

mp. R. P. ITI - 19.06.2023
M. Skon

Prof. dr hab. inż. Dariusz Mazurkiewicz



POLITECHNIKA
LUBELSKA
WYDZIAŁ
MECHANICZNY

Lublin – 12.06.2023

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgra inż. Krzysztofa Szczyrby
pt. „System wizualizacji i diagnostyki pracy urządzeń bazujący
na bezprzewodowej sieci czujników wibroakustycznych
i metodach eksploracji danych”

Podstawą wykonania recenzji jest uchwała numer 49/2023 z dnia 25.04.2023, podjęta przez Radę Naukową Dyscypliny „Informatyka Techniczna i Telekomunikacja” Politechniki Śląskiej, w sprawie wyznaczenia recenzentów rozprawy doktorskiej mgra inż. Krzysztofa Szczyrby.

W ocenie rozprawy przyjęto kryteria wynikające z obowiązującej Ustawy, regulującej postępowania dotyczące stopni i tytułów naukowych.

1. Syntetyczna charakterystyka recenzowanej rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska mgra inż. Krzysztofa Szczyrby pt. „System wizualizacji i diagnostyki pracy urządzeń bazujący na bezprzewodowej sieci czujników wibroakustycznych i metodach eksploracji danych” została napisana na 135 stronach. Składa się ze spisu treści, po którym następuje siedem rozdziałów, uzupełnionych o bibliografię oraz spis ilustracji.

Promotorem rozprawy jest dr hab. Marek Sikora, prof. Pol. Śl., a promotorem pomocniczym dr inż. Łukasz Wróbel.

2. Ogólna charakterystyka rozprawy

Celem realizacji rozprawy było opracowanie systemu diagnostyki maszyn zapewniającego rejestrację danych pomiarowych, jak również ich wizualizację oraz przetwarzanie w celu odpowiedniego wnioskowania realizującego strategię predykcyjnego utrzymania ruchu. Przyjęto założenie, że system będzie przeznaczony do monitorowania węzłów łożyskowych elementów maszyn technologicznych. Cechą odróżniającą system od dostępnych na rynku



rozwiązań ma być kompleksowa realizacja oceny stanu bieżącego i predykcja jego zmiany z wykorzystaniem algorytmów uczenia maszynowego, jak i odpowiednie wnioskowanie o charakterze systemu doradczego. W ramach przeprowadzonych prac badawczych zidentyfikowano podstawowe symptomy diagnostyczne, będące źródłem danych w postaci amplitudy przyspieszenia drgań i temperatury oraz symptomy uzupełniające, niezbędne do tworzenia bardziej zaawansowanych modeli diagnostycznych i systemów ekspertowych.

Realizacja rozprawy miała również na celu potwierdzenie słuszności tezy głównej, którą Doktorant sformułował w następującym brzmieniu: „Możliwe jest opracowanie bezprzewodowego systemu monitorowania drgań zapewniającego efektywną i długotrwałą pracę, pozwalającego na monitorowanie maszyn i urządzeń. Mniejsza, niż jest to w systemach o zasilaniu ciągłym, ilość gromadzonych danych nadal pozwala na budowanie modeli diagnostycznych realizujących zadania predykcyjnego utrzymania ruchu”.

Ze względu na założone przez Doktoranta wymagania techniczne i poszukiwanie przewagi konkurencyjnej nad innymi systemami monitorowania drgań, prace prowadzone również były w kierunku spełnienia następującej tezy pomocniczej: „Czujniki odpowiedzialne za gromadzenie danych dla modeli diagnostycznych realizujących zadania predykcyjnego utrzymania ruchu mogą być zasilane z ogniwa wtórnego wymienianego nie częściej niż raz do roku. Przy czym wymiary gabarytowe ogniwa stanowią nie więcej niż 10% wielkości czujnika”.

Prace opisane w rozprawie zrealizowano w ramach ścieżki doktoratu wdrożeniowego.

Pierwszy rozdział rozprawy to wstęp. Opisano w nim przyczyny podjęcia się realizacji tematu wraz z przedstawieniem wstępnej koncepcji innowacyjnego narzędzia do wsparcia działań utrzymania ruchu. Przedstawiono również strukturę pracy oraz cele jej realizacji.

W rozdziale drugim przedstawiono koncepcję przedmiotowego systemu monitorowania. Zaprezentowano podstawy teoretyczne wraz z typowymi strategiami utrzymania ruchu, uzasadniając jednocześnie, z jakiego powodu i w jaki sposób system opracowany w ramach rozprawy realizuje strategię predykcyjnego utrzymania ruchu. Zidentyfikowano podstawowe i uzupełniające wielkości, które powinny podlegać pomiarom. Przedstawiono założenia całości systemu i koncepcję jego elementów składowych. W ostatniej części rozdziału dokonano analizy dostępnych na rynku systemów realizujących podobne zadania.



