

Prof. dr hab. inż. Jerzy Jakubiec
Emeryt. prof. zw. Politechniki Śląskiej

Gliwice, 21.11.2025 r.

SEKRETARIAT
Rady Dyscypliny AEEITK

Wpłynęło dnia 4.12.2025

Zarejestrowano pod nr 510.4.7/25

Podpis dm

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Kamila PROKOPA

**pt. „Edge Implementation of an Adaptive Wavelet Transform for Improved Smart
Grid Sensor Data Compression”**

**wykonanej na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii
Biomedycznej Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie**

**pod kierunkiem promotora dr hab. inż. Andrzeja BIENIA, prof. AGH, przy współpracy
promotora pomocniczego dr inż. Szymona BARCZENTEWICZA**

Niniejsza recenzja została wykonana na zlecenie Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, przekazane przez Przewodniczącą Rady Dyscypliny, dr hab. inż. Ryszarda Srokę, prof. AGH, pismem z dnia 25.09.2025 r.

1. Zawartość rozprawy

Opiniowana praca została napisana w języku angielskim, a jej polski tytuł brzmi: „Implementacja brzegowa adaptacyjnej transformaty falkowej w celu efektywniejszej kompresji danych z czujników w Smart Grid”. Praca obejmuje 130 stron formatu A4 i została podzielona na 15 rozdziałów zakończonych bibliografią oraz opatrzona w początkowej części zestawieniem używanych akronimów i skrótów oraz spisem: rysunków. Praca zawiera 27 rysunków oraz 9 tabel. Bibliografia obejmuje 164 angielskojęzyczne pozycje, w tym 4 odwołania do stron internetowych. Jedna publikacja jest współautorstwa Doktoranta.

Rozdziały pracy zostały zatytułowane następująco:

1. Wprowadzenie
2. Sygnały w sieciach elektroenergetycznych
3. Komunikacja w inteligentnych sieciach
4. Podłoże teoretyczne i przegląd literatury na temat kompresji danych w inteligentnych sieciach energetycznych
5. Różne podejścia do kompresji danych w sygnałach elektrycznych
6. Kompresja falkowa
7. Parametryzacja układu kompresji

8. Proponowane rozwiązanie
9. Zbiór danych
10. Sieć neuronowa
11. Wbudowany komponent programowy
12. Wyniki
13. Wkład własny
14. Podsumowanie
15. Kierunki dalszych badań

Rozdział 1 zaczyna się wprowadzeniem zawierającym krótki opis motywów podjęcia badań nad kompresją danych przesyłanych w inteligentnych sieciach elektroenergetycznych (Smart Grid) oraz zaproponowanego w pracy sposobu rozwiązania tego problemu. Następnie została postawiona teza, która brzmi: „Algorytmy kompresji wykorzystujące dyskretną transformatę falkową (DWT) do kompresji danych w postaci zaburzonych szeregów czasowych w inteligentnych sieciach elektroenergetycznych (SG) można ulepszyć przez dostosowanie do próbkowanego sygnału parametrów transformacji falkowej: (WT) – funkcji falkowej, poziomu dekompozycji i wartości progowej. Parametryzacja ta może być zaimplementowana w sposób, który nie powoduje narzutu na czas wykonania”. Następnie w punktach została przedstawiona metodyka zastosowana w pracy, spodziewane efekty jej realizacji, a w końcowej części tego rozdziału została scharakteryzowana struktura pracy i jej zawartości.

Rozdział 2. zawiera opis elementarnych zależności matematycznych dotyczących przebiegów napięcia i prądu w systemach elektroenergetycznych. Najistotniejszymi elementami Rozdziału 3. są dwa rysunki 3.1 i 3.2. Pierwszy przedstawia graficznie usytuowanie kompresji danych w strukturze systemu elektroenergetycznego, a drugi opisuje strukturę komunikacji w laboratoryjnym systemie eksperymentalnym. W Rozdziale 3 wskazano także podstawowe protokoły, które są wykorzystywane do komunikacji w systemach elektroenergetycznych oraz krótko scharakteryzowano używane media transmisyjne.

