

Wrocław, dnia 02.01.2023 r.

**Dr hab. inż. Agnieszka Wyłomańska, Prof. uczelni**  
*Politechnika Wroclawska*  
*Wydział Matematyki*  
*ul. Janiszewskiego 14a, 50-370 Wrocław*  
*Dyscypliny naukowe*  
*matematyka*

S E K R E T A R I A T  
Rady Dyscypliny AEETK

Wpłynęło dnia.....10.01.2023.....  
Zarejestrowano pod nr .....  
Podpis ..... *dm*

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej pt.

„Metoda zautomatyzowanego wykrywania uszkodzeń dużych maszyn wirnikowych z wykorzystaniem danych ze stanów przejściowych”

**Autor:** mgr inż. Mateusz Zabaryłło

**Promotorzy:** prof. dr hab. inż. Tomasz Barszcz, dr hab. inż. Mariusz Banaszekiewicz

### Podstawa formalna

Niniejsza recenzja została opracowana na podstawie uchwały Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika (AGH) z dnia 3 listopada 2022 r. i w konsekwencji pisma skierowanego przez Przewodniczącego Rady Dyscypliny dr hab. inż. Ryszarda Srokę, prof. uczelni z dnia 4 listopada 2022 r.

### Ocena ogólna rozprawy

#### *Znaczenie tematyki*

Duże turbogeneratory są głównymi czynnikami przyczyniającymi się do wytwarzania energii elektrycznej na świecie. Choć w ostatnich latach gwałtownie rosną odnawialne źródła energii, duże elektrownie będą odgrywać znaczną rolę w przemyśle. Taki scenariusz może utrzymać się przez co najmniej kilka dekad. Turbiny są podstawowymi maszynami w każdej dużej elektrowni jądrowej i kopalnej na świecie, a ich zdolność do pracy jest krytyczna dla procesu wytwarzania energii. Brak dostępności takich maszyn może być istotne nie tylko dla danego przedsiębiorstwa, ale także może mieć konsekwencje w skali całego kraju. Dlatego niesprawności takich obiektów powinny być identyfikowane we wczesnej fazie, aby uniknąć nieplanowanych wyłączeń, które mogą mieć katastrofalne skutki. Jednakże warto zwrócić uwagę, iż diagnostyka dużych maszyn wirnikowych oraz identyfikacja niesprawności takich maszyn jest niezwykle trudnym zadaniem przede wszystkim ze względu na złożoność zagadnienia zarówno pod względem analizy sygnałów (drgań) i ich parametrów, które mogą być w tym wypadku wykorzystane, ale także pod względem niezbędnej wiedzy i doświadczenia, które pozwolą przede wszystkim odpowiednio przygotować/zebrać dane oraz zinterpretować uzyskane wyniki. Wiarygodne pomiary z pracy maszyn energetycznych dużej mocy wymagają zaawansowanego systemu przetwarzania sygnałów. Zadanie diagnostyki dużych maszyn wirnikowych nie jest nowym zagadnieniem. Badacze i praktycy od lat zajmują się tym tematem i proponowane są różne podejścia w tym zakresie. Jednakże, jak wspomniano wyżej, problem wymaga zarówno doskonałej znajomości diagnozowanych obiektów oraz sygnałów (danych), które uzyskiwane są z systemów monitorujących, ale

także, ze względu na skomplikowany charakter sygnałów, doskonałej znajomości technik przetwarzania takich danych na potrzeby uzyskiwania istotnych informacji.