W kolejnym, trzecim rozdziale pracy skoncentrowano się na opisie zaprojektowanej warstwy sprzętowej systemu – czujników bezprzewodowych oraz infrastruktury odbiorczej. Opisano bezprzewodowy zintegrowany czujnik drgań i temperatury oraz czujniki ciśnienia, natężenia prądu, wilgotności i prędkości obrotowej. Następnie dokonano analizy bilansu energetycznego czujników, istotnego ze względu na konieczność oszczędzania energii przy zastosowaniu bateryjnego źródła zasilania. Przedstawiono jednocześnie zakładane sposoby redukcji ilości pobieranej mocy. W dalszej części rozdziału przedstawiono zaprojektowaną infrastrukturę odbiorczą, między innymi zaprojektowane transceiver’y radiowe.

W rozdziale czwartym przedstawiono opis warstwy programowej systemu – jej zadania oraz cechy umożliwiające ich realizację. Opisano również strukturę podsystemu zarządzania, odpowiedzialnego między innymi za zarządzanie repozytorium danych telemetrycznych i realizację reguł przetwarzania tych danych. Następnie przedstawiono architekturę modułu analitycznego. Opisano również strukturę interfejsu użytkownika oraz odpowiadający mu sposób komunikacji i wizualizacji wyników z raportów analitycznych.

W rozdziale piątym i szóstym przedstawiono opracowane i wdrożone rozwiązania systemów w praktyce przemysłowej – w zastosowaniu do diagnostyki suwnicy bramowej oraz kruszarki węgla. W obu przypadkach opisano monitorowane obiekty, zdefiniowano problem diagnostyczny, zaprezentowano wdrożony układ pomiarowy, opisano pozyskane zbiory danych, przedstawiono procedury diagnostyczne oraz przebieg zrealizowanych eksperymentów na rzeczywistych obiektach technicznych.

W ostatnim – siódmym rozdziale rozprawy, podsumowano wyniki przeprowadzonych analiz, prac konstrukcyjnych i analitycznych.

3. Ocena doboru tematu rozprawy

Predykcyjne utrzymanie ruchu to strategia, która zaleca podejmowanie decyzji dotyczących konserwacji w oparciu o informacje lub wiedzę uzyskaną z danych zebranych w ramach monitorowania stanu danego obiektu technicznego. Strategia ta składa się z trzech podstawowych działań - pozyskiwania danych pomiarowych, ich odpowiedniego przetwarzania, i wreszcie – podejmowania decyzji w celu zarekomendowania skutecznych działań przeciwdziałających potencjalnym awariom. Stosowane obecnie rozwiązania do



przewidywania awarii opierają się na prognozach, które często nie uwzględniają cech jakościowych opartych na wiarygodnych danych. W rezultacie, tak ważne dla działań wykonawczych, konwersje danych do informacji i danych do wiedzy są nadal fragmentaryczne, niepełne i mało efektywne. Z tego powodu konieczne jest opracowywanie nowych rozwiązań wspierających szybkie i skuteczne przewidywanie i podejmowanie decyzji w oparciu o wiarygodne dane pochodzące z systemów diagnostycznych. Wszystko to stanowi ważne wyzwanie dla efektywnej eksploatacji opartej o wiarygodne prognozy i zarządzania stanem obiektów technicznych z zastosowaniem systemów diagnostycznych.

Efektywne gromadzenie i analizowanie dużej ilości danych eksploatacyjnych jest kluczem do tzw. inteligentnej produkcji i inteligentnego utrzymywania ruchu – filarów Przemysłu 4.0 i ery cyfryzacji produkcji. Biorąc pod uwagę dane zbierane z systemów pomiarowych w postaci szeregów czasowych oraz problemy z jak najlepszym zaprojektowaniem modelu transformacji danych, można zauważyć wagę głównego aspektu analizowanego w rozprawie Doktoranta, jakim jest nowoczesne podejście do technicznego utrzymania ruchu i jego rola w Przemysle 4.0. W założeniach koncepcji Przemysłu 4.0 oczekuje się, że przetwarzanie danych spowoduje ogólne zmiany w produkcji, a upowszechnienie najnowocześniejszych technologii umożliwi stopniowe zwiększanie produktywności. Dlatego ważne jest nie tylko pozyskanie odpowiednich danych, ale także wypracowanie odpowiedniej koncepcji ich analizy, która pozwoli na zastosowanie właściwych metod do wydobycia z nich wiedzy. W tym kontekście dobór tematu rozprawy, akcentowanie w niej aspektów wdrożeniowych oraz wymagań użytkownika końcowego, uznaję za jak najbardziej właściwe i w pełni odpowiadające aktualnym trendom w pracach badawczo-rozwojowych. Zidentyfikowane przez Doktoranta wyzwanie badawczo-wdrożeniowe odwzorowane w celu i tezach rozprawy uważam za właściwie sformułowane i uwzględniające aktualne kierunki prac badawczych, jak i biorące pod uwagę potrzeby przemysłu.

