

prof. dr hab. inż. Dariusz Mikielawicz, czł. koresp. PAN
Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Okrętownictwa
Instytut Energii
Zakład Systemów i Urządzeń Energetyki Ciepłej
80-233 Gdańsk, ul. Narutowicza 11/12
tel. +58 347 2254
email: Dariusz.Mikielawicz@pg.edu.pl

Gdańsk, 7 października 2024 r.

R E C E N Z J A

pracy doktorskiej mgr inż. Przemysława Rumina pt.
"Wspomaganie utrzymania i obsługi taśmociągów za pomocą sztucznej inteligencji oraz wydajnych algorytmów analitycznych"

wykonana na podstawie zlecenia pismem RIE-BD.512.30.2024 z dnia 8 sierpnia 2024 r.
Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo, Energetyka
Politechniki Śląskiej, prof. dr hab. inż. Andrzeja Rusina, zgodnie z uchwałą Rady Dyscypliny
Inżynieria Środowiska, Górnictwo, Energetyka z dnia 11 lipca 2024 r.

Promotorem rozprawy jest prof. dr hab. inż. Janusz Kotowicz.

1. Przedmiot rozprawy

Przedstawiona do recenzji praca pod tytułem „Wspomaganie utrzymania i obsługi taśmociągów za pomocą sztucznej inteligencji oraz wydajnych algorytmów analitycznych” dotyczy identyfikacji i analiz procesów związanych z efektywną i optymalną pracą taśmociągów wystawionych na bardzo wymagające warunki pracy, w których potrzebne jest określenie kryteriów obsługi tych taśmociągów oraz realizacja remontów. Praca jest monograficznym ujęciem tego skomplikowanego zagadnienia, które ma szerokie zastosowanie w transporcie materiałów na duże odległości. Praca realizowana była w ramach doktoratu wdrożeniowego.

Uważam, że w dobie daleko posuniętej automatyzacji przesyłu wystawionego na wymagające warunki pracy podjęta tematyka jest ważna, została właściwie wybrana i posiada do rozwiązania zagadnienia, które poza aplikacyjnym charakterem mają także aspekty naukowe. Temat rozprawy został w pełni zrealizowany co pozwoliło na uzyskanie założonego w pracy celu.

Praca liczy 140 stron, włączając w to załączniki, spis rysunków, spis tablic oraz streszczenia w języku polskim i angielskim. Bibliografia opiera się na 101 pozycjach literaturowych z czego zawiera 3, w których współautorem jest Doktorant.

We **wstępnym rozdziale** do pracy czytelnik wprowadzony jest do tematyki ogólnej związanej z charakterystyką pracy taśmociągu w skomplikowanych terenowo warunkach pracy, z podziałem na zagadnienia związane z samą taśmą jak i krążnikami zabezpieczającymi właściwą geometrię przesuwu taśmy oraz odpowiednie podpory. Autor omawia przeprowadzoną przez siebie ankietę wśród projektantów, osób zajmujących się

obszarem badań i rozwoju tego typu instalacji oraz osób zajmujących się wsparciem klienta, w tym obsługą istniejących instalacji. Badania te przekonują do konieczności posiadania wymaganej wiedzy na temat eksploatacji taśmy transmisyjnej, które prowadzą do zebrania wiedzy w obszarze możliwości wykrywania awarii na wczesnym etapie. Przeprowadzone badania również wskazywały na kluczową rolę krążników, których awaria przyczynia się do zatrzymania pracy całej taśmy. Omawia budowę taśmy jak również klasyfikację występujących awarii w wyniku awarii taśmy. Na zakończenie rozdziału przedstawia cel pracy, którym jest rozwój narzędzi służących do przewidywania awarii, a co za tym idzie optymalizacji pracy przenośnika. Wspomina również, że tematyka opisana jest w taki sposób, aby nie naruszać własności intelektualnej ani tajemnicy przedsiębiorstwa. Jak zauważyłem w dalszej części lektury pracy jest to wyraźne ograniczenie przedstawienia warsztatu naukowego, przedstawiające pewną trudność w zrozumieniu przez Czytelnika całości pracy.

