

W P Ł Y N Ę Ł O

dnia 29.04.2022r.
PK/WPI/BU/8/56/2022

Dr hab. inż. Adam Rosiński, prof. uczelni
Politechnika Warszawska
Wydział Transportu
ul. Koszykowa 75
00-662 Warszawa

Warszawa, 25.04.2022 r.

**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 wykonania recenzji jest pismo Rektora Politechniki Koszalińskiej dr hab. Danuty Zawadzkiej, profesor PK z dnia 1 marca 2022 r. o powołaniu na recenzenta rozprawy doktorskiej mgra inż. Dariusza Bernatowicza (zgodnie z Uchwałą nr 16/2022 Senatu Politechniki Koszalińskiej podjętą w dniu 23 lutego 2022 r. o wyznaczeniu dra hab. inż. Adama Rosińskiego, prof. Politechniki Warszawskiej na recenzenta rozprawy doktorskiej przygotowanej przez mgra inż. Dariusza Bernatowicza).

Recenzowana rozprawa doktorska z obszaru nauk inżynieryjno-technicznych (dyscyplina inżynieria mechaniczna) została wykonana w Politechnice Koszalińskiej pod kierunkiem naukowym Promotora dra hab. inż. Stanisława Duera.

2. Treść i zakres rozprawy doktorskiej

Opiniowana rozprawa doktorska zawiera 130 stron. Składa się z: streszczenia (w wersji polskiej i angielskiej), wykazu skrótów i oznaczeń, spisu treści, ponumerowanych rozdziałów (w tym m.in. celu i tezy pracy, celu naukowego, celu praktycznego, hipotezy pracy, zakresu pracy), wniosków i kierunków dalszych badań, bibliografii, spisu rysunków i tabel, spisu załączników (płyta CD zawiera dwa załączniki). Układ pracy nie budzi istotnych zastrzeżeń, a sformułowana teza naukowa jest spójna i logiczna.

Na początku rozprawy doktorskiej Autor w rozdziale pierwszym „Przedmiot, cel i teza naukowa rozprawy” przedstawił problematykę diagnozowania obiektów technicznych. Słusznie rozpoczął od przybliżenia zagadnień dotyczących diagnostyki technicznej, w której to przyjęto dwuwartościową logikę w procesie klasyfikowania stanów (tzn. zdalny – niezdalny). Takie podejście nie jest jednak korzystne w aspekcie odnowy obiektów technicznych. Z tego

też względu następnie przybliżył trójwartościową logikę, w której to uwzględniono stan zdatności częściowej (niepełnej zdatności). Umożliwiło to zwiększenie możliwej do uzyskania informacji diagnostycznej, co jest korzystne z punktu widzenia zarządzania procesem eksploatacji obiektów technicznych. Doktorant zatem słusznie w swoich badaniach dalej rozwijał tę koncepcję, poprzez wdrożenie logiki czterowartościowej w procesie diagnozowania obiektów. Przeprowadzona analiza stanu wiedzy w zakresie diagnozowania obiektów technicznych potwierdza, iż obszar badawczy zawarty w rozprawie doktorskiej, jakim zajął się Doktorant jest ważny, aktualny i potrzebny do zastosowań praktycznych. W wyniku przeprowadzonych rozważań Doktorant sformułował następujący cel pracy:

Opracowanie metody diagnozowania złożonych obiektów technicznych z zastosowaniem czterowartościowej oceny stanów.

Sformułował także następujące dwa pytania badawcze:

Czy istnieje możliwość zastosowania czterowartościowej oceny stanów w procesie diagnozowania złożonych obiektów technicznych.

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

Na podstawie pytań badawczych podał cele naukowe i praktyczne oraz dwie hipotezy pracy. Cele podane przez Doktoranta wpisują się w aktualną problematykę prac naukowych w zakresie określania stanów obiektów technicznych i podejmowaniu decyzji w zakresie zarządzania procesem eksploatacyjnym. Zatem działania podjęte przez Autora należy uznać za zasadne i potrzebne.