Tematem przedstawionej rozprawy jest zaproponowanie kompletnego systemu automatycznej diagnostyki niesprawności dużych maszyn wirnikowych na bazie ich odpowiedzi w stanach przejściowych. Skupiono się tutaj na analizie cech diagnostycznych względem prędkości obrotowej dla stanów przejściowych. Jasno zdefiniowano tutaj problem badawczy jakim jest detekcja i identyfikacja niesprawności podczas uruchomienia lub odstawienia turbosespołu dużej mocy. Problem ten został rozwiązany dzięki wnikliwej analizie cech diagnostycznych opartych na sygnałach drganiowych, która została wykonana przez doktoranta na obiektach rzeczywistych. Dodatkowo wyniki dla danych rzeczywistych poparte zostały rezultatami dla danych uzyskanych w środowisku laboratoryjnym, gdzie możliwe było kontrolowanie niesprawności omawianych obiektów. Zaproponowany przez doktoranta system wykorzystuje dane z systemu monitoringu turbosespołów. Z założenia jest on aktywowany po każdym wyłączeniu lub uruchomieniu maszyny. System w sposób automatyczny analizuje dane, co pozwala na dalszą pracę w przypadku, kiedy odpowiedź systemu wskaże na stan prawidłowy diagnozowanego obiektu. W przeciwnym przypadku system sam dokonuje identyfikacji uszkodzenia i informuje o możliwej przyczynie problemu. Same metody zaimplementowane w opracowanym systemie są relatywnie proste, jednakże wymagały znajomości metod przetwarzania sygnałów na poziomie zaawansowanym. W założeniach jednak przyjmuje się, że osoby korzystające z opracowanego systemu nie posiadają wiedzy na temat analizy sygnałów, jedynie wiedzę związaną z działaniem danej maszyny. W ramach opracowanego systemu doktorant zaproponował dwie metody do detekcji i identyfikacji niesprawności: Operating Envelope – OpEn (do automatycznej detekcji niesprawności podczas stanów przejściowych) oraz Multidimensional Data Driven Decomposition – MD3 (do automatycznej identyfikacji niesprawności). Ponadto zaproponował autorską metodę do przygotowania danych referencyjnych opartą na interpolacji Cubic Spline (w celu ujednolicenia przedziałów, dla których przeprowadzona została analiza danych). W metodzie detekcji niesprawności (OpEn) autor wykorzystał koncepcję opartą na analizie obwiedni sygnału (Spectrum Envelope) w celu określenia zakresu poprawności odpowiedzi turbosespołu. W tym wypadku zaproponował dwa podejścia, jedno bazujące na analizie jednej cechy oraz drugie, w którym dwie cechy diagnostyczne jednocześnie są wzięte pod uwagę. Do automatycznej identyfikacji wykorzystał parametry dekomponowanych funkcji, które zostały wyestymowane za pomocą algorytmu Differential Evolution (DE) wywodzącego się z rodziny algorytmów genetycznych.

Z punktu widzenia dyscypliny naukowej Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika, detekcja i identyfikacja niesprawności dużych maszyn wirnikowych jest niezwykle istotna. Celem przedstawionej rozprawy doktorskiej jest zaproponowanie kompletnego systemu do diagnostyki takich maszyn. Poprzez system rozumiemy tutaj zarówno fazę przygotowania danych jak i ich przetwarzania na potrzeby uzyskania informacji o detekcji niesprawności i identyfikacji jej przyczyny. Opracowane algorytmy zostały zaimplementowane przez autora w środowisku Python, a same kody są także częścią rozprawy.

Mając na uwadze ogólne znaczenie wspomnianego kierunku badań w dyscyplinie Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika uważam podjęcie tego tematu za bardzo zasadne, przede wszystkim z praktycznego punktu widzenia.