4. Spostrzeżenia i uwagi wynikające z analizy poszczególnych rozdziałów

W ogólnym ujęciu rozprawa napisana jest w sposób spójny i spełniający elementarne wymagania. Doktorant nie ustrzegł się jednak pewnych błędów, niedoskonałości w zakresie prowadzonego wywodu naukowego, czy też dogłębności analizy jego istotnych aspektów, pozostawiając czytelnika z pewnym niedosytem. Rolą recenzenta jest wskazanie takich



niedoskonałości, które powinny pozwolić Doktorantowi na ich skuteczne unikanie w dalszej działalności naukowo-badawczej.

W pierwszej kolejności należy zwrócić uwagę na dość liczne w rozprawie błędy edycyjne, interpunkcyjne, czy stylistyczne. Ich kompletne zestawienie z propozycjami korekty zostało przekazane bezpośrednio Doktorantowi.

Z niezrozumiałych dla recenzenta powodów spis treści ograniczono jedynie do rozdziałów i ich pierwszych podrozdziałów. Np. w spisie treści wymieniono rozdział 3 oraz dwa jego podrozdziały: 3.1 i 3.2. Tymczasem w rozprawie zastosowano podział treści na znacznie więcej podrozdziałów. Np. rozdział 3.1 składa się z podrozdziałów: 3.1.1, 3.1.2, 3.1.3, 3.1.4 oraz 3.1.4.1, 3.1.5 oraz 3.1.5.1, 3.1.6 oraz 3.1.6.1. Pominięto przy tym standardową zasadę podziału tekstu, która mówi, że rozdział musi mieć minimum dwa podrozdziały. Rozdział z jednym podrozdziałem (np. 1 i 1.1, 3.1.4 i 3.1.4.1) nie ma racji bytu. W rozprawie brak jest jej streszczenia w języku polskim i języku angielskim.

Przykładowe błędy stylistyczne, to na między innymi sformułowanie „... przeprowadzone badania przeprowadzono w środowisku¹”. W pracy wielokrotnie używane są pojęcia pochodzące ze slangu przemysłowego lub inne, niezrozumiałe dla czytelnika, np. „awarie *ministrowanych* urządzeń²”. Autor kilkakrotnie błędnie podaje polskie wersję językowe pojęć użytych w języku angielskim, np. SVM – ang. Support Vector Machine to w języku polskim maszyna wektorów nośnych, a nie „maszyna wektorów podpierających³”.

Z niezrozumiałych powodów Doktorant nagminnie i wielokrotnie dla tych samych pojęć podaje ich odpowiedniki w języku angielskim, np. „... w postaci *wiadomości* (*ang. message*)⁴”, czy „... tzw. *wiadomość* (*ang. message*)⁵”. Taki sposób pisania tekstu typowy jest dla podręczników, gdzie kwestie zgodności wersji językowych istotnych pojęć są kluczowe. W przypadku rozprawy doktorskiej i potocznych pojęć nie ma to żadnego uzasadnienia, ani jakiegokolwiek potrzeby.

¹ s100g1 – zastosowane skróty oznaczają str. 100, pierwszy wiersz od góry strony lub np.: s122d11 – jedenasty wiersz od dołu strony 122

² s7g9

³ s25d20

⁴ s24d17

⁵ s58d11



Rozprawa cechuje się również błędnym rozmieszczeniem tekstu i grafik, przez co Doktorant na poszczególnych stronach (np. strony 17, 22, 31, 39 itp. itd.) pozostawił duże luki. Zasadą rozpraw i podobnych im tekstów jest pisanie jednym ciągiem, bez pozostawiania takich pustych przestrzeni. Podobnie, jak zasadą jest umieszczanie podziękowań np. na drugiej stronie, tuż za stroną tytułową, a przed spisem treści, a nie jak to zrobił Doktorant – we wstępie do rozprawy (str. 10).

