

Dr. hab. inż. Dariusz Laskowski, prof. WAT
Wojskowa Akademia Techniczna
im. Jarosława Dąbrowskiego
ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2
00-908 Warszawa 46

Warszawa, dn. 17. maja 2022 roku

**Recenzja rozprawy doktorskiej
mgra inż. Dariusza Bernatowicza**

**pt. „Zastosowanie czterowartościowej oceny stanów w procesie diagnozowania
cech eksploatacyjnych złożonych obiektów technicznych”**

1. Podstawa opracowania recenzji.

Podstawą przeprowadzenia oceny dorobku jest otrzymane pismo wykonane w dniu 01 marca 2022 roku od Rektora Politechniki Koszalińskiej dr hab. Danuty ZAWADZKIEJ, profesor Politechniki Koszalińskiej, o powołaniu na recenzenta rozprawy doktorskiej wykonanej przez mgr. inż. Dariusza Bernatowicza (zgodnie z Uchwałą nr 16/2022 Senatu Politechniki Koszalińskiej podjętą w dniu 23 lutego 2022 roku o wyznaczeniu dr. hab. inż. Dariusza Laskowskiego, prof. Wojskowej Akademii Technicznej na recenzenta rozprawy doktorskiej przygotowanej przez mgra inż. Dariusza Bernatowicza).

Przedmiotowa rozprawa doktorska została zrealizowana pod kierunkiem naukowym Promotora dr. hab. inż. Stanisława Duera w Politechnice Koszalińskiej.

2. Treść i zakres rozprawy doktorskiej.

Przedstawiona do zaopiniowania rozprawa doktorska liczy łącznie 130 stron i składa się ze streszczenia, wykazu skrótów i oznaczeń, spisu treści, 5-iu merytorycznych rozdziałów (2÷6), wniosków i kierunków dalszych badań, bibliografii, spis rysunków i tabel oraz załączników. Całość jest dokumentem o wzajemnie powiązanych tematycznie treściach kolejno prezentowanych w następujących po sobie fragmentach.

Układ pracy jest właściwy i nie budzi zastrzeżeń, a sformułowana teza naukowa jest spójna i logiczna. Czytelnik dostrzega w tej rozprawce jednolitość, systematyczność i ukierunkowanie na przyjęty cel w ramach konkretnie przyjętego zakresu merytorycznego zaprezentowanego w pierwszym rozdziale pn. „Przedmiot, cel i teza naukowa rozprawy” (rozdziała 1, str. 8 ÷ 18). To jednoznaczne fokusowanie treści dokumentu na syntetyczną prezentację jednej z wielu możliwych metod oceny stanów w procesie diagnozowania

cech eksploatacyjnych złożonych obiektów technicznych w postaci walidacji czterowartościowej bazującej na sprecyzowanych determinantach charakterystycznych i reprezentatywnych dla przyjętych do analizy typów obiektów technicznych.

Z merytorycznego punktu widzenia, w dokumencie podbudowę teoretyczną tworzy ascetyczne przedstawienie, w rozdziale pierwszym, zasadniczych aspektów istotnych w diagnozowaniu obiektów technicznych ze szczególnym podkreśleniem problematyki zagadnień istniejących w klasycznym podejściu diagnostycznym wykorzystującym logikę dwuwartościową. Następnie, autor, przeniósł czytelnika w kolejny etap ewolucji identyfikacja stanu zdadności częściowej (niepełnej zdadności) obiektu technicznego wykorzystującego wnioskowanie w logice trójwartościowej.

Wystarczająco dokładnie, doktorant, zaprezentował ten typ logiki zwracając uwagę na zwiększenie zbioru danych wynikowych służących do budowania diagnostycznej świadomości informacyjnej. To cenna metodologia korzystna z punktu widzenia organizacji polityki zarządzania procesem eksploatacji obiektów technicznych. Niemniej jednak, nie jest ona optymalną metodologią gwarantującą osiągnięcie dokładnych i wysoce wiarygodnych informacji w każdych warunkach środowiskowych.

