

dr hab. inż. Joanna Domańska  
Instytut Informatyki  
Teoretycznej i Stosowanej PAN  
ul. Bałtycka 5, 44-100 Gliwice

Gliwice, 10 lipca 2023 r.

## **Recenzja rozprawy doktorskiej**

mgr inż. Krzysztofa Szczyrby

pt. "System wizualizacji i diagnostyki pracy urządzeń bazujący na  
bezwolnorodowej sieci czujników wibroakustycznych i metodach  
eksploracji danych"

### **Cel, zakres i charakter rozprawy**

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska została wykonana pod kierunkiem naukowym dr hab. Marka Sikory, profesora Politechniki Śląskiej. Promotorem pomocniczym jest dr inż. Łukasz Wróbel.

Praca doktorska ma wdrożeniowy charakter, co oznacza, że praca badawcza wykonana przez doktoranta ma wymiar nie tylko teoretyczny, ale również praktyczny, wpisując się tym samym w cel wprowadzenia przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego (obecnie Ministerstwo Edukacji i Nauki) programu "Doktorat wdrożeniowy", którym jest intensyfikacja współpracy pomiędzy środowiskiem naukowym a przemysłem.

Rozprawa dotyczy problematyki zapobiegania nieplanowanym przestojom linii produkcyjnych czyli tzw. strategiom utrzymania ruchu. Utrzymanie ruchu odnosi się do działań, które są podejmowane w celu zapewnienia, aby urządzenia w instalacji produkcyjnej były prawidłowo konserwowane i działały optymalnie. Standardowe działania w procesie utrzymania ruchu to identyfikacja źródeł awarii oraz usuwanie jej skutków. Strategia prewencyjnego utrzymania ruchu polega na regularnym przeglądzie i konserwacji urządzeń, celem zapobiegania wystąpieniu awarii. Recenzowana rozprawa doktorska dotyczy predykcyjnego utrzymania ruchu, które jest najbardziej zaawansowanym podejściem, ale wymaga odpowiednich narzędzi do analizy danych oraz monitorowania stanu urządzeń. Strategia ta polega na monitorowaniu stanu technicznego urządzeń i wykonaniu konserwacji/wymiany tylko wtedy, gdy dane wskazują na potencjalne ryzyko wystąpienia awarii.

Celem pracy było przeprowadzenie pełnego procesu projektowania systemu diagnostyki maszyn, obejmującego zarówno warstwę sprzętową, zapewniającą akwizycję danych, jak również warstwę programową, odpowiedzialną za modele diagnostyczne związane z predykcyjnym utrzymaniem ruchu oraz za wizualizację danych. Założeniem autora rozprawy było, aby przedmiotem monitorowania były węzły łożyskowe elementów maszyn. Autor rozprawy założył, że celem utworzonego systemu jest wsparcie

służb utrzymania ruchu w zakładach przemysłowych w procesie podejmowania decyzji dotyczących bieżącej diagnostyki węzłów łożyskowych maszyn oraz implementacja predykcyjnej strategii utrzymania ruchu.

W ramach realizowanego celu pracy autor rozprawy sformułował tezę, która zakłada, że możliwe jest opracowanie bezprzewodowego systemu monitorowania drgań zapewniającego efektywną i długotrwałą pracę pozwalającą na monitorowanie maszyn i urządzeń. Teza zakłada również, że pomimo faktu, że ilość gromadzonych danych jest mniejsza, aniżeli w przypadku systemów o zasilaniu ciągłym, możliwe jest tworzenie modeli diagnostycznych realizujących zadania predykcyjnego utrzymania ruchu.

W ramach nadrzędnego celu pracy doktorant wyróżnił również tezę pomocniczą. Teza ta zakłada, że czujniki odpowiedzialne za gromadzenie danych dla modeli diagnostycznych mogą być zasilane z ogniwa wtórnego (o wymiarach nie więcej niż 10% wielkości czujnika) wymienianego nie częściej niż raz do roku.

## Zawartość rozprawy

Forma drukowana recenzowanej rozprawy obejmuje 135 stron. Praca została napisana w języku polskim i składa się ze wstępu, pięciu rozdziałów, podsumowania pracy oraz wykazu literatury. Tytuł odzwierciedla zawartość pracy, a przyjęty układ pracy jest właściwy.

Wprowadzenie - oprócz motywacji autora do zajęcia się tematyką opisaną w rozprawie - zawiera również poprawnie sformułowaną tezę pracy oraz tezę pomocniczą. Wprowadzenie zamyka szczegółowo opisana struktura pracy. Autor rozprawy numeruje rozdziały wliczając do numeracji Wprowadzenie.