W tekście rozprawy Doktorant dość swobodnie zongluje różnymi pojęciami, wprowadzając w ten sposób bałagan lub powodując niezrozumienie opisu przez czytelnika. Np. na stronie 36⁶ rozprawy Autor pisze, że „... kolejną wielkością pozwalającą na określenie kontekstu pracy maszyny jest czujnik natężenia prądu”. Czujnik nie jest oczywiście „wielkością”, a jedynie jego zastosowanie pozwala na pomiar danej wielkości fizycznej. Zamiast „kontekst pracy maszyny” raczej powinno być napisane „stanu maszyny” lub „parametrów jej pracy”. W rozdziale 3.1 (pt. Czujniki), Doktorant jednocześnie, stosując zamiennie pojęcia (nie zawsze zgodnie ze stanem faktycznym), pisze o: czujnikach, przetwornikach i czujnikach przetwornikowych – zdaje się mając na uwadze ten sam element układu pomiarowego, oraz już o poprawnie nazwanych przetwornikach analogowo-cyfrowych.

W analogiczny sposób Autor dość swobodnie stosuje skróty myślowe, pisząc np. o „przyspieszeniu drgań⁷”, zamiast poprawnie o amplitudzie przyspieszenia drgań. Wynika to być może z odwoływania się do literatury, która została opublikowana kilkadziesiąt lat temu. Przykładowo, Autor pisze⁸ o „... występowaniu drgań o charakterze szumu szerokopasmowego o niskiej amplitudzie (100-200 mg)”. Wg układu jednostek miar SI *mg* to miligram. Amplituda drgań, to wielkość dotycząca długości, której jednostką podstawową jest metr. W przypadku drgań podajemy również ich okres (w sekundach) oraz częstotliwość (Hz). Rolą autora rozprawy jest nie tylko właściwy dobór bibliografii, ale też jej krytyczna analiza. W tym kontekście dość dyskusyjne jest skorzystanie z 34 stron internetowych, co w spisie 180 pozycji literatury stanowi aż niemal 20% bibliografii. W opinii recenzenta zbyt duża liczba pozostałych pozycji literatury to wydawnictwa mało aktualne, skoro opublikowane w latach 1998 (poz. 21), 2001 (poz. 23), 1980 (poz. 102), 1969 (poz. 143), 1980 (poz. 144), 1979 (poz. 145). Predykcyjne utrzymanie ruchu oraz wykorzystanie w tym celu metod uczenia maszynowego to

⁶ s36d11

⁷ s7d5

⁸ s13d8



zagadnienia, które analizowane w kontekście Przemysłu 4.0, są elementami licznych prac badawczych i rozwojowych, szczególnie o ostatnich latach. Kluczowych w tym zakresie pozycji literatury zabrakło w analizie prowadzonej przez Doktoranta. Podobnie, jak i kompleksowego przeglądu aktualnego stanu wiedzy w analizowanej tematyce, który stanowiłby podstawę dla przedstawionego celu rozprawy i jej tez badawczych. Odrębną kwestią są liczne w spisie literatury pozycje bibliografii z niekompletnymi danymi bibliograficznymi, z błędami edycyjnymi oraz z nieujednoliconym zapisem danych bibliograficznych.

W rozdziale 2.1 omówione zostały strategie utrzymania ruchu (strategie reaktywne, strategie prewencyjne i predykcyjne utrzymanie ruchu), które Autor określa generacjami. Opiera się przy tym na bibliografii z lat 2008-2011, a jedną z kluczowych pozycji literatury jest wydana w 2012 roku przez Fundację Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie monografia pt. „Historia i perspektywa nauk o zarządzaniu”. Jest to dość zaskakujący i jednocześnie mocno dyskusyjny wybór Doktoranta. W rzeczywistości najczęściej w aktualnej literaturze przedmiotu wymieniane są cztery strategie eksploatacyjne: strategia do wystąpienia uszkodzenia (ang. Run to Failure, RTF), strategia prewencyjne utrzymanie ruchu (ang. Preventive Maintenance, PM), strategia utrzymanie na podstawie stanu technicznego – Condition Based Maintenance (CBM) oraz predykcyjne utrzymanie ruchu (ang. Predictive Maintenance, PdM). Wszystkie te strategie są między innymi zawarte w normie PN-EN 13306:2018. Recenzent poleca Doktorantowi lekturę jednej z książek wydanych w 2023 roku przez Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne w serii *Przemysł 4.0*, pt. Strategie i metody utrzymania ruchu.

W rozdziale 2 opisano między innymi czujniki bezprzewodowe, zaprojektowane na potrzeby prowadzonych prac badawczych. Przedstawiony opis pozostawia czytelnika z niedosytem istotnych informacji:

1. Czy istnieją rozwiązania komercyjne podobnych czujników? Jeśli tak, to z jakich powodów nie było możliwe ich wykorzystanie w projektowanym systemie?
2. Dlaczego w rozprawie nie opisano szczegółów badań przeprowadzonych w celu wyboru pasma komunikacji radiowej⁹, i jakie są te wyniki?

