



Dr hab. inż. Romuald Maśnicki, prof. UMG
Katedra Elektroenergetyki Okrętowej
Wydział Elektryczny
Uniwersytet Morski w Gdyni

Gdynia, 27.11.2025 r.

SEKRETARIAT
Rady Dyscypliny AEEiTK

Wpłynęło dnia 1. 12. 2025
Zarejestrowano pod nr 510.4.6/25
Podpis *[Signature]*

Recenzja
rozprawy doktorskiej mgr inż. Kamila Prokopa
pt. *Edge Implementation of an Adaptive Wavelet Transform for*
Improved Smart Grid Sensor Data Compression
(Implementacja brzegowa adaptacyjnej transformaty falkowej w celu
efektywniejszej kompresji danych z czujników w Smart Grid)

Promotor: dr hab. inż. Andrzej Bień, prof. AGH
Promotor pomocniczy: dr inż. Szymon Barczentewicz

1. Podstawa opracowania recenzji

Recenzja została opracowana na podstawie pisma dra hab. inż. Ryszarda Sroki, prof. AGH, Przewodniczącego Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne (AEEiTK) Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie z dnia 25.09.2025 r., w związku z uchwałą Rady Dyscypliny AEEiTK AGH nr 136 z dnia 25.09.2025 r. oraz w związku z art. 190 ust. 2 i art. 183 ustawy Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce z dnia 20.07.2018 r.

Recenzję sporządzono z uwzględnieniem warunków określonych w art. 187 ustawy Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce z dnia 20.07.2018 r., wskazujących niezbędne elementy oceny pracy doktorskiej.

2. Ogólna charakterystyka rozprawy

Rozprawa doktorska została przygotowana w języku angielskim, co w moim przekonaniu ma uzasadnienie, zarówno w kontekście anglojęzycznych materiałów źródłowych, szeroko wykorzystanych w przeprowadzonych badaniach, jak i ze względu na potencjalne trudności z precyzyjnym przekładem na język polski wielu pojęć i określeń stosowanych w odnośnym obszarze wiedzy.

Teza rozprawy, sformułowana przez autora, brzmi (w wolnym tłumaczeniu):
„Algorytmy kompresji wykorzystujące DWT do kompresji szeregów czasowych ze zniekształceniami w SG można ulepszyć, dostosowując parametry WT – funkcję falkową, poziom dekompozycji i wartość progową – do próbkowanego

sygnału. Parametryzacja może być przeprowadzona w sposób, który nie spowoduje dodatkowego obciążenia czasowego w działaniu systemu.” (*The compression algorithms utilizing DWT to compress time-series data with distortion in SG can be improved, by adapting WT parameters - wavelet function, decomposition level and threshold value to the sampled signal. Parameterization can be done in a way, that will not add any timing overhead in the system’s runtime.*)

Zarówno tytuł rozprawy, jak i jej teza, wskazują, że tematyka rozprawy dotyczy aktualnych i istotnych zagadnień związanych z funkcjonowaniem sieci Smart Grid (SG) - inteligentnych sieci dystrybucyjnych energii elektrycznej i powiązanych z nimi technologii informatyczno-telekomunikacyjnych, które integrują działania wytwórców, dystrybutorów i odbiorców energii elektrycznej.

Obecnie obserwowany jest proces przejścia energetyki zawodowej, opartej prawie wyłącznie na źródłach konwencjonalnych, na energetykę wykorzystującą w istotnym stopniu odnawialne źródła energii (OZE), które są rozmieszczane w wielu miejscach sieci dystrybucyjnej (tzw. generacja rozproszona), a ich zdolności wytwórcze charakteryzują się dużą zmiennością i małą przewidywalnością.

W kontekście funkcjonowania sieci SG, jednym z najistotniejszych ich elementów jest wykorzystywanie technologii telekomunikacyjnych i informatycznych dla nadzoru nad warunkami pracy poszczególnych urządzeń takich jak inteligentne liczniki, czujniki, systemy sterowania, zautomatyzowane przełączniki, rozproszone źródła energii oraz sieci komunikacyjne.

