

Kraków, 25 listopada 2025 r.

dr hab. inż. Krzysztof Tomczyk, prof. PK
Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki
Wydział Inżynierii Elektrycznej i Komputerowej

SEKRETARIAT
Rady Dyscypliny AEEiTK

Wpłynęło dnia 1.12.2025
Zarejestrowano pod nr 510.4.5/25
Podpis Jms

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Kamila PROKOPA pt.:

Edge Implementation of an Adaptive Wavelet Transform for Improved Smart Grid Sensor Data Compression

1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Niniejsza recenzja została przygotowana w odpowiedzi na pismo Dziekana Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie, Pani dr hab. inż. Edyty Kucharskiej, prof. AGH oraz Przewodniczącego Rady Dyscypliny *automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne*, dr hab. inż. Ryszarda Srokę, prof. AGH, z dnia 1 października 2025 r., dotyczące opracowania recenzji doktorskiej.

2. Przedmiot recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Kamila Prokopa pod tytułem „*Edge Implementation of an Adaptive Wavelet Transform for Improved Smart Grid Sensor Data Compression*”, której promotorem jest Pan dr hab. inż. Andrzej Bień, prof. AGH, a promotorem pomocniczym Pan dr inż. Szymon Barczentewicz.

Przedłożona rozprawa doktorska liczy łącznie 130 stron tekstu. W skład pracy wchodzi: streszczenie w języku polskim i angielskim, wykaz użytych skrótów, lista rysunków, piętnaście rozdziałów oraz wykaz bibliografii. Praca została zredagowana w języku angielskim.

3. Ocena aktualności tematyki rozprawy

Tematyka rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Kamila Prokopa pt. „*Edge Implementation of an Adaptive Wavelet Transform for Improved Smart Grid Sensor Data Compression*” jest w pełni aktualna i ściśle wpisuje się w zakres dyscypliny automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne. Podejmuje ona problem istotny dla współczesnych systemów pomiarowych i sterowania, szczególnie w kontekście inteligentnych sieci elektroenergetycznych (Smart Grids) oraz infrastruktury Internetu Rzeczy (IoT). W warunkach postępującej cyfryzacji i zwiększania rozproszenia układów pomiarowych, ilość generowanych danych rośnie w sposób wykładniczy, co stawia wysokie wymagania wobec systemów transmisji, przetwarzania i magazynowania. Zwiększenie efektywności tych procesów, zwłaszcza poprzez zastosowanie inteligentnych metod kompresji danych przy zachowaniu ich integralności informacyjnej, jest obecnie jednym z kluczowych kierunków rozwoju zarówno w skali krajowej, jak i międzynarodowej.

Rozprawa koncentruje się na opracowaniu adaptacyjnej metody kompresji danych pomiarowych opartej na dyskretnej transformacji falkowej (DWT), umożliwiającej dynamiczne dostosowywanie parametrów

procesu kompresji do bieżących właściwości sygnału. Na szczególne podkreślenie zasługuje nowatorskie połączenie klasycznych technik analizy sygnałów z metodami sztucznej inteligencji, w tym optymalizacją bayesowską oraz sieciami neuronowymi. Zaproponowane podejście znacząco rozszerza dotychczasowy stan wiedzy, ponieważ umożliwia automatyczny dobór parametrów transformacji falkowej w czasie rzeczywistym, co prowadzi do poprawy efektywności kompresji bez utraty jakości informacji pomiarowej. Z punktu widzenia systemów automatyki elektroenergetycznej stanowi to istotny postęp, gdyż rekonstrukcja sygnałów o wysokiej wierności jest kluczowa dla uzyskania wiarygodności decyzji diagnostycznych, sterowniczych oraz ochronnych.

