającą na tworzeniu testów w sposób atomowy, uzupełnionych o analizę ryzyka, wspomaganych intuicją i doświadczeniem pracowników (testy eksploracyjne). Dokonał także przeglądu możliwości automatyzacji procesu testowania, wskazując jednocześnie na istotną rolę utrzymania testów manualnych. W końcu przedstawił analizę porównawczą efektywności testowania rozważanych projektów pod kątem oceny ilościowej i jakościowej.

7) Prezentacja wyników

W rozdziale 5, Autor rozpoczął od przypomnienia uwarunkowań automatyzacji procesu testowania, które stanowiły podstawę decyzji o wprowadzeniu do praktyki przedsiębiorstwa nowych strategii opartych na *frameworku* wykreowanym przy wykorzystaniu języka programowania Python. Przeprowadził również rozważania dotyczące możliwości zastosowania dużych modeli językowych do generowania scenariuszy oraz skryptów postępowania na podstawie specyfikacji wymagań funkcjonalnych. Następnie omówił ogólną

strukturę *frameworku* hybrydowego, obejmującego zestaw narzędzi i praktyk wspierających zautomatyzowany proces testowania, zaprojektowany z myślą o ciągłej integracji kolejnych wersji rozwijanego systemu wbudowanego. Zaproponowane rozwiązanie zostało wdrożone w postaci architektury modułowej, opartej między innymi na wykorzystaniu wspólnych bibliotek oraz na koncepcji rozdzielania danych wejściowych od skryptów testowych. W końcowej części rozdziału Doktorant przedyskutował ustanowione ramy wyznaczające zakres procesu testowania, ze szczególnym zwróceniem uwagi na ocenę ryzyka, zdefiniowane kryteria stabilności i niezawodności, atomizację przypadków, rolę regresji warstwowej oraz wspomagania testami o charakterze eksploracyjnym. Wspomniał również o konieczności monitorowania kampanii testowej przy użyciu zdefiniowanych metryk oraz na podstawie analizy ogólnych danych o przebiegu kampanii, gromadzonych w trakcie całego procesu.

8) Podsumowanie

W podsumowaniu Autor wypunktował swoje osiągnięcia oraz zawarł stwierdzenie, że przyjęta teza została udowodniona, a cele założone w rozprawie doktorskiej zostały zrealizowane.

Wypunktował on sześć kluczowych rezultatów, które w istotny sposób przyczyniły się do wypracowania nowoczesnych założeń oraz procedur w procesie testowania funkcjonalnego systemów wbudowanych wytwarzanych w firmie Rockwell Automation. Dokładnie określił swój udział w pracach zespołu inżynierów testów, wskazując, że pełnił zarówno rolę koordynatora i osoby odpowiedzialnej za nadzór merytoryczny, jak i specjalisty decydującego o doborze strategii i przygotowaniu kampanii testowych. Należy również podkreślić, że zaproponowane koncepcje i rekomendacje zostały wdrożone przez przedsiębiorstwo jako standard postępowania testowego.

W konkluzji Doktorant dokonał także próby oszacowania długofalowego wpływu uzyskanych wyników na rozwój techniki testowania systemów wbudowanych, wskazując zarówno na możliwość dalszej optymalizacji procesów, jak i na potrzebę pogłębionych badań w zakresie doskonalenia narzędzi, zwiększenia poziomu automatyzacji oraz integracji najnowszych osiągnięć inżynierii oprogramowania, w tym rozwiązań opartych na metodach sztucznej inteligencji wspierających podejmowanie decyzji projektowych.

9) Literatura

Bibliografia rozprawy jest obszerna i ilościowo wystarczająca, co świadczy o szerokim rozeznaniu Autora w literaturze przedmiotu. Należy zwrócić uwagę na duży udział publikacji konferencyjnych (około 50 pozycji), przy czym zdecydowana większość publikacji pochodzi z lat 2008–2025, z wyraźną koncentracją po roku 2010. Taka struktura jest w pewnym stopniu uzasadniona specyfiką dziedziny testowania systemów wbudowanych, w której wiele aktualnych i aplikacyjnych rozwiązań prezentowanych jest właśnie w tego typu źródłach. Taki dobór literatury dobrze koresponduje z wdrożeniowym i praktycznym charakterem pracy.

Jednocześnie należy zauważyć relatywnie niewielki udział publikacji w recenzowanych periodykach naukowych (14 pozycji), przy czym dwie z nich pochodzą z lat 1980 i 1982. Choć klasyczne prace mogą mieć wartość historyczną lub fundamentalną, ich obecność powinna być wyraźnie uzasadniona, zwłaszcza w kontekście dynamicznie rozwijającej się dziedziny inżynierii oprogramowania i testowania systemów wbudowanych. W obecnej postaci proporcje między literaturą konferencyjną a artykułami z czasopism mogą budzić wątpliwości co do stopnia oparcia rozważań na ugruntowanych i potwierdzonych wynikach badań.

Uzupełnieniem bibliografii są odwołania do stron internetowych (około 10 pozycji), które mogą być przydatne z punktu widzenia opisu narzędzi, standardów czy rozwiązań przemysłowych, jednak ich wykorzystanie powinno być ograniczone do treści o charakterze pomocniczym i nie powinno zastępować literatury naukowej. Obecność kilku pozycji książkowych należy ocenić pozytywnie, choć w kontekście pracy doktorskiej można rozważyć ich szersze wykorzystanie, zwłaszcza w celu lepszego osadzenia zagadnień teoretycznych i terminologicznych.