Pojęcie IoT (Internet Rzeczy) w sieciach SG odnosi się do zbioru urządzeń komunikujących się w czasie rzeczywistym pomiędzy sobą i z systemem centralnym w celu monitorowania, analizy i optymalizacji przepływu energii w sieci elektroenergetycznej. Technologie IoT wspierają akwizycję danych, m.in. z inteligentnych liczników i innych czujników, w kierunku lepszego zarządzania energią, wykrywania stanów awaryjnych oraz poprawy w zakresie bezpieczeństwa i efektywności funkcjonowania sieci. Liczba statycznych liczników energii SM (Smart Meter) zainstalowanych w sieciach SG na świecie już kilka lat temu przekroczyła miliard egzemplarzy. Wiąże się z tym ogromne ilości informacji przesyłanych, przetwarzanych i przechowywanych w urządzeniach sieci SG.

Tematyka przedłożonej do oceny pracy doktorskiej, powiązana z zagadnieniami optymalizacji ilości danych przesyłanych w sieci SG, realizowanej z wykorzystaniem procedur kompresji danych w rozproszonych urządzeniach pomiarowych (IoT), wpisuje się bieżące potrzeby i trendy rozwojowe SG.

Dysertacja przedstawiona do oceny została opracowana w zwartej formie i zawiera wszystkie istotne elementy, typowe dla prac doktorskich, tj. analizę teoretyczną rozważanego zagadnienia, badania symulacyjne i eksperymentalne oraz analizę uzyskanych wyników. Rozprawa jest zapisana na 150 stronach,

z których 116 składa się na właściwy jej tekst. Na pozostałych 34 stronach, przed zasadniczym tekstem, umieszczono m.in. streszczenia (w językach angielskim i polskim), spis treści, listę wykorzystywanych skrótów, spis rysunków, zaś po tekście pracy – spis literatury zawierający 164 pozycje (w tym 2 artykuły opracowane przy udziale Doktoranta, opublikowane w renomowanych czasopismach). Zasadniczy tekst pracy podzielony jest na 15 rozdziałów.

W rozdziale 1 sformułowano tezę pracy, jak również cel i zakres odnośnych badań.

W rozdziałach od 2 do 6 zawarto przegląd stanu wiedzy, z uwzględnieniem właściwości sygnałów w SG, scharakteryzowano zagadnienia jakości energii i standardów transmisji danych pomiędzy urządzeniami w SG, przybliżono algorytmy kompresji danych wykorzystywane w różnych dziedzinach techniki, z uwzględnieniem metod stosowanych w SG, a także opisano zastosowanie transformacji falkowej w algorytmach kompresji danych.

Rozdziały od 7 do 15 zawierają treści wprost odnoszące się do realizacji celu i tezy pracy, w tym koncepcji adaptacyjnej metody kompresji danych oraz jej realizacji w części układowej i programowej, opracowanych przez Doktoranta na podstawie badań literaturowych. Obejmują one prezentację zasad parametryzacji DWT, projekt i realizację sieci neuronowej, jej trening i walidację z wykorzystaniem zestawu sygnałów referencyjnych wygenerowanych programowo, z uwzględnieniem różnorodnych zakłóceń, analogicznych do występujących w sieci elektroenergetycznej, a także nowe algorytmy kompresji danych. Do ich realizacji wybrano zaawansowane systemy wbudowane, oparte na zestawach uruchomieniowych zawierających wielordzeniowe procesory lub zintegrowane procesory graficzne oraz układy FPGA. Wskazano narzędzia programistyczne oraz omówiono algorytmy programowe kompresji danych w rozproszonych urządzeniach w sieci SG. Zamieszczono ocenę wyników przeprowadzonych badań oraz podsumowano całokształt prac związanych z przygotowaniem rozprawy. W ostatnim rozdziale wskazano również możliwości wykorzystania wyników przeprowadzonych badań w innych obszarach techniki.

