

**RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ DLA RADY NAUKOWEJ DYSCYPLINY  
INFORMATYKA TECHNICZNA I TELEKOMUNIKACJA  
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ**

Tytuł rozprawy: **Methods of analysis and synthesis for radar signals using chirp rate estimation in the time-frequency domain**

Autor rozprawy: **mgr inż. Karol ABRATKIEWICZ**

- 1. Jakie zagadnienie naukowe jest rozpatrzone w pracy /teza pracy/ i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez autora? Jaki charakter ma rozprawa (teoretyczny, doświadczalny, inny)?**

Zagadnienie naukowe, jakie podjął pan mgr inż. Karol Abratkiewicz w niniejszej dysertacji dotyczy analizy i syntezy sygnałów radarowych w dziedzinie czasowo-częstotliwościowej. Głównym celem pracy było opracowanie algorytmów analizy i rekonstrukcji sygnałów radarowych z wykorzystaniem estymatorów parametrów sygnału w dziedzinie czas-częstotliwość TF (ang. *Time-Frequency*). Autor skoncentrował się głównie na tzw. parametrze chirp-rate (CR), będącym drugą pochodną fazy sygnału względem czasu, który reprezentuje dynamikę częstotliwości chwilowej.

Praca składa się z wprowadzenia (w którym przedstawiony został cel, teza pracy i wkład własny Autora dysertacji) oraz siedmiu kolejnych rozdziałów. W rozdziale drugim przedstawiony został aktualny stan wiedzy w dziedzinie rozprawy, będący przeglądem rozwiązań dostępnych w literaturze międzynarodowej. Rozdział trzeci został poświęcony podstawom teoretycznym dotyczącym przetwarzania w dziedzinie TF oraz przekształceniom Fouriera na fragmentach sygnału „wycinanych” przez okno czasowe przesuwające się w czasie, tj.: krótkoczasowej transformacie Fouriera STFT, (ang. Short Time Fourier Transform), Rys. 3.1, str. 39. W rozdziale czwartym dokonano charakterystyki teorii związanej z estymacją parametru CR w dziedzinie FT, definiując trzy estymatory, tj.: estymator oparty na pochodnych cząstkowych rzędu pierwszego zespolonej fazy STFT (rozdz. 4.1) oraz estymator oparty na pochodnych cząstkowych wyższego rzędu zespolonej fazy względem czasu (rozdz. 4.2.1) i częstotliwości (rozdz. 4.2.2). Stabilność numeryczna estymatorów została również przetestowana przez porównanie wyników z dolną granicą Craméra-Rao (rozdz. 4.3).

Kolejne rozdziały dysertacji związane są z wynikami, które Autor uzyskał w przeprowadzonym eksperymencie. W rozdziale 5 Doktorant przedstawił opracowaną przez siebie aplikację, w której wykorzystał estymatory CR w procesie analizy sygnałów radarowych. Autor pracy poddał analizie rzeczywisty sygnał radarowy z urządzenia kontroli ruchu lotniczego ATC (ang. *Air Traffic Control*) z nieliniową modulacją częstotliwości NLFM (ang. *Nonlinear Frequency Modulation*) jaki był zdyslokowany na Lotnisku Chopina w Warszawie. Rejestracje zostały wykonane w 2011 r. przy użyciu wektorowego analizatora sygnału (VSA) opartego na komponentach National Instruments

PXIe, z sześcioma niezależnymi zsynchronizowanymi kanałami wejściowymi, działający w zakresie częstotliwości  $10 \text{ MHz} \div 6,6 \text{ GHz}$  z pasmem natychmiastowej analizy równym  $50 \text{ MHz}$ , jak Recenzent wnioskuje po analizie pozycji nr 105 listy referencyjnej.

Rozdziały 6, 7 i 8 przedstawiają nowatorskie metody zaproponowane przez Autora, gdzie w rozdziale szóstym zademonstrowano algorytm rekonstrukcji sygnału NLFM. W rozdziale siódmym zostały zilustrowane dwie metody adaptacyjne, tj.: metoda wykorzystująca tylko zmienną szerokość okna analizy w przetwarzaniu STFT oraz druga metoda wykorzystująca dwuparametrowe okno do analizy TF o nazwie DACT (ang. *Double-Adaptive Chirplet Transform*), które dodatkowo poprawia rozdzielczość dystrybucji.