Wśród cytowanych prac znajduje się jedna publikacja, w której Doktorant występuje jako współautor. Została ona opublikowana w czasopiśmie MDPI Applied Sciences, indeksowanym w międzynarodowych bazach danych oraz ujętym w wykazie czasopism naukowych Ministra Nauki. Ponadto Doktorant jest autorem jednego wystąpienia konferencyjnego, zaprezentowanego w formie referatu naukowego.

Podsumowując, bibliografia jest adekwatna pod względem liczebności i dobrze odzwierciedla praktyczno-wdrożeniowy charakter pracy, jednak wymagałaby lepszego zbalansowania poprzez zwiększenie udziału aktualnych publikacji w renomowanych periodykach naukowych oraz bardziej selektywne i uzasadnione wykorzystanie źródeł internetowych i starszych prac.

10) Ocena układ rozprawy doktorskiej

Układ rozprawy doktorskiej jest zasadniczo zgodny z formalnymi wymaganiami stawianymi tego typu pracom. Zachowany został ogólny schemat obejmujący wstęp, przegląd literatury, sformułowanie celów i tezy badawczej, prezentację wyników oraz podsumowanie. Jednakże bliższa analiza struktury pracy wskazuje na brak wyraźnie wyodrębnionych rozdziałów poświęconych prezentacji metodologii badawczej oraz szczegółowemu opisowi eksperymentu.

W praktyce Doktorant prowadzi wywód naukowy w sposób ciągły we wszystkich rozdziałach pracy – począwszy od wstępu, poprzez przegląd literatury, prezentację celów i tezy badawczej, aż po omówienie wyników i wnioski. W ramach tego wywodu Autor analizuje znane metody testowania, przedstawia ich charakterystykę, wskazuje zalety i ograniczenia, odnosi je do potrzeb realizowanych projektów badawczych prowadzonych w środowisku przemysłowym oraz omawia uzyskane rezultaty, okazjonalnie posługując się metrykami wyznaczonymi na podstawie gromadzonych danych.

W tak skonstruowanej pracy zostały zatarte granice pomiędzy częścią metodologiczną, eksperymentalną i dyskusyjną, co utrudnia jednoznaczną identyfikację przyjętej metodologii badawczej, warunków przeprowadzonych eksperymentów oraz podstaw formułowanych wniosków. W konsekwencji proporcje poszczególnych komponentów rozprawy oraz ich wzajemne przenikanie się budzą pewne zastrzeżenia z punktu widzenia przejrzystości struktury i standardów formalnych rozprawy doktorskiej.

Wprawdzie z formalnego punktu widzenia rozprawa spełnia podstawowe wymagania dotyczące objętości, spójności narracyjnej oraz logicznego ciągu rozważań, niemniej jednak bardziej jednoznaczna strukturyzacja treści, zgodna z klasycznym podziałem na metodologię, eksperyment i analizę wyników, znacząco podniosłaby klarowność wywodu naukowego oraz ułatwiła jego ocenę merytoryczną.

C. Ocena piśmiennictwa zastosowanego w ramach rozprawy doktorskiej

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska została opracowana w języku polskim i spełnia zasadnicze wymogi poprawności językowej. Autor popełnił nieliczne uchybienia głównie o charakterze stylistycznym, które w pojedynczych fragmentach mogą utrudniać precyzyjne zrozumienie treści lub w niewielkim stopniu oddziaływać na jej odbiór pod względem formalnym. Uchybienia te nie mają jednak charakteru systemowego i nie wpływają istotnie na merytoryczny wymiar rozprawy. Należy podkreślić, że struktura tekstu jest przejrzysta i logiczna, a sposób prowadzenia narracji umożliwia czytelnikowi płynne śledzenie toku rozważań.

1) *Przykłady niespójności stylistycznych w opisach*

1. Brak ciągłości logicznej prowadzonej narracji: np. w zdaniu: „Według prognoz, do 2030 roku wartość rynku rozwiązań wbudowanych osiągnie 161,86 miliarda dolarów, co oznacza, że rośnie on o 7,1 % rocznie” występuje nieścisłość merytoryczna i logiczna. Na podstawie samej informacji o prognozowanej wartości rynku w określonym roku nie można wnioskować („co oznacza”) o rocznym tempie wzrostu bez podania wartości bazowej, zakresu czasowego oraz metody estymacji (np. CAGR). W konsekwencji sformułowanie to wymaga doprecyzowania poprzez wskazanie pełnych danych źródłowych lub odpowiedniego przeformułowania. Należy podkreślić, że wskazane uchybienia nie dotyczą zasadniczego toku rozważań przedstawionych w rozprawie doktorskiej, pozostają bez wpływu na główny wywód merytoryczny pracy oraz odnoszą się do zagadnień o charakterze informacji powszechnie znanych. Analogiczne zastrzeżenia można sformułować również dla innych fragmentów o drugorzędnym znaczeniu, na przykład:
 - drugi akapit rozdziału 1, trzecie zdanie: odniesienie liczby systemów wbudowanych do wszystkich urządzeń elektronicznych jest zbyt daleko idącym uogólnieniem, tym bardziej, że nie zostało podane źródło tej informacji (dane bibliograficzne dla publikacji [1] wymagają weryfikacji);
 - str. 60: „...wzrost liczby testów po przekroczeniu pewnego progu poprawia jakość bardziej **stopniowo, niż liniowo...**”;
 - str. 38: Doktorant widzi kluczowe obszary testowania, ale ich nie wymienia w trakcie prowadzonych rozważań: „Problem ten manifestuje się w kilku kluczowych obszarach, które znacząco utrudniają obiektywne porównanie różnych technik i metodologii testowych”.
2. Brak rzetelności metodologicznej w przygotowaniu opisów: np. w pierwszym akapicie wprowadzenia Autor próbuje krótko przybliżyć charakterystykę systemów wbudowanych. Pomimo, że opis jest poprawny pod względem merytorycznym, to jest on niepełny. Autor prezentuje klasyfikację opartą na ograniczonym, zamkniętym zbiorze klas układów: mikroprocesorów, mikrokontrolerów, układów ASIC oraz SoC. Pomija natomiast inne pokrewne i powszechnie znane, lecz nie tożsame rozwiązania, takie jak FPGA, CPLD, SiP, PoP lub MCP. Oczywiście nie zawsze istnieje potrzeba ani możliwość wymieniania wszystkich przykładów, dlatego w takich przypadkach zasadne jest operowanie na zbiorze otwartym. Z tego względu w analizowanym opisie należałoby zastosować wyliczenie o charakterze przykładowym, zamiast enumeracji sugerującej kompletność zbioru. Uwaga ta dotyczy również innych fragmentów pracy, na przykład:

- str. 1, drugi akapit rozdziału 1, drugie zdanie: można dodać wiele innych czynników „napędzających wzrost” techniki IoT, tj. motoryzacja, automatyzacja procesów sterowania, ale i np. miniaturyzacja, zrównoważony rozwój, postęp w obszarze nowych materiałów i technologii;
 - strona 7, ostatnie zdanie rozdziału 2.1: zamknięty zbiór przykładów „coraz częściej sięga się po specjalizowane układy scalone lub systemy na chipie”.
3. Nadmiernie rozbudowane zdania złożone, których interpretacja jest utrudniona z powodu niejednolitego stylu językowego oraz niespójności pomiędzy poszczególnymi częściami wypowiedzi, np.
- str. 7 – „... a tym samym skuteczną realizację produktu ...”;
 - str. 8 – „... a także monitorowanie i diagnostykę w trakcie eksploatacji.”;
 - str. 38 – „... by pomóc wskazać źródło problemu.”;
 - str. 58 – „...widoczna na Rysunku 4.5.”;
 - str. 59 – „...na podstawie tychże...”;
 - str. 66 – „Reguły te wymuszają na testerach tworzenie automatyzacji, która zapewnia możliwość uruchomienia ...”
 - str. 94 – „Testy kategorii pierwszej powinny zostać w pierwszej kategorii przepisane w języku Python.”

1) *Inne zauważone uchybienia*

1. W przypisie na stronie 3 Autor zadeklarował świadome stosowanie wyrazów zapożyczonych z języków obcych, dla których zaproponował zapis kursywą. Podejście to jest uzasadnione i poprawne, jednak nie zostało konsekwentnie zastosowane w całej pracy. Zaleca się również konsekwentne stosowanie kursywy dla wyrazów i zwrotów obcojęzycznych oraz ich angielskich odpowiedników podawanych w nawiasach np.: (ang. *exhaustive*).
2. Przedstawiona na stronach 16/17 punktowana lista technik dynamicznych jest merytorycznie poprawna i obejmuje najważniejsze metody stosowane w testowaniu oprogramowania. Warto jednak zwrócić uwagę na spójność stylistyczną – część pozycji jest rzeczownikowa („analiza wartości brzegowych”), a część opisowa w formie czasownika („testowanie losowe”). Dobrze, że w nawiasach podano angielskie odpowiedniki kluczowych metod („fuzz testing”, „use cases”), co ułatwia zrozumienie terminologii międzynarodowej; niemniej jednak można byłoby ujednolicić zapis i w nawiasach włączyć równoważnik angielski przy każdym terminie.
3. Przykłady innych błędów stylistycznych:
 - str. 24, rys. 2.6 – opisy polskie pomieszano z opisami w języku angielskim;
 - używanie niezdefiniowanych sformułowań: „optymalizacja weryfikacji” (str. 3); „warunki wyścigowe” (str. 38), „testowanie wbudowane” (str. 38), „system wersjonowania” (str. 93);
 - błędy językowe: „koszta utrzymania” (str. 94).

D. Wskazanie oraz ocena celu pracy Kandydata

1) Teza pracy

Doktorant sformułował następującą tezę badawczą: „Zastosowanie hybrydowego *frameworku* testowego, opartego na synergii deterministycznej automatyzacji, systematycznej analizy ryzyka, atomizacji przypadków testowych oraz usystematyzowanego testowania eksploracyjnego, pozwala na mierzalną optymalizację procesu weryfikacji złożonych systemów wbudowanych, wyrażoną przez statystycznie istotne podniesienie wartości metryk jakościowych — w szczególności gęstości defektów FD i współczynnika efektywności testów TER — w stosunku do tradycyjnych, monolitycznych strategii testowych.”

2) Ocena tezy zawartej w pracy

Sformułowana przez Doktoranta teza jest ambitna, spójna logicznie i świadczy o wysokim poziomie dojrzałości metodologicznej w planowaniu działań w podjętym przedsięwzięciu badawczym. Jej istotnym atutem jest precyzyjne wskazanie zarówno metody rozwiązania (hybrydowego *frameworku* testowego) jak i sposobu empirycznej weryfikacji przy zastosowaniu mierzalnych kryteriów oceny (metryki FD i TER). Bardzo dobrze odzwierciedla praktyczny charakter doktoratu wdrożeniowego, co jest szczególnie widoczne przy bezpośrednim powiązaniu tezy z realizacją konkretnych projektów w środowisku przemysłowym.