Rozdział drugi zawiera opis zagadnień związanych z problemem utrzymania ruchu. Autor rozprawy omawia podstawowe strategie utrzymania ruchu, koncentrując się na zaletach strategii predykcyjnej. Formułuje wymagania dla warstwy sprzętowej projektowanego w ramach pracy systemu - opisanej szczegółowo w rozdziale trzecim, jak również dla warstwy programowej - opisanej w rozdziale czwartym. W rozdziale tym zawarto również ogólny opis architektury obu warstw oraz analizę konkurencyjnych systemów realizujących podobne zadania.

W rozdziale trzecim zawarto szczegółowy opis warstwy sprzętowej. Autor opisuje czujniki wibroakustyczne, czujniki temperatury oraz czujniki pomocnicze - prędkości obrotowej, natężenia prądu, wilgotności oraz ciśnienia - służące do badania kontekstu pracy urządzenia. Omawia również kwestię energooszczędności zastosowanych czujników. W rozdziale tym opisana jest również warstwa akwizycji służąca do odbioru danych wysyłanych przez czujniki oraz do ich diagnostyki (transceivery radiowe oraz lokalne stacje diagnostyczne).

Rozdział czwarty opisuje warstwę programową (analityczno-raportującą), która zapewnia funkcjonalności związane z zapisywaniem w bazie danych, analizą diagnostyczną, prezentowaniem surowych danych oraz wyników analiz. Opisane zostały poszczególne elementy architektury. Szczególna uwaga została poświęcona modułowi analitycznemu, który realizuje zadania związane z modelami diagnostycznymi (ich tworzenie, wdrażanie oraz utrzymanie). W jego skład wchodzi analityczna baza danych oraz moduł odpowiedzialny za uruchamianie procedur diagnostycznych realizowanych w oparciu o algorytmy ML.

W kolejnych dwóch rozdziałach pracy opisano opracowane i wdrożone w ramach doktoratu metody diagnostyczne. Rozdział piąty opisuje model diagnostyczny suwnicy bramowej. Przedstawiono wdrożony układ pomiarowy oraz opis procedury diagno-

stycznej. Opisano analizę trendu wartości zmiennej diagnostycznej opisującej poziom drgań suwnicy. Przeprowadzono badanie weryfikacyjne wykorzystując inną suwnicę. Rozdział szósty zawiera opis procesu monitorowania kruszarki węgla. Oprócz przedstawienia działania takiej kruszarki oraz wskazania elementu podlegającego najczęstszym uszkodzeniom (łożysko bębna obrotowego), w rozdziale zawarto opis układu pomiarowego oraz opracowanej procedury diagnostycznej opartej na analizie wartości odstających. Zastosowaną metodę (dla przyjętych miar jakości) zweryfikowano wykorzystując zbiory danych pochodzące z systemu monitorowania suwnic.

Podsumowanie pracy zawiera skrócony opis uzyskanych w ramach pracy wyników oraz propozycję dalszych prac związanych z tematyką doktoratu.

Bibliografia zawarta w rozprawie składa się z 180 pozycji. Cytowane w tekście rozprawy pozycje oraz analiza ich zawartości potwierdzają dostateczną znajomość stanu wiedzy doktoranta - związanego z tematyką rozprawy.

## Ocena rozprawy

Rozprawa doktorska dotyczy aktualnych zagadnień związanych ze strategią predykcijnego utrzymania ruchu. Autor rozprawy zaproponował dwa podejścia diagnostyczne dla określonych problemów wdrożeniowych. Metody te opierają się na analizie trendów i badaniu wartości odstających. W obu przypadkach zidentyfikowano odpowiednie zmienne diagnostyczne, opracowano procedury diagnostyczne i stworzono sposób przedstawiania wyników użytkownikowi. Modele te zostały przetestowane na danych z rzeczywistych obiektów: w wybranych węzłach łożyskowych suwnicy bramowej oraz w systemie monitorowania kruszarek węgla w elektrowni węglowej. Ważnym aspektem opracowanej metodyki diagnostycznej jest umożliwienie zrozumienia wyników generowanych przez modele diagnostyczne. W ramach przeprowadzonych badań zaimplementowano metody wyjaśniające, które umożliwiają interpretację decyzji podejmowanych przez model diagnostyczny. W ramach pracy doktorskiej autor rozprawy przeprowadził również optymalizację zużycia energii przez czujniki zasilane z baterii. Zaproponował zarówno układowe, jak i programowe rozwiązania, które pomagają w efektywnym zarządzaniu energią.