Dlatego też, bazując na chronologicznej „drodze rozwoju” diagnostyki, aplikant podjął się trudnego zadania w postaci opracowania nowej koncepcji diagnostyki wykorzystującej logikę czterowartościową w procesie diagnozowania obiektów technicznych. Właściwą podwalinę w tym obszarze dostarczyła przeprowadzona analiza zarówno stanu wiedzy, jak i organizacji wnioskowania diagnostycznego, z której to spostrzeżenia utwierdziły doktoranta w aktualności tej tematyki i jej praktycznych zastosowaniach.

Konkludując obecny stan wiedzy, doktorant sformułował zasadniczy kierunek własnych rozważań skupiając się na „*Opracowaniu metody diagnozowania złożonych obiektów technicznych z zastosowaniem czterowartościowej oceny stanów*” i właściwie sprecyzował do weryfikacji dwa problemy badawcze w postaci hipotez:

Hipoteza I: *Czy istnieje możliwość zastosowania czterowartościowej oceny stanów w procesie diagnozowania złożonych obiektów technicznych.*

Hipoteza II: *Jaki jest wpływ zastosowania czterowartościowej oceny stanów na przyrost wyznaczonej informacji diagnostycznej w badanym obiekcie technicznym.*

Następnie, doktorant zaprezentował teoretyczne podstawy własnych analiz w rozdziale pt. „Czterowartościowa ocena stanu obiektu technicznego” (rozdział 2, str. 19 ÷ 36) obejmujące:

- 1) charakterystykę czterowartościowej oceny stanów,
- 2) zdefiniowanie reguł diagnostycznych dla stanów tj.: zdatności, niepełnej zdatności, krytycznej zdatności i niezdatności,
- 3) interpretację obiektu technicznego i występujących w nim przedziałów fluktuacji cech eksploatacyjnych,
- 4) wartościowanie wskaźników przyrostu informacji i efektywności profilaktycznego obsługiwanego z wykorzystaniem zależności opisanych wzorami z przedziału numeracyjnego (2.11 ÷ 2.15, str. 33 ÷ 35),
- 5) porównanie k-wartościowej oceny stanu obiektu dla $k = \{2,3,4\}$.

Zaletą tego fragmentu jest zaproponowany i zdefiniowany przez doktoranta stan „1” – stan krytycznej zdatności. W tej formie stan „1” został uwidoczniiony po raz pierwszy i może stanowić osiągnięcie aplikanta. Doktorant zasadnie podkreślił, że cyt. „... *wprowadzenie dodatkowego stanu ... zwiększy trzykrotnie E_{pot} wartości przeciętnego czasu bezawaryjnej pracy obiektu*”. Potwierdza to poprawność kontynuowanego procesu analitycznego z punktu widzenia adekwatności toku myślowego i jednocześnie dostarcza kolejnych uzasadnień do opracowania i spisania własnej propozycji metody identyfikacji stanu zdatności technicznej (diagnozowania) złożonych obiektów technicznych z zastosowaniem czterowartościowej oceny stanów. Istotnym podrozdziałem jest „Klasyfikacja stanów obiektu w procesie wnioskowania” (podrozdział 2.2, str. 24 ÷ 26). Podsumowując zaproponowane przez doktoranta podejście w planowaniu i realizacji przedsięwzięć diagnostycznych jest autorskim w zakresie wyznaczania diagnostycznej bazy wiedzy (DBW).

Główną wartością rozprawy jest kolejny rozdział pn. „Diagnozowanie obiektów technicznych w czterowartościowej ocenie stanu” (rozdział 3, str. 37 ÷ 55) zawierający:

- 1) poprawną identyfikację etapów procesu diagnostycznego,
- 2) opis struktury wewnętrznej modelu funkcjonalno-diagnostycznego,
- 3) właściwie zdefiniowanie reguł dekompozycji modelu do czterech poziomów struktury obsługowej.