Niemniej jednak uważam, że teza jest nadmiernie rozbudowana i semantycznie przeładowana, co niestety obniża jej przejrzystość i utrudnia jednoznaczne zdefiniowanie zasadniczego problemu badawczego oraz kluczowego efektu naukowego pracy.

3) Cel rozprawy

Zgodnie ze sformułowaną tezą, praca doktorska została ukierunkowana na metody testowania funkcjonalnego złożonych systemów wbudowanych. Zmierzała ona przede wszystkim do zaproponowania techniki lub zestawu procedur pozwalających na optymalną weryfikację testowanego produktu.

W celu zweryfikowania postawionej tezy Doktorant wyznaczył trzy główne zadania do realizacji w projekcie wdrożeniowym:

- ocena strategii testowania opartej na ryzyku oraz wpływu stopnia automatyzacji testów na efektywność kampanii testowych;
- analiza wpływu testowania opartego na doświadczeniu, a w szczególności testów eksploracyjnych, na liczbę oraz istotność wykrytych defektów;
- identyfikacja czynników organizacyjnych i technicznych sprzyjających szybkiej adaptacji nowych strategii testowania w zespołach rozproszonych.

Wymiernym rezultatem podjętego wyzwania projektowego było wykazanie, że istnieje taki zestaw technik testowania, które wdrożone w formie *frameworku* pozwolą na optymalizację procesu weryfikacji poprawności działania złożonego systemu wbudowanego w warunkach przemysłowych przedsiębiorstwa produkcyjnego.

Niestety, informacje o poszczególnych celach zostały rozproszone w początkowych rozdziałach pracy i zostały poprzeplatane innymi zadaniami o mniejszym znaczeniu dla udowodnienia przyjętej tezy. Brak jednoznacznego usystematyzowania narracji ukierunkowanej na realizację założonych celów wprowadza pewien chaos interpretacyjny.

4) Ocena celu rozprawy

Niewątpliwie, przedstawione cele częściowe pracy były ukierunkowane na wykazanie słuszności postawionej tezy. W szczególności dwa pierwsze cele, dotyczące strategii testowania opartej na ryzyku oraz analizy wpływu testów eksploracyjnych, bezpośrednio wspierają tezę poprzez odniesienie do mierzalnych efektów procesu testowania (zdefiniowanych metryk) i obejmują kluczowe aspekty proponowanego *frameworku*. Trzeci cel, skoncentrowany na identyfikacji czynników organizacyjnych i technicznych, ma raczej charakter uzupełniający. Choć jego związek z zaproponowaną metodyką badań, a w szczególności z metrykami jakościowymi, nie jest jednoznaczny, to wspiera on jednak wdrożeniowy wymiar projektu badawczego zmierzającego do zaproponowania „zestawu dobrych praktyk”. Tym bardziej, że Doktorant uzupełnił charakterystykę strategii testowej o odniesienie do projektów zrealizowanych na rzecz partnera przemysłowego.

W treści Autor wielokrotnie odwołuje się do testów funkcjonalnych, co jest zgodne z tematem rozprawy. Niemniej jednak bardzo często koncentruje się na testach ukierunkowanych na oprogramowanie, co w świetle braku usystematyzowanego wprowadzenia w technikę testowania systemów wbudowanych budzi pewne wątpliwości. Dodatkowo z przyjętej tezy badawczej oraz sformułowanych celów nie wynika jasno, jaki jest rzeczywisty zakres prowadzonych testów. Pojawiają się więc tu wątpliwości, czy w zamierzeniu testy miały dotyczyć warstwy programowej, czy też obejmują całościową funkcjonalność produktów przedsiębiorstwa, rozumianych jako urządzenia oparte na zintegrowanych platformach sprzętowo-programowych. Taka niejednoznaczność powoduje pewną niespójność pomiędzy tytułem rozprawy, założonym zakresem badań a prowadzonymi analizami, co osłabia klarowność przekazu metodologicznego. Wyznaczenie wyraźnych ram działania jest o tyle istotne, że Doktorant chciałby, aby wyniki jego prac „*nad testowaniem systemów wbudowanych oraz kolejne prace rozszerzające ich zakres znacząco wpłynęły na certyfikację*” tego typu wyrobów.

E. Wskazanie oraz ocena zastosowanych metod badawczych

1) Przyjęta metoda badawcza

Przyjęcie określonej metody badawczej zostało uwarunkowane przede wszystkim charakterem wdrożeniowym doktoratu. Był on realizowany w ramach działalności badawczo-rozwojowej przedsiębiorstwa Rockwell Automation, a wszelkie podejmowane decyzje musiały być zgodne ze strategią rozwoju założoną przez firmę, dla której najważniejsza była optymalizacja wydatków oraz poprawa jakości oferowanych produktów. Badania zaplanowane zostały w formie eksperymentów realizowanych na przykładowych projektach, polegających na stopniowej modyfikacji stosowanych technik testowych i obserwacji ich wpływu na uzyskiwane wyniki testowania. Uzyskane rezultaty, scharakteryzowane za pomocą przyjętych metryk, zostały odniesione do efektywności testowania wcześniej rozwijanych systemów wbudowanych.