Rozdział 4. obejmuje głównie rozważania na temat ogólnych założeń kompresji danych z podziałem na zastosowania ogólne, w przetwarzaniu obrazów, plików video i dźwiękowych. Szeroko omówiono kompresje danych stosowaną w systemach elektroenergetycznych bazując na licznych pozycjach literaturowych. Omówiono specyfikę algorytmów kompresji i poddano analizie różne metody kompresji pod kątem ich zastosowań dla szerokiej gamy stanów charakterystycznych dla systemów elektroenergetycznych zakończoną krótkim podsumowaniem. W kolejnym fragmencie tego rozdziału opisano kryteria oceny metod kompresji danych wykorzystujące takie parametry, jak współczynnik kompresji, złożoność

obliczeniowa algorytmu kompresji, rozmiar i rodzaj danych wejściowych oraz właściwości algorytmów w postaci zgodności z algorytmami szyfrowania, możliwość pracy na strumieniach danych, wykorzystanie powtarzalności danych i umożliwienie rekonstrukcji sygnału. W końcowej części Rozdziału omówiono związki kompresji z cyberbezpieczeństwem.

W Rozdziale 5. Doktorant przeprowadził na podstawie literatury przedmiotu analizę stosowanych metod kompresji charakteryzujących sygnały elektryczne rozumiane jako przebiegi napięcia i prądu w systemach elektroenergetycznych. Analiza kończy się konkluzją, że badania przeprowadzone w ramach pracy powinny dotyczyć metody opartej na wykorzystaniu dyskretnej transformaty falkowej. Zostały przedstawione argumenty na rzecz takiego podejścia.

Rozdział 6. poświęcony jest kompresji Falkowej rozumianej jako kompresją danych z wykorzystaniem transformaty falkowej. Scharakteryzowano ogólnie jej właściwości, a następnie przedstawiono interpretację działań związanych z realizacją transformaty falkowej, takich jak: dekompozycja i rekonstrukcja, progowanie, kwantowanie oraz kodowanie. Wskazano zalety transformaty falkowej w zastosowaniu do kompresji danych, a także uzasadniono przyjęcie aparatu matematycznego nazywanego bankiem filtrów do generowania współczynników falek.

Kolejny, 7. Rozdział pracy dotyczy dostosowania procedury kompresji do specyfiki przetwarzanego sygnału, co określone jest jako parametryzacja. Jako kluczowe dla transformaty falkowej przyjęto: wybór rodzaju falki, poziom dekompozycji oznaczający liczbę kroków rozkładu sygnału dla celów wyznaczania współczynników i zasady progowania określające poziom zerowania odpowiednio małych współczynników. Następnie scharakteryzowano właściwości optymalizacji bayesowskiej w procesie parametryzacji, wskazując w końcowym fragmencie zalety tego rodzaju podejścia.

W Rozdziale 8. opisano strukturę zaproponowanego rozwiązania kompresji przedstawioną pod kątem jej aplikacji w systemie elektroenergetycznym. Wyodrębniono dwie fazy działań. Pierwsza faza dotyczy uzyskania parametrów transformaty falkowej dla określonych przebiegów napięcia i prądu w wybranych charakterystycznych stanach pracy systemu oraz przeprowadzenia procesu uczenia sieci neuronowej. Ta faza jest realizowana na podstawie zarejestrowanych przebiegów w chmurze obliczeniowej lub przy użyciu komputerów centrali zarządzającej systemem. W drugiej fazie wytrenowana odpowiednio sieć neuronowa, zainstalowana w przyrządzie pomiarowym próbującym przebiegi napięcia i prądu, na bieżąco wyznacza dla nich parametry transformaty falkowej. Parametry te stanowią skompresowane dane przesyłane do odbiorcy, gdzie przy użyciu odwrotnej transformaty falkowej przebiegi mogą zostać odtworzone lub zarchiwizowane w postaci skompresowanej.

