

Kraków 16.03.2026

dr hab. inż. Paweł Russek, prof. AGH
Instytut Elektroniki
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. inż. Rafała Kimli
pt. „Testowanie funkcjonalne złożonych systemów wbudowanych”,
napisanej pod opieką naukową dr. hab. inż. Roberta Czerwiński, prof. PŚ

1. Podstawa opracowania recenzji

Recenzję przygotowano na prośbę dr hab. inż. Adama Gałuszki, przewodniczącego Rady Dyscypliny Automatyki, Elektroniki, Elektrotechniki i Technologii Kosmicznych Politechniki Śląskiej, na podstawie uchwały nr 132/2025 tejże Rady.

Recenzja jest zgodna z wymaganiami ustawy „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” z dnia 20 lipca 2018 r., w szczególności wytycznymi art. 187 przytoczonej ustawy.

2. Ogólna charakterystyka pracy

Doktorat powstał w związku z realizacją na Politechnice Śląskiej programu „Doktorat wdrożeniowy”. Praca została przygotowana dzięki współpracy Politechniki Śląskiej z firmą Rockwell Automation, w której doktorant pełnił rolę inżyniera testów oraz kierownika projektu związanego z testowaniem funkcjonalnym złożonych systemów wbudowanych.

Podstawowym założeniem doktoratu wdrożeniowego jest łączenie pracy zawodowej z realizacją zadań naukowych, a jego celem jest wdrażanie w przedsiębiorstwie wyników badań zarówno samego doktoranta, jak i innych najnowszych osiągnięć, do których dotrze on w toku prowadzonych prac badawczych.

Pan Rafał Kimla bardzo dobrze zrealizował to praktyczne założenie programu doktoratu wdrożeniowego. W przygotowanej rozprawie wyraźnie podkreśla znaczenie aspektów praktycznych, którym poświęcił istotną część swojej pracy. Zwraca uwagę między innymi na takie osiągnięcia, jak: opracowanie i wdrożenie nowych strategii testowych, wprowadzenie metod systematycznego monitorowania efektów testowania, zapewnienie spójności działań testerów odpowiedzialnych za weryfikację projektów, poprawę komunikacji w zespole międzynarodowym oraz inne istotne usprawnienia praktyczne.

Wszystkie te osiągnięcia znalazły odzwierciedlenie w opracowaniu i wdrożeniu — pod kierownictwem doktoranta — nowego środowiska testowego, zmaterializowanego w postaci oprogramowania komputerowego (frameworku). Można założyć, że wdrożenie opisanych zmian było możliwe dzięki pogłębionej analizie literatury naukowej, zastosowaniu systematycznego, opartego na rozumowaniu i dowodach podejścia, a także naturalnej — charakterystycznej dla świata nauki — potrzebie poszukiwania i eksplorowania nowych możliwości.

3. Metoda badawcza

Wdrożeniowy charakter doktoratu determinuje przyjętą metodę badawczą, która — ujmując rzecz ogólnie — polega na krytycznej analizie wyników badań naukowych, ze szczególnym uwzględnieniem najnowszych osiągnięć, oraz na ich zastosowaniu w celu opracowania i wdrożenia nowego bądź ulepszenia istniejącego produktu, metodyki, procesu lub technologii. W przypadku doktoranta oznaczało to implementację opracowanej metody badawczej w przedsiębiorstwie.

Tezę naukową pracy sformułowano w następujący sposób:

„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”

Doktorant przeprowadził analizę różnorodnych strategii testowych, obejmujących testowanie oparte na wymaganiach, testowanie oparte na analizie ryzyka oraz testowanie eksploracyjne oparte na doświadczeniu testerów. To ostatnie podejście zajmuje w pracy szczególne miejsce, ponieważ stanowi istotny element tezy rozprawy.

Aby udowodnić przyjętą tezę, doktorant musiał zmierzyć się z faktem, że eksploracyjne testowanie funkcjonalne w praktyce często ma charakter heurystyczny, co utrudnia spełnienie rygoru naukowego. W szczególności konieczne było wykazanie wzrostu efektywności testów za pomocą empirycznych metod statystycznych, co wymagało zdefiniowania ich reguł oraz zebrania odpowiednio dużej liczby przypadków testowych. Niezbędne było również określenie odpowiednich metryk jakości testowania. Takie działania należy uznać za zasadne i w pełni uzgodnione z metodologicznymi wymaganiami pracy naukowej.