Na uwagę zasługuje nowe podejście doktoranta w zakresie matematycznego sposobu opisu struktury obsługowej obiektu w postaci macierzy i jej formy tablicowej (podrozdział 3.3. i podrozdział 3.4., str. 42 ÷ 47) przy wykorzystaniu schematu wyznaczania

zbiorów sygnałów diagnostycznych i ich sygnałów nominalnych. Na koniec przedstawiono schemat wnioskowania i bazę wiedzy diagnostycznej uzyskaną w procesie klasyfikacji. Po wtóre opisano problematykę wyznaczania zbioru informacji diagnostycznej i sprawdzeń diagnostycznych.

W rozdziale czwartym pt. „Komputerowy system diagnostyczny DIAG 2” (str. 56 ÷ 75) zaprezentowano własną aplikację do wsparcia prowadzenia wybranych aspektów systemu diagnostycznego, która rozpoznaje stany obiektów w logice dwu-, trzy- i cztero-wartościowej. Przedstawiono strukturę toru pomiarowego, schemat przetwarzania danych, opisano przebieg procesu diagnozowania w postaci następujących po sobie etapów dotyczących tworzenia schematu funkcjonalno-diagnostycznego, wprowadzenia danych diagnostycznych, wyznaczenia pomiarowej bazy wiedzy i realizacji procesu wnioskowania. Zaprezentowano również sposoby prezentacji wyników uzyskanych w procesie klasyfikacji obiektu. Zasadniczymi walorami tego fragmentu są:

1) wykonany program komputerowy, który cechuje się odpowiednim poziomem sparametryzowania i hermetyczności danych oraz klasycyzacją narzędzia typu „standalone” napisanego w jave ze stosunkowo przyjaznym GUI,

2) przykładowa mapa stanów i statystyka z procesu diagnozowania obiektu (Rys. 4.14., str. 75).

Puentując ten odcinek dorobku, zasadnym jest stwierdzenie, że koncepcja teoretycznego zagadnienia jest możliwa do implementacji w praktycznych zastosowaniach, co zostało potwierdzone w dokumentacji dwóch przypadków tj. system sterowania pracą silnika benzynowego o zapłonie iskrowym typu Motronic (rozdział 5, str. 76 ÷ 94) i elektrowni słonecznej małej mocy (rozdział 6, str. 95 ÷ 108). Zasadniczymi składnikami dokumentacji są opisy:

1) stanowiska badawczego (Rys. 5.2., str. 78 i Rys. 6.1., str. 95),

2) sposobów przetwarzania informacji w urządzeniu sterującym (podrozdział 5.1.2., str. 79 ÷ 81),

3) schematów funkcjonalno-diagnostycznych (podrozdział 5.2.1., str. 82 ÷ 83, Rys. 5.6., str. 82),

4) elementów metodyki badań ze sposobami wykonywania pomiarów (str. 83 ÷ 90),

5) wnioskowania i oceny stanu obiektu (podrozdział 5.4., str. 90 ÷ 93).

Podstawą w tych badaniach jest opracowanie schematów funkcjonalno-diagnostycznych przy zastosowaniu jednolitego podejścia w tym względzie. Następnie

scharakteryzowano sygnały dla każdego zespołu obiektu oraz wyznaczono dla nich właściwe im diagnostyczne bazy wiedzy. Otrzymane dane wynikowe z testów wykorzystano do porównania ich z sygnałami przyjętymi za wzorcowe. Takie podejście pozwoliło na wnioskowanie stanów obiektu z uwzględnieniem logiki dwuwartościowej, trójwartościowej i czterowartościowej. W efekcie możliwe jest porównanie wyników klasyfikacji dla wymienionych logik dwu, trzy i czterowartościowej. Otrzymane rezultaty jednoznacznie wskazują na zasadność stosowania logiki czterowartościowej w tego typu zagadnieniach.

Efektem powyższego, jest uzyskany przyrost dodatkowej informacji diagnostycznej a tym samym możliwe jest podejmowanie korzystniejszych decyzji eksploatacyjnych. Na podkreślenie tego etapu pracy jest fakt, iż doktorant w dwóch diagnozowanych obiektach zastosował jednolity plan badawczy i opracował stanowiska badawczo-laboratoryjne dla systemu sterowania pracą silnika benzynowego o zapłonie iskrowym typu Motronic i urządzeń elektrowni słonecznej małej mocy. W obydwu przypadkach w procesie klasyfikacji zastosowano komputerowy system diagnostyczny DIAG 2. Analizę procesu wnioskowania przeprowadzono dla k-wartościowej oceny stanów, gdzie $k = \{2,3,4\}$.