Rozdział 9. zawiera opis generowania danych wykorzystywanych po odpowiednim przetworzeniu do nauczania sieci neuronowej realizującej kompresję w przetworniku próbującym sygnały z sieci elektroenergetycznej. Dane te wytwarzane są w sposób

symulacyjny w postaci określonej liczby próbek sygnału sinusoidalnego o zadanej częstotliwości podstawowej harmonicznej, częstotliwości próbkowania, parametrach harmonicznych i parametrach stanów przejściowych. Otrzymane dane przetwarzane są za pomocą dyskretnej transformaty falkowej, jej wyniki poddawane selekcji (progowaniu) polegającej na odrzucaniu nieistotnych falek. Działania te powtarzane są dla zestawu jąder falek wybranego w celu uzyskania parametrów falki optymalnych w sensie kryterium obejmującego współczynnik kompresji i błąd średniokwadratowy odtwarzania przebiegu pierwotnego. Optymalizacja dokonywana jest za pomocą algorytmu bayesowskiego dla zmiennych poziomów dekompozycji (głębokości filtracji) falek i wartości progowych.

Dane wygenerowane w sposób opisany w Rozdziale 9. są wykorzystywane do uczenia i testowania sztucznej sieci neuronowej opisanej w Rozdziale 10. Dobór sieci i jej adaptacja do warunków kompresji odbywa się za pomocą standardowych aplikacji. Dane wejściowe sieci dzielone są w sposób losowy na dwie części w proporcji 80/20, z których pierwsza część wykorzystywana jest w procesie uczenia, a druga w celach testowania nauczonej sieci. Dane wyjściowe sieci pracującej jako element wykonawczy procesu kompresji stanowią parametry falek. Dane te są przesyłane do elementów odbiorczych systemu elektroenergetycznego, gdzie na ich podstawie mogą być odtwarzane przebiegi napięcia i prądu lub mogą być one archiwizowane dla celów późniejszej analizy.

W Rozdziale 11. opisano programy nazwane wbudowanym składnikiem programowym, typowym dla urządzeń monitorujących w systemie elektroenergetycznym. Przytoczono kody źródłowe programów w języku C++ realizujących wyspecyfikowania działania związane z kompresją, w tym pozwalające na zwiększenie jej efektywności dzięki zastosowaniu wielowątkowości i pracy równoległej. Oceniono, że dzięki zastosowanym środkom można uzyskać 2-8 krotny wzrost szybkości w porównaniu z typowymi urządzeniami monitorującym w systemie.

Kolejny, 12. Rozdział pracy zawiera wyniki badań opracowanej metody kompresji danych pochodzących z próbkowania sygnałów elektroenergetycznych. Dla ciągów próbek napięcia i prądu uzyskanych przy użyciu eksperymentalnego systemu laboratoryjnego, pozwalającego na uzyskiwanie sygnałów reprezentatywnych dla sytuacji występujących w rzeczywistych systemach, oraz wytwarzanych w sposób symulacyjny wyznaczano trzy wskaźniki: współczynnik kompresji CR, błąd średniokwadratowy odtwarzania sygnału określający jakość kompresji oraz czas realizacji kompresji określany w pracy jako narzut czasowy. Wyniki badań przedstawiono w postaci przebiegów, wykresów słupkowych i tabel dla wybranych ciągów kompresowanych danych porównując je z odpowiednimi parametrami innych, wybranych metod kompresji.

Ostatnie trzy rozdziały, 13., 14. i 15., zawierają odpowiednio opis wkładu własnego Autora w dziedzinę kompresji danych, podsumowanie i wskazanie kierunków dalszych badań.

Struktura pracy jest poprawna z punktu widzenia wymagań prac doktorskich w przedmiotowej dyscyplinie. We wstępnym rozdziale została postawiona teza pracy, opisano metodykę badań i ich zakres. Następnie przedstawiono podstawowe zagadnienia związane z tematyką pracy, dogłębną analizę rozwiązań kompresji opisanych w literaturze oraz scharakteryzowano założenia metody kompresji falkowej będącej przedmiotem pracy. Kolejne rozdziały zawierają wyniki badań, wnioski i plany dalszych badań. Stwierdzam, że opiniowana rozprawa doktorska spełnia wszystkie wymagania metodyczne stawiane pracom badawczym.