### ***Struktura. Analiza zawartości poszczególnych rozdziałów***

Przedstawiona do recenzji praca składa się z 9 rozdziałów oraz dodatkowych 3 rozdziałów zawierających odpowiednio spis literatury, spis rysunków oraz spis tabel. **Struktura pracy jest poprawna**, treści zostały ułożone w sposób usystematyzowany. Rozprawa zdecydowanie ma charakter interdyscyplinarny, co wymusza od autora przedstawienia jednocześnie wielu aspektów omawianego problemu. Według mojej opinii doktorant w dobrym stopniu poradził sobie z przedstawieniem wielu wątków zagadnienia. W części merytorycznej rozprawy autor skupił się najpierw na tematyce związanej z pomiarami drgań dla dużych maszyn wirnikowych oraz opisał najważniejsze wielkości (cechy) służące do oceny stanu turbozespołów. W kolejnej części rozprawy szczegółowo opisano obiekt, na którym prowadzono badania oraz specyfikę danych, które uzyskuje się z systemów monitoringu, a także omówiono zagadnienie związane z próbkowaniem danych dotyczących stanów przejściowych oraz zaproponowano metodę ich interpolacji. Kolejne części poświęcone są opracowanym metodom do automatycznego wykrywania niesprawności w maszynach wirnikowych oraz algorytmom służącym do identyfikacji przyczyny zidentyfikowanej niesprawności. W następnej części autor rozprawy opisał działanie całego systemu wskazując na jego krytyczne punkty oraz omówił proces walidacji poszczególnych metod zastosowanych w systemie. W końcowej części wskazał możliwości udoskonalenia systemu oraz zaproponowanych metod do identyfikacji niesprawności dużych maszyn wirnikowych. Taki układ pracy stopniowo wprowadza czytelnika w temat, co znacznie ułatwia lekturę rozprawy.

**W rozdziale 1** autor zawarł krótkie wprowadzenie w podejmowaną tematykę. Podkreśla tutaj znaczenie podejmowanego problemu w kontekście ciągłej i efektywnej pracy związanej z poprawnym działaniem dużych maszyn wirnikowych, a także zwraca uwagę iż niewłaściwa diagnostyka w tym zakresie może generować wymierne koszty przede wszystkim związane z ciągłością pracy. Autor wprowadza tutaj w tematykę związaną z diagnostyką dużych maszyn wirnikowych. Rozdział ten zawiera także przewodnik po pomiarach drgań dużych maszyn wirnikowych. W kolejnej części omówiono najważniejsze wielkości (cechy), które mogą być wykorzystywane do oceny stanu turbozespołów. Rozdział ten zawiera także wprowadzenie do wybranych aspektów dotyczących pracy omawianych maszyn, które mają istotny związek z prowadzonymi badaniami. Rozdział kończy się sformułowaniem problemu i tezy oraz celu rozprawy doktorskiej, a także krótkim podsumowaniem poszczególnych rozdziałów.

**Rozdział 2** zawiera szczegółowy opis obiektu badań. Omówiono tutaj także specyfikę pomiaru drgań dużych maszyn wirnikowych i jej wpływ na dobór aparatury pomiarowej. Przedstawiono również aparaturę stosowaną w pomiarach dużych turbozespołów w przemyśle. Ten rozdział jest niezbędny dla omawianego zagadnienia, gdyż dane uzyskiwane z systemów monitoring dużych maszyn wirnikowych są bardzo specyficzne. Narzędzia do akwizycji danych są wysoce specjalistyczne i rzadko stosowane w innych maszynach, ze względu na wysoki koszt, wymaganą funkcjonalność i niezawodność. Dodatkowo, same dane pobierane z systemów dla omawianych obiektów są specyficzne i wymagają nieklasycznych metod do wstępnego ich przetwarzania. W rozdziale 2 autor wyraźnie wyjaśnił ten aspekt.

**W rozdziale 3** autor przedstawił proces zbierania i przetwarzania danych diagnostycznych opisujących stany przejściowe, na podstawie których w dalszej części przeprowadzana będzie detekcja i identyfikacja niesprawności turbozespołów. Opisano tutaj aparaturę pomiarową wykorzystywaną podczas badań diagnostycznych. Następnie przedstawiono i omówiono całą konfigurację urządzeń pomiarowych. Zajęto się także zagadnieniem częstotliwości

próbkowania danych. W rozdziale tym omówiono również najbardziej pożądane struktury danych, które są niezbędne w systemach automatycznego wykrywania i identyfikacji niesprawności. W ostatniej części rozdziału omówiono metody interpolacji danych i ich wykorzystanie w procesie wstępnego przetwarzania danych.