Przeprowadzone analizy teoretyczne i czynności praktyczne wykazały słuszność rozważań naukowych zawartych w rozprawie doktorskiej, a tym samym celowość podjętej tematyki. Jest to ważne z punktu widzenia praktycznego wdrożenia opracowanej metody. Koncepcje badań i uzyskane wyniki z diagnozowania można uznać za wystarczający wkład doktoranta w rozważanym obszarze badawczym.

W rozdziale siódmym pt. „Wnioski i kierunki dalszych badań” (rozdział 7, str. 109 ÷ 115) zamieszczono główne spostrzeżenia w formie podsumowania zasadniczych czynności. Tworzą one zbiór zasadnych i prawidłowych wniosków łącznie z propozycją jednych z wielu potencjalnych kierunków przyszłych postępowań. Właściwie uzasadniono i orzeczono w sprawie rezultatów działań praktycznych uzyskane podczas zrealizowanych badań. Potwierdzono zasadność i słuszność postawionej tezy naukowej rozprawy doktorskiej. Aczkolwiek z punktu widzenia wykonanych licznych czynności rozdział siódmy można uznać za ascetyczny.

Podbudowę teoretyczną stanowiła posiadana przez dyplomanta wiedza teoretyczna pogłębiona za pośrednictwem krytycznego podejścia do treści zamieszczanych w pozycjach literaturowych wykazanych w bibliografii (rozdział nienumerowany, str. 116 ÷ 126). Jest to zbiór zawierający łącznie 153 elementy (tj. monografie, artykuły, publikacje

konferencyjne polskie i zagraniczne oraz jeden dokument normalizacyjny (poz. 134 str. 125). To nie wyczerpuje podstawowych źródeł bibliograficznych literatury tego przedmiotu tematycznego, ponieważ przykładowo ujęto tu odwołania do recenzowanych treści zamieszczanych na stronach WWW. Sposób cytowania literatury jest zgodny ze sztuką edytorską i prawidłowy merytorycznie. Niemniej jednak przytoczona bibliografia jest wystarczającym zestawem poprawnie wyselekcjonowanym i stanowiącym dostateczną podbudowę teoretyczną. Dobór pozycji bibliograficznych jest zasadny i właściwy.

Rozprawa doktorska została napisana poprawnym językiem polskim z użyciem prawidłowego słownictwa i terminologii technicznej zgodnych z zawartymi w Polskiej normie pt. „Eksploatacja i Niezawodność” z 1991 roku. Dlatego też, pracę czyta się i rozumie jej zapisy w stosunkowo łatwy sposób. Właściwie wykonano spisy rysunków, tabel i załączników zawartych na płycie CD (załącznik nr 1 pn. „Środowisko uruchomieniowe Javy (JDK) w wersji JVM 8 (Windows)” i załącznik nr 2 pn. „Komputerowy program diagnostyczny DIAG 2” - tego typu postępowanie upraszcza analizę treści dokumentu.

Układ pracy jest uporządkowany, a jej treść nie budzi istotnych zastrzeżeń składniowych. Zawartość dokumentu jest zgodna z treścią podjętego do osiągnięcia celu i zawiera niezbędne, wymagane komponenty, a jej struktura jest formalnie zgodna z wymaganiami stawianymi tego typu rozprawom.

3. Ocena merytoryczna rozprawy doktorskiej.

Dynamicznie rosnące zapotrzebowanie przez użytkowników obiektów technicznych na coraz to szerszy zbiór usług jest powodem projektowania i wykonywania bardziej skomplikowanej architektury urządzeń i systemów. Zapewnienie poprawności działania obiektu technicznego jest możliwe do osiągnięcia w ramach obsługiwanego (utrzymywania oczekiwanego poziomu zdatności technicznej i funkcjonalnej). Kluczowym procesem efektywnego i szybkiego przywracania obiektu do użytkowania jest identyfikacja stanu zdatności.