Natomiast redakcyjna strona pracy skłania do szeregu uwag krytycznych. Jest trudna w odbiorze, na co składa się szereg czynników. Przede wszystkim w tekście pojawia się wiele wysoce specjalistycznych pojęć i sformułowań, które nie zostały zdefiniowane i używane są w sposób odbiegający od ich powszechnie rozumianego znaczenia. W opisie rysunków często brak jest podania znaczenia stosowanych na nich symboli, a oznaczenia graficzne nie zawsze są adekwatne do przekazywanych informacji. Powszechnie stosowane są akronimy i skróty, które znaczenie co prawda jest wyjaśnione w słowniku, jednak ich mnogość powoduje, że czytelnik nie jest w stanie ich zapamiętać i musi ustawicznie sięgać do tego słownika, co powoduje spory dyskomfort. Rozprawa została napisana w języku angielskim i nadmierna liczba pojęć powoduje, że przekazywane w niej treści są trudne w odbiorze. Odnoszę wrażenie, że lepszym rozwiązaniem byłoby napisanie rozprawy po polsku, a istotne jej wątki mogłyby być opublikowane w wysoko punktowanych czasopismach, a wówczas wnikliwe recenzje zobligowałyby Autora do zachowania odpowiedniej dyscypliny językowej.

2. Ocena merytoryczna rozprawy

Polski tytuł rozprawy rozumiem jako: „Krawędziowa implementacja adaptacyjnej transformacji falkowej dla celów ulepszonej kompresji danych uzyskiwanych z czujników sieci inteligentnej (Smart Grid)”. Merkantylna, aczkolwiek dość powszechnie używana, nazwa „Smart Grid” jest synonimem systemu elektroenergetycznego składającego się z warstwy urządzeń służących do wytwarzania i dystrybucji energii elektrycznej oraz warstwy informacyjnej służącej do nadzoru nad systemem i rozliczania zużycia energii przez odbiorców. Nie jest jasne, jakie czujniki w tego rodzaju systemie ma na myśli Autor rozprawy. Prosiłbym o wskazanie jakie urządzenia w systemie elektroenergetycznym dostarczają danych, których kompresja jest celowa przed przesłaniem do odbiorników (jakich?) i w jaki sposób te dane są wykorzystywane?. Proszę także o podanie, co oznacza określenie: „adaptacyjna transformata falkowa”, czy chodzi tu wyłącznie o możliwość dostosowania jej parametrów do właściwości sygnału?

W 1. Rozdziale pracy została postawiona teza, która po rozwinięciu akronimów i wygładzeniu ma postać: „Algorytmy kompresji wykorzystujące dyskretną transformatę falkową do kompresji danych w postaci szeregów czasowych ze zniekształceniami

charakterystycznymi dla systemów elektroenergetycznych można ulepszyć przez dostosowanie parametrów transformaty falkowej – funkcji falkowej, poziomu dekompozycji i wartości progowej – do próbkowanego sygnału”. Końcowe zdanie tezy brzmi: „Parametryzacja ta może być przeprowadzona w sposób, który nie powoduje narzutu na czas wykonania” i jest ono dla mnie niezrozumiałe. Przypuszczam, że Autor chciał w ten sposób powiedzieć, że parametryzacja pozwala na uzyskanie algorytmu kompresji, którego czas realizacji jest pomijalnie mały. W związku z tym ostatnim zdaniem tezy mam następujące pytania: Jak długo trwa zbieranie danych niezbędnych w celu uzyskania podanych parametrów transformaty, ile czasu przeciętnego komputera zajmuje samo wypracowanie tych parametrów, ile czasu potrzeba na nauczanie sztucznej sieci neuronowej danymi reprezentatywnymi dla sygnałów w różnych stanach sieci elektroenergetycznej i jak długo trwa realizacja algorytmu kompresji w urządzeniu docelowym i porównaniu z czym czas ten jest pomijalnie krótki?