⁹ s20g4



Stwierdzono również¹⁰, że warstwę programową systemu oparto o platformę ThingsBoard. Nie przeprowadzono jednak analizy opcji alternatywnych oraz nie podano zastosowanych kryteriów wyboru.

3. Jakie alternatywne rozwiązania dla platformy ThingsBoard były brane pod uwagę? Jakie zastosowano kryteria wyboru?

Rozdział 2.4 zatytułowano „Analiza konkurencji”. Jego sformułowanie jest rodzajem skrótu myślowego, których należy unikać w rozprawach naukowych. W rozdziale tym znalazło się kilka akapitów, których treść wymaga wyjaśnienia lub uzupełnienia:

4. s28d2 – O jakich dwóch uszkodzeniach przekładni jest tu mowa? Chodzi o dwa typy uszkodzeń, czy też uszkodzenie, które wystąpiło dwukrotnie?
5. Rozdział kończy zbyt ogólnikowa konkluzja¹¹. Co konkretnie dla tematu rozprawy wynika z analizy przeprowadzonej w tym rozdziale?

W rozdziale 3 zawarto między innymi podrozdział 3.1.1 zatytułowany „Czujniki wibroakustyczne”. Jego treść wskazuje jednak na to, że bardziej odpowiednim tytułem tego rozdziału byłoby np. „Podstawy teorii drgań i pomiarów wibroakustycznych”. Mimo, że w znacznej części rozdział ten zawiera wiedzę literaturową, Doktorant całkowicie zapomniał o podawaniu źródeł bibliograficznych, z których korzysta. W podrozdziale 3.1.3 opisano czujniki pomocnicze, jakie opracowano w ramach realizacji rozprawy. Istotne w tym kontekście kwestie zostały jednak pominięte w prowadzonym wywodzie:

6. Jeden z zaprojektowanych czujników umożliwia pomiar w zakresie od -55°C do $+125^{\circ}\text{C}$ ¹². Jakie powody sprawiły, że wybrano tak duży zakres, zwłaszcza temperatury ujemnej, niemożliwej do wystąpienia w przypadku diagnozowanych obiektów technicznych?
7. W treści rozprawy Doktorant pisze¹³ o „... dokonaniu krytycznej analizy zastosowanych rozwiązań i wdrożeniu modyfikacji”. Na czym konkretnie polegała ta analiza? Jakie uzyskano wyniki? W jaki sposób i jakie rozwiązania zostały zastosowane w zmodyfikowanej konstrukcji?

¹⁰ s24g8

¹¹ s29d11

¹² s37d5

¹³ s38d9



8. Jakie kryteria zastosowano przy wyborze baterii typu LS-14250¹⁴? Jakie opcje alternatywne brano pod uwagę i co zdecydowało o ostatecznym wyborze?
9. W rozdziale 3.1.5¹⁵, mowa jest o „... pierwszej wersji systemu”. Jakie konkretnie były to wersje? Czym się różniły? Co było podstawą wprowadzanych zmian i udoskonaleń? Z jakiego powodu te istotne kwestie wywodu naukowego zostały w rozprawie pominięte? Na czym polegała „pierwsza wersja systemu monitorowania¹⁶”, i czym różniła się od „rozwiązania bazowego¹⁷”?

W rozwiązaniu będącym efektem realizacji rozprawy zastosowano samodzielnie opracowane elementy, np. czujniki, ale też wykorzystano rozwiązania komercyjne, np. platformę ThingsBoard. W mojej opinii Doktorant zbyt wiele miejsca poświęca opisowi funkcjonalności takich rozwiązań komercyjnych, ograniczając przy tym wywód naukowy w odniesieniu do innych, istotnych aspektów swoich prac badawczych. Podobnie jest w odniesieniu do wiedzy literaturowej. Przykładem jest np. przedstawiony łańcuch reguł aplikacji w jednym z wdrożeń, nie będącym bezpośrednio elementem rozprawy (rys. 29, str. 59).

W rozdziale 4.3, pt. „Repozytorium danych telemetrycznych” (może lepiej by brzmiało: Baza danych telemetrycznych), który zawarto jedynie na połowie strony, zastosowano ogólnikowy, pobieżny opis, przechodząc dość szybko do rozdziału 4.4. pt. „Wizualizacja danych”. Pominięto przy tym niezwykle istotny etap przetwarzania danych. Doktorant pisze tu między innymi, że¹⁸ „... wypracowano spójne zasady prezentacji danych postanowiono, że podstawowym elementem wizualizacyjnym będą plansze”. Takie sformułowania bez opisu i uzasadnienia oraz przedstawienia kompletu założeń technicznych oraz zastosowanych kryteriów jest rodzajem wyboru arbitralnego.