W tym przypadku Autor przeprowadził badania na rzeczywistych sygnałach radarowych uzyskanych w wyniku pomiaru radaru kontroli ruchu lotniczego typu ASR10SS produkcji Raytheon, dokonanych w 2019 roku.

Rozprawa kończy się podsumowaniem zawartym w ostatnim rozdziale oraz wskazaniem przez Doktoranta obszarów dalszych prac. Dodatkowo rozprawę uzupełniają załączniki (A i B), w których przedstawione zostały zależności matematyczne dla algorytmów, jakie opracował Doktorant.

Autor sformułował *explicite* trzy tezy, którym poświęcił odpowiednio trzeci i czwarty rozdział pracy, w następującym brzmieniu:

- możliwa jest rekonstrukcja impulsowych sygnałów radarowych o nieliniowej modulacji częstotliwości poprzez wykorzystanie estymatorów przyspieszenia fazy chwilowej w dziedzinie czas-częstotliwość;
- możliwe jest wyznaczenie adaptacyjnej transformacji chirplet wykorzystującej dwuparametryczne okno analizy zoptymalizowane do chwilowego charakteru sygnału;
- możliwe jest wyprowadzenie estymatora składowej fazy wielomianowej trzeciego rzędu poprzez wykorzystanie krótkoczasowej transformaty Fouriera.

Sformułowanie powyższych tez jest logiczne i racjonalne, szczególnie biorąc pod uwagę fakt, iż w obecnym czasie poszukuje się szybkich algorytmów analizy oraz syntezy sygnałów radarowych na potrzeby szeroko pojętego rozpoznania radioelektronicznego i walki elektronicznej EW (ang. *Electronic Warfare*). Powyższe tezy zostały poparte kompleksowymi symulacjami oraz techniczną analizą sygnałów pochodzących z rzeczywistych systemów radarowych, co potwierdza ich znaczną użyteczność.

Opiniowana rozprawa doktorska ma charakter teoretyczno-empiryczny, o czym świadczy rzeczowa analiza teoretyczna opracowanych algorytmów, tj.: algorytmu rekonstrukcji impulsów radarowych z nieliniową modulacją częstotliwości NLFM, algorytmu podwójnie adaptacyjnej transformacji chirplet służącej do ekstrakcji sygnałów radarowych poprzez optymalizację koncentracji energii na płaszczyźnie czas-częstotliwość, oraz przeprowadzenia analizy porównawczej nakładu obliczeniowego dla estymatorów przyspieszenia fazy chwilowej i opracowania trzech nowych estymatorów: estymatora częstotliwości chwilowej, przyspieszenia fazy, oraz tzw. zrywu kąтового fazy (trzeciej pochodnej fazy) na płaszczyźnie TF.

2. Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł /w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle/ świadczący o dostatecznej wiedzy autora. Czy wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący?

Bibliografia zawiera 141 pozycji literaturowych, w tym artykuły i książki, które w ocenie Recenzenta są dobrane właściwie. Doktorant dokonał obszernego przeglądu znanych z literatury metod estymacji parametrów sygnałów niestacjonarnych z modulacją częstotliwości.

W przedstawionej literaturze można znaleźć odwołania do cenionych prac o zasięgu międzynarodowym, nawiązujących do tematyki rozprawy, co świadczy o ciągłej analizie badanego zagadnienia w trakcie redakcji pracy. Bogaty spis literatury oraz wynikająca z niego obszerna analiza aktualnego stanu nauki i badań w skali światowej świadczy o dużej wiedzy i kompetencjach Doktoranta.

Na podstawie analizy Spisu Literatury można zauważyć kilkanaście referencji do prac Autora, które były publikowane między innymi w czasopismach indeksowanych z listy JCR, takich jak: Hydroacoustics, IET Radar& Sonar Navigation, IEEE Signal Processing Letters, IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, Sensors oraz IEEE Sensors Journal.

Warto zwrócić uwagę na fakt, iż w ww. czasopismach w przypadku trzech publikacji (poz. [1], [2] i [3] – listy referencyjnej) były one w całości samodzielnie opracowane przez Autora, a w przypadku pozostałych prac pan mgr inż. Karol Abratkiewicz był pierwszym autorem, więc należy założyć, że wiodącym.