Na podstawie tytułu pracy i postawionej tezy można określić cel pracy jako opracowanie nowej metody kompresji ciągów (strumieni) danych pomiarowych w postaci skwantowanych próbek przebiegów napięcia i prądu charakterystycznych dla systemów elektroenergetycznych. Metoda ta ma cechować się lepszymi parametrami niż metody dotychczas stosowane i polega na dostosowaniu dyskretnej transformaty falkowej do właściwości próbkowanego sygnału przez dobór trzech wskazanych parametrów transformaty. Podjęcie tak określonego celu pracy uważam za w pełni zasadne, gdyż problem transmisji i archiwizowania dużej liczby danych we współczesnych systemach wykorzystujących przewodowe i bezprzewodowe media komunikacyjne jest istotny i każda próba poprawy efektywności w tym obszarze jest godna poparcia. Zaproponowana w 1. Rozdziale metodyka prac prowadzących do uzyskania zadeklarowanego celu jest poprawna i adekwatna do specyfiki planowanych badań.

Rozdziały 2. i 3. zawierają głównie zestawienie i opis podstawowych zależności dotyczących sygnałów elektrycznych oraz komunikacji w systemach elektroenergetycznych. Zależności te są bardzo elementarne i nie mają znaczenia dla zasadniczego toku pracy, a ponadto brak jest w tekście pracy odwołań do tych zależności. Wydaje się, że lepszym rozwiązaniem byłoby zamieszczanie odpowiednich zależności w tych miejscach, gdzie są wykorzystywane. Niejasny jest cel rysunku 3.2, na którym pokazano strukturę laboratoryjnego systemu rozproszonego, który należałoby nazwać eksperymentalnym, gdyż zawiera elementy leżące w dużej odległości od podzespołów ułożonych w pomieszczeniach laboratoryjnych. Brak jest informacji na temat wykorzystania tego systemu do zadań realizowanych w ramach pracy. W związku z tym mam pytanie, czy to właśnie ten system został wykorzystany w eksperymentach, których wyniki zostały poddane badaniom opisanym w rozdziale 12? Jeśli tak, to w jaki sposób zostały wymuszone w nim stany systemu określone w pracy jako przejściowe?

Rozdział 4. zawiera analizę algorytmów i metod dotyczących kompresji danych opisanych w literaturze. Liczba rozpatrzonych publikacji jest imponująca i Autorowi należy się uznanie za wysiłek mający na celu rozpoznanie aktualnego stanu prac na temat kompresji i ocenę ich z punktu widzenia przydatności dla celów przyjętych w tezie rozprawy. Kolejny rozdział został poświęcony analizie metod kompresji danych stosowanych dla sygnałów elektrycznych, która zakończyła się wnioskiem, że badania nad opracowanie nowej, bardziej efektywnej metody kompresji sygnałów pochodzących z systemu elektroenergetycznego należy prowadzić z wykorzystaniem transformaty falkowej. Argumenty na rzecz tego wniosku przedstawiono w Rozdziale 5.7 w 6 punktach, z którymi zasadniczo można się zgodzić, co oznacza, że założenia tezy pracy należy uznać za zasadne. Mam tu jednak dwie uwagi. W zdaniu „DCD wybrano z następujących powodów” jest błąd, powinno być: „dyskretną transformatę falkową (DWT)”. Również punkt 5. jest nielogiczny, gdyż brzmi: „5. Może skutecznie kompresować stany przejściowe (co jest wadą metod opartych na fazorach i DCD). Chodzi tu zapewne o kompresję danych w stanach przejściowych systemu elektroenergetycznego, przy czym możliwość tego rodzaju kompresji nie jest wadą, a zaletą.