W **rozdziale 4** opisany został opracowany system służący do identyfikacji i detekcji niesprawności dużych maszyn wirnikowych. W pierwszej kolejności autor opisuje podstawowe aspekty systemu automatycznej detekcji niesprawności. Następnie doktorant wprowadza metodę Operating Envelope (OpEn). W rozdziale tym opisano także metodę selekcji stanów przejściowych dla pomiarów bazowych, na podstawie których dokonywana jest diagnostyka (wyznaczenie tzw. obszaru akceptacji). Następnie wprowadzono i omówiono metodę OpEn 2D, która bazuje tylko na jednej cesze sygnału drganiowego i wykorzystuje ją w procesie detekcji niesprawności. W kolejnej części omówiono i podano parametry wykorzystywane w metodzie OpEn 2D jako obszar akceptacji dla sygnałów bazowych. Następnie autor wprowadza koncepcję OpEn 3D jako rozszerzenie OpEn dla sygnałów drganiowych składających się z dwóch cech. Na koniec przedstawiono sposób uzyskania pomiarów bazowych dla omawianych przypadków oraz wielkości, które są podstawą do oceny jakości wykrytej niesprawności (miary wykorzystywane do detekcji niesprawności).

W **rozdziale 5** omówiony został cały system identyfikacji niesprawności. W dalszej kolejności przedstawiono koncepcję metody wielowymiarowej dekompozycji danych (MD3) wykorzystywanej do identyfikacji przyczyny niesprawności na podstawie parametrów funkcji dekompozycji. Przedstawiono także algorytm ewolucji różnicowej (DE) do identyfikacji parametrów dla zdekomponowanych funkcji. Warto zwrócić uwagę, iż pierwszą częścią algorytmu do detekcji niesprawności jest metoda, która została zaproponowana w rozdziale 4. W przypadku wykrycia niesprawności bardzo ważna jest identyfikacja przyczyny wykrytej anomalii. Drugą częścią opracowanego algorytmu jest właśnie identyfikacja przyczyny. W rozdziale 5 podano dokładny opis MD3 pokazując poszczególne kroki związane z identyfikacją parametrów dopasowanych funkcji wykorzystywanych do dekompozycji danych. Według mnie rozdział 5 wraz z rozdziałem 4 mają charakter najbardziej naukowy, a zaproponowane metody do analizy danych wymagają nie tylko wiedzy eksperckiej związanej z omawianym zagadnieniem, ale także umiejętności związane z zastosowaniem nieklasycznych metod analizy sygnałów. Autor pracy, na podstawie swojego doświadczenia zawodowego, opracował wartości referencyjne dla parametrów dekomponowanych funkcji, na podstawie których możliwa jest identyfikacja przyczyny niesprawności.

W **rozdziale 6** doktorant przedstawił architekturę proponowanego zautomatyzowanego systemu do detekcji i identyfikacji niesprawności. Następnie, opisał, w jaki sposób wykorzystywane są dane niezbędne do prawidłowej pracy systemu. Ważnym aspektem tego rozdziału jest podanie krytycznych elementów całego systemu. Zagadnienie to zostało jasno przedstawione i wyjaśnione. Warto podkreślić, iż w rozdziale tym autor zwraca także uwagę na fakt, iż opracowany system może być z powodzeniem stosowany w istniejących już systemach do monitorowania dla elektrowni. Dodatkowo, przedstawiono tutaj i wyjaśniono bardzo szczegółowo pseudokody najważniejszych modułów systemu. Następnie, przedstawiono kod (w języku Python) dla wszystkich najistotniejszych funkcji i procedur.