Z perspektywy metrologii i nauki o pomiarach, problem poruszony w pracy ma szczególną wagę. W nowoczesnych systemach Smart Grid niezbędne jest nie tylko pozyskiwanie dużych wolumenów danych, lecz również zapewnienie ich spójności, integralności oraz kontroli błędów na każdym etapie procesu pomiarowego. Autor podjął się analizy zagadnienia obejmującego całość łańcucha przetwarzania informacji: od rejestracji sygnału, przez jego kompresję i transmisję, aż po rekonstrukcję. Opracowane metody umożliwiają ograniczenie strat informacyjnych i zmniejszenie błędów odtworzeniowych, co ma fundamentalne znaczenie dla jakości pomiarów stosowanych w systemach ochrony i nadzoru sieci elektroenergetycznych.

Z punktu widzenia teorii przetwarzania sygnałów, rozprawa wnosi wartościowy wkład w rozwój metod adaptacyjnej parametryzacji transformacji falkowej dla sygnałów niestacjonarnych. Proponowane podejście charakteryzuje się dużą uniwersalnością, może znaleźć zastosowanie nie tylko w elektroenergetyce, lecz również w innych obszarach wymagających wysokiej czułości analizy sygnałów, takich jak diagnostyka techniczna, analiza drgań, pomiary środowiskowe czy przetwarzanie danych biomedycznych. Przedstawiona metoda efektywnie odpowiada na potrzebę dynamicznego dostosowywania narzędzi analitycznych do zmieniającej się struktury sygnału, co stanowi kierunek zgodny z najnowszymi trendami w dziedzinie inteligentnego przetwarzania danych.

O istotnym wymiarze praktycznym rozprawy świadczy przygotowanie i przetestowanie implementacji zaproponowanego rozwiązania w środowisku urządzeń wbudowanych. Realizacja kompresji na poziomie urządzeń brzegowych (edge computing) umożliwia zmniejszenie obciążenia sieci komunikacyjnych, redukcję opóźnień oraz zwiększenie bezpieczeństwa przesyłanych danych. Zastosowanie takich technologii jest obecnie intensywnie rozwijane w systemach przemysłowych i energetycznych, a wyniki przedstawione w pracy wpisują się w globalne tendencje w zakresie decentralizacji przetwarzania danych oraz integracji mechanizmów uczenia maszynowego w urządzeniach o ograniczonych zasobach obliczeniowych.

Tematyka rozprawy pozostaje również w zgodzie z priorytetami europejskiej polityki badawczej i przemysłowej, w tym strategii cyfrowej transformacji, zwiększania efektywności energetycznej oraz rozwoju inteligentnych systemów zarządzania energią. Zaproponowane w pracy podejście, łączące elementy automatyki, elektroniki, informatyki oraz obliczeń rozproszonych, odpowiada na rosnące potrzeby nowoczesnych systemów pomiarowych oraz wspiera rozwój infrastruktury Smart Grid.

Podsumowując, tematyka rozprawy Pana mgr. inż. Kamila Prokopa jest w pełni aktualna, oryginalna i naukowo uzasadniona. Autor podjął problem o dużym znaczeniu teoretycznym i praktycznym, proponując rozwiązanie integrujące wysoki poziom innowacyjności z realną przydatnością aplikacyjną. Rozprawa wpisuje się w aktualne trendy badawcze dyscypliny oraz stanowi istotny wkład w rozwój metod poprawy efektywności, niezawodności i jakości przetwarzania danych pomiarowych w nowoczesnych systemach energetycznych i systemach czasu rzeczywistego.

4. Ogólna charakterystyka rozprawy

Rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Kamila Prokopa pt. „*Edge Implementation of an Adaptive Wavelet Transform for Improved Smart Grid Sensor Data Compression*” poświęcona jest problematyce



adaptacyjnej kompresji danych pomiarowych w systemach Smart Grid. Jest to zagadnienie aktualne i o dużym znaczeniu praktycznym, łączące elementy analizy sygnałów, optymalizacji obliczeniowej oraz wdrożeń w środowisku systemów wbudowanych.