Również wśród spisu literatury bardzo istotny jest fakt obecności 14 referatów opublikowanych w materiałach międzynarodowych konferencji (Signal Processing Symposium SPSympo, International Radar Symposium IRS, IEEE International Radar Conference RADAR, IEEE Radar Conference RadarConf), w których Doktorant przy współautorstwie Promotora niniejszej dysertacji był głównym autorem. Potwierdza to wysoki poziom pracy, której wyniki były publikowane w najważniejszych periodykach poświęconych technologiom radarowych oraz przetwarzaniu sygnałów.

Pozytywnie należy ocenić zastosowanie techniczne uzyskanych przez Doktoranta wyników w analizie i przetwarzaniu sygnałów. Mając na myśli technologie jakie towarzyszą walce elektronicznej oraz szeroko pojętemu zagadnieniu akwizycji, przetwarzania i rozpoznawania sygnałów w obszarach COMMINT/ELINT/SIGINT osiągnięte przez Autora wyniki mogą zostać wykorzystane praktycznie.

Przedstawione przez Autora uzasadnienie kontynuacji badań (rozdział 9 - wnioski) należy uznać za uzasadnione i przekonujące oraz wynikające z poprawnej oceny stanu wiedzy fachowej w przedmiotowym obszarze, w tym także istotnych osiągnięć badaczy polskich.

### **3. Czy autor rozwiązał postawione zagadnienia, czy użył właściwej do tego metody i czy przyjęte założenia są uzasadnione?**

Autor dysertacji rozpatrywał sygnały mające niestacjonarny charakter. W związku z tym, analiza tego typu sygnałów w dziedzinie czas-częstotliwość jest jak najbardziej słuszna i zgodna z powszechnie przyjętym podejściem w literaturze światowej. Badane sygnały radarowe wymagają nie tylko analizy w dziedzinie częstotliwości, ale także uwzględnienia zależności czasowych, co zostało w pracy zrealizowane w sposób kompleksowy.

Doktorant zweryfikował w sposób eksperymentalny rozwiązanie przedstawionego zadania wykorzystując do tego symulowane sygnały radarowe oraz sygnały pochodzące od rzeczywistych źródeł promieniowania radarowego, tj.: urządzeń kontroli ruchu lotniczego na lotnisku im. Fryderyka Chopina w Warszawie (ASR10SS produkcji Raytheon) poddane akwizycji w 2011 oraz 2019 roku. Mierzone i rejestrowane sygnały cechowały się liniową oraz nieliniową modulacją częstotliwości. Również w czasie badań Doktorant analizował sygnał micro-Dopplera.

Po analizie ograniczeń estymatorów przyspieszenia fazy chwilowej w dziedzinie TF, doktorant zaproponował ich modyfikacje polegające na adaptacyjnym doborze parametrów przetwarzania.

W tym celu wykorzystał On parametry tzw. „okna” analizy użytej do krótkoczasowej transformacji Fouriera STFT.

Należy zwrócić uwagę na fakt, iż przedstawione powyżej podejście ma szczególne zastosowanie w systemach autonomicznych, na co doktorant zwrócił uwagę. Autor zaproponował również autorski algorytm rekonstrukcji impulsów radarowych z wykorzystaniem znanych z literatury estymatorów przyspieszenia fazy chwilowej. Autor potwierdził również tezę postawioną na początku pracy dotyczącą możliwości estymacji trzeciej pochodnej fazy sygnału za pomocą krótkoczasowej transformaty Fouriera. Otrzymane w ramach rozprawy doktorskiej wyniki pokazały, że dzięki zaproponowanym algorytmom możliwa jest estymacja parametrów sygnałów radarowych o nieznanym parametrach, a także ich rekonstrukcja, adaptacyjna quasi- optymalizacja rozkładu energii oraz estymacja wyższych składników fazy sygnałów, co jest autorskim wkładem Doktoranta w rozwój technik przetwarzania sygnałów na płaszczyźnie czas-częstotliwość.