**Rozdział 7** poświęcony jest walidacji systemu. Opisano tutaj walidację metody OpEn zarówno dla przypadku 2D jak i 3D. W pierwszej kolejności omówiono i przedstawiono dane pomiarowe, które wykorzystywane są na etapie walidacji. Przedstawiono tabele z wartościami bazowymi dla wybranych parametrów, w celu porównania uzyskanych wyników. Następnie,

przedstawiono proces walidacji metody OpEn dla przypadku 2D. W ostatnim etapie przedstawiono walidację dla metody OpEn 3D dla innego zestawu danych, który wykorzystywany był na etapie walidacji całego systemu diagnostycznego.

W **rozdziale 8** opisano proces walidacji metody MD3 do identyfikacji niesprawności. Po pierwsze, autor zastosował metodę walidacji na danych modelowych typu testrig. W pierwszej części rozdziału autor szczegółowo omówił dane modelowe, jak również wyniki symulacji i proces testowania metody. Następnie zastosowane zostały dane walidacyjne wykorzystane w przypadku walidacji metody OpEn 3D (patrz rozdział 7). Na koniec autor podał zestaw parametrów funkcji dekomponowanych, na podstawie których identyfikuje się typ niesprawności. Dla tego przypadku wskazany jest zestaw parametrów funkcji dekomponujących, które najlepiej odpowiadają rzeczywistym stanom przejściowym.

W **rozdziale 9** autor przedstawia najważniejsze wnioski przedłożonej rozprawy. Omawia także szczegółowe wnioski związane z działaniem opracowanych metod OpEn oraz MD3. Na koniec autor nakreśla kierunki dalszych badań i możliwości poprawy opracowanego systemu.

### **Ocena realizacji celu naukowego**

Celem naukowym rozprawy było pokazanie, że możliwe jest wykrywanie i identyfikowanie niesprawności maszyn energetycznych za pomocą automatycznego algorytmu wykorzystującego analizę danych ze stanów przejściowych.

Cel naukowy pracy został osiągnięty poprzez:

- Opracowanie i zaproponowanie architektury systemu do diagnostyki dużych maszyn wirnikowych.
- Opracowanie metod wstępnego przetwarzania danych.
- Analizę baz danych dla stanów przejściowych turbozespołów i wybór danych referencyjnych (wykorzystywanych na etapie walidacji).
- Opracowanie i rozszerzenie metody detekcji niesprawności (OpEn).
- Ustalenie górnych i dolnych wartości granicznych dla wersji OpEn 2D oraz wartości osi elipsy dla wersji metody OpEn 3D.
- Opracowanie i rozszerzenie metody identyfikacji niesprawności (MD3).
- Zaproponowanie algebraicznej reprezentacji funkcji dekompozycji.
- Zdefiniowanie funkcji dopasowania dla algorytmu DE i ich estymację.
- Implementację kompletnego systemu w języku Python.
- Zaplanowanie, przygotowanie i wykonanie eksperymentu na stanowisku badawczym.
- Walidację zaproponowanych metod na podstawie danych laboratoryjnych.
- Walidację zaproponowanych metod na danych z obiektów rzeczywistych.

Warto podkreślić, iż głównym celem badań było stworzenie metodologii zawierającej metody i procedury do zautomatyzowanej oceny omawianych obiektów na podstawie cech diagnostycznych w celu zwiększenia niezawodności utrzymania ruchu. Automatyczne wykrywanie niesprawności i ich identyfikacja może pomóc w utrzymaniu niezawodności i bezpieczeństwa urządzeń w zakładach przemysłowych. Ponadto, opracowany system może ułatwić pracę personelu obsługującego diagnozowane obiekty. Może również umożliwić im szybszą reakcję na zmiany w sposób dynamiczny w celu uniknięcia krytycznej awarii i zredukować czas przestoju do minimum. Ostatnim aspektem jest zwiększenie wiarygodności wynikającej z informacji uzyskanych na podstawie zastosowanych metod, co może zwiększyć

bezpieczeństwo urządzeń i ludzi obsługujących te urządzenia poprzez zminimalizowanie katastrofalnych uszkodzeń maszyn.