W badaniach zastosowano metodę studium przypadku. Niezbędne informacje były pozyskiwane z repozytoriów testów i projektów, narzędzi do zarządzania testowaniem i systemów rejestrowania i obsługi defektów. Uzyskane dane posłużyły do identyfikacji trendów i korelacji, a także do wyznaczenia zależności przyczynowo skutkowych pomiędzy modyfikacjami procesów testowych a ich efektami. Posłużyły również do wyznaczenia metryk

takich jak: efektywność przypadków testowych, pokrycie wymagań testami, udział testów zautomatyzowanych, udział testowania eksploracyjnego. Systematyczne dokumentowanie zmian w strategii testowania było kolejnym istotnym uzupełnieniem analizy danych. Wymienione działania pozwoliły na wymierną ocenę wpływu wprowadzanych modyfikacji na usprawnienia kampanii testowych.

2) Ocena zastosowanych metod badawczych

Przyjęta metoda badawcza została logicznie uzasadniona charakterem wdrożeniowym rozprawy oraz realiami prowadzenia prac badawczo-rozwojowych w warunkach przemysłowych. Autor trafnie wskazuje, że konieczność dostosowania badań do strategii przedsiębiorstwa, presji czasu oraz ciągłej ewolucji oprogramowania, wyklucza możliwość stosowania klasycznych, powtarzalnych eksperymentów porównawczych w odniesieniu do tej samej kampanii testowej systemu wbudowanego. W tym kontekście wybór podejścia eksperymentalnego o charakterze iteracyjnym, uzupełnionego studium przypadku, należy uznać za uzasadniony i adekwatny do postawionych celów badawczych.

Choć w pełni rozumiem ograniczenia związane z cyklem rozwoju produktu oraz specyfiką realizacji badań w środowisku przemysłowym, warto zauważyć, że przy odpowiednich nakładach czasowych i organizacyjnych możliwe byłoby wielokrotne powtarzanie testów tego samego systemu wbudowanego, na tym samym etapie jego rozwoju, przy zastosowaniu zmodyfikowanych kampanii. Owszem, w praktyce przemysłowej takie rozwiązanie może być trudne do realizacji ze względu na konieczność terminowej dostawy kolejnych wersji produktu oraz ograniczenia zasobów. Niemniej jednak porównanie różnych strategii testowych mogłoby dostarczyć dodatkowych, bardziej wiarygodnych wniosków dotyczących efektywności wprowadzanych modyfikacji. Pewnym substytutem bezpośredniego porównania było przeprowadzenie analiz w odniesieniu do innych projektów, co zostało zrealizowane i dostarczyło istotnych, chociaż nie do końca miarodajnych danych, gdyż projekty te nie są w pełni tożsame z analizowanymi przypadkami.

Przybliżony charakter wszelkich porównań stanowi naturalne ograniczenie przyjętej metody badawczej i wpływa na zakres uogólniania uzyskanych wyników. Choć porównania te dostarczają wartościowych obserwacji o charakterze aplikacyjnym, należy mieć na uwadze, że nie pozwalają one na jednoznaczne i bezpośrednie przypisanie zaobserwowanych efektów wyłącznie zastosowanym strategiom testowania. Ograniczenie to zostało jednak właściwie rozpoznane przez Autora, pozostając w zgodzie z realiami badań prowadzonych w środowisku przemysłowym. Zastosowane podejście zostało świadomie ukształtowane na styku wymagań metodologii naukowej oraz realiów prowadzenia projektów. Pozwoliło ono na sformułowanie wniosków o istotnej wartości praktycznej, które pozostają jednocześnie zgodne z rzeczywistymi uwarunkowaniami organizacyjnymi i operacyjnymi przedsiębiorstwa.

Pewne wątpliwości budzi również sposób interpretacji uzyskanych wyników. Nie jest oczywiste, czy na podstawie samej zależności liczby wykrytych błędów od liczby wykonanych testów można jednoznacznie wnioskować o rzeczywistej skuteczności przeprowadzonej kampanii testowej. Przykładowo, w odniesieniu do projektu Bravo nie można jednoznacznie rozstrzygnąć, czy niewielka liczba wykrytych błędów świadczy o niskiej skuteczności zastosowanej strategii testowej, czy też jest konsekwencją wysokiej jakości samego projektu, wynikającej np. z jego ograniczonej złożoności. Należy podkreślić, że rzeczywista liczba defektów w systemie – podobnie jak każda wielkość podlegająca pomiarowi – pozostaje nieznana. Wykonanie pojedynczej kampanii testowej, bez odniesienia do powtarzalnych

pomiarów, procedur normalizacji lub oszacowania niepewności, nie pozwala na wiarygodną ocenę dokładności ani reprezentatywności uzyskanych wyników. W konsekwencji formułowane na tej podstawie wnioski dotyczące skuteczności testów wymagają ostrożniejszej interpretacji lub dodatkowego uzasadnienia metodologicznego.

F. Ocena części rozprawy doktorskiej dotyczącej omówienia wyników badań

W pracy przedstawiono analizę kilkunastu projektów o różnym stopniu zaawansowania, realizowanych w środowisku przemysłowym. Zostało przeanalizowanych 19 projektów, w których liczba testów funkcjonalnych mieści się w zakresie od 29 do 29 719. Z tego w 4 projektach zastosowano modyfikacje zmierzające do opracowania zestawu wniosków na potrzeby sporządzenia listy dobrych praktyk w obszarze testowania systemów wbudowanych.