Głównym celem pracy jest opracowanie metody umożliwiającej adaptacyjny dobór parametrów transformacji falkowej dla zwiększenia stopnia kompresji danych przy zachowaniu wysokiej jakości ich rekonstrukcji. Rozprawa składa się z piętnastu rozdziałów, które w sposób logiczny prezentują kolejne etapy realizacji zamierzonego celu badawczego – od przeglądu stanu wiedzy po implementację i ocenę wyników.

Rozdział 1 przedstawia tło i motywację badań, wskazując na problem rosnącej liczby danych pomiarowych w systemach Smart Grid oraz ograniczenia infrastruktury transmisyjnej i obliczeniowej. Autor definiuje cele pracy, zakres badań oraz główną hipotezę, zgodnie z którą zastosowanie adaptacyjnej transformacji falkowej pozwoli poprawić efektywność kompresji danych pomiarowych w urządzeniach typu *edge*.

W rozdziale 2 Autor omawia charakter sygnałów występujących w sieciach elektroenergetycznych, w tym przebiegi napięcia, prądu i mocy oraz ich parametry jakościowe. Opisano zjawiska zniekształceń i zakłóceń, takie jak obecność harmonicznych, interharmonicznych czy współczynnik całkowitych zniekształceń harmonicznych, a także zmienność parametrów w czasie. Analiza ta pokazuje złożony i niestacjonarny charakter sygnałów, co w dalszej części pracy stanowi uzasadnienie wyboru transformaty falkowej jako narzędzia analizy i kompresji.

W rozdziale 3 omówiono architekturę komunikacji w systemach Smart Grid. Autor opisuje hierarchię urządzeń pomiarowych, protokoły wymiany danych oraz ograniczenia przepustowości i niezawodności transmisji. Autor zwraca uwagę na ograniczenia przepustowości i opóźnienia transmisji w sieciach Smart Grid, wskazując na potrzebę wstępnego przetwarzania i redukcji objętości danych już na poziomie urządzeń pomiarowych, co pozwala odciążyć infrastrukturę komunikacyjną i zwiększyć efektywność systemu.

Rozdziały 4 i 5 mają charakter przeglądowy. Autor przedstawia klasyczne metody kompresji danych oparte na transformacjach: DFT (Dyskretna Transformata Fouriera), DCT (Dyskretna Transformata Kosinusowa) i DWT (Dyskretna Transformata Falkowa) oraz omawia istniejące rozwiązania literaturowe stosowane w systemach Smart Grid. Wskazuje na ich ograniczenia, w szczególności brak mechanizmów umożliwiających adaptacyjny dobór parametrów kompresji do zmieniających się właściwości sygnału, co stanowi motywację do opracowania własnej metody opisanej w dalszej części pracy.

W rozdziale 6, Autor przedstawia teoretyczne podstawy transformacji falkowej oraz jej zastosowanie w kompresji danych. Omawia budowę banków filtrów, proces dekompozycji i rekonstrukcji sygnału oraz porównuje właściwości różnych rodzin falek (np. Daubechies i Coiflet). Wskazuje, że transformacja falkowa pozwala skutecznie analizować i reprezentować sygnały zmienne w czasie, typowe dla systemów elektroenergetycznych.

Rozdział 7 stanowi kluczową część rozprawy, w której Autor przedstawia koncepcję parametryzacji systemu kompresji. Dobór rodzaju falki, poziomu dekompozycji i progu kwantyzacji realizowany jest w sposób automatyczny z wykorzystaniem optymalizacji bayesowskiej, co pozwala na uzyskanie kompromisu między stopniem kompresji a dokładnością rekonstrukcji sygnału.

