

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Marka Sokołowskiego

pt.: *Metoda utrzymania taboru metra warszawskiego przy zastosowaniu predykcyjnego systemu utrzymania taboru kolejowego*

Promotor: prof. dr hab. inż. Marianna Jacyna

1. Informacje ogólne

Recenzja rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Marak Sokołowskiego opracowana została na zlecenie Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Warszawskiej (pismo nr WTBD.521.DR.168.2024 z dnia 30 grudnia 2024) oraz na podstawie dostarczonej rozprawy doktorskiej pod wyżej wymienionym tytułem.

2. Ogólna charakterystyka pracy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska Pana mgr inż. Marka Sokołowskiego liczy 146 stron zwięzłego opracowania wraz ze spisem literatury w liczbie 88 pozycji oraz spisu tabel, rysunków, streszczeń w języku polskim i angielskim. W spisie literatury zawarte są 3 pozycje współautorskie Doktoranta. Rozprawa podzielona jest na 10 rozdziałów merytorycznych oprócz tego zawiera: wprowadzenie, podsumowanie i wnioski oraz bibliografię.

Praca ma charakter teoretyczno-analityczny i dotyczy opracowania koncepcji systemu utrzymania taboru metra w oparciu o elementy diagnostyki pokładowej i predykcji wybranych cech sygnałów diagnostycznych dla przewidywania przyszłych stanów. Autor podjął się opracowania systemu utrzymania pojazdów metra z zastosowaniem diagnostyki wykorzystującej nowoczesną technologię elektroniczną i informatyczną oraz transmisji danych on-line na potrzeby oceny technicznej istotnych dla bezpieczeństwa eksploatacji zespołów pojazdów eksploatowanych przez metro. Założył, że opracowana metoda aktualnego systemu utrzymani wsparta diagnostyką będzie mogła być wykorzystywana we wszystkich pojazdach kolejowych w tym metra, co będzie korzystne, zarówno w obszarze bezpieczeństwa eksploatacji jak też w obszarze ekonomicznym.

Rozprawa napisana jest poprawnym i w miarę precyzyjnym językiem. Układ pracy przejrzysty, podział treści rozprawy na rozdziały i podrozdziały poprawny. Materiały ilustracyjne oraz tabele z wynikami badań zamieszczone w pracy, w sposób właściwy przedstawiają studia Doktoranta, które dotyczą wsparcia systemu utrzymania pojazdów metra diagnostyką.

3. Ocena podjętego tematu rozprawy

Współczesne pojazdy szynowe w tym pojazdy metra, cechują się wysokim poziomem niezawodności, trwałości oraz wymaganiami w zakresie bezpieczeństwa. Obecnie stosowanym system utrzymania tych pojazdów to system planowo-zapobiegawczych napraw, tzw. pzm, który wymusza na użytkownikach (eksploatujących) pojazdów wykonywania czynności obsługowych gwarantujących niezawodną pracę w następnym okresie użytkowania. Eksploatowanie maszyn w tej strategii jest limitowane ilości wykonanej pracy, która może być określana liczbą godzin pracy, liczbą przejechanych kilometrów, liczbą cykli pracy itp. Generalną zasadą w tej strategii jest zapobieganie uszkodzeniom (zużyciowym, starzeniowym) maszyn, poprzez konieczność wykonywania zabiegów obsługowych w oznaczonych limitach wykonanej pracy, przed osiągnięciem granicznego poziomu ich zużycia.

Efektywniejszym rozwiązaniem jest system utrzymania planowo-zapobiegawczy z diagnozowaniem, który pozwala na bieżącą ocenę stanu wybranych zespołów lub elementów on-line lub podczas zabiegów utrzymaniowych. Pozyskane informacje o stanie bieżącym pojazdu (zespołów, elementów), mogą być wykorzystane do prognozowania zakresu ich poprawnej pracy. Informacje te pozwalają również na elastyczne sterowanie procesem utrzymania pojazdów.

W pracy zaproponowany został taki system utrzymania (planowo-zapobiegawczy z diagnozowaniem) wagonów kolejowych metra nazywając go „predykcyjnym systemem utrzymania taboru kolejowego”, mając na uwadze wagony metra. Jako cel rozprawy Autor przyjął opracowanie systemu utrzymania