W Rozdziale 8. została przedstawiona koncepcja proponowanego rozwiązania, na które składa się szereg działań prowadzących do praktycznego wykorzystywania opracowywanej metody kompresji danych. Kluczowymi dla prezentacji tej koncepcji są rysunki 8.1 i 8.2. Nie chciałbym polemizować ze szeregiem stwierdzeń zawartych w tym rozdziale, z którymi trudno mi się zgodzić, ani ze związkami między blokami występującymi na tych rysunkach, w związku z czym proponuję następujące podejście. Przedstawię swój sposób widzenia tej koncepcji wypracowany na podstawie całego tekstu rozprawy i proszę Doktoranta o odniesienie się do mojej koncepcji – w jakim zakresie zgadza się z nią, w jakim nie i dlaczego oraz o ewentualne poprawienie wskazanych rysunków w trakcie wystąpienia. Według mnie, każdy przyrząd próbkujący zainstalowany w systemie elektroenergetycznym dostarcza ciągów skwantowanych próbek analogowych przebiegów napięcia i prądu w liczbie określonej przez okno pomiarowe. Przed wysłaniem tych próbek do odbiorcy (centrali) są one przetwarzane do postaci współczynników transformaty falkowej, co nazywane jest kompresją falkową, gdyż ilość przesyłanych danych jest mniejsza niż pierwotnego zbioru próbek. Tak określoną kompresję wykonuje sztuczna sieć neuronowa wspomagana dodatkowym oprogramowaniem realizującym działania nazywane kompresją bezstratną. Skompresowane dane przesyłane są do centrali z pomocą interfejsu komunikacyjnego (Internet), gdzie są archiwizowane i mogą być wizualizowane przy wykorzystaniu odwrotnej transformaty falkowej realizującej odtwarzanie oryginalnych przebiegów. Sieć neuronowa uczona jest przy użyciu danych reprezentatywnych dla systemu elektroenergetycznego jako całości, zatem w każdym przyrządzie próbkującym funkcjonuje kopia tej samej sieci.

Uczenie sieci odbywa się z użyciem wzorcowych ciągów próbek jako danych wejściowych, a danymi wyjściowymi są parametry wybranej falki uzyskiwane w efekcie realizacji dyskretniej transformaty falkowej z wykorzystaniem optymalizacji bayesowskiej i

progowania. Zgodnie z rysunkiem 8.2 dane uczące uzyskuje się symulacyjnie. Mam w związku z tym pytanie, czy sieć jest douczana danymi pochodzącymi z próbkowania rzeczywistych przebiegów w systemach elektroenergetycznych, jeśli tak, to w jaki sposób? Co oznacza w kontekście powyższych uwag określenie „adaptacyjna transformata falkowa” użyte w tytule pracy. Chciałbym także prosić o wyjaśnienie, w jaki sposób sieć neuronowa jest implementowana w przyrządzie próbkującym? W jakim sensie oprogramowanie przyrządu określa się jako „zabudowane” (embedded).

Ocenę właściwości opracowanego algorytmu kompresji wykonano przez porównanie z wybranymi innego rodzaju algorytmami. Przeprowadzono badania pozwalające na porównanie 3 parametrów: współczynnika kompresji, błędu średniokwadratowego odtwarzania sygnału i czasu realizacji (narzutu czasowego). Wyniki badań przedstawiono na wykresach słupkowych, w funkcji numeru sygnału (co to znaczy?) i w postaci tabel oraz zilustrowano przez nałożenie na siebie przebiegów oryginalnych i odtworzonych. Sposób prezentacji wyników w zasadzie można uznać za prawidłowy z tym zastrzeżeniem, że występują braki w ich opisie, w szczególności pojawiają się na nich nie wyjaśnione symbole. Badania przeprowadzono dla sygnałów uzyskanych w efekcie przeprowadzenia eksperymentów laboratoryjnych (których próbki nazwano danymi rzeczywistymi) oraz sygnałów wytworzonych w sposób symulacyjny, określonych jako syntetyczne. Tak druga grupa sygnałów pozwoliła na uzyskanie znacznie większej liczby sygnałów lepiej reprezentujących rzeczywiste sytuacje w systemie elektroenergetycznym niż pierwsza grupa, a wnioski z badań przeprowadzonych przy ich użyciu wskazują na lepsze parametry opracowanego algorytmu kompresji niż cechuje to inne algorytmy przyjęte jako punkt odniesienia. Dyskusyjne są dane zwarte w punkcie 12.3 zatytułowanym „Czas parametryzacji”. Jak należy rozumieć to określenie?. Podano, że czas realizacji opracowanego algorytmu wynosi około 1 ms, jednak nie przeprowadzono porównania z innymi algorytmami. Pojawiła się tajemnicza liczba 78 milionów kalibracji. Co oznacza to stwierdzenie? Jaki związek ma opracowany algorytm z miernikami przepływu energii w systemach elektroenergetycznych (nazywanych popularnie licznikami inteligentnymi)?