W rozdziale drugim Doktorant omawia aspekty związane z powiązaniem pracy z Przemysłem 4.0, w którym wykorzystywane są nowoczesne techniki komputerowe do opisu, analizy i konkludowania w zakresie opracowania modelu geometrycznego w postaci cyfrowego bliźniaka. Należy pamiętać, że wybrana do opracowania optymalizacja pracy przenośnika jest zagadnieniem szczegółowym, nie mającym zbyt wielkiego zaplecza literaturowego. Mimo wszystko Doktorant w tym rozdziale przytacza szereg prac, zarówno krajowych jak i zagranicznych. Prace dotyczą aspektów ekonomicznych pracy przenośników, rozszerzenia analizy ich pracy o szereg parametrów mających znikomy wpływ na pracę przenośnika, prace opisujące pracę przenośnika taśmowego w oparciu o konwencjonalne podejście. Wszystkie te prace są umiejętnie podsumowane.

W rozdziale trzecim przedstawione zostały aspekty związane z rozpatrywanym przenośnikiem. Przedstawiona została geometria rozpatrywanego przenośnika z podziałem na sekcje, usytuowaniem przestrzennym oraz schematem ogólnym przedmiotowego przenośnika.

W rozdziale czwartym przedstawiono procedury zbierania danych. Przed pracami Doktoranta były one zbierane w czasie rzeczywistym, co uniemożliwiało analizy pracy przenośnika w dłuższych okresach. Opisano modyfikacje w zbieraniu danych, które umożliwiły analizy danych w dłuższych okresach czasu. Przedstawia procedurę zarządzania danymi przesyłanymi z instalacji i omawia agregację danych. Korzysta w opisie z bardzo specjalistycznego języka, który dla osoby postronnej może być niezrozumiały.

W rozdziale piątym przedstawione jest tworzenie modelu przenośnika w oparciu o budowę instalacji za pomocą cyfrowego bliźniaka. Koncepcje przedstawione są schematycznie oraz opisane słownie. Jest to pewnego rodzaju niedoskonałość pracy, gdyż pokazana wizualizacja nie umożliwia odtworzenia sposobu zaprojektowania rozpatrywanej konstrukcji ani analizy poprawności. Przedstawione są słownie elementy modelujące geometrię przenośnika, ale bez szczegółów. Stawia to pod wątpliwość stosowność wyodrębniania niniejszego rozdziału jako osobnego, gdyż poza wizualizacją elementów przenośnika nie zawiera on wyodrębnionej nowości.

W rozdziale szóstym dotyczy modelowania analitycznego przenośnika. Przedstawiony jest wzór ogólny dotyczący wyznaczenia oporu całkowitego sekcji przenośnika. Niestety poszczególne elementy jego modelowania są tajemnicą przedsiębiorstwa i nie zostały przedstawione w pracy. Doktorant przedstawia rozwiązanie zagadnienia w oparciu o normy DIN oraz specjalistyczne procedury, które są tajemnicą przedsiębiorstwa. Wynika stąd, że głównym wkładem naukowym Kandydata jest kompilacja osiągalnej wiedzy w zakresie przenośników i opracowanie autorskiego algorytmu postępowania dotyczącego wyznaczania naprężenia taśmy oraz przesunięcia taśmy na łukach. W ramach prac nad optymalizacją modelu Doktorant zaproponował mechanizmy pozwalające na parametryzację modelu oraz wyznaczanie naprężeń i przesunięć taśmy w dowolnych miejscach przenośnika. Są to

zdecydowanie zagadnienia trudne do kompleksowego opisanie i wartościowe z punktu analizy pracy przenośnika.

W rozdziale siódmym przedstawione są metody dopasowania modelu analitycznego do rzeczywistych instalacji celem modelowania założonych wskaźników, tj. sił, oporów i naprężeń w pracy przenośnika. Do celu dopasowania wielkości obliczonych i zmierzonych wykorzystano metodę gradientową.

W rozdziale ósmym omówiono tzw. architekturę systemu, przez którą Doktorant rozumie szereg decyzji projektowych oraz organizację i zachowanie wszystkich elementów systemu informatycznego. Architektura systemu składa się z pięciu warstw, omówionych w rozdziale. Jest to dwustronicowy rozdział, który w mojej ocenie mógłby być połączony z siódmym i dziewiątym.