Istotną część dorobku doktoranta stanowi opracowanie środowiska testowego umożliwiającego automatyzację testów oraz usystematyzowanie procesu testowania produktów rozwijanych w jego firmie. Zaproponowane środowisko integruje zestaw narzędzi testowych i praktyk służących standaryzacji procesu testowania, co zapewnia spójność, powtarzalność wykonywanych testów, automatyczną analizę wyników oraz uporządkowane raportowanie w jednolitym repozytorium.

Oceniając przyjętą metodę badawczą, należy również uwzględnić, że stanowiła ona kompromis pomiędzy wymogami rygoru naukowego a ograniczeniami praktycznymi, wynikającymi przede wszystkim z dostępności możliwych do analizy danych.

4. Struktura rozprawy

Przygotowaną rozprawę podzielono na dwie części: część teoretyczną (rozdziały 1 i 2) oraz część poświęconą przeprowadzonym badaniom (rozdziały 4 i 5). Rozdział 3 zawiera charakterystykę problemu badawczego i metodyki badań, a także — w ostatnim podrozdziale — jasno sformułowaną i odpowiednio uzasadnioną tezę rozprawy.

W wielu przypadkach część teoretyczna rozpraw doktorskich, obejmująca przegląd literatury i podstawy teoretyczne, ma charakter wprowadzający i pomocniczy, a jej znaczenie dla oceny dorobku doktoranta jest ograniczone. W tym jednak przypadku doktorant przygotował materiał bardzo wartościowy — syntetyczny, lecz zarazem interesujący i bogaty merytorycznie. Wynika on nie tylko ze studiów literaturowych, ale także z szerokiej wiedzy praktycznej oraz doświadczenia zawodowego. W tej części pracy mgr inż. Rafał Kimla wyraźnie dowodzi swojego profesjonalizmu w dziedzinie testowania, jak również dojrzałości technicznej i kompetencji inżynierskich. Należy podkreślić, że tę część warto uwzględniać przy ocenie całościowego dorobku i wartości rozprawy.

Strukturę rozprawy doktorskiej należy uznać za bardzo dobrze przemyślaną. Praca jest ogólnie rzecz biorąc napisana jasno, logicznie i stanowi interesującą lekturę.

5. Dorobek publikacyjny doktoranta

W rozprawie doktorant odwołuje się do dwóch swoich publikacji — obu opublikowanych w 2022 roku. Pierwsza z nich to artykuł przedstawiony na konferencji *International Conference of Computational Methods in Sciences and Engineering ICCMSE 2021*, natomiast druga została opublikowana w czasopiśmie MDPI *Applied Sciences*.

Aktywność publikacyjną doktoranta należy ocenić jako niewielką, lecz, co trzeba podkreślić, zgodną z wymaganiami Ustawy i tym samym wystarczającą do nadania stopnia doktora. Recenzent w pełni rozumie ograniczenia, z jakimi mierzą się badacze realizujący doktorat w ramach programu „Doktorat

wdrożeniowy”, łącząc obowiązki zawodowe z pracą naukową i funkcjonując w znacznym stopniu poza środowiskiem akademickim, w którym aktywność publikacyjna jest szczególnie wysoko ceniona.

6. Ocena rozprawy

Praca doktorska mgr inż. Rafała Kimli dotyczy bardzo aktualnego i istotnego zagadnienia, jakim jest testowanie powszechnie stosowanych współcześnie systemów wbudowanych. Rozwiązania oparte na tych systemach dominują zarówno w produktach codziennego użytku, jak i w zastosowaniach przemysłowych. Systemy wbudowane zyskują na znaczeniu, ponieważ umożliwiają projektowanie tzw. inteligentnych rozwiązań — charakteryzujących się dużą funkcjonalnością oraz coraz większym stopniem autonomii.

Dynamiczny rozwój produktów opartych na systemach wbudowanych wynika w dużej mierze z rosnącej roli składnika programowego, który jest podatny na modyfikacje i stanowi główny obszar projektowania w systemach *embedded*. Współczesne systemy coraz częściej bazują na uniwersalnych platformach sprzętowych, podczas gdy zasadnicze zmiany dotyczą oprogramowania. Taki model projektowania rodzi nowe wyzwania w zakresie testowania i niezawodności urządzeń elektronicznych — weryfikacja sprzętu schodzi na drugi plan, a kluczowego znaczenia nabiera jakość i stabilność oprogramowania.