10. Jakie były założenia techniczne dla opracowanego sposobu wizualizacji danych? Jakie zastosowano kryteria wyboru i co było ich podstawą?
11. Jaki był cel zastosowania edytowalnych wartości progów ostrzegawczych i alarmowych¹⁹, skoro w przypadku systemu dla predykcyjnego utrzymania ruchu podaje

¹⁴ s39d8

¹⁵ s41g1

¹⁶ s44g1

¹⁷ s44d9

¹⁸ s60g10

¹⁹ s62g6



się konkretne prognozy będące podstawą dalszego wnioskowania, a nie generuje się sygnałów ostrzegawczych i alarmowych, jak w klasycznych systemach diagnostycznych?

Istotnym obszarem tematycznym poruszonym w rozprawie jest uczenie maszynowe. Metody uczenia maszynowego są z sukcesem wykorzystywane w prognozowaniu awarii w ramach strategii predykcyjnego utrzymania ruchu, a światowa bibliografia w tym zakresie jest niezwykle bogata. Ten aspekt jest poruszany w rozdziale 4.5 pt. „Silnik analityczny”. Mimo, że rozdział ten obejmuje 9 stron tekstu, Doktorant dość pobieżnie opisał istotne zagadnienia analityczne, ponownie nadmiernie koncentrując się na funkcjonalnościach tego elementu struktury systemu. W tym kontekście uzupełnienia lub wyjaśnienia wymagają następujące kwestie, zawarte w poniższych pytaniach:

12. Wg Doktoranta²⁰, „... część z zadań modułu realizowana jest automatycznie, a część wymaga działania analityka danych”. O jakich zadaniach cząstkowych jest tu mowa? Z jakiego powodu zastosowano takie rozwiązania, skoro dobrze opracowany model uczenia maszynowego skutecznie może działać bez konieczności nadzoru lub modyfikacji?
13. Po co wg Doktoranta²¹ konieczne jest prezentowanie użytkownikowi porównań wartości rzeczywistej z jej prognozą, informacji o trafności prognozy, czy wyjaśnień w zakresie przyczyn podjętych działań wykonawczych? W opinii recenzenta użytkownik oczekuje skutecznej prognozy oraz efektywnych działań wykonawczych, najlepiej w opcji bez konieczności nadzoru, a więc z zastosowaniem maksymalnej automatyzacji i autonomicznego działania obiektów technicznych – typowo dla cyfrowej produkcji wg idei Przemysłu 4.0.
14. Co oznacza wg Doktoranta możliwość przyporządkowania wielu modeli prognozowania do jednego czujnika/urządzenia²²? Czy istnieje jakaś relacja pomiędzy czujnikiem pomiarowym a modelem analitycznym predykcyjnego utrzymania ruchu?

²⁰ s62d3

²¹ s64g8

²² s67g11



15. Co oznacza pojęcie „próg prognozy”²³? Czy Doktorant może przedstawić przykłady z aktualnej bibliografii prezentujące w predykcyjnym utrzymaniu ruchu zastosowanie progu prognozy?
16. Wg jakich kryteriów dokonano wyboru metody analizy trendu²⁴? Jakie alternatywne metody brano pod uwagę i na czym polegała przewaga nad nimi wybranego rozwiązania?
17. Co sprawia, że w zastosowanym praktycznie rozwiązaniu²⁵ raport „... nie podaje jednoznacznej sugestii dotyczących czasu, po jakim nastąpi awaria”? Czy w takim razie można to rozwiązanie sklasyfikować jako realizujące strategię predykcyjnego utrzymania ruchu? Czy prognoza momentu wystąpienia awarii może być określona mianem „sugestii”? Czy stosownie do opisu – skoro system nie generuje jednoznacznych sugestii, to w takim razie generuje „sugestie niejednoznaczne” i co to oznacza?

W trakcie przygotowania rozprawy Doktorant opublikował 3 współautorskie artykuły naukowe, w tym dwa w wydawnictwach notowanych w bazie Web of Science. Wg WoS prace te były cytowane w sumie 10 razy. Brak jest autocytowań. Współczynnik H Doktoranta wynosi 1, co nie można uznać, za imponujący wynik. Mimo posiadania dużej liczby ciekawych danych i wyników prac B+R (potwierdzonych 9 cytowaniami jednej z prac), Doktorant dość oszczędnie je rozpowszechniał, nie poddając ich jednocześnie weryfikacji środowiska naukowego. Mam nadzieję, że w przyszłych pracach przyjmie odmienną strategię.