W rozdziale drugim zamieszczono rozważania dotyczące czterowartościowej oceny stanu obiektu technicznego. Doktorant przybliżył zagadnienia związane z problematyką interpretacji stanów obiektu. Korzystne jest też zdefiniowanie reguł dla poszczególnych wyróżnianych stanów, tj. zdatności, niepełnej zdatności, krytycznej zdatności i niezdatności. Doktorant słusznie stwierdza, że „w diagnostyce technicznej problematyka rozpoznania stanu zdatności krytycznej nabiera szczególnego znaczenia, ze względu na fakt określenia elementów konstrukcyjnych znacząco zaniżających efektywność użytkowania obiektu”. Poprzez wprowadzenie klasyfikacji stanów w logice 4 wartościowej możliwe jest uzyskanie poprawy wskaźników niezawodnościowo-eksploatacyjnych, m.in. poprzez racjonalizację działań obsługowych. Ta część rozprawy jest dobrze zrealizowana i jest ona szczególnie istotna z punktu widzenia następnego rozdziału (w którym to zostanie opisana autorska metoda diagnozowania złożonych obiektów technicznych z zastosowaniem czterowartościowej oceny stanów).

Następnie w rozdziale trzecim „Diagnozowanie obiektów technicznych w czterowartościowej ocenie stanu” Autor zawarł informacje z zakresu kolejnych działań jakie należy zrealizować by wnioskować o stanie obiektu technicznego. Jednym z pierwszych działań jest opracowanie modelu funkcjonalno-diagnostycznego i jego dekompozycja. Następnie opisano problematykę wyznaczania zbioru informacji diagnostycznej oraz sprawdzeń diagnostycznych. Istotnym podrozdziałem jest „Klasyfikacja stanów obiektu w procesie wnioskowania”, w którym to Doktorant przedstawił model procesu wnioskowania w czterowartościowej ocenie stanu, wyznaczanie stanu elementów podstawowych obiektu, wyznaczanie stanu obiektu i zespołów funkcjonalnych. Jest to bardzo ważna część autorskich rozważań Doktoranta i jest zgodna z celem pracy.

W kolejnym rozdziale, tj. czwartym pt. „Komputerowy system diagnostyczny DIAG 2” opisano autorski program komputerowy w którym to zastosowano m.in. logikę czterowartościową w procesie diagnozowania złożonych obiektów technicznych. Jest to komputerowa egzemplifikacja opracowanej przez Doktoranta metody, która to została szczegółowo opisana w rozdziale trzecim. Program DIAG 2 został napisany z wykorzystaniem języka obiektowego Java i możliwe jest jego uruchomienie na różnych systemach operacyjnych (niezbędne jest uruchomienie środowiska języka programowania Java JRE). Interfejs graficzny użytkownika jest przejrzysty i przyjazny co ułatwia korzystanie z programu komputerowego przez osoby nie mające specjalistycznej wiedzy z obszaru diagnostyki i eksploatacji. Na podkreślenie zasługuje graficzne przedstawianie schematu funkcjonalno-diagnostycznego na poziomie zespołów funkcjonalnych obiektu technicznego, co ułatwia analizowanie obiektu. Ta część rozprawy jest bardzo dobrze zrealizowana i jest ona szczególnie istotna z punktu widzenia możliwości praktycznego zastosowania opracowanej metody.

Następne dwa rozdziały to praktyczne zastosowanie opracowanej przez Doktoranta autorskiej metody wraz z wykorzystaniem komputerowego systemu diagnostycznego DIAG 2 do:

- diagnozowania systemu sterowania pracą silnika benzynowego o zapłonie iskrowym typu Motronic (zawarte jest to w rozdziale piątym),
- diagnozowania urządzenia elektrowni słonecznej małej mocy (zawarte jest to w rozdziale szóstym).

W obu rozdziałach dla wymienionych powyżej obiektów technicznych opracowano schemat funkcjonalno-diagnostyczny a następnie scharakteryzowano sygnały dla każdego zespołu obiektu. Otrzymane dane pomiarowe wykorzystano do porównania ich z sygnałami wzorcowymi. 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 wyniki jednoznacznie wskazują na zasadność stosowania logiki czterowartościowej, gdyż następuje przyrost dodatkowej informacji diagnostycznej a tym samym możliwe jest podejmowanie korzystniejszych decyzji eksploatacyjnych. Na podkreślenie zasługuje też, iż Doktorant dla obu diagnozowanych obiektów (tj. systemu sterowania pracą silnika benzynowego o zapłonie iskrowym typu Motronic i urządzeń elektrowni słonecznej małej mocy) opracował stanowiska badawczo-laboratoryjne. Jest to istotne nie tylko w aspekcie przeprowadzonych badań naukowych, ale także w kontekście przekazywania wiedzy o nowoczesnych metodach diagnostycznych studentom. Przeprowadzone badania wykazały słuszność rozważań naukowych zawartych w rozprawie doktorskiej, a tym samym celowość podjętej tematyki. Jest to ważne z punktu widzenia praktycznego wdrożenia opracowanej metody. Konceptje badań i uzyskane wyniki z diagnozowania obu obiektów technicznych należy uznać za znaczący wkład Doktoranta w rozważanym obszarze badawczym.