**4. Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek autora, jaka jest pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy czy poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową?**

W opinii Recenzenta, poczynione przez Autora analizy w przedmiotowej dysertacji jak i w samodzielnych i współautorskich publikacjach można uznać za w pełni oryginalne. Do oryginalnych rozwiązań Doktoranta można zaliczyć:

- przeprowadzenie analizy porównawczej nakładu obliczeniowego dla estymatorów przyspieszenia fazy chwilowej dostępnych w literaturze, wyznaczenie kresu Cramera-Rao i analizę wariancji estymatorów oraz wykorzystanie tych estymatorów w analizie sygnałów radiolokacyjnych;
- opracowanie algorytmu rekonstrukcji impulsów radarowych z nieliniową modulacją częstotliwości wykorzystującego badane estymatory parametrów sygnałów;
- opracowanie algorytmu podwójnie adaptacyjnej transformacji chirplet służącej do ekstrakcji sygnatur radarowych poprzez optymalizację koncentracji energii na płaszczyźnie czas-częstotliwość;
- opracowanie trzech nowych estymatorów parametrów sygnałów niestacjonarnych na płaszczyźnie czas-częstotliwość: estymatora częstotliwości chwilowej, przyspieszenia fazy, oraz tzw. zrywu kąтового fazy (trzeciej pochodnej fazy).

Powyższe jednoznacznie świadczy o istotnym wkładzie własnym Autora pracy i znacząco poszerza wiedzę w zakresie wybranych zagadnień techniki przetwarzania sygnałów radarowych.

Na wysoką ocenę zasługują również publikacje naukowe, w tym w szczególności „Double-Adaptive Chirplet Transform for Radar Signature Extraction” – IET Radar & Sonar Navigation, „On the Instantaneous Angular Jerk Estimation in the Time-Frequency Domain” – IEEE Signal Processing Letters, „Sonar Pulse Detection Using Chirp Rate Estimation and CFAR Algorithms” – Hydroacoustics, „Target Doppler Rate Estimation Based on the Complex Phase of STFT in Passive Forward Scattering Radar „ – Sensors, „A Block Method Using the Chirp Rate Estimation for NLFM Radar Pulse Reconstruction. „ – Sensors oraz „Radar Signal Parameters Estimation Using Phase Accelerogram in the Time-Frequency Domain” – IEEE Sensors Journal, gdzie jak już zostało wspomniane, Doktorant jest samodzielnym autorem, jak i autorem wiodącym.

Recenzent pozytywnie ocenia także możliwość zastosowania praktycznego uzyskanych przez Doktoranta wyników w dziedzinie EW oraz technik akwizycji, przetwarzania i rozpoznawania sygnałów we wspomnianych już wcześniej obszarach COMMINT/ELINT/SIGINT.

**5. Czy autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników /zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy/?**

Rozprawa doktorska wraz z załącznikami, bibliografią oraz wykazem stosowanych skrótów ma objętość 177 stron i jest napisana w sposób ścisły oraz zwięzły w języku angielskim. Opis umieszczony w pracy jest zrozumiały, przedstawiony w sposób konsekwentny z zachowaniem spójnego ciągu myślowego.

Po wprowadzeniu w rozdziale pierwszym Autor, w kolejnym rozdziale dokonał przeglądu wybranych technik estymacji parametrów sygnałów niestacjonarnych. Rozdział trzeci poświęcony został opisowi estymatorów przyspieszenia fazy w dziedzinie czas-częstotliwość. W dalszej kolejności, w oparciu o te rozważania, skonstruowana została dalsza część pracy. W rozdziale czwartym Doktorant przedstawił analizę sygnałów radiolokacyjnych NLFM wykorzystując zaproponowane wcześniej estymatory. W kolejnych rozdziałach pracy przedstawiono nowatorskie algorytmy, począwszy do rozdziału piątego, gdzie zamieszczono dogłębne badanie zaproponowanej metody rekonstrukcji impulsów radarowych NLFM. W następnym rozdziale Autor przedstawił dwa algorytmy adaptacyjnej koncentracji energii na płaszczyźnie czas-częstotliwość za pomocą zmodyfikowanych wariantów okna analizy STFT. W rozdziale siódmym opisano trzy nowe estymatory zaproponowane przez Doktoranta na potrzeby analizy oraz rekonstrukcji sygnałów NLFM. Ostatnim rozdziałem pracy jest podsumowanie wraz z propozycją potencjalnych aplikacji i dalszego rozwoju metod opracowanych przez Doktoranta.