3. Ocena merytoryczna

Treść przedstawionej do oceny rozprawy wskazuje, że Doktorant posiada ogólną wiedzę w kluczowych obszarach dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne, a w szczególności problemów w zakresie wytwarzania, przesyłania i użytkowania energii elektrycznej oraz odnoszących się do tej tematyki zagadnień elektroniki i telekomunikacji, a także wykorzystania nowoczesnych narzędzi programistycznych i układowych zestawów uruchomieniowych.

Doktorant wykazał się przy tym umiejętnością prowadzenia badań literaturowych, selekcji odnośnych materiałów źródłowych, a także poprawnym ich wykorzystaniem w przeprowadzonych badaniach, jak również



w przygotowanej rozprawie doktorskiej. Zaimplementował rezultaty badań stanu wiedzy w oryginalnym programie badawczym, w ramach którego opracował strukturę układową oraz oprogramowanie wykorzystywane na zrealizowanym stanowisku testowym. Stworzył bazę sygnałów referencyjnych o różnych właściwościach, które zostały wykorzystane w procedurach uczenia i walidacji sieci neuronowej zaprojektowanej przez Doktoranta dla potrzeb optymalizacji parametrów kompresji danych w urządzeniach IoT. Przeprowadził również badania z udziałem całości stanowiska testowego, pod kątem oceny efektywności kompresji danych w oparciu o zaproponowane procedury, a także dokonał analizy uzyskanych wyników w odniesieniu do wyników opublikowanych w przywoływanych źródłowych materiałach naukowych. Zaprezentowane elementy składowe przeprowadzonych badań świadczą o dużym zaangażowaniu Doktoranta w ich organizację, prowadzenie i ocenę. Uporządkowany sposób prezentacji poszczególnych części badań zawartych w rozprawie świadczy o dobrym przygotowaniu Doktoranta do samodzielnej pracy naukowej.

Uwzględniając stan wiedzy w odniesieniu do zagadnień objętych tematyką rozprawy należy stwierdzić, że badania teoretyczne i eksperymentalne przeprowadzone przez mgra inż. Kamila Prokopa wnoszą elementy nowości w obszarze algorytmów kompresji danych pomiarowych w rozproszonych urządzeniach w sieci SG. Mają one również duży potencjał do wykorzystania w innych obszarach techniki. Zamieszczona w rozprawie ocena podsumowująca całokształt przeprowadzonych badań jest zgodna z przebiegiem tych badań i z wynikami uzyskanymi w ich trakcie.

4. Uwagi i komentarze

Jednym z niestandardowych elementów ocenianej rozprawy jest sposób odwoływania się w tekście pracy do zamieszczonych w niej rysunków i tabel oraz zależności matematycznych. Jego oryginalność polega na tym, że zastosowany sposób odwołań nie jest zalecany przez uznanych wydawców lub edytorów publikacji naukowych. Polega on na niejednoznacznym wskazywaniu obiektu odwołania (np. w formie identyfikatora: "1.2", jednakowo w odniesieniu do rysunków i tabel), bez dodatkowej informacji odnośnie rodzaju przywoływanego obiektu (Figure, Table). Funkcje odwołań do rysunków i tabel, wykorzystywane w wersji elektronicznej pracy (*.pdf*), pozwalają na poprawne wskazanie przywoływanych obiektów („kliknięcie” w cyfrowy identyfikator), ale w wersji papierowej pracy ten sposób nie sprawdza się – brak jest jednoznaczności co do obiektu odwołania. W podobny sposób oznaczone są odwołania do zależności matematycznych, przy czym identyfikatory cyfrowe poprzedzone są wyrażeniem „Equation” (np. „Equation 4.5”), podczas gdy zwyczajowo odwołania do równań zapisuje się w formie „(4.5)”. Taka niejednoznaczność objawia się przykładowo w pierwszym akapicie rozdziału 4.3.1 (str. 40), gdzie odwołanie do rysunku zapisano jako „(4.5)”.