Czytając dokładnie rozprawę, nasuwa się wniosek, że zrozumienie tak ogólnie zarysowanego problemu eksploatacyjnego zostało przez doktoranta poprawnie zinterpretowane i adekwatnie do przyjętego celu pracy naukowej uszczegółowione o autorski element przez co wpisuje się w rozwoju diagnostyki – mam tu na myśli ewolucję „logiki czterowartościowej” jako jednej z logik wielowartościowych. Doktorant wnikliwie

zidentyfikował i opracował teorię oraz metody diagnozowania złożonych obiektów technicznych z zastosowaniem czterowartościową ocenę stanów.

Wykonane wnioskowanie stanu zagadnienia w zakresie diagnozowania obiektów technicznych umożliwiła sformułowanie prawidłowych wniosków w tym zakresie, jednoznacznie wskazujących na lukę badawczą i konieczność działań naukowych w tym obszarze.

Kolejnym krokiem było sformułowanie celu pracy i postawienie dwóch pytań badawczych, a następnie uszczegółowienie w postaci celów naukowych i praktycznych oraz dwóch hipotez pracy.

Poprawność wskazania i wiarygodność identyfikacja oraz zgodność opis obecnego stanu z rzeczywistością techniczną jest coraz to trudniejszym procesem, pomimo wzrostu umiejętności diagnosty i możliwości testowych infrastruktury pomiarowej. Nie bez znaczenia pozostaje również zasobność bazy wiedzy o dotychczasowych zdarzeniach. Dlatego też, tym bardziej rozprawy ta jest wartościowa a jednymi z jej pozytywów są:

- 1) opracowanie podstaw teoretycznych zastosowania czterowartościowej oceny stanów w procesie diagnozowania złożonych obiektów technicznych, a w szczególności to:
 - sprecyzowanie schematu klasyfikacji stanów (str. 29, 31) i podanie przedziałów cech eksploatacyjnych obiektu i możliwego kierunku jego zmiany,
 - wybór funkcji gęstości rozkładu prawdopodobieństwa jakości użytkowania elementu ($F_c(e_{i,j})$),
- 2) przedstawienie szacowania informacyjnego czterowartościowej oceny stanów z wykorzystaniem wartości dla wymienionych wskaźników i porównanie w k-wartościowej ocenie stanu obiektu dla $k = \{2,3,4\}$ tj.:
 - miary ilości uzyskanej informacji diagnostycznej $I_k(A)$ o postaci opisanej zależnością matematyczną (2.11, str. 33),
 - funkcji przyrostu dodatkowej informacji diagnostycznej $f(P_{\text{inf diag}})$, o postaci opisanej zależnością matematyczną (2.13, str. 33) wraz z poprawną analizą porównawczą otrzymanych wyników dla logiki dwu-, trzy- i czterostanowej,
 - współczynnika rodzaju niezdatności $A(t)$ o postaci opisanej zależnością matematyczną (2.14, str. 35),
 - efektywności profilaktycznego obsługiwanie technicznego (E_{pot}) o postaci opisanej zależnością matematyczną (2.15, str. 35),