Zatem należy stwierdzić, iż układ pracy, kolejność i kompletność poszczególnych rozdziałów jest dostosowana do tematyki i zakresu badań, jakie zostały podjęte przez Autora. Przeprowadzone analizy, użyty „aparatus matematyczny” oraz prezentacja badań symulacyjnych są na tyle klarowne i wyczerpujące, że pozwalają na ich pełną ocenę przez Recenzenta.

**6. Jakie są słabe strony rozprawy i jej główne wady?**

Praca nie posiada zasadniczych wad, które znacząco obniżyłyby jej wartość. Niemniej jednak, należy zwrócić uwagę na kilka istotnych faktów, jakie nasunęły się w trakcie jej recenzowania, tj.:

- a) Aspekt praktyczny (I) – wstępne przetwarzanie sygnału: Doktorant dokonał analizy sygnałów radiolokacyjnych pochodzących od konkretnego źródła emisji rejestrowanych w roku 2011 tj.: ATC (rozd. 5.3). Parametry tej emisji zostały określone w rozdz. 5.3, str. 62. Aby w kolejnym kroku obliczyć parametry fazowe, wyekstrahowano z mierzonej próbki pojedynczy impuls i poddano przetwarzaniu zgodnie z metodami, jakie Autor opracował. Biorąc powyższe pod uwagę, w całym „łańcuchu” analizy i przetwarzania sygnału dochodzi jeszcze jeden etap tzw. „obróbki wstępnej”, która nie została uwzględniona przez Autora pracy w złożoności obliczeniowej, co w bezpośredni sposób przekłada się na czas odpowiedzi systemu rozpoznania na analizowany sygnał. Należy sobie uświadomić, iż w obecnie wykorzystywanych systemach rozpoznania i walki elektronicznej klasy ELINT (a takie, między innymi, należy rozważać ze względu na możliwość wykorzystania opracowanych algorytmów przez Autora) kluczowym parametrem jest czas odpowiedzi tego systemu od momentu wykrycia sygnału do momentu wygenerowania informacji zwrotnej o rodzaju sygnału, jego cechach, przynależności, stopniu zagrożenia, itd., a co za tym idzie, quasi-optimalizacji czasu rozpoznania, klasyfikacji i identyfikacji<sup>1</sup> sygnału/źródła emisji.

<sup>1</sup> Identyfikację (będącą zagadnieniem SEI (ang. Specific Emitter Identification) w tym przypadku należy rozumieć jako rozpoznanie i klasyfikację poszczególnych egzemplarzy tego samego typu sygnałów radioelektronicznych, a tym samym źródeł ich emisji. Jest to proces wysoce zaawansowany, który na chwilę obecną w systemach klasy ELINT bazuje na ekstrakcji

b) Aspekt praktyczny (II) – powtarzalność i odtwarzalność próby pomiarowej: również w bardzo enigmatyczny sposób został określony typ źródła emisji radarowej w postaci radaru ATC, dyslokowanego na Lotnisku in. Fryderyka Chopina w Warszawie, (rozdz. 5.3). W kontroli ruchu lotniczego stosowanych jest kilka typów radarów, o ściśle zdefiniowanych zastosowaniach. Zdaniem Recenzenta należałoby precyzyjnie określić z jakiego typu źródłem emisji Autor miał do czynienia, mając na myśli powtarzalność i odtwarzalność pomiarów.

W rozdziale 7.4.5.1, str. 107, Autor dokonał rejestracji sygnałów radarowych pochodzących, jak twierdzi, od tego samego źródła co w roku 2011, tylko już po modyfikacji radaru ATC na tym samym lotnisku, wskazując w tym przypadku konkretny typ radaru ASR10SS produkcji Raytheon. Zdaniem Recenzenta, należałoby uszczegółwić, jakimi podstawowymi parametrami czasowo-częstotliwościowymi charakteryzowało się to źródło emisji (po modernizacji) w stosunku do poprzednich pomiarów z roku 2011.