Jednocześnie systemy wbudowane cechują się złożonością i rozbudowaną funkcjonalnością, a łatwość wprowadzania zmian w oprogramowaniu generuje liczne wyzwania związane z weryfikacją, walidacją i testowaniem. W praktyce coraz częściej przyjmuje się, że pełne sprawdzenie działania systemu nie jest możliwe, a celem staje się zapewnienie „wystarczającej” poprawności działania. Dodatkową trudność stanowi brak determinizmu wynikający z interakcji systemu ze środowiskiem, co odróżnia testowanie oprogramowania systemów wbudowanych od testowania klasycznych aplikacji komputerowych.

Opisany kontekst stanowi punkt wyjścia rozważań doktoranta. We wstępie autor przybliży zagadnienia systemów wbudowanych oraz automatyki definiowanej programowo, a także podkreśla rosnące znaczenie projektowania opartego na integracji modułów sprzętowych, definiowanych przede wszystkim funkcjonalnie. Z tego względu szczególnego znaczenia nabiera testowanie funkcjonalne — metoda będąca głównym przedmiotem analizy w rozprawie.

Testowanie funkcjonalne stanowi szeroki i trudny do jednoznacznego usystematyzowania zbiór metod polegających na sprawdzaniu, czy system działa zgodnie z wymaganiami użytkowymi, biznesowymi i specyfikacją. Na potrzeby pracy doktorant dokonał uporządkowania tych metod, co umożliwiło ich dalsze porównywanie, łączenie oraz analizę ich efektywności. Konieczne było również zdefiniowanie metryk jakości testów, czego doktorant dokonał.

W ujęciu ogólnym autor dzieli testy funkcjonalne na automatyczne i manualne. W projektowaniu kampanii testowych proponuje stosowanie analizy ryzyka, która pozwala spełnić wymagania jakościowe przy ograniczonych zasobach czasowych i finansowych. Rozprawa definiuje także kluczowe wymagania dotyczące testów automatycznych, takie jak atomizacja czy determinizm, oraz przedstawia zasady tworzenia testów odpowiadających konkretnym wymogom funkcjonalnym. W odniesieniu do testów manualnych szczególne miejsce zajmuje testowanie eksploracyjne, które — jak podkreśla autor — jest niezwykle przydatne zwłaszcza w sytuacji niepełnych lub niejednoznacznych wymagań. Doktorant podejmuje także próbę usystematyzowania testów eksploracyjnych, zwracając uwagę na istotną rolę wiedzy, doświadczenia i kompetencji członków zespołu testowego.

Z przedstawionej charakterystyki problemu wynika duża złożoność oraz interdyscyplinarny charakter podjętej tematyki. Ważną częścią rozprawy, a zarazem kluczowym elementem przedstawionej tezy, jest analiza testowania eksploracyjnego — metody szczególnie trudnej do oceny ze względu na udział czynnika ludzkiego. Elementy takie jak wiedza, umiejętności czy aktualna kondycja testera, które wpływają na wyniki testowania, są trudne lub wręcz niemożliwe do obiektywnego zmierzenia dostępnymi autorowi metodami. W naturalny sposób ogranicza to możliwość jednoznacznego porównania testów eksploracyjnych z ustrukturyzowanymi testami automatycznymi. Jednocześnie

jednak czyni podjętą tematykę niezwykle interesującą, gdyż obejmuje ona zarówno aspekty techniczne, jak i elementy związane z psychologią, praktyką inżynierską i charakterystyką pracy zespołów.

Doktorant wydaje się dobrze rozumieć zarówno specyfikę, jak i trudność prowadzonych badań, odwołując się — w celu udowodnienia postawionych tez — do analizy statystycznej uzyskiwanych wyników. Choć kierunek ten należy uznać za właściwy i zasadny, to jednak wymaga on dostępu do odpowiednio dużego i statystycznie wiarygodnego zestawu danych. Pracując w dużym przedsiębiorstwie, doktorant miał pewne możliwości pozyskania takich danych i z nich skorzystać, jednak — jak sam zaznacza — zebrany zbiór danych był ograniczony pod względem jednorodności oraz relatywnie niewielki w stosunku do pełnych potrzeb badawczych.