W rozdziale 8 przedstawiono architekturę opracowanego systemu kompresji danych, obejmującego trzy współdziałające moduły: przetwarzania sygnału z wykorzystaniem transformaty falkowej, optymalizacji parametrów metodą optymalizacji bayesowskiej oraz moduł predykcyjny oparty na sieci

neuronowej. Sieć ta, wytrenowana na wynikach procesu optymalizacji, przewiduje zestaw parametrów kompresji odpowiedni dla analizowanego sygnału, co pozwala znacząco skrócić czas doboru optymalnych ustawień.

W kolejnych częściach pracy, obejmujących rozdziały 9 i 10, Autor opisuje proces przygotowania zbioru danych oraz projekt i trening sieci neuronowej. Wykorzystano zarówno rzeczywiste przebiegi z sieci elektroenergetycznych, jak i dane syntetyczne wygenerowane w celu rozszerzenia zbioru uczącego. Przedstawiono procedury normalizacji, segmentacji i walidacji, które umożliwiły uzyskanie wiarygodnych i powtarzalnych wyników eksperymentów.

Rozdział 11 dotyczy implementacji opracowanego rozwiązania. Autor opisuje realizację algorytmu w języku C++ oraz jego wdrożenie w środowisku systemów wbudowanych. Przeanalizowano efektywność obliczeniową i czasy przetwarzania poszczególnych etapów, a także możliwości równoległego wykonywania obliczeń, co ma istotne znaczenie przy implementacji w urządzeniach typu *edge*.

W rozdziale 12 zaprezentowano wyniki badań eksperymentalnych, w których porównano skuteczność opracowanego algorytmu z klasycznymi metodami kompresji opartymi na transformacji falkowej (DWT). Autor zastosował standardowe wskaźniki oceny jakości: współczynnik kompresji (CR), błąd średniokwadratowy (MSE) oraz znormalizowany błąd średniokwadratowy (NRMSE). Uzyskane wyniki potwierdzają, że zaproponowana metoda pozwala na znaczną redukcję objętości danych przy zachowaniu wysokiej jakości rekonstrukcji sygnałów, a zastosowanie sieci neuronowej umożliwi istotne skrócenie czasu optymalizacji w porównaniu z klasycznym podejściem.

W końcowych rozdziałach 13–15, Autor podsumowuje wyniki pracy oraz przedstawia własny wkład naukowy i wskazuje kierunki dalszych badań. Do najważniejszych osiągnięć zalicza opracowanie nowej adaptacyjnej metody kompresji danych pomiarowych, integrującej elementy optymalizacji bayesowskiej i uczenia maszynowego oraz jej skuteczną implementację w środowisku systemów wbudowanych. Autor wskazuje również możliwości rozszerzenia opracowanej metody na inne typy danych pomiarowych oraz jej potencjalne zastosowania w analizie zakłóceń i wykrywaniu nietypowych zdarzeń w systemach pomiarowych.

Całość rozprawy cechuje spójność i poprawność metodyczna. Autor w sposób konsekwentny realizuje założony cel badawczy, a przedstawione wyniki potwierdzają skuteczność opracowanej metody i jej przydatność w zastosowaniach praktycznych.

5. Ocena osiągnięć naukowych Autora rozprawy

Rozprawa doktorska mgr inż. Kamila Prokopa stanowi wartościowy wkład w rozwój metod przetwarzania i kompresji danych pomiarowych w systemach Smart Grid. Autor w sposób konsekwentny i metodycznie poprawny zrealizował założony cel badawczy, opracowując adaptacyjną metodę kompresji danych opartą na transformacji falkowej, w której dobór parametrów realizowany jest przy użyciu optymalizacji bayesowskiej oraz elementów uczenia maszynowego. Zaproponowane rozwiązanie odpowiada aktualnym trendom w dziedzinie automatyki i przetwarzania sygnałów, a jego potencjał aplikacyjny wpisuje się w potrzeby współczesnych systemów pomiarowych, w których kluczowe znaczenie ma ograniczenie strumienia danych przy zachowaniu wiarygodności informacji.