5. Pytania dotyczące rozprawy

Analizując treść rozprawy, można dostrzec kilka zagadnień, które nie umniejszają istotnie jej wartości i pozytywnego odbioru, niemniej jednak warte są wyjaśnienia lub są podstawą twórczej dyskusji naukowej:

1. Prowadząc rozważania na temat trwałości źródła zasilania (rozdział 3.1.5) oceniano czas pracy pojedynczej baterii w zależności od częstotliwości próbkowania. Czy Doktorant nie uważa, że w pierwszej kolejności powinna być dobrana właściwa częstotliwość próbkowania dla obiektu i analizowanego symptomu, a na tej podstawie dopiero może być określony czas pracy baterii? Jak istotna dla projektowanego systemu była

²³ s68g6

²⁴ s76g18

²⁵ s86g1



częstotliwość próbkowania i w jaki sposób wpływała ona na ilość gromadzonych danych, czas ich przetwarzania oraz jakość wnioskowania? Jak wynika z analiz przedstawionych w pracy „Application of selected Levy processes for degradation modelling of long range mine belt using real-time data” (Archives of Civil and Mechanical Engineering 2018; 18: 1430-1440), odpowiednie zastosowanie analizy ryzyka pozwala na znaczne zredukowanie ilości gromadzonych, transferowanych i przetwarzanych danych poprzez dobranie odpowiedniej częstotliwości próbkowania bez utraty jakości prognozy lub klasyfikacji.

2. Co sprawiło, że podczas analizy pracy systemu diagnostycznego suwnicy bramowej, jak i kruszarki węgla, Doktorant nie zdecydował się na przeprowadzenie weryfikacji opracowanej strategii poboru mocy zasilania?
3. W opracowanym systemie diagnostycznym suwnicy (rozdział 5), do określenia procedury diagnostycznej użyto danych z jednej suwnicy, a dane z drugiej suwnicy były wykorzystane do weryfikacji przeprowadzonych badań. Jakich ograniczeń tego sposobu wykorzystania danych z dwóch odrębnych obiektów powinni być świadomi twórcy metody i w jaki sposób ograniczenia te wyeliminowano w prowadzonej analizie?
4. Istotnym dla opracowanego systemu było zgromadzenie odpowiedniej ilości danych, które stanowiły podstawę do wnioskowania. Jak pisze Doktorant: „... uruchomienie metody poprzedza okres zbierania danych²⁶” lub, że „... inicjacja modelu bazowego następuje po zebraniu danych reprezentujących 30 dni pracy urządzenia²⁷”. Czy istnieje jakieś alternatywne rozwiązanie eliminujące problem braku danych historycznych lub ich zbyt małej ilości?
5. W przypadku systemu diagnostycznego kruszarki węgla (rozdział 6), zaproponowano²⁸ procedurę analityczną bazującą na analizie wartości odstających. Na jakiej podstawie dokonano wyboru? Jakie były kryteria wyboru i inne alternatywne rozwiązania, jakie brano pod uwagę? Metoda ta wg Doktoranta miała na celu identyfikację stanów maszyny, a model dodatkowo generuje prognozę, czy kolejny pomiar jest wartością odstającą? Wynika z tego, że prognoza możliwa jest tylko dla chwili $t+1$. Czy to jest wystarczająca wiedza w zakresie prognozy dostępnej z odpowiednim wyprzedzeniem,

²⁶ s97g1

²⁷ S104G7

²⁸ s93g14



pozwalającej na przeciwdziałanie skutkom awarii? Czy nie lepszym rozwiązaniem byłoby zastosowanie metody opisanej między innymi w pracy <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113600>, której autorzy zaproponowali, aby przewidywanie pozostałego okresu użytkowania zostało dokonane za pomocą połączonego wykorzystania maszyny wektorów nośnych (SVM), jako narzędzia do klasyfikacji oraz identyfikacji opartej na metodzie ARIMA, wykorzystując do tego odpowiednio dane bieżące, jak i historyczne?