Istotny wpływ na kierunek prowadzonych badań wywarły stosowane w przemyśle metody wytwarzania oprogramowania oparte na technikach zwinnych. Podejście to zakłada inkrementalny rozwój funkcjonalności oraz dostarczanie rozszerzeń w formie aktualizacji oprogramowania. Taki model pracy generuje specyficzne wymagania w obszarze testowania, które — zgodnie z zasadami metod zwinnych — powinno być realizowane w trybie ciągłym, w kolejnych cyklach ewolucji produktu. Nowoczesne podejścia do rozwoju oprogramowania, atrakcyjne z perspektywy programistów dzięki bezpośredniemu kontaktowi z użytkownikiem i możliwości szybkiego dostarczania wartości, często prowadzą do braku pełnej dokumentacji i precyzyjnych definicji założeń funkcjonalnych. To z kolei stanowi istotne utrudnienie w procesie testowania, który jest kluczowy dla zapewnienia jakości produktu.

Połączenie praktycznej, przemysłowej rzeczywistości pracy inżyniera testów z wnioskami wynikającymi z literatury naukowej pozwoliło doktorantowi osiągnąć wartościową synergię doświadczeń. W rezultacie zaproponował on i zbadał skuteczność autorskiego podejścia do testowania produktów w realiach dużej firmy komercyjnej.

W zakresie rygoru metody badawczej największe wątpliwości recenzenta budzi część pracy dotycząca próby wykorzystania komercyjnego modelu językowego sztucznej inteligencji (Chat GPT). Przedstawione badania należy traktować raczej jako przejaw ciekawości badawczej doktoranta oraz dowód jego gotowości do szerokiej eksploracji możliwych usprawnień procesu testowania. Niestety, brak szczegółowego opisu metodyki badań oraz brak konkretnych, rzetelnie przeprowadzonych wyników sprawiają, że tę część należy uznać za ciekawostkę, mającą charakter bardziej anegdotyczny niż naukowy. Sposób prezentacji prób i wyników jest niejasny, pobieżny i utrudnia ich ocenę zarówno pod względem metodologicznym, jak i merytorycznym.

Trudności związane z zapewnieniem rygoru badawczego w obszarze badania przydatności narzędzi SI są jednak powszechne. Jak słusznie zauważa sam doktorant, ze względu na konieczność dysponowania bardzo dużą liczbą przypadków testowych, brak powtarzalności odpowiedzi oraz zjawisko halucynacji modeli, współczesna sztuczna inteligencja nie zapewnia jeszcze wyników o wiarygodności wymaganej w certyfikowanych procesach testowania. Za wartościowe należy natomiast uznać wskazanie przez autora innych, alternatywnych do dużych modeli językowych, metod wykorzystania SI w testowaniu — takich jak np. generowanie wspomagane wyszukiwaniem. Jednak, wykraczały one poza zakres przeprowadzonych badań.

Praca doktorska pana Rafała Kimli niewątpliwie uzupełnia istniejącą lukę w zakresie systematycznego opisu i zastosowania naukowych metod oceny testowania funkcjonalnego stosowanego w celu podnoszenia jakości oprogramowania systemów wbudowanych. Dynamiczny rozwój tej dziedziny sprawił, że metody testowe często rozwijane są w izolacji, przez zespoły pracujące w różnych firmach komercyjnych, co prowadzi do braku wymiany wiedzy, powielania wysiłków i powtarzania tych samych błędów. Opracowana przez doktoranta rozprawa daje czytelnikowi unikalną możliwość zajrzenia „od kuchni” w praktyki testowe stosowane w dużej, międzynarodowej firmie. Autor szeroko dzieli się swoimi doświadczeniami i spostrzeżeniami praktycznymi, które zostały w jednym miejscu starannie zebrane i opisane.

W tym kontekście pewną stratą jest fakt, że praca została przygotowana w języku polskim. We współczesnym świecie techniki i nauki — szczególnie w obszarze IT — standardem jest tworzenie prac w języku angielskim, co znacząco zwiększa ich dostępność i oddziaływanie.