Z naukowego punktu widzenia, wartością pracy jest spójne połączenie metod klasycznej analizy sygnałów z nowoczesnymi technikami optymalizacji i predykcji. Zastosowanie optymalizacji bayesowskiej do doboru parametrów kompresji jest rozwiązaniem rzadko spotykanym w literaturze dotyczącej przetwarzania danych pomiarowych, a jego integracja z komponentem predykcyjnym

w postaci sieci neuronowej stanowi ciekawe i dobrze uzasadnione rozwinięcie koncepcji. Autor przekonująco wykazał, że zastosowanie takiego podejścia może istotnie zwiększyć efektywność obliczeniową systemu kompresji, co ma szczególne znaczenie przy implementacji w urządzeniach klasy *edge*.

Na uwagę zasługuje kompleksowy charakter badań, obejmujący analizę charakterystyk sygnałów, przegląd metod kompresji danych, opracowanie struktury systemu oraz jego praktyczną implementację w środowisku systemów wbudowanych. Autor przygotował pełny model eksperymentalny, uwzględniający etapy przygotowania danych, projekt i uczenie sieci neuronowej, a następnie walidację wyników z użyciem rzeczywistych i syntetycznych sygnałów. Wykorzystanie wskaźników ilościowych, pozwoliło na obiektywną ocenę jakości rekonstrukcji i porównanie skuteczności opracowanej metody z klasycznymi rozwiązaniami.

Z punktu widzenia dyscypliny *automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne*, rozprawa łączy w sobie elementy przetwarzania sygnałów, metrologii oraz programowania systemów wbudowanych. Istotnym aspektem jest przeniesienie opracowanego algorytmu do środowiska rzeczywistego, co potwierdza jego przydatność w praktycznych zastosowaniach inżynierskich. Zrealizowana implementacja w języku C++ oraz testy w środowisku *embedded* świadczą o bardzo dobrym przygotowaniu technicznym Autora i umiejętności przełożenia koncepcji teoretycznej na rozwiązanie praktyczne.

Autor wykazał się szeroką znajomością literatury przedmiotu i właściwym zrozumieniem problematyki przetwarzania danych pomiarowych. W prezentacji wyników zachował klarowność i rzetelność, a sposób interpretacji rezultatów wskazuje na dojrzałość naukową i inżynierską. Choć zastosowane metody nie są całkowicie nowe, ich sposób połączenia i praktyczna realizacja stanowią wartościowy przykład twórczego wykorzystania znanych narzędzi w nowym kontekście badawczym. Podsumowując, osiągnięcia mgr. inż. Kamila Prokopa należy ocenić pozytywnie. Rozprawa świadczy o dobrym przygotowaniu teoretycznym i praktycznym Autora, umiejętności prowadzenia badań naukowych oraz krytycznej analizy uzyskanych wyników.

6. Uwagi krytyczne i pytania dyskusyjne

Rozprawa doktorska została opracowana w sposób rzetelny i metodycznie poprawny, a przedstawione w niej wyniki mają wysoką wartość poznawczą i aplikacyjną. Niemniej jednak, w toku lektury można wskazać kilka zagadnień, które – przy zachowaniu pozytywnej oceny całości pracy – warto byłoby w przyszłości doprecyzować lub rozwinąć.

1. (Rozdziały 1 i 2)

W części wprowadzającej Autor trafnie wskazuje na potrzebę prowadzenia badań nad kompresją danych w systemach Smart Grid, odwołując się do specyfiki danych pomiarowych. Można byłoby jednak szerzej odnieść się do kwestii jakości oraz precyzji tych danych, np. wpływu błędów próbkowania czy zakłóceń pomiarowych na efektywność stosowanych metod przetwarzania. Uwzględnienie takiego kontekstu lepiej uzasadniałoby przyjęte założenia metodyczne.