- otrzymane wartości noszą znamiona poprawnie wyznaczonych i zinterpretowanych w podsumowaniu (podrozdział 2.7. str. 35 ÷ 36),
- 3) zaprezentowanie etapów realizacji procesu diagnostycznego w obszarze:
- zdefiniowania relacji i struktury wewnętrznej złożonego obiektu technicznego w postaci modelu funkcjonalno-diagnostycznego (Rys. 3.1., str. 40),
 - wyznaczenia (42 ÷ 53):
 - reguł dekompozycji modelu do czterech poziomów struktury obsługowej, składającej się z zespołów i podzespołów funkcjonalnych oraz elementów podstawowych,
 - zbiorów sygnałów diagnostycznych i nominalnych elementów podstawowych obiektu w postaci tabelarycznej,
 - schematu i reguł wnioskowania w celu uzyskania bazy wiedzy diagnostycznej w procesie klasyfikacji,
- 4) implementacja autorskiego komputerowego systemu diagnostycznego DIAG 2 rozpoznającego stany obiektów w logice dwu, trzy i czterowartościowej (2-4VL) z głównymi elementami w postaci:
- dobór elementów toru pomiarowego i systemu akwizycji danych,
 - uszczegółowienie schematu przetwarzania informacji w systemie diagnostycznym,
 - zidentyfikowanie w systemie DIAG 2 przebiegu zmian procesu diagnozowania w postaci kolejno następujących po sobie etapów dotyczących:
 - tworzenia schematu funkcjonalno-diagnostycznego,
 - wprowadzenia danych diagnostycznych,
 - wyznaczenia pomiarowej bazy wiedzy i realizacji procesu wnioskowania,
 - opracowanie sposobów zobrazowania wyników klasyfikacji obiektu,
- 5) wykonanie:
- stanowiska:
 - pomiarowego niezbędnego do etapu wnioskowania (2 egz.),
 - klasy mechatronicznej do badań systemu sterowania pracą samochodowego silnika benzynowego o zapłonie iskrowym typu Motronic ML 4.1 (1 egz.),
 - klasy elektrotechnicznej do badania diagnostyki urządzenia elektrowni słonecznej małej mocy (1 egz.),

- procesu klasyfikacji dla obydwu stanowisk badawczych z zastosowaniem komputerowego systemu diagnostycznego DIAG 2,
 - procesu wnioskowania w oparciu o k-wartościową ocenę stanów, gdzie $k = \{2, 3, 4\}$,
- 6) dobór danych wejściowych, wykonanie obliczeń, opracowanie danych wynikowych i ich interpretację oraz zobrazowanie (np. Rys. 6.6. str. 103 i 6.7., str. 105).

Niewątpliwym „wzbogaceniem” dorobku byłoby uwzględnienie poniższych aspektów tj.:

- 1) identyfikacja stanu zdatności z zachowaniem podziału na:
 - zdatność techniczna,
 - zdatność funkcjonalną,
- 2) uwzględnienie w miejscu prowadzenia procesu diagnozowania:
 - cech operatora (diagnosty) w aspekcie jego niezawodności tj.:
 - wiedza teoretyczna,
 - umiejętności praktyczne wynikające z doświadczenia,
 - stan psychofizyczny,
 - czas, miejsce i warunki realizacji oceny stanów,
 - poprawność działania wykorzystywanej platformy sprzętowo-programowej,
- 3) analiza wpływu narażeń środowiskowych tj.:
 - pochodzenia ludzkiego interpretowane jako celowe lub przypadkowe przejawy postępowania człowieka:
 - błędy etapu specyfikacji potrzeb diagnostycznych manifestujące się niewłaściwym funkcjonowaniem i szkodliwym wpływem na inne obiekty techniczne wynikające z braku pełnej informacji, doświadczenia i „kultury technicznej”,
 - błędy wynikające z nieumiejętności reakcji na zmieniające się uwarunkowania środowiskowe,
 - żywiołowe (naturalne) będące następstwem innych procesów tj.:
 - temperatura i wilgotność powietrza,
 - chwilowe stany nieustalone w infrastrukturze (stacji roboczej, komputerze) wykorzystywanej do obliczeń,
- 4) analiza możliwych do zaistnienia (popelnienia) błędów wynikających z niedoskonałości zaprezentowanej koncepcji na poziomie:
 - lokalnym w ujęciu realizacji pojedynczego etapu,

- globalnym w ujęciu kompleksowym,
- 5) analiza krytyczności przez kwantyfikację skutków niezdatności FMECA (ang. Fault Mode, Effect and Criticality Analysis).

Wiele wartościowych treści z powyżej przedstawianych obszarów znajduje się w publikacjach prof. L. Będkowskiego i T. Dąbrowskiego (np. w Bibliografii, str. 116, pozycje literaturowe nr 6 ÷ 9).