7. Elementy rozprawy wymagające wyjaśnienia.

W przeprowadzonych badaniach porównawczych przydatności testów eksploracyjnych i automatycznych istotną rolę odgrywało zastosowanie odpowiedniej metryki efektywności testów. W rozprawie doktorant wprowadza między innymi metrykę TER (ang. Test Effectiveness Ratio), która mierzy zdolność testu do wykrywania błędów i może być wykorzystywana do porównywania różnych zestawów testów lub różnych metod testowania. Doktorant definiuje TER jako stosunek liczby defektów wykrytych przez dany test do całkowitej liczby wykrytych defektów. Metryka ta pojawia się również w jego publikacji (R. Kimla; AIP Conf. Proc.; 2022), a jej interpretacja i sposób stosowania zostały przez doktoranta potwierdzone i rozwinięte w kolejnej pracy (R. Kimla, R. Czerwiński; Applied Sciences, 2022). W publikacji tej porównano efektywność testowania eksploracyjnego i automatycznego, stosując dane z Tabeli 1 oraz obliczenia oparte na formułach 1 i 2. Recenzent w pełni zgadza się z przedstawioną tam definicją oraz sposobem interpretacji TER.

Tymczasem w samej rozprawie autor odchodzi od tego intuicyjnego i logicznego rozumienia TER, zastępując je nową definicją. Wprowadza bowiem TER, w którym efektywność testów dla pojedynczego projektu odnosi się do efektywności testów w obrębie całej kategorii projektów o określonym rozmiarze. Takie podejście nie zostało w pracy w żaden sposób uzasadnione, co wywołuje sprzeciw recenzenta. W szczególności recenzent nie akceptuje sytuacji, w której wartość metryki jakości testów zależy od liczby projektów przypisanych do danej kategorii. Problem ten jest widoczny w analizie przedstawionej w rozdziale 4.4, gdzie kategoria XS obejmuje cztery projekty, a pozostałe kategorie — po trzy. Taki sposób liczenia TER prowadzi do niepożądanych efektów: na przykład w grupie S usunięcie projektu Romeo, który wyróżnia się liczbą defektów (97 wobec 6 w projektach Golf i Hotel), wywołałoby skokowy wzrost wartości TER pozostałych projektów. Podobna sytuacja występuje w grupie XL, gdzie projekt Bravo „zawyża” ocenę jakości testów w projektach Kilo i Delta. W rezultacie zastosowana definicja TER nie pozwala na wyciągnięcie wartościowych wniosków — w przeciwieństwie do prawidłowo zastosowanych miar, takich jak gęstość błędów (FD) czy liczba błędów.

Zastanawia również fakt, że pierwotna interpretacja TER — ta, którą doktorant stosował w swoich publikacjach — nie została zastosowana w rozprawie, mimo że dane z Tabeli 4.7 pochodzą bezpośrednio z tych publikacji i były wcześniej użyte w nie budzących kontrowersji obliczeniach. Biorąc pod uwagę znaczenie metryki TER dla tezy doktoratu, zmiana sposobu interpretacji jest w opinii recenzenta niezrozumiała i niejasna. Wymaga zatem dodatkowego wyjaśnienia w prowadzonej dyskusji.

8. Uwagi i pytania szczegółowe

a).

Na stronie 30, opisując sposób klasyfikacji projektów według ich rozmiaru, autor wspomina o rozkładzie normalnym. Zdaniem recenzenta rozkład taki nie ma w tym przypadku zastosowania. Jeżeli jednak dla rozważanej liczby przypadków testowych rzeczywiście występuje rozkład normalny, wymaga to dodatkowego wyjaśnienia oraz odpowiedniego przedstawienia w pracy.

b).

Rysunek 3.1, przedstawiający dystrybucję projektów ze względu na liczbę przypadków testowych, zawiera elementy niejasne dla recenzenta. Nie jest w pełni zrozumiałe, co mają obrazować poszczególne oznaczenia ani jakie jest ich znaczenie w kontekście prowadzonych rozważań. W szczególności nie wiadomo, co przedstawia zaznaczony odcinek łączący projekty „Delta” i „Sierra”, ani jakie znaczenie ma prostokąt opisany w legendzie jako „liczba testów”. Ponadto na wykresie brakuje części projektów, co dodatkowo utrudnia interpretację zaprezentowanej dystrybucji.

c).

Na stronie 37 doktorant wspomina o danych reprodukcyjnych. Nie jest jednak jasne, co autor rozumie przez tego typu dane w przedstawionym kontekście. Należałoby doprecyzować o jakie dane chodzi.

Ponadto należy zwrócić uwagę, że w przypadku systemów cyfrowych praca w rzeczywistym, niedeterministycznym środowisku jest zjawiskiem naturalnym i powszechnym. W związku z tym warto wyjaśnić, co odróżnia przypadki opisywane przez doktoranta od typowych problemów związanych z weryfikacją systemów elektronicznych — a więc co czyni je szczególnie trudnymi lub specyficznymi na tle ogólnych zagadnień związanych z testowaniem systemów wbudowanych.