2. (Rozdziały 3 – 5)

W części dotyczącej przeglądu literatury i dostępnych rozwiązań Autor jasno omawia stosowane techniki kompresji i mechanizmy adaptacji parametrów. Przydatne byłoby uzupełnienie tego segmentu o krótkie zestawienie z metodami heurystycznymi lub ewolucyjnymi, które są wykorzystywane w zadaniach optymalizacji wielowymiarowej. Takie porównanie dodatkowo umocniłoby argumentację przemawiającą za wyborem optymalizacji bayesowskiej.

3. (Rozdział 6)

W rozdziale poświęconym podstawom transformaty falkowej Autor klarownie opisuje zasadę jej działania, sposób wyboru rodziny falek oraz proces dekompozycji i rekonstrukcji. Można rozważyć rozszerzenie tego opisu o wpływ parametrów transformacji (np. długości falki czy głębokości dekompozycji) na dokładność rekonstrukcji i stabilność działania, co miałyby istotne znaczenie praktyczne przy interpretacji wyników.

4. (Rozdziały 7–8)

W części dotyczącej opracowania koncepcji adaptacyjnego doboru parametrów oraz architektury systemu Autor opisuje zastosowanie optymalizacji bayesowskiej i sieci neuronowej. Wydaje się, że warto byłoby krótko wskazać, czy analizowano także alternatywne strategie optymalizacji, a także jakie były przesłanki wyboru przyjętej metody z punktu widzenia kompromisu pomiędzy dokładnością a złożonością obliczeniową.

5. (Rozdziały 9–10)

W rozdziałach poświęconych przygotowaniu zbioru danych i treningowi sieci neuronowej, Autor stosuje zarówno dane rzeczywiste, jak i syntetyczne. Brak jest jednak szerszej informacji o parametrach próbkowania i dokładności danych wejściowych, co mogłoby pomóc w ocenie wpływu jakości danych na końcowe wyniki kompresji i rekonstrukcji.

6. (Rozdział 11)

Opis implementacji rozwiązania w języku C++ jest przejrzysty i świadczy o dużych umiejętnościach inżynierskich Autora. Pewne uzupełnienie mogłoby dotyczyć kwestii dokładności obliczeń, np. wpływu zastosowanego typu danych lub ograniczeń sprzętowych urządzeń typu *edge* na dokładność rekonstrukcji sygnału. Uwzględnienie tego aspektu pozwoliłoby pełniej ocenić wiarygodność obliczeniową opracowanego kodu.

7. (Rozdział 12)

W części prezentującej wyniki eksperymentalne zaprezentowano bogaty zestaw wskaźników jakości (MSE, NRMSE, CR). Można byłoby jednak rozważyć odniesienie tych wartości do poziomów błędów uznawanych za dopuszczalne w pomiarach elektroenergetycznych. Takie porównanie umożliwiłoby lepszą ocenę praktycznej przydatności opracowanego rozwiązania w rzeczywistych systemach Smart Grid.

8. (Rozdziały 13–15)

W końcowej części pracy Autor poprawnie podsumowuje osiągnięcia i wskazuje możliwości dalszego rozwoju metody, w tym rozszerzenie jej na inne typy danych. Warto byłoby jednak nieco konkretniej zarysować potencjalne kierunki tych badań, np. w odniesieniu do danych wibracyjnych czy diagnostycznych, co wzmocniłoby przekaz o uniwersalności opracowanego podejścia.

Pytania dyskusyjne:

1. Jakie są praktyczne ograniczenia zastosowania opracowanej metody w rzeczywistych systemach pomiarowych, np. wynikające z mocy obliczeniowej, zasobów pamięci lub jakości danych wejściowych?
2. Jakie inne podejścia do adaptacyjnego doboru parametrów były rozważane podczas realizacji pracy i dlaczego ostatecznie zdecydował się Pan na optymalizację bayesowską zamiast metod heurystycznych czy genetycznych?