W mojej ocenie, doktorant w przedłożonych dokumentach potwierdził osiągnięcie założonego celu i zakresu oraz praktycznie wykazał zakładaną skuteczność i uniwersalności zastosowania komputerowej aplikacji w systemach diagnostycznych dla obszaru: poznawczego, porównawczego i metodycznego. Zatem zaprezentowany dorobek doktoranta znajduje się w „nurcie” wieloaspektowych analiz tego zakresu tematycznego i właściwie wpisuje się w obecne trendy eksplorowane przez ośrodki naukowo-badawcze.

4. Uwagi ogólne i szczegółowe.

Doktorant rozwiązał na właściwym poziomie, przyjęte problemy naukowe związane z diagnozowaniem złożonych obiektów technicznych przy zastosowaniu cztero-wartościowej oceny stanów. Potwierdzone zostały postawione przez doktoranta hipotezy w zakresie diagnozowania złożonych obiektów technicznych z zastosowaniem cztero-wartościowej oceny stanów.

Uzyskane rezultaty pracy doktorskiej wykonanej przez doktoranta mogą przyczynić się do rozszerzenia aktualnego stanu wiedzy w temacie rozprawy. Przedstawione w dokumencie wyniki badań cechują się zarówno charakterem aplikacyjnym jak i poznawczym oraz wykazał przy tym:

- 1) sumienność, zdyscyplinowanie, własną inwencję i pomysłowość,
- 2) opanował techniki realizacji eksperymentu diagnostycznego,
- 3) pozyskał umiejętność wykorzystaniem specjalistycznego przyrządu akwizycji danych RIGOL M320 podczas prowadzenia analiz zgodnych z teorią pomiarów sygnałów diagnostycznych,
- 4) wykazał się zdolnością statystycznego opracowania wyników badań eksperymentalnych.

Uzyskane wyniki z badania i oceny stanu obiektów technicznych potwierdziły słuszność postawionych w pracy doktorskiej hipotez. Wyniki prac zrealizowanych przez doktoranta obrają horyzont kolejnych kierunków prac projektowych dla systemów

diagnostycznych w ocenie stanów złożonych obiektów technicznych dla diagnozowania w logice 4-wartościowej.

Na uwagę zasługuje fakt, iż dla przedstawionych swoich rozważań naukowych nie tylko autor widzi ich praktyczną implementację, poprzez stosowanie autorskiego komputerowego systemu diagnostycznego DIAG 2. Wartościowa jest również inicjatywa badawcza autora w postaci opracowania i wykonania dwóch stanowiska badawczo-laboratoryjne.

Rozprawa doktorska została napisana językiem komunikatywnym, a omawiane zagadnienia przedstawiono w sposób uporządkowany i zrozumiały. Pomimo kilku niedoskonałości strona edycyjna pracy prezentuje dobry poziom i świadczy o znajomości technik składu wydawniczego. Rysunki i tabele są czytelne oraz poprawnie opisane. Numeracja reguł i wzorów oraz odwołania do nich również są zgodne z metodyką pisania pracy. Występujące w rozprawie nieliczne błędy nie wpływają na merytoryczny odbiór przez użytkownika. Poniżej przedstawiam przykładowe niejasności w interpretacji wypowiedzi zamieszczone na stronach:

- str. 20 (wzór 2.1.): objaśnienie zawiera odwróconą symbolikę wejściowego sygnału podawanego do n-tego wejścia elementu Y_n i wyjściowego sygnału diagnostycznego i-tego elementu X_i ,
- str. 36: cyt. „Wykazano, że miara ilości uzyskanej informacji dla elementarnego sygnału czwórkowego I_4 dostarcza 1,262 razy więcej informacji niż sygnał trójkowy I_3 oraz 2 razy więcej informacji od sygnału dwójkowego I_2 ”,
- str. 48: „Zależność (3.10.) wskazuje nie tylko kierunek realizacji procesu wnioskowania, ale określa również trzy etapy niezbędne do określenia oceny stanu obiektu”,
- str. 93: „Wprowadzenie czwartego stanu powoduje wzrost współczynnika rodzaju niezdatności o 68%, z wartości $A_3(t) = 0,41$ do $A_4(t) = 0,69$ i jest on większy od wartości teoretycznej wyznaczonej w rozdziale 2”,
- str. 107: „Wprowadzenie czwartego stanu powoduje wzrost współczynnika rodzaju niezdatności o 67%, z wartości $A_3(t) = 0,40$ do $A_4(t) = 0,57$ i jest on mniejszy od wartości teoretycznej wyznaczonej w rozdziale 2”.