c) Aspekt praktyczny (III) – powtarzalność i odtwarzalność próby pomiarowej, zagadnienie deinterleavingu: również istotny fakt, który budzi obawę Recenzenta to kanał pomiarowy oraz bogactwo środowiska elektromagnetycznego, które nie zostało uwzględnione w procesie akwizycji i przetwarzania. Trudno bowiem wyobrazić sobie sytuację, w której w rzeczywistych warunkach pomiarowych/bojowych (mając na myśli konkretną adaptację opracowanej metody w systemie ESM/ELINT) zjawisko „deinterleavingu” będzie wyeliminowane. Systemy ESM wykonują różne zadania rozpoznawcze, takie jak wyszukiwanie, przechwytywanie, analizowanie i klasyfikację sygnałów radarowych. Wraz z coraz bardziej złożonym środowiskiem elektromagnetycznym, strumień impulsów radarowych przechwycony przez odbiornik ESM często składa się z wielu sekwencji impulsów emitowanych przez różne nadajniki radarowe, co przekłada się na zmniejszenie efektywności ekstrakcji cech z takiej rejestracji. Zdaniem Recenzenta należałoby przeprowadzić próby pomiarowe w rzeczywistych warunkach terenowo-propagacyjnych, aby ocenić praktyczną skuteczność opracowanej metody, w celu jej dalszego wykorzystania.

Recenzent przychylił się do stwierdzenia Autora zapisanego na stronie 149, (rozdz. 9.1), iż analiza sygnału w czasie rzeczywistym, szczególnie w nowoczesnych systemach ER/ELINT/EW ma znaczenie szczególne, niemniej jednak konieczne są kompleksowe testy pomiarowe w warunkach rzeczywistych w celu weryfikacji metody opracowanej przez Doktoranta.

Wskazane powyżej uwagi nie umniejszają merytorycznej jakości recenzowanej dysertacji i należy je potraktować jako dalsze kierunki prac w obszarze tematyki podjętej przez Doktoranta biorąc pod uwagę „konkretną realizację sprzętową”.

## 7. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?

Treść rozprawy wnosi istotny wkład w zakresie technik analizy oraz przetwarzania sygnałów radarowych. Z całą pewnością można wskazać dwa obszary użyteczności rozprawy, tj.: nauki techniczne (zawartość koncepcyjna pracy poszerza zbiór algorytmów wykorzystywanych w czasowo-częstotliwościowej analizie sygnałów oraz rekonstrukcji sygnałów radarowych z wykorzystaniem estymatorów parametrów sygnału w ww. dziedzinie) oraz obronność kraju (ze

---

dotychczasowych cech pochodzących od sygnału radioelektronicznego, które stanowią dobrą miarę separacji w procesie ich identyfikacji.

względu na specyfikę technik radarowych istnieje możliwość wykorzystania w obszarze rozpoznania i walki elektronicznej EW).

Otrzymane wyniki zostały przyjęte przez środowisko naukowe poprzez publikacje w renomowanych czasopismach naukowych oraz na konferencjach międzynarodowych.

**8. Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę:**

- a. ~~Nie spełniająca wymagań stawianych rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy~~
- b. ~~Wymagająca wprowadzenia poprawek i ponownego recenzowania~~
- c. ~~Spełniająca wymagania~~
- d. Spełniająca wymagania z wyraźnym nadmiarem
- e. ~~Wybitnie dobra, zasługująca na wyróżnienie~~

W przekonaniu Recenzenta, opiniowana praca przedstawia samodzielne rozwiązanie problemu badawczego, a treść rozprawy oraz wysoki poziom merytoryczny świadczy o zadowalającej wiedzy Autora.

Po zapoznaniu się z przedłożoną do recenzji rozprawą doktorską mgr inż. Karola Abratkiewicza, stwierdzam, że praca spełnia wymagania z wyraźnym nadmiarem oraz spełnia wymagania art. 13 .1 Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. z późniejszymi zmianami, gdzie mowa o oryginalnym rozwiązaniu problemu naukowego, ogólnej wiedzy teoretycznej kandydatki w danej dyscyplinie naukowej oraz umiejętności samodzielnej prowadzenia pracy naukowej.

W czasie obrony publicznej, w zależności od odpowiedzi Doktoranta na uwagi w recenzji, Recenzent pozostawia sobie możliwość wnioskowania o zmianę kategorii.

W związku z tym, stawiam wniosek o przyjęcie tego opracowania jako rozprawy doktorskiej i dopuszczenie pana mgr inż. Karola Abratkiewicza do jej obrony publicznej.

Skierniewice, 22 sierpnia 2022 r.