3. Czy proponowany algorytm kompresji zachowuje odporność na błędy wynikające z ograniczonej dokładności zapisu danych pomiarowych (np. kwantyzacji sygnału lub zmiennej częstotliwości próbkowania)?
4. Jak Autor ocenia dokładność uzyskanych wyników rekonstrukcji sygnałów po kompresji i w jaki sposób zweryfikowano ich wiarygodność?
5. W jaki sposób dobór rodzaju falki wpływa na jakość kompresji i dokładność rekonstrukcji sygnału?
6. Czy rozważano zastosowanie innych środowisk programistycznych lub języków (np. Python, MATLAB) na wcześniejszych etapach badań, i jakie były powody ostatecznego wyboru implementacji w C++?
7. W rozdziale 15 („Future Work”) Autor wskazuje, że opracowana metoda kompresji może być w przyszłości zastosowana do innych rodzajów danych pomiarowych. W jakim stopniu opracowana metoda może być uogólniona na inne typy danych pomiarowych, np. wibracyjne, akustyczne, i inne?

Przedstawione powyżej uwagi i pytania dyskusyjne mają charakter uzupełniający i nie wpływają na ogólnie pozytywną ocenę rozprawy. Wskazują raczej na potencjał dalszego doskonalenia zaproponowanego rozwiązania oraz możliwości jego szerszego zastosowania w praktyce inżynierskiej i badaniach nad jakością danych pomiarowych.

Rozprawa Pana mgr. inż. Kamila Prokopa jest dojrzała merytorycznie, dobrze osadzona w aktualnym stanie wiedzy i poparta przekonującymi wynikami eksperymentalnymi. Autor wykazał się umiejętnością łączenia podejścia teoretycznego z praktyczną implementacją algorytmu w środowisku systemów wbudowanych, co potwierdza jego wysokie kompetencje badawcze i inżynierskie.

Zgłoszone spostrzeżenia można traktować jako inspirację do dalszych prac, zwłaszcza w zakresie analizy jakości danych pomiarowych, wpływu dokładności akwizycji na skuteczność kompresji oraz możliwości rozszerzenia opracowanej metody na inne typy danych. W obecnej postaci rozprawa stanowi spójne i wartościowe opracowanie naukowe, a uzyskane wyniki mają znaczący potencjał zastosowań w nowoczesnych systemach pomiarowych Smart Grid.

7. Ocena redakcji rozprawy doktorskiej

Rozprawa została przygotowana w sposób staranny i przejrzysty. Układ treści jest logiczny, numeracja rozdziałów i ilustracji konsekwentna, a warstwa językowa utrzymana na wysokim poziomie. Pomimo tego, w pracy można wskazać kilka drobnych nieścisłości i niedoskonałości edytorskich, które nie wpływają na odbiór merytoryczny, lecz których korekta mogłaby podnieść ogólny poziom redakcyjny dokumentu.

7.1. Zapis jednostek i symboli fizycznych

W wielu miejscach rozprawy zauważalne jest łączenie wartości liczbowych z jednostkami bez odstępów, np. „60V” zamiast „60 V” (np. Tabela 12.3). Występuje również użycie krótkiego myślnika („-”) zamiast znaku minus („-”) w oznaczaniu zakresów lub wartości ujemnych. Są to drobne uchybienia typograficzne, które jednak w tekstach o charakterze metrologicznym warto zachować zgodnie z normami zapisu jednostek.

7.2. Formatowanie symboli matematycznych

Zauważono nieprawidłowy sposób zapisu niektórych symboli o charakterze liczbowym (np. str. 50). Symbole e (podstawa logarytmu naturalnego) i j (jednostka urojona) zapisano kursywą, podczas gdy zgodnie z zasadami notacji matematycznej powinny być one przedstawiane czcionką prostą, ponieważ mają wymiar stałych liczbowych.