Warto jeszcze raz podkreślić, iż praca ma charakter interdyscyplinarny. Doktorant wykazał się doświadczeniem w opracowywaniu metodyki pomiarów, przetwarzania skomplikowanych danych na potrzeby wykrywania niesprawności w dużych maszynach wirnikowych. Wykazał się także umiejętnościami programistycznymi, gdyż wszystkie algorytmy i procedury zostały przygotowane w środowisku Python przez autora niniejszej rozprawy. Opracował automatyczne metody do wstępnego przetwarzania danych oraz algorytmy do wykrywania niesprawności na podstawie specyficznych danych z systemów monitoringu. Wykazał się także umiejętnością łączenia różnych metod analizy sygnałów w celu zaproponowania automatycznego algorytmu. Ważnym aspektem prowadzonych badań jest także etap ich sprawdzenia (walidacji opracowanych metod) zarówno na rzeczywistych obiektach jak i dla danych uzyskanych w laboratorium, gdzie pewne parametry mogą być kontrolowane. Wyniki analizy danych (na etapie walidacji i opracowania metod) wskazują na fakt, iż doktorant nabył umiejętności związane z przetwarzaniem sygnałów, a poznane i opracowane metody potrafił wykorzystać w praktyce. Przedstawiona interpretacja wyników także na to wskazuje. Doświadczenie doktoranta w pracy (13-letnie) zawodowej jest wyraźnym atutem przedstawionych badań.

Doktorant w dobrym stopniu nakreślił obszar badawczy i niniejsza rozprawa potwierdza jego znajomość tematu. Według mojej opinii zaproponował właściwe metody, wykazał się także dobrą znajomością tematyki. Doktorant wykazał się samodzielnością we wszystkich aspektach działalności naukowej niezbędnej do prowadzenia prac badawczych.

### **Uwagi szczegółowe do pracy**

Pomimo, iż ogólna ocena rozprawy jest pozytywna i bez wątplenia zaproponowane metody są nowatorskie, mam także kilka uwag krytycznych:

- W poszczególnych rozdziałach autor rozprawy odnosi się do istniejącej literatury przedmiotu, jednakże warto byłoby tutaj wyraźnie zaznaczyć, w jakim stopniu zaproponowane metody są innowacyjne w stosunku do tych znanych z literatury i w jakim aspekcie doktorant rozszerza istniejącą wiedzę przedmiotu. Elementy takiej dyskusji można znaleźć w niektórych częściach rozprawy, jednakże warto byłoby temu zagadnieniu poświęcić więcej miejsca w rozprawie.
- W rozdziałach 7 i 8, gdzie opisano walidację zaproponowanych metod warto byłoby porównać uzyskane wyniki z wynikami dla innych metod (wybranych z literatury). Ten aspekt byłby dodatkowym atutem pracy.
- Brak dyskusji na temat możliwości wykorzystania opracowanych algorytmów do wykrywania niesprawności w innych typach maszyn. W pracy zwrócono uwagę na specyfikę analizowanych danych i obiektów, jednakże aspekt uniwersalności systemu/metod warto byłoby omówić szerzej, np. w jaki sposób można by zmodyfikować opracowane metody, aby mogłyby być wykorzystane dla innych obiektów (lub innych typów obiektów). W podsumowaniu podano to zagadnienie skrótowo jako możliwości przyszłych badań.
- Wadą zaproponowanego systemu jest to, iż nie jest on w stanie wykryć małych zmian związanych z pogorszeniem stanu i reaguje on tylko na sytuacje, kiedy stan ulega zauważalnemu pogorszeniu. Warto byłoby to zagadnienie zgłębić szerzej i podjąć dyskusję na temat polepszenia funkcjonalności systemu w takich sytuacjach.