6. Funkcjonowanie systemów opracowanych przez Doktoranta wymaga znaczącego udziału użytkownika końcowego oraz analityka danych. To użytkownik ma ocenić, czy sygnalizowana anomalia wynika z przesłanek związanych ze zbliżającą się awarią, czy też jest fałszywym alarmem. To użytkownik „... powinien obserwować wzrastające zagęszczenie anomalii²⁹” oraz „... może podjąć decyzję o wyłączeniu modelu z diagnostyki³⁰”. Zadaniem użytkownika jest również „... śledzenie stabilności zmian³¹” oraz „... zinterpretowanie ... rozwijającej się awarii³²”. Taki sposób działania w nadmierny sposób angażuje użytkownika, od którego wymagana jest dodatkowo specjalistyczna wiedza, doświadczenie i kompetencje niezbędne do podejmowania decyzji. Tzw. błąd czynnika ludzkiego jest w tym przypadku dodatkowym czynnikiem ryzyka dla skutecznego działania opracowanych systemów. Znane są przypadki, gdy sygnały alarmowe były wielokrotnie resetowane przez operatora nadmiernie obciążonego innymi obowiązkami, co w konsekwencji prowadziło do katastroficznego uszkodzenia maszyn technologicznych. Z doświadczenia recenzenta wynika, że użytkownik oczekuje rozwiązań eliminujących udział kadr działu utrzymania ruchu, zamiast tego - generujących autonomiczne działania wykonawcze lub zalecenia serwisowe. Jakiego rodzaju rozwiązanie lub sposoby usprawnienia opracowanych rozwiązań przewiduje w tym zakresie Doktorant?
7. Rozprawa kończy się podsumowaniem, w którym brakuje wniosków. Proszę Doktoranta o przedstawienie najważniejszych 3 wniosków poznawczych oraz 3 wniosków

²⁹ s115d15

³⁰ s115d7

³¹ s120d9

³² s120d4



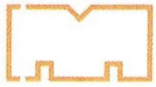
użytecznych wynikających z realizacji prac naukowo-badawczych opisanych w rozprawie.

6. Podsumowanie i wniosek końcowy

Pomijając opisane w recenzji niedociągnięcia i usterki nie wpływające znacząco na ogólny poziom rozprawy, należy stwierdzić, że przedstawiona do oceny dysertacja jest napisana dość poprawnie, realizuje jasno sprecyzowane i merytorycznie poprawny cel badawczy. Autor zweryfikował w sposób teoretyczny i analityczny postawioną tezę oraz osiągnął założony cel. Opiniowana rozprawa jest również opracowaniem o walorach poznawczych i ma charakter pracy naukowej. Jej Autor wykazał się umiejętnością sformułowania tezy i celu badawczego oraz doboru odpowiednich metod rozwiązania zadań naukowych. Doktorant udowodnił ponadto posiadanie umiejętności poprawnego analizowania wyników badań naukowych oraz ich komunikatywnego przedstawiania w formie tabelarycznej, graficznej oraz interpretacji słownej. Doktorant udowodnił również posiadanie wiedzy i kompetencji w stopniu niezbędnym do prowadzenia dalszych badań naukowych. Za szczególne osiągnięcie Doktoranta uznaję przy tym:

- Analizę potrzeb przemysłu ciężkiego w zakresie wdrażania rozwiązań diagnostyki technicznej ukierunkowanej na realizację strategii predykcyjnego utrzymania ruchu oraz zaproponowanie, wdrożenie oraz weryfikację odpowiednich rozwiązań programowych i sprzętowych.
- Opracowanie konstrukcji, wykonanie oraz weryfikację w warunkach przemysłowych bezprzewodowych czujników drgań i temperatury oraz czujników innych wielkości fizycznych jako podstawowego i uzupełniającego źródła danych telemetrycznych.
- Przeprowadzenie prac związanych z optymalizacją poboru mocy z bateryjnych źródeł zasilania oraz opracowanie rozwiązań pozwalających na ograniczenie zużycia energii.

Można zatem uznać, że usterki i niedociągnięcia wymienione w powyższej recenzji w znaczącym stopniu nie obniżają poziomu rozprawy. Z drugiej zaś strony jej pozytywne aspekty i wymienione wcześniej osiągnięcia Doktoranta, pozwalają na stwierdzenie, że przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska magistra inżyniera Krzysztofa Szczyrby pod tytułem „System wizualizacji i diagnostyki pracy urządzeń bazujący na bezprzewodowej sieci czujników wibroakustycznych i metodach eksploracji danych” prezentuje wymaganą ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta w dyscyplinie „Informatyka Techniczna i Telekomunikacja”



oraz dowodzi umiejętności prowadzenia badań naukowych. Przedmiotem rozprawy doktorskiej mgra inż. Krzysztofa Szczyrby jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego oraz oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej, co spełnia wymagania formalne określone w art. 187. Ust. 1 Ustawy z dnia 20.07.2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce wg tekstu jednolitego (Dz. U. 20.01.2020, poz. 85. Uzasadnia to zatem nadanie Kandydatowi stopnia naukowego doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych i dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja. Wnoszę więc o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.

Jonas Munkiewicz