7.3. Styl cytowań i bibliografia

W wykazie literatury nie zastosowano skrótów nazw czasopism zgodnych z przyjętymi konwencjami (np. IEEE, Elsevier, Springer), przez co lista źródeł jest mniej przejrzysta. Ponadto, w pozycjach odnoszących się do materiałów internetowych nie podano daty dostępu (access date), co jest zalecanym elementem opisu bibliograficznego dla źródeł sieciowych.

7.4. Opisy rysunków i tabel

Większość rysunków i wykresów została przygotowana w sposób czytelny i estetyczny, jednak w kilku przypadkach (np. w rozdziałach 9 i 12) opisy osi nie zawierają jednostek. W tekście rozprawy, brak jest również odniesienia do Tabel.

7.5. Warstwa językowa i styl

Styl naukowy rozprawy został utrzymany, choć w kilku miejscach, szczególnie w streszczeniach oraz w opisach rysunków, składnia zdań jest niepotrzebnie złożona, co obniża płynność lektury. Przykładowo, w streszczeniu (str. 6) oraz w podpisach pod rysunkami w rozdziale 12 występują długie, wielokrotnie podrzędne konstrukcje, które można byłoby uprościć bez utraty ich znaczenia merytorycznego.

7.6. Ogólna ocena redakcji rozprawy doktorskiej

Pod względem edytorskim i językowym praca prezentuje się dobrze i spełnia standardy obowiązujące w rozprawach doktorskich. Wskazane uchybienia mają charakter techniczny i nie wpływają na odbiór naukowy rozprawy.

8. Podsumowanie i wniosek końcowy

Oceniając zawartość przedstawionej do recenzji rozprawy doktorskiej, stwierdzam, że Pan mgr inż. Kamil Prokop w sposób jednoznaczny i poprawny naukowo sformułował problem badawczy dotyczący kompresji danych pomiarowych w systemach Smart Grid, który następnie konsekwentnie rozwiązał przy użyciu właściwych metod analizy, modelowania i weryfikacji eksperymentalnej.

W rozprawie został jasno określony cel naukowy, a jego realizacja została przeprowadzona w sposób metodycznie poprawny, prowadząc do uzyskania wyników o wartości zarówno poznawczej, jak i aplikacyjnej. Opracowana metoda oraz jej implementacja potwierdzają osiągnięcie zamierzonego celu pracy i w pełni uzasadniają przyjęte tezy badawcze.

Doktorant wykazał się bardzo dobrą znajomością problematyki przetwarzania sygnałów pomiarowych, kompresji danych oraz technologii systemów wbudowanych. Przedstawione rozwiązania świadczą o samodzielności badawczej, umiejętności syntezy wiedzy z różnych obszarów i wysokich kompetencjach inżynierskich Autora. Zakres i poziom rozprawy w pełni odpowiadają wymaganiom stawianym pracom doktorskim w dyscyplinie *automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne*.

Po analizie treści rozprawy stwierdzam, że przedłożona praca doktorska Pana mgr inż. Kamila Prokopa pt.: „*Edge Implementation of an Adaptive Wavelet Transform for Improved Smart Grid Sensor Data Compression*” spełnia warunki określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz.U. z 2024 r. poz. 1571, z późn. zm.).

Wnioskuje o dopuszczenie mgr. inż. Kamila Prokopa do publicznej obrony rozprawy doktorskiej w dyscyplinie *automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne*.

Wniosek ten uzasadniam ogólnie pozytywną oceną wartości merytorycznej i praktycznej rozprawy. Praca, mimo wskazanych w recenzji drobnych uchybień edytorskich i kilku kwestii wymagających doprecyzowania, stanowi spójne i samodzielne opracowanie naukowe, wnoszące wkład w rozwój metod kompresji i przetwarzania danych pomiarowych w systemach Smart Grid. Uzyskane wyniki potwierdzają odpowiedni poziom przygotowania naukowego Doktoranta i uzasadniają dopuszczenie go do publicznej obrony.

Włodzisław Tomczyk