- Autor pisze, że system jest odporny na dodatkowe zakłócenia, jednakże ten aspekt nie jest w rozprawie szerzej dyskutowany. Warto byłoby dodać krótki paragraf na temat możliwych dodatkowych źródeł, które mogłyby zmniejszyć efektywność zaproponowanych metod. Walidacja opracowanych algorytmów w warunkach dodatkowych zakłóceń podniosłaby ocenę rozprawy.
- W rozdziale 5.3 zaproponowano 3 zestawy funkcji użytych do dekompozycji. Z czego wynikają trzy przyjęte scenariusze?
- W tym samym rozdziale miara MSE jest wykorzystana jako miara do wyboru scenariusza dla metody identyfikacji niesprawności. Powszechnie wiadomo, że w przypadku danych o możliwych dużych zakłóceniach MSE nie jest idealną miarą (jest wrażliwa na duże obserwacje). Czy w tym wypadku można by użyć innej miary? Jeśli tak, to czy wyniki byłyby znacznie różne od tych uzyskanych dla analizowanych danych?
- W pracy autor opiera swoje badania na analizie cech diagnostycznych wyznaczonych na podstawie sygnałów drganiowych. Czy dla analizowanych obiektów możliwa byłaby detekcja i identyfikacja niesprawności na podstawie innych typów cech. Jeśli tak, to jakich? Czy w tym wypadku można by zastosować te same metody analizy danych?
- W jaki sposób kurtoza wykorzystana jest tutaj do detekcji niesprawności? Dodatkowe wyjaśnienia dotyczące wykorzystania tej miary byłyby bardzo pomocne. Według mojej opinii ten aspekt nie jest wystarczająco omówiony w rozprawie.

#### **Inne uwagi szczegółowe**

Praca została przygotowana w języku angielskim. Użyty język jest poprawny, praca przygotowana jest bardzo starannie. Można znaleźć drobne błędy językowe oraz literówki. Drobne usterki nie obniżają pozytywnej oceny recenzowanej rozprawy.

#### **Wniosek końcowy.**

Recenzowana rozprawa zawiera nowe i bez wątplenia wartościowe wyniki badań. Należy podkreślić interdyscyplinarny charakter pracy oraz wielowątkowość omawianego zagadnienia. Rozprawa stanowi oryginalne zrealizowanie celu badawczego postawionego przez doktoranta. Ma ona przede wszystkim duże znaczenie aplikacyjne, co jest zgodne z założeniem programu „Doktorat wdrożeniowy”. Opracowany w ramach rozprawy system oraz algorytm obecnie wykorzystywane są w praktyce. Warto także podkreślić naukowy charakter pracy poprzez zaproponowanie nowego podejścia do detekcji i identyfikacji dużych maszyn wirnikowych na podstawie danych z systemów monitoringu opisujących stany przejściowe diagnozowanych maszyn. Analiza danych i walidacja opracowanych metod pokazuje, iż doktorant w dobrym stopniu opanował techniki analizy danych oraz potrafi na podstawie uzyskanych wyników wyciągnąć wnioski.

Autor wykazał się dobrym zrozumieniem problematyki oraz znajomością literatury naukowej i technicznej dotyczącej przedmiotu badań. Podsumowując, stwierdzam, że przedłożona mi do recenzji rozprawa doktorska mgra inż. Mateusza Zabaryło pt. „Metoda zautomatyzowanego wykrywania uszkodzeń dużych maszyn wirnikowych z wykorzystaniem danych ze stanów przejściowych” stanowi oryginalną interdyscyplinarną pracę mieszczącą się w dyscyplinie *Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika* i odpowiada warunkom określonym w Ustawie. Wniosuję zatem o jej przyjęcie i dopuszczenie do publicznej obrony.

**Agnieszka Wyłomańska**

Agnieszka Wyłomańska