Zaistniały również błędy literowe na stronach:

- str. 4:
 - „ $\varepsilon(e_j) = 0$ – stan niezdatności elementu e_j ,

- $\varepsilon(e_j) = 2$ – stan niezdatności elementu e_j ,
- str. 23: „Schemat klasyfikowania stanów obiektu technicznego w logikach k-wartościowych przedstawiono na rysunku 2.1”,
- str. 26: „ $\{X_{i1}, X\} \cup \{X_{i2}, X_{i1}\}$ - przedział zmian krytycznych wartości cechy sygnału”,
- str. 29: brak zastosowania indeksów dolnych w opisie oznaczeń do rysunku (Rys. 2.4., str. 28),
- str. 43: w tabeli (Tabela 3.3., str. 43) brakuje zaistnienia czwartego stanu zespołu ($W(\varepsilon(E_4))$),
- str. 45: odwołanie do nieistniejącej w pracy tabeli 3.5.,
- str. 82: liczby przy literach powinny znajdować się w ich indeksie zgodnie z oznaczeniami zamieszczonymi na rysunku (Rys. 5.6., str. 82),
- str. 97: „Szczegółowy schemat urządzenia elektrowni słonecznej małej mocy przedstawiono na rysunku 6.3”, a powinien zostać podany rysunek (Rys. 6.2., str. 98),
- str. 105: „Analiza wykresów klasyfikacji stanów przedstawionych na rysunku 6.6.”,
- str. 128: niekompletność spisu rysunków, brak pozycji 6.6. i 6.7.

5. Wniosek końcowy.

Na podstawie przedstawionego do oceny dorobku Pana mgr inż. Dariusza Bernatowicza, którego zasadnicza część stanowi rozprawa doktorska pt. „Zastosowanie cztero-wartościowej oceny stanów w procesie diagnozowania cech eksploatacyjnych złożonych obiektów technicznych” uważam, że:

- 1) obrany zasadniczy cele pracy i naukowe oraz praktyczne zostały osiągnięte, a teza rozprawy została udowodniona w wystarczającym stopniu,
- 2) uzyskano potwierdzenia dla postawionych dwóch hipotez,
- 3) zaistniała samodzielność naukowa w działaniu, umiejętność organizacji planowania i rozwiązywania postawionego problemu badawczego,
- 4) tematyka rozprawy doktorskiej mieści się w obszarze dyscypliny naukowej inżynierii mechanicznej.

Istnieją również uzasadnione przesłanki do stwierdzenia, że Doktorant w czasie realizacji swojej rozprawy doktorskiej osiągnął znaczące rezultaty publikacyjne, opublikował prace

współautorskie w czasopismach indeksowanych w bazie Web of Science oraz w monografii.

Na podstawie przedstawionej opinii stwierdzam, że recenzowana **praca spełnia wszystkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim wszczętym przed 30 kwietnia 2019 roku, w tym względzie obowiązujące przepisy** to: *ustawa z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2017 r., poz. 1789 ze zm.) oraz rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. U. z 2018 r., poz. 261), w związku z art. 179 ust. 1-3 ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r., poz. 1669 ze zm.) i rozporządzeniem Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 20 września 2018 r. w sprawie dziedzin nauki i dyscyplin naukowych oraz dyscyplin artystycznych (Dz. U. z 2018 r., poz. 1818).*

Pozytywnie oceniam przedstawioną rozprawę doktorską pod tytułem „Zastosowanie czterowartościowej oceny stanów w procesie diagnozowania cech eksploatacyjnych złożonych obiektów technicznych” i może ona stanowić podstawę do nadania mgr. inż. Dariuszowi Bernatowiczowi stopnia naukowego doktora nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

Wnioskuje o przyjęcie i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

.....

dr hab. inż. Dariusz Laskowski, prof. WAT