W ramach prowadzonych działań wdrożeniowych Doktorant zaproponował i zastosował szereg rozwiązań organizacyjnych oraz narzędziowych:

- zaproponował spójną notację specyfikacji wymagań oraz opartą na niej automatyczną generację przypadków testowych, zastosowaną w projektach Oscar i Lima, przy czym wykorzystanie ustrukturyzowanych plików JSON opisujących parametry urządzeń w formie obiektowej, jako powszechnie przyjętej praktyki inżynierskiej, usprawniło proces testowania oraz przepływ informacji w przedsiębiorstwie;
- wdrożył podejście polegające na możliwie atomowym definiowaniu testów, co – według deklaracji – zostało osiągnięte dla 99% testów w projektach Oscar i Lima, przy czym w pracy nie przedstawiono danych empirycznych dokumentujących ten wynik, ani uzasadniających przywołane wartości;
- wprowadził mechanizm testowania oparty na analizie ryzyka, stanowiący nowy element wdrożeniowy zastosowany w projektach Oscar i Lima, przy czym nie zostały przedstawione dane potwierdzające skuteczność zastosowanych modyfikacji;
- podkreślił znaczenie stosowania testów eksploracyjnych, mających zapewnić holistyczne podejście i uwzględnić wzajemne interakcje między etapami testowania, jednak przedstawione uzasadnienie korzyści wynikających z tej powszechnie stosowanej strategii jest wielowątkowe, niepoparte analizami statystycznymi i nie pozwala jednoznacznie ocenić wpływu tej techniki na skrócenie kampanii testowej;
- wprowadził kryteria stabilności oraz niezawodności testów;
- wprowadził do praktyki przedsiębiorstwa nowy system rejestrowania danych, w którym każdy krok testu generuje informację zawierającą wynik weryfikacji, opis tekstowy, a w razie potrzeby także wartości oczekiwane i rzeczywiste;
- rozważał możliwość wykorzystania dużych modeli językowych do automatyzacji testów, jednak w praktyce nie zastosował żadnego z proponowanych rozwiązań;
- wdrożył hybrydowy *framework* testowy oparty na języku Python, zintegrowany z narzędziami do zarządzania testami oraz środowiskiem ciągłej integracji produktu, który umożliwił automatyzację testów oraz szybkie dostosowanie narzędzi do specyfiki i wymagań różnych projektów, co należy uznać za jedno z najważniejszych osiągnięć pracy.

Analizując praktyczny wymiar rezultatów, można stwierdzić, że w ramach części wdrożeniowej pracy doktorskiej opracowana została specyfikacja wymagań dla nowego środowiska testowego oraz strategia testowa dla projektów Oscar i Lima. We współpracy z zespołem Doktorant stworzył prototyp środowiska opartego na języku Python oraz

narzędziach wewnętrznych firmy, który umożliwia tworzenie i wykonywanie atomowych testów pokrywających pojedyncze wymaganie, a także automatyczne uruchamianie testów i raportowanie wyników do systemu zarządzania. Na podstawie wniosków z kolejnych eksperymentów strategia testowa była stopniowo modyfikowana poprzez włączenie elementów testowania opartego na ryzyku oraz doświadczeniu, w szczególności testowania eksploracyjnego.

Doktorant przyjął założenie, że zastosowanie opracowanych metod testowania wpływa korzystnie na końcową jakość produktu. Stwierdził, że przed wdrożeniem działań optymalizacyjnych kampanie testowe w firmie charakteryzowały się wydłużonym czasem realizacji w stosunku do standardów branżowych. Niemniej jednak przedstawione w pracy wyniki nie dostarczają jednoznacznego potwierdzenia tego faktu, a jego słuszność opiera się głównie na doświadczeniu zawodowym Autora zdobytym w przedsiębiorstwie, co ogranicza możliwość empirycznej weryfikacji formułowanych wniosków. Trafnie jednak dostrzega On istotne braki w stosowanych rozwiązaniach testowania funkcjonalnego systemów wbudowanych, w szczególności brak systematycznego podejścia do oceny efektywności używanych metod, co stanowi jedno z najważniejszych, choć często pomijanych ograniczeń praktyki testowej.

W pracy zwraca uwagę wniosek, że „zastosowanie szerszej automatyzacji, ze względu na skalę i złożoność projektu, nie daje bezpośredniego przełożenia na lepszą wykrywalność błędów w oprogramowaniu”, co wskazuje na ograniczenia efektywności automatyzacji w przypadku dużych i złożonych projektów. Równocześnie realizowane w ramach doktoratu wdrożeniowego projekty Quebec oraz Sierra opierały się wyłącznie na testach manualnych. Autor trafnie podkreśla, że w pełni ręczne testowanie jest uzasadnione jedynie w przypadku małych projektów o niskiej powtarzalności, co pozwala w pełni zrozumieć dobór strategii testowej w zależności od skali i charakteru badanego systemu.

Najważniejsze zastrzeżenie dotyczące prezentacji wyników dotyczy stosowanych metryk. Doktorant definiuje własne wskaźniki efektywności testów, jednak nie proponuje ich unifikacji, ograniczając odniesienie jedynie do konkretnych przypadków. W efekcie brak zunifikowanych metryk uniemożliwia obiektywną ocenę skuteczności różnych metod testowych i znacząco utrudnia porównanie wyników między projektami, organizacjami czy stosowanymi metodologiami.