W rozdziale siódmym zamieszczono wnioski i kierunki dalszych badań, które są prawidłowe. Doktorant prawidłowo interpretuje wyniki uzyskane podczas przeprowadzonych badań. Udowodnił też celowość postawionej tezy naukowej rozprawy doktorskiej. Przeprowadzone rozważania dotyczące m.in. opracowania modelu funkcjonalno-diagnostycznego i jego dekompozycji, koncepcji wyznaczania zbioru informacji diagnostycznej oraz sprawdzeń diagnostycznych, przeprowadzenia diagnozowania złożonych obiektów technicznych (zarówno mechanicznego, jak i elektrycznego) potwierdziły postawioną tezę. W dalszej części tego rozdziału podano wnioski naukowe i użyteczne oraz kierunki dalszych badań.

Następnie zamieszczono bibliografię (153 pozycje typu monografie, artykuły, publikacje konferencyjne, polskie i zagraniczne), spis rysunków, spis tabel, spis załączników (tj. płyta CD z załącznikiem nr 1 „Środowisko uruchomieniowe Javy (JDK) w wersji JVM 8 (Windows)” i załącznikiem nr 2 „Komputerowy program diagnostyczny DIAG 2 (wersja demonstracyjna)”). Dobór pozycji bibliograficznych jest trafny, a sposób cytowania prawidłowy. Doktorant wykazał się umiejętnością doboru literatury naukowej, niezbędnej do opracowania tematu rozprawy doktorskiej.

Rozprawa doktorska jest napisana poprawnym językiem z użyciem prawidłowego słownictwa i terminologii technicznej z omawianego obszaru.

3. Ocena merytoryczna rozprawy doktorskiej

Wzrost złożoności obiektów technicznych skutkuje coraz trudniejszą racjonalną decyzją: dalej użytkować obiekt czy też poddać go odnowie. Zatem słusznie Autor zwrócił uwagę na możliwość zastosowania „logiki k-wartościowej (dla $k > 3$) w procesie diagnozowania obiektów technicznych” a w szczególności „logiki czterowartościowej jako szczególny przypadek logiki wielowartościowej”. Tym samym rozprawa doktorska pt. „Zastosowanie czterowartościowej oceny stanów w procesie diagnozowania cech eksploatacyjnych złożonych obiektów technicznych” wpisuje się w obecne działania środowisk badawczych (uczelniach, instytutowych i przemysłowych).

Przeprowadzona analiza stanu zagadnienia w zakresie diagnozowania obiektów technicznych umożliwiła sformułowanie prawidłowych wniosków w tym zakresie, które jednoznacznie wskazują na lukę badawczą i konieczność działań naukowych w tym obszarze. Umożliwiło to sformułowanie celu pracy i postawienie dwóch pytań badawczych, a następnie uszczegółowienie w postaci celów naukowych i praktycznych oraz dwóch hipotez pracy.

W podrozdziale „3 Diagnozowanie obiektów technicznych w cztero-wartościowej ocenie stanu” podano iż „*W metodzie diagnozowania przedstawionej w zależności (3.5) możemy określić, że na wyjściu każdego j-tego elementu $e_{i,j}$, znajdującego się w i-tym zespole funkcjonalnym istnieje sygnał diagnostyczny $X(e_{i,j})$, który jest porównywany z właściwym mu sygnałem wzorcowym $X_w(e_{i,j})$. W efekcie tego działania otrzymujemy wynik sprawdzenia $D(\epsilon(e_{i,j}))$ j-tego elementu podstawowego w i-tym zespole funkcjonalnym*”. Czy korzystne było by dla opracowanej metody zastąpienie wektora rzeczywistego sygnału diagnostycznego i wektora wzorcowego (nominalnego) sygnału diagnostycznego macierzami, tj. odpowiednio macierzą rzeczywistych sygnałów diagnostycznych i macierzą wzorcowych (nominalnych) sygnałów diagnostycznych. Jak wpłynęło by to na zminimalizowanie błędów pomiarowych?