W konkluzji stwierdzam, że mimo pewnych niedociągnięć w prezentacji uzyskane wyniki badań dowodzą, że opracowany algorytm kompresji ciągów próbek sygnałów elektroenergetycznych wykorzystujący transformatę falkową cechują lepsze parametry niż algorytmów opisanych w literaturze przedmiotu. Tym samym uznaję, że teza pracy została wykazana.

Wkład Autora w rozwój dziedziny związanej z kompresją danych został przedstawiony w 8 punktach. Zawartość części punktów jest nie w pełni zrozumiała, wskażę zatem tylko te treści, z którymi się zgadzam. Uznaję zatem, że Doktorant opracował nowatorską metodę wyznaczania parametrów transformaty falkowej z wykorzystaniem optymalizacji bayerowskiej i progowania pozwalającej na efektywną kompresję danych w systemach elektroenergetycznych. Przeprowadził dogłębną analizę algorytmów kompresji danych

dających się potencjalnie zastosować w systemach elektroenergetycznych i porównał wybrane algorytmy z opracowanym algorytmem pod względem wskazanych parametrów. Jako element wykonawczy kompresji w przetworniku próbkującym została dobrana sztuczna sieć neuronowa cechująca się relatywnie krótkim czasem obliczeń. Sieć może być uczona zarówno danymi rzeczywistymi, jak i pochodzącymi z symulacji, dzięki czemu jej może być lepiej dostosowana do właściwości sygnałów w sieciach elektroenergetycznych.

W ostatnim rozdziale pracy Doktorant wskazał kierunki dalszych badań. Najistotniejsze z nich polegają one na poprawie jakości odwzorowania falkowego sygnałów analogowych przez opracowanie nowych rodzajów falek i nowych metod określania niedokładności odwzorowania, lepszym doborze sieci neuronowych do realizowanego zadania kompresji. Jako celowe wskazał opracowywanie algorytmów łączących kompresje z szyfrowaniem danych, a także badanie możliwości zastosowania opracowanego algorytmu do kodowania dźwięku i sygnałów z dziedziny obrazowania. Z podsumowania pracy wynika, że obszar dalszego wykorzystania jej wyników jest dość szeroki.

3. Wniosek końcowy

Zamieszczone w tekście recenzji uwagi krytyczne dotyczą głównie redakcyjnej strony pracy i sposobu prezentacji wyników. Wskazane niejasności wynikają z braków w precyzji wywodu, stosowaniu niezdefiniowanych pojęć i nadmiernej liczby akronimów. Powodem tego jest zapewne brak doświadczenia w publikowaniu wyników swoich prac przez Doktoranta (w spisie publikacji podana jest tylko jedna współautorska pozycja). Te niedociągnięcia nie obniżają mojej ogólnie pozytywnej oceny merytorycznej zawartości pracy i przedstawionego w niej samodzielnego dorobku Autora. Stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana mgr inż. Kamila Prokopa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i dowodzi Jego umiejętności samodzielnego prowadzenia prac badawczych oraz wykazuje odpowiednią wiedzę ogólną Doktoranta w Dyscyplinie Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne. Praca spełnia tym samym wymagania określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2024 r. poz. 1571 z późn. zm.). W związku z tym przedkładam Radzie Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie wniosek o przyjęcie opiniowanej pracy jako rozprawy doktorskiej i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