Teza pracy oraz teza pomocnicza są oryginalne, a uzyskane i opisane w pracy wyniki potwierdzają ich prawdziwość.

Praca została napisana w sposób przyjazny dla czytelnika, jednakże zawiera liczne niedociągnięcia edycyjne:

- literówki, m.in. "zrachowaniach", "ministrowanych", "obejmującrgo", "sytemu",
- literówki w angielskich nazwach, m.in. "Maitanance", "Managment", "Inteligence", "squer", "Rendom",
- powtórzenia wyrazów, m.in. "z ze zwiększaniem",
- pominięcia wyrazów, m.in. "pozwala podjęcie",
- brak spacji lub jej błędne umieszczenie, m.in. "Poznańskiej1985", "minimum100m", "(ThB)zapewnia", "Ta kjak",
- brak tłumaczeń opisów na rysunkach zaczerpniętych z literatury, m.in. dotyczy to Rys. 1.

Niektóre błędy natury technicznej mogą prowadzić do pogorszenia czytelności rozprawy. Należy do nich przede wszystkim przeniesienie z rozdziału drugiego do sekcji 5.2.2 i 6.2.1 odniesień do aktualnej literatury odnoszącej się do wykorzystania w zadaniach predycyjnego utrzymania ruchu analizy trendu oraz metodyki identyfikacji wartości odstających. Według mojej oceny, celem zachowania spójności rozprawy, odniesienia te powinny znaleźć się w sekcji "2.4 Analiza konkurencji".

Przedstawione w niniejszej recenzji uwagi i spostrzeżenia nie wpływają na pozytywną ocenę merytorycznej części pracy oraz nie podważają dobrej oceny umiejętności autora do poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników.

Oczekuję jednakże od doktoranta ustosunkowania się do poniższych uwag podczas publicznej obrony pracy doktorskiej:

- doktorant przyznaje, że system opisany w rozprawie był budowany przez zespół kierowany przez niego; wyszczególnia (na str. 7 rozprawy) elementy tego systemu:
  - warstwa fizyczna (bezprzewodowe czujniki),
  - warstwa transmisji danych (transceivery radiowe oraz lokalne stacje diagnostyczne),
  - oraz warstwa programowa (repozytorium, moduł analityczny, platforma prezentacja surowych danych i wyników);

Według mojej oceny brakuje w pracy wyraźnego wyszczególnienia, które elementy tworzonego systemu są autorstwa doktoranta, a które realizowane były w większym zespole kierowanym przez niego. W szczególności ważne jest to w kontekście modułu analitycznego.

- doktorant używa w pracy podziału strategii utrzymania ruchu na obsługę awaryjną (Breakdown Maintenance), prewencyjną (Preventive Maintenance) oraz predycyjną (Predictive Maintenance). Jest to podział bardzo często spotykany w literaturze, jednakże zabrakło mi w pracy wspomnienia o strategii utrzymania na podstawie stanu (Condition-Based Maintenance) jako najbardziej zbliżonej do utrzymania predycyjnego.
- doktorant wspomina w rozprawie, że wybór metody bazującej na trendach podyktowany był wymaganiami klienta, który w swoim systemie SCADA prowadził już proste analizy trendów dla kluczowych z monitorowanych parametrów suwnicy. Czy gdyby doktorant nie był zmuszony kierować się wymaganiami klienta, to wybrałby inną metodę?

## Wnioski końcowe

Mgr inż. Krzysztof Szczyrba przedstawił rozprawę doktorską zawierającą oryginalne rozwiązania w zakresie predycyjnego utrzymania ruchu. Niezaprzeczalną zaletą jest fakt, że opracowany system został wdrożony w wielu, wyszczególnionych w rozprawie, zakładach przemysłowych. Wdrożenia te pozwoliły na weryfikacje obliczeń teoretycznych m.in. dotyczących poboru energii przez czujniki.

Rozprawa doktorska dotyczy ważnego problemu oraz stanowi wartościowe osiągnięcie naukowe Autora. Dysertacja doktorska powinna również potwierdzać ogólną teoretyczną wiedzę Doktoranta w danej dyscyplinie oraz umiejętność samodzielnego

prowadzenia pracy naukowej. Wg mojej opinii przedstawiona do recenzji praca spełnia wymienione wymagania.

Biorąc pod uwagę powyższe stwierdzam, że niniejsza rozprawa spełnia wymogi ustawowe stawiane pracom doktorskim w *dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja*, określone w art.13.1 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. 2017 poz. 1789) i wnioskuję o dopuszczenie Autora rozprawy do publicznej obrony.