W podrozdziale „3.4. Zastosowanie drzewa decyzyjnego w torze sprawdzeń diagnostycznych” przybliżono zagadnienia dotyczące optymalizacji zbioru sprawdzeń w schemacie sprawdzeń by zlokalizować niezdatności. Zagadnienie to jest złożone, czego świadom jest Doktorant pisząc „*Jednak, w celu wybrania optymalnej permutacji sprawdzeń, należałoby drogą kolejnych prób wykonać wszystkie możliwe ustawienia sprawdzeń. Jest to jednak zadanie niemal niewykonalne, nawet dla obiektów o umiarkowanym stopniu złożoności strukturalnej*”. W rozprawie „*zapropozowano optymalizowanie zbioru sprawdzeń z głębokością wnikania w strukturę obiektu, aż do elementu podstawowego (modułu) za pomocą macierzy diagnostycznej*”. Czy rozważano również inne podejścia w celu wyznaczenia

optymalizacji zbioru sprawdzeń? Czy rozważano wdrożenie różnych metod organizacji procesu diagnozowania?

W rozdziale „4. Komputerowy system diagnostyczny DIAG 2” scharakteryzowano autorski program komputerowy. Korzystając z oprogramowania można „wybrać liczbę stanów oraz przypisany im rozmiar przedziałów zmian. W zależności od wybranej liczby stanów odpowiadające im przedziały zmieniają się według schematu klasyfikacji stanów obiektu dla logiki dwu, trzy i czterowartościowej”. Czy przewidywana jest dalsza rozbudowa programu DIAG 2 w celu zastosowania logiki pięciowartościowej? Czy możliwa jest akwizycja danych z wykorzystaniem innych urządzeń niż zastosowanego w badaniach opisanych w rozprawie doktorskiej? Czy autor w dalszych swoich badaniach planuje zastosowanie sztucznej inteligencji w procesie diagnostycznym i implementację do programu DIAG 2?

W rozdziałach „5. Diagnozowanie systemu sterowania pracą silnika benzynowego o zapłonie iskrowym typu Motronic” i „6. Diagnozowanie urządzenia elektrowni słonecznej małej mocy” opracowano schemat funkcjonalno-diagnostyczny badanego złożonego obiektu, a następnie wyznaczono zbiór sygnałów diagnostycznych. Czy przeprowadzono analizę które sygnały diagnostyczne należy uwzględnić, aby postawić wiarygodną diagnozę?

W rozprawie doktorskiej zaprezentowano autorskie rozważania z zakresu metody diagnozowania z zastosowaniem logiki czterowartościowej do klasyfikacji stanów. Przeprowadzona analiza stanu zagadnienia, a następnie opisanie czterowartościowej oceny stanu obiektu technicznego jest dokładnie i obszernie zrealizowane. Na podkreślenie zasługuje fakt, iż zostały one precyzyjnie przedstawione w formie graficznej, przyjaznej dla czytelnika (także w zakresie komputerowego systemu diagnostycznego DIAG 2). Problematyka zawarta w rozprawie doktorskiej wpisuje się w aktualny obszar badań dotyczących diagnozowania obiektów technicznych. Tym samym działania podjęte przez Doktoranta należy uznać za słuszne a otrzymane wyniki potwierdzają iż opracowaną metodę należy wdrożyć do zastosowań praktycznych.

4. Uwagi ogólne i szczegółowe

Recenzowana rozprawa ma charakter teoretyczno-praktyczny. Do wykonania jej niezbędna była bardzo dobra znajomość zagadnień związanych z diagnozowaniem złożonych obiektów technicznych, a w szczególności z zastosowaniem czterowartościowej oceny stanów. Na podkreślenie zasługuje fakt, iż dla przedstawionych rozważań Autor widzi praktyczne zastosowanie poprzez stosowanie autorskiego komputerowego systemu diagnostycznego

DIAG 2. Cenna jest inicjatywa Autora, który opracował dwa stanowiska badawczo-laboratoryjne.

Rozprawa doktorska jest napisana w dużej części językiem komunikatywnym. Rysunki są czytelne i estetycznie wykonane. Strona edycyjna pracy reprezentuje dobry poziom i świadczy o znajomości techniki składu komputerowego. Drobnym mankamentem są nieliczne błędy edytorskie, ale nie wpływają one znacząco na odbiór treści merytorycznej przez czytelnika. Są to m.in.:

niejasność interpretacji wypowiedzi, np.:

- str. 4: „A(t) - współczynnik rodzaju niezdatności”,
- str. 20: wzór 2.1. oraz objaśnienie „ X_i – wyjściowy sygnał diagnostyczny i-tego elementu, Y_1, Y_2, \dots, Y_n – sygnały wejściowe podawane do n-tych wejść elementów obiektu”,
- str. 28: „Możliwe kierunki zmian stanów badanego obiektu przedstawiono na rysunku 2.4. Wynika z niego, że każdy stan pośredni w logice wielowartościowej dla $k > 2$ posiada dwa kierunki przejścia związane ze średnią intensywnością uszkodzeń μ i średnią intensywnością odnowy λ .”,
- str. 28: „Drugi kierunek dotyczy celowych działań realizowanych na obiekcie odnawialnym w celu doprowadzenia go do stanu zdatności (naprawy).”,

błędy literowe, np.:

- str. 4: „ $\varepsilon(e_j) = 0$ - stan niezdatności elementu e_j ” i „ $\varepsilon(e_j) = 2$ - stan niezdatności elementu e_j ”,
- str. 23: „Schemat klasyfikowania stanów obiektu technicznego w logikach k-wartościowych przedstawiono na rysunku 2.1.”,
- str. 24: „ $\{e_i\}$ ”,
- str. 26: „ $(X_i^1, X) \cup (X_i^2, X_i^1)$ - przedział zmian krytycznych wartości cech sygnału”,
- str. 27: „W przypadku wystąpienia konieczności zbadania więcej niż jednej cechy sygnału wyjściowego Y, ...” i „gdzie: X_i – sygnał diagnostyczny na wyjściu i-tego elementu funkcjonalnego”,
- str. 91: „czujnik spalania stukowego, $e_{3,3}$ ”,
- str. 92: „wylotowy E_4 ”,
- str. 97: „Szczegółowy schemat urządzenia elektrowni słonecznej małej mocy przedstawiono na rysunku 6.3.”,
- str. 102: „układ przetwornika AC/DC E_4 .” (analogicznie też na stronach 104 i 106),

- str. 105: „Analiza wykresów klasyfikacji stanów przedstawionych na rysunku 6.6”,

inne, np.:

- wielu zależnościach (np. wzory 2.1-2.5 i w następnych rozdziałach) stosowana jest w oznaczeniach czcionka pochyła, zaś w tekście rozprawy oznaczenia są zapisane czcionką zwykłą,
- str. 27, dwukrotnie: „ $(-oo', X_i^1) \cup (X_i^1, +oo)$ ”,
- str. 29: brak zastosowania indeksów dolnych w opisie oznaczeń do rys. 2.4,
- str. 42, tab. 3.1: brak zastosowania indeksów dolnych w części oznaczeń wektorów sygnałów diagnostycznych,
- str. 43, tab. 3.3: brak oznaczenia jednego ze stanów zespołu,
- str. 45: powołanie na tabelę 3.5 która nie występuje w rozprawie doktorskiej,
- str. 60,61,69, rys. 4.4 , 4.5 , 4.9: jakość rysunku,
- str. 82: brak zastosowania indeksów dolnych w opisie oznaczeń do rys. 5.6,
- str. 84, tab. 5.1: oznaczenia sygnałów diagnostycznych są niezgodne z przyjętą symboliką w wykazie skrótów i oznaczeń,
- brak w rozprawie doktorskiej rys. 6.4,
- str. 121: pozycje bibliograficzne nr 64 i 66 są tożsame,
- str. 128: brak w spisie rysunków pozycji odnoszących się do rysunków od numeru 6.4.

5. Wniosek końcowy

Mając na uwadze powyższą ocenę zawartości rozprawy doktorskiej mgra inż. Dariusza Bernatowicza pt. „Zastosowanie czterowartościowej oceny stanów w procesie diagnozowania cech eksploatacyjnych złożonych obiektów technicznych” stwierdzam, że tematyka rozprawy doktorskiej mieści się w obszarze dyscypliny naukowej inżynieria mechaniczna. Uważam, że Doktorant wykazał się w swojej rozprawie doktorskiej umiejętnością zaplanowania i rozwiązania postawionego problemu badawczego.

Przyjęty przez Doktoranta zasadniczy cel pracy, jak i cele naukowe i praktyczne zostały osiągnięte a teza rozprawy udowodniona. Uzyskano również pozytywne odpowiedzi na oba pytania badawcze. Także postawione hipotezy w rozprawie zostały jednoznacznie potwierdzone.

Na podstawie przedstawionej opinii stwierdzam, że **praca spełnia wszystkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim wszczętym przed 30 kwietnia 2019 roku, w tym względnie 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. Wnoszę też o wyróżnienie opiniowanej rozprawy doktorskiej, ze względu na jej aspekty merytoryczne oraz praktyczne podejście, które to może być zastosowane w diagnozowaniu złożonych obiektów technicznych.**

.....*A. Rosiński*.....

dr hab. inż. Adam Rosiński, prof. uczelni