W rozdziale dziewiątym przedstawiony jest przepływ informacji między bliźniakiem cyfrowym a instalacją. Jest to rozdział trzystronicowy, który uważam, że nie powinien być wyodrębnionym z całości pracy.

W rozdziale dziesiątym przedstawione są obliczenia wykonane za pomocą rozwiniętego w pracy modelu. Przedstawione są obliczenia przewidywanej mocy silników, ryzyka obrotu taśmy oraz naprężeń na przenośniku. We wszystkich przypadkach uzyskano niezłą zgodność jako wynik uczenia maszynowego opracowanego modelu. Analizowano także czas życia krążników oraz identyfikacje tych, które wymagają wymiany.

Rozdział jedenasty to podsumowanie wyników pracy oraz wnioski.

Należy stwierdzić, że struktura pracy jest typowa dla prac kwalifikacyjnych. Konstrukcja pracy tworzy logiczną całość i jest przejrzysta oraz czytelna. Niemniej, jak zaznaczyłem w opisie, w pracy są rozdziały dwu i trzystronicowe, co nie przyczynia się do jej rekomendowanej struktury. Pozytywnie ocenić należy proporcję ilości stron pracy poświęconych przeglądowi literatury i części badawczej - część badawcza ma ponad dwukrotnie większą objętość. W pracy przeanalizowano 101 pozycje literaturowe co dało wystarczająco szeroki widok na podjętą tematykę pracy.

2. Tezy badawcze pracy

Doktorant w swojej pracy nie stawia bezpośrednio tez badawczych, lecz dopiero w podsumowaniu konkluduje, że potwierdzono tezę, iż „... istnieje możliwość stworzenia mechanizmów wspomagających utrzymanie przenośnika poprzez wprowadzenie modelu przenośnika, powiązanych z nim obliczeń analitycznych uzupełnionych o metody uczenia maszynowego.” Jak widzimy zdanie to nie jest do końca stylistycznie poprawne, niemniej potwierdza aspekty poruszone w przedstawionej do oceny pracy. Problem naukowy rozwiązany z pracy jest związany z opracowaniem modelu przenośnika taśmowego w celu wyznaczenia sił działających na przenośnik, opory przesuwu oraz naprężeń w pracy przenośników. Umożliwiło to wyznaczanie przewidywanej mocy silników, ryzyka obrotu taśmy oraz naprężeń na przenośniku.

Zakres prac spełnia oczekiwania stawiane pracom kwalifikacyjnym, czyli w pełny sposób wprowadza czytelnika w zagadnienia pracy przenośników taśmowych, przedstawia ich dogłębną analizę za pomocą posiadanych badań pomiarowych oraz analiz wykonanych za pomocą własnego modelu wykorzystującego uczenie maszynowe, formułując zalecenia do ich konfiguracji.

Doktorant wykazuje wypełnienie nakreślonego zakresu prac i dokumentuje je wynikami obliczeń.

3. Oryginalność pracy

W mojej ocenie oryginalne osiągnięcia pracy to:

1. opracowanie algorytmu pracy przenośnika taśmowego do transportu materiałów na duże odległości w terenie o mocno zróżnicowanej architekturze terenu, ze szczególnym uwzględnieniem możliwości wyznaczania sił działających na przenośnik, opory przesuwu oraz naprężeń w pracy przenośników,
2. stworzenie modelu, w oparciu o uczenie maszynowe, który umożliwia przeprowadzenie analiz związanych z siłami działającymi na przenośnik, opory przesuwu oraz naprężenia w pracy przenośników,
3. Przeprowadzenie obliczeń parametrów pracy przenośnika taśmowego.