Wykorzystywane w badaniach rozwiązania sprzętowe, jak i projekty procedur programowych, zostały przedstawione w rozprawie na stosunkowo wysokim poziomie ogólności. Forma przedstawienia tych zagadnień wydaje się uwzględniać stosunkowo hermetyczną grupę specjalistów w obszarze technologii układowej i oprogramowania wykorzystywanego w obszarze badań przedstawionych w rozprawie. Również korzystnym byłoby szersze wyjaśnienie w tekście pracy niektórych kluczowych elementów zawartych na rysunkach.

Wybrane, szczegółowe uwagi odnoszące się do tekstu rozprawy:

1. str. 14, rys. 3.1 – symbole powinny być zapisane kursywą, analogicznie do symbole w tekście,
2. str. 28, przedostatnia komórka w ostatniej kolumnie Tabeli 4.1: powinno być: „Authors present”,
3. str. 58, rys. 6.1 – osie powinny być oznaczone,
4. str. 59, przedostatni akapit – również w kontekście wcześniejszych uwag, nie jest jasne, czego dotyczy odwołanie zapisane w postaci: „(e.g. the (5,3))”,
5. str. 65, 7.2.2 – „dimentionless²” – znaczenie powinno być szerzej wyjaśnione,
6. str. 66, 7.3 – [?] – jakie jest tego znaczenie ?
7. str. 96, Tabela 12.1; str. 103, Tabela 12.3 – powinna być spacja między wartością i %,
8. str 128 – pozycja [138] zawiera niepełny opis (E. Stevens, L. P. G. Antiga, and T. Viehmann, “Deep Learning with PyTorch”, Manning Publications Co. 2020),
9. str.129 – dla pozycji [153-156] powinny być podane tytuły materiałów źródłowych (oraz ew. ich autorzy) i daty dostępu do stron www.

Dla pełniejszego podsumowania całokształtu badań przedstawionych w rozprawie, korzystnym wydaje się uzyskanie odpowiedzi na następujące pytania:

1. Na czym polegała trudność w akwizycji rzeczywistych sygnałów z sieci elektroenergetycznej i ich wykorzystaniu w badaniach?
2. Jakie są możliwości praktycznej implementacji modułów układowych i algorytmów programowych, zaproponowanych i zweryfikowanych przez Doktoranta w ramach przeprowadzonych badań, w rozproszonych urządzeniach IoT w SG?

5. Wnioski końcowe

Uwagi przedstawione w opracowanej ocenie, być może w niektórych przypadkach dyskusyjne, nie wpływają w sposób istotny na wartość pracy. Podsumowując, uważam, że Doktorant zrealizował cel rozprawy oraz dowiódł



słuszności postawionej tezy. Treść rozprawy wskazuje, że Doktorant posiada ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne. Sposób realizacji zadań objętych zakresem podjętej tematyki, a także forma ich prezentacji w rozprawie wskazują na wysoki poziom wiedzy i umiejętności w obszarze przeprowadzonych badań i odpowiednie przygotowanie do samodzielnej pracy naukowej.

W rozprawie wskazano nowe problemy badawcze. Rozprawa zawiera innowacyjne elementy w podejściu do ich rozwiązywania, a także rekomendacje pozwalające je wyjaśniać, opisywać oraz formułować przewidywania na przyszłość. Wynikiem rozprawy jest rozwiązanie zdefiniowanego problemu naukowego. Przedstawione wyniki badań, dotyczące kompresji danych w rozproszonych systemach wbudowanych, stanowią cenne uzupełnienie innych badań naukowych w odnośnym obszarze wiedzy.

Biorąc pod uwagę ogólne ujęcie problemu oraz aktualność i ważność tematu, w moim przekonaniu rozprawa doktorska pt. *„Implementacja brzegowa adaptacyjnej transformaty falkowej w celu efektywniejszej kompresji danych z czujników w Smart Grid”*, przedłożona przez mgra inż. Kamila Prokopa, spełnia wymagania określone w aktualnych przepisach. Wniosuję do Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.

Ryszard Masiński