G. Informacje dotyczące praktycznego zastosowania uzyskanych wyników badań

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska jest w całości oparta na analizowanych efektach projektów rozwojowych, które zostały zrealizowane w ramach działalności wdrożeniowej prowadzonej na rzecz podmiotu zatrudniającego Doktoranta. Oznacza to, że badania miały bezpośrednie przełożenie na rzeczywiste potrzeby sektora, w którym funkcjonuje jednostka gospodarcza, a ich rezultaty znalazły zastosowanie w realnych procesach operacyjnych. Niewątpliwie zaprezentowane realizacje projektowe mogą w przyszłości przynieść wymierne korzyści użytkownikom końcowym. Ponadto, zaproponowane metody, narzędzia i algorytmy stanowią przykład efektywnego transferu wiedzy akademickiej do zastosowań inżynierskich, przyczyniając się tym samym do rozwoju dyscypliny naukowej reprezentowanej przez Doktoranta.

H. Informacja o ewentualnych nieprawidłowościach, które pojawiły się w ocenianej rozprawie doktorskiej

1. Treść pracy została przygotowana na dość ogólnym poziomie rozważań. Jej spójność jest zachowana głównie pod warunkiem, że czytelnik uzna Doktoranta za eksperta w danej dziedzinie, dla którego niektóre informacje i argumenty są oczywiste i dlatego nie zostały rozwinięte. W zasadzie Autor oparł całą pracę na przedstawieniu wniosków wynikających ze swojej działalności, opisując podejmowane działania w sposób bardzo syntetyczny, nie zawsze poparty danymi z badań. Uzyskane rezultaty pozostają w dużej mierze niedopowiedziane, co nie zawsze wydaje się być uzasadnione względami tajemnicy przedsiębiorstwa. Przykładem nagminnie stosowanych niedopowiedzeń – podobnie jak w wielu innych miejscach pracy – jest fragment: „Problem ten manifestuje się w kilku kluczowych obszarach, które znacząco utrudniają obiektywne porównanie różnych technik i metodologii testowych”. Doktorant zdaje sobie sprawę z istnienia tych kluczowych obszarów, jednak w tej części rozważań nie zostały one wymienione, a tym bardziej omówione.
2. Niekonsekwentnie stosowano styl notacji zmiennych i jednostek, który jest kluczowy dla zachowania jednoznaczności i przejrzystości wyводу naukowego:
 - zmienne oznaczające wielkości skalarne powinny być zapisywane kursywą;
 - czcionka prosta jest zarezerwowana dla stałych fizycznych i matematycznych;
 - wartość wielkości fizycznej powinna być oddzielona spacją od przypisanej do niej jednostki, z uwzględnieniem nielicznych wyjątków tj. °C, %.
3. W pracy zostały zdefiniowane metryki jakościowe i efektywnościowe, takie jak TER, FD, TEI, DPP czy TAR. Należy jednak zwrócić uwagę, że te same skróty są używane zarówno jako nazwy metryk, jak i zmienne opisujące ich wartości. W literaturze technicznej przyjęta jest konwencja, aby zmienne były zapisywane kursywą – dlatego skrót nazwy metryki powinien być pisany bez kursywy, natomiast zmienną opisującą wartość metryki już należy zapisać kursywą. Niestety Autor w wielu miejscach nie zachował tej zasady, a jej stosowanie oraz jednoznaczne zdefiniowanie każdej metryki i sposobu jej obliczania jest kluczem do uniknięcia nieporozumień.
4. Opis rysunku 2.4 w tekście jest nieadekwatny do treści prezentowanej na grafice.
5. Przykłady błędów edytorskich:
 - str. 13, rys. 2.3; str. 56, rys. 4.4; str. 77, rys. 5.2 – zastosowano zbyt dużą czcionkę opisów, niekorespondującą z wielkością czcionki w tekście głównym;
 - str. 14 – pozostawiono samotny niepełny wyraz na początku strony;
 - str. 15, rys. 2.5; str. 52, rys. 4.3; str. 69, rys. 5.1 – zastosowano zbyt małą, nieczytelną czcionkę opisów.
6. Zawartość tablic 4.2 i 4.3 jest prawie taka sama. Tablica 4.2 jest niepotrzebna.

I. Ocena, czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego

Projekt doktorski realizowany był w ramach programu „Doktorat wdrożeniowy IV” i właściwie w całości poświęcony był implementacji wyników badań naukowych w sektorze przemysłowym. Jego głównym celem było wykazanie, że możliwe jest opracowanie zestawu

technik testowania, które w formie *frameworku* wspierają optymalizację weryfikacji złożonych systemów wbudowanych. Należy podkreślić, że projekt miał charakter wyraźnie aplikacyjny. Tak więc wkład naukowy należy rozpatrywać zarówno pod kątem innowacyjności rozwiązań, jak i rzeczywistego wpływu na praktykę przemysłową.

Jednym z istotnych ograniczeń rozprawy jest fakt, że rozważania modelowe są silnie osadzone w kontekście konkretnego przypadku. W badaniach naukowych kluczowe jest, aby wypracowane wyniki mogły przyczynić się do rozwoju danej dyscypliny i wzbogacić jej dorobek zarówno w wymiarze praktycznym, jak i teoretycznym. Zdecydowanym atutem pracy jest aspekt wdrożeniowy, potwierdzony realizacją licznych oryginalnych projektów. Niemniej jednak nowe obserwacje powinny zostać uogólnione, aby możliwe było sformułowanie uniwersalnych zasad i reguł stosowalnych w kolejnych projektach. Autor powinien również jasno wskazać, w jaki sposób przeprowadzone analizy poszerzają istniejące teorie, jakie luki wypełniają i jakie nowe kierunki badań wyznaczają. Pomimo tych ograniczeń, rozprawa wnosi istotny wkład w dziedzinę testowania systemów wbudowanych i prezentuje oryginalne podejście do rozwiązania postawionego problemu naukowego. Z całości wyłania się metodologia, która może stanowić punkt wyjścia do dalszych badań, choć wymaga dalszego uogólnienia i wzmocnienia teoretycznego.