4. Wartości użytkowe pracy

Przedstawiona do oceny praca doktorska charakteryzuje się bardzo dużymi wartościami użytecznymi, gdyż zagadnienia poruszane w pracy dotyczą rzeczywistych przenośników taśmowych pracujących w bardzo zróżnicowanym terenie. W takich przypadkach nie ma w pełni opracowanych modeli takich przenośników. Ogromna wiedza techniczna jest zgrupowana w firmach produkujących oraz eksploatujących tego typu przenośniki. Zaproponowane narzędzia badawcze w postaci modelu powstałego o uczenie maszynowe umożliwiają dogłębną analizę takich układów. Przeprowadzone analizy dotyczące wpływu sił działających na przenośnik, opory przesuwu oraz naprężeń w pracy przenośników wzmacniają jakość przedstawionych analiz. Niemniej każde kolejne zastosowanie wymaga opracowania kolejnych dedykowanych algorytmów obliczeniowych. Nie zostało to potwierdzone w pracy jaką klasę projektów można analizować. Nie jest więc możliwe stwierdzenie, że stworzono narzędzie ogólne. Do każdego nowego przypadku potrzebna jest praca zamodelowania całej instalacji. W pewnym stopniu pomaga w tym lektura całości pracy, która niestety nie może być potraktowana jako podręcznik przy modelowaniu przenośników taśmowych ze względu na fakt, że duża ilość informacji nie mogła być ujawniona ze względu na własność intelektualną firmy. Projektowanie tego typu elementów instalacji bez wiedzy, która została przedstawiona przez Doktoranta wymaga dużego doświadczenia, które nabywa się latami analizując podobne przypadki. Dodatkowo brak takiego doświadczenia prowadzi do ułomności w modelowaniu oraz przewymiarowania lub niewłaściwej pracy modelowanych urządzeń, a co za tym idzie błędnego oszacowania ekonomicznego.

5. Uwagi krytyczne i dyskusyjne do pracy

Przedstawiona do oceny praca wskazuje, że Doktorant posiada wiedzę i potrafi ją przedstawić w formie rozwiązanej zadania badawczego. Jest to niezwykle istotne dla ośrodków szkolnictwa wyższego i spełnia aktualne wymagania i oczekiwania przeprowadzonej reformy szkolnictwa wyższego. Praca jest ciekawa i wpisuje się w aktualne trendy naukowe związane z wprowadzaniem uczenia maszynowego do analiz skomplikowanych zagadnień. W mojej opinii praca jest wartościowa, niemniej jej oryginalność jest ograniczona do zagadnień indywidualnych przenośników taśmowych. Wykazuje bardziej aspekty aplikacyjne tego typu układów. W przedmiotowej pracy wykorzystane zostały elementy uczenia maszynowego do modelowania zachowania się przenośników taśmowych. Doktorant wykorzystał posiadaną bazę pomiarów eksploatacyjnych analizowanego przenośnika do opracowania stosownego narzędzia decyzyjnego. Przedstawiona analiza stanowi istotny wkład do problematyki projektowej i eksploatacyjnej związanej z rozwojem i przewidywaniem awarii przenośników

taśmowych. Ogólna ocena pracy przez recenzenta jest więc pozytywna. Praca porusza ważny problem i przedstawia wartościowe rezultaty.

Praktycznie trudno znaleźć mankamenty merytoryczne pracy, jeżeli przyglądamy się wynikom obliczeń i analiz. Niemniej nie ułatwia lektury pracy fakt, że Doktorant ukrywa dużo interesujących informacji pod tajemnicą firmy lub prowadzi wyjaśnienia zastosowanych metod w sposób bardzo lakoniczny i specjalistyczny (praca jest w dyscyplinie inżynieria środowisk, górnictwo i energetyka, także pojęcia i narzędzia informatyczne powinny być bardziej przystępnie opisane). Praca napisana jest poprawnym językiem, z wykorzystaniem właściwej terminologii. Na uwagę zasługuje niezła strona edytorska pracy, ale autor nie uchronił się przez uchybieniami językowymi i literówkami.

Kwestie, które chciałbym wyjaśnić z Doktorantem dotyczą następujących kwestii:

1. Jakie są możliwości uogólnienia wyników otrzymanych z opracowanego modelu. Czy można byłoby analizować inny przenośnik taśmowy z innej lokalizacji? Proszę o podane stosownych wyjaśnień.
2. Doktorant w swojej pracy wykorzystał metodę regresji z wektorem wspomagającym (SVR) w uczeniu maszynowym? W mojej opinii opis tej metody mógłby być bardziej przystępnie wyjaśniony czytelnikowi, wraz z właściwymi interpretacjami na rys. 10.1. Proszę o bardziej przystępne wyjaśnienie tej metody wraz z pokazaniem odpowiednich wielkości na rys 10.1. Na rys. 10.1 brak jest opisu osi.
3. Otrzymane równanie oporów przenośnika taśmowego ma charakter statyczny. Czy można za jego pomocą analizować stany dynamiczne? Jeżeli tak to w jakim zakresie.
4. Jakim błędem pomiarowym są obarczone wykorzystane do uczenia pomiary? Czy były one zawsze mierzone tymi samymi przyrządami? W jaki sposób błąd pomiarowy jest brany pod uwagę w procesie uczenia maszynowego.

W przewodniku do prac znajdują się nieliczne błędy edytorskie, które pokrótce wymieniam:

- 1) Należy również unikać niepotrzebnych odstępów i nie zostawiać pustych miejsc na stronie jeśli na kolejnej nie zaczyna się kolejny rozdział. W takie puste miejsca można przenieść tekst z innej części rozdziału gdyż opisy tabel i rysunków nie muszą się znajdować tuż nad lub tuż pod nimi.
- 2) Jeżeli tabela nie mieści się na jednej stronie to należy ją podzielić na 2 lub więcej, a najlepiej przenieść do załącznika.
- 3) Str. 16¹¹ – jest „koncertuje się”, powinno być „koncentruje się”
- 4) Str. 18¹⁶ – jest „podjąć”, powinno być „podejść”
- 5) Rys. 3.2, 3.3, 5.3, 5.4, 5.5 powinny być opatrzone źródłem pochodzenia.
- 6) Str. 60⁸ – jest „przenośnika.”, powinno być „przenośnika,”
- 7) Str. 66³ – jest „powprawiania”, powinno być „poprawiania”
- 8) Str. 66¹⁵ – jest „korkiem”, powinno być „krokiem”
- 9) Str. 75¹ – jest „... geometrii posiada...”, powinno być „... geometrii to posiada...”
- 10) Str. 97⁵ – jest „Dystrybuję Weibull”, powinno być „Dystrybucję Weibulla”
- 11) Str. 104₃ – jest „pozycja c”, powinno być „pozycja a”
- 12) Str. 108 – Rys. 10.29 i 10.30 jest „Weibull”, powinno być „Weibulla”
- 13) Pozycje literaturowe [35] i [36] są takie same.

6. Wniosek końcowy

Biorąc powyższe uwagi pod rozwagę stwierdzam, że w moim przekonaniu praca może stanowić rozprawę doktorską. Traktuję ją jako rzeczywisty wkład do teorii modelowania i eksploatacji przenośników taśmowych. Dotyczy ona systematycznych badań numerycznych.

Interpretacja wyników jest przekonywująca, o wysokim poziomie kompetencji Doktoranta. Uzyskane wyniki obserwacji oraz przeprowadzona analiza wyników jest interesująca, ważna zarówno z punktu widzenia poznawczego jak też i praktyki inżynierskiej. Autor przeprowadził rzetelny przegląd literaturowy, analizę posiadanych danych doświadczalnych i obliczenia za pomocą własnego narzędzia numerycznego. Wykazał się umiejętnością analizy wyników badań eksperymentalnych i numerycznych oraz głęboką wiedzą dotyczącą zagadnienia. Ponadto wykazał się dużą samodzielnością w rozwiązaniu postawionego zagadnienia. Uzyskane wyniki budzą zaufanie.

Podsumowując stwierdzam, że w moim przekonaniu, praca spełnia warunki stawiane pracom doktorskim przez Ustawę z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, recenzowana dysertacja może zatem stanowić podstawę do ubiegania się o nadanie stopnia naukowego doktora w dyscyplinie *inżynieria środowiska, górnictwo, energetyka*. Biorąc powyższe pod uwagę, **stawiam wniosek o dopuszczenie pracy mgr inż. Przemysława Rumina do publicznej obrony.**


14.10.2024