Dodatkowo zdanie: „Ze względu na powtarzalność zdarzeń zarówno w oprogramowaniu, jak i sprzęcie, odtworzenie defektów w testowaniu wbudowanym jest trudniejsze” nie jest w pełni zrozumiałe. Należy doprecyzować, czy autor odnosi się do braku powtarzalności zdarzeń, czy też do innego zjawiska. W obecnej formie stwierdzenie może być mylące, gdyż sugeruje istnienie powtarzalności, która sama w sobie nie powinna utrudniać reprodukcji defektów. Wymaga to jednoznacznego wyjaśnienia.

d).

Na stronie 47 doktorant przedstawia formułę służącą do oceny ryzyka przy planowaniu testów opartych na analizie ryzyka. Warto doprecyzować, jak w praktyce wygląda proces oceny konsekwencji wystąpienia błędu (K) w środowisku pracy doktoranta. Czy możliwe byłoby przedstawienie odpowiednich przykładów ilustrujących sposób realizacji tej oceny w firmie, w której doktorant prowadził swoje badania?

e).

Przykładowy scenariusz oceny ryzyka przedstawiony w tabeli 4.1 nie jest jasny. Nie wiadomo, w jaki sposób należy ją odczytywać i interpretować — kolumnami czy wierszami — ani jakie konkretne rezultaty wynikają z prezentowanego przykładu. Wątpliwości budzi również zastosowany zakres wartości prawdopodobieństwa (od 1 do 10), zamiast zakresu od 1 do 100. Ponadto, w celu jednoznacznego zdefiniowania sposobu wyznaczania poziomu ryzyka bardziej odpowiednie byłoby przedstawienie formalnego opisu metody, a nie jedynie przykładowego scenariusza.

f).

W przypadku rysunku 4.2 nie jest jasne, dlaczego przypadek „Małe konsekwencje / Wysokie prawdopodobieństwo” został potraktowany bardziej rygorystycznie przy doborze strategii testowania niż przypadek „Poważne konsekwencje / Niskie prawdopodobieństwo”. Autor powinien wyjaśnić, z czego wynika taka decyzja oraz jakie przesłanki — teoretyczne lub praktyczne — stoją za przyjęciem takiej hierarchii priorytetów w procesie wyboru strategii testowej.

9. Podsumowanie recenzji

Recenzowana rozprawa mgr inż. Rafał Kimli pt. „Testowanie funkcjonalne złożonych systemów wbudowanych” stanowi niewątpliwie pracę ważną, aktualną i silnie osadzoną w realiach przemysłowych, zgodnie z założeniami doktoratu wdrożeniowego. Rozprawa wpisuje się w rosnące znaczenie systemów wbudowanych, których rozwój zależy głównie od niezawodności oprogramowania.

Doktorant połączył codzienną pracę inżyniera testów z naukowym podejściem badawczym, a opracowane i wdrożone rozwiązania (m.in. nowe strategie testowe, usprawnienia komunikacji, spójność procesów) doprowadziły do stworzenia nowego frameworku testowego, stanowiącego realny wkład w rozwój organizacji. Środowisko integruje narzędzia, zasady i praktyki testowe, zapewniając spójność, powtarzalność oraz automatyczną analizę wyników — stanowi to bardzo wartościowych element dorobku.

Pomimo uwag krytycznych zawartych w recenzji, recenzent uznaje pracę za merytoryczną, nowatorską i istotnie rozwijającą wiedzę w zakresie testowania systemów wbudowanych, a jej wartość praktyczną — za szczególnie wysoką.

Oryginalność, znaczenie naukowe i aplikacyjne pracy, a także wysoki poziom kompetencji badawczych doktoranta oraz praktyczne zastosowanie wyników badań świadczą o tym, że mgr inż. Rafał Kimla spełnił wymagania konieczne do nadania mu stopnia doktora.

Przedstawiona praca doktorska pana mgr. Inż. Rafała Kimli spełnia kryteria stawiane kandydatom w ustawie z dnia 20 lipca 2018 roku - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2023 r. poz. 742 z późn. zm.). W związku z tym, wnioskuję o dopuszczenie pana mgr. inż. Rafała Kimli do dalszych etapów postępowania.