J. Ocena, czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Kandydata w dyscyplinie oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej

1) Czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Kandydata w dyscyplinie

Treść pracy została przygotowana na dość ogólnym poziomie rozważań, a jej spójność utrzymuje się głównie pod warunkiem, że czytelnik uzna Doktoranta za eksperta w dziedzinie, dla którego niektóre informacje i argumenty są oczywiste i dlatego nie zostały szczegółowo rozwinięte. Rozważania teoretyczne, analizy oraz charakterystyki przewijają się przez całą pracę – począwszy od wstępu, poprzez przegląd literatury, opis wyników, aż po podsumowanie – niemal nie wyodrębniono części teoretycznej, która stanowiłaby formalne podstawy eksperymentu. W konsekwencji czytelnik musi samodzielnie określić kluczowe przesłanki teoretyczne, co utrudnia pełne zrozumienie metodologii i logiki prowadzonych badań. Dodatkowo, brak wyraźnie zdefiniowanej struktury teoretycznej powoduje, że niektóre wątki są powtarzane w różnych częściach pracy lub omawiane w sposób fragmentaryczny, co wpływa na odbiór całości i utrudnia ocenę spójności argumentacji. Warto również zaznaczyć, że bardziej wyraźny podział na przygotowanie teoretyczne i opis części badawczej niewątpliwie ułatwiłby czytelnikowi jednoznaczne wskazanie, które wnioski wynikają z literatury, a które są efektem własnych badań Doktoranta.

2) Umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej

W przedstawionej rozprawie Doktorant wykazał szeroką znajomość zagadnień teoretycznych związanych z techniką testowania systemów wbudowanych oraz zdolność do samodzielnego rozwiązywania problemów badawczych. Konsekwentnie integrował wiedzę teoretyczną z działaniami inżynierskimi, podkreślając praktyczny, wdrożeniowy charakter pracy. Takie podejście świadczy nie tylko o kompetencjach badawczych, ale również o umiejętności skutecznego rozwiązywania problemów technicznych i adaptacji wyników badań do rzeczywistych warunków eksploatacji systemów wbudowanych. Istotnym atutem

Doktoranta jest zdolność selekcji i dostosowania teorii do specyfiki analizowanego zagadnienia, co znajduje odzwierciedlenie w zaproponowanych analizach, algorytmach i strategiach testowania. Prawdłowo formułował On hipotezy cząstkowe, dobierał odpowiednie metody analityczne oraz właściwie interpretował uzyskane wyniki w kontekście aktualnej literatury i najnowszych trendów w badanej dziedzinie.

K. Indywidualny wkład Kandydata w powstanie pracy naukowej

Zgodnie z deklaracjami zawartymi w rozprawie, Doktorant samodzielnie opracował koncepcję modyfikacji wskazanych kampanii testowych, wykazując przy tym inicjatywę i głębokie zrozumienie problematyki testowania systemów wbudowanych. Na podstawie własnych badań i przeprowadzonych analiz wdrożył skuteczne usprawnienia w dwóch projektach, które posłużyły następnie do sformułowania pakietu dobrych praktyk. Wkład Doktoranta obejmuje nie tylko działania koncepcyjne i wdrożeniowe, ale również zadania nadzorcze, obejmujące koordynację prac zespołu oraz kontrolę jakości realizowanych eksperymentów. Tak szeroki zakres odpowiedzialności jednoznacznie potwierdza jego aktywny i kluczowy udział w procesie badawczo-projektowym opisanych przedsięwzięć, a tym samym świadczy o rzeczywistym wkładzie w powstanie zaprezentowanej pracy naukowej. Ponadto samodzielność i konsekwencja w realizacji poszczególnych etapów projektu wskazują na rozwinięte kompetencje badawcze i inżynierskie, które mogą stanowić solidną podstawę dla dalszych prac naukowych i wdrożeniowych w dziedzinie testowania systemów wbudowanych.

L. Konkluzja

Pomimo uwag krytycznych przytoczonych w recenzji, merytoryczna wartość pracy znacznie je przewyższa. Doktorant samodzielnie rozwiązał oryginalny problem projektowy ważny dla rozwoju dyscypliny automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne. Wykazał się dogłębną wiedzą teoretyczną, istotnymi umiejętnościami praktycznymi, zdolnością do prowadzenia rozważań naukowych. Wystarczająco dokładnie określił cele badawcze na podstawie poprawnie przeprowadzonego rozpoznania podjętego przedsięwzięcia. Przedstawione zadanie badawcze rozwiązał w sposób kompleksowy – poczynając od analizy stanu wiedzy, poprzez własne badania, weryfikację otrzymanych rezultatów i odpowiednie wnioskowanie co do wyników prowadzonych rozważań. Uzyskane rezultaty umiejętnie zaaplikował w przestrzeni społeczno-gospodarczej.

W oparciu na zapisach ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2022 r. poz. 574 z późn. zm.) w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne, uważam, że praca Pana mgr inż. Rafała Kimli pt. „Testowanie funkcjonalne złożonych systemów wbudowanych” **spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim, dlatego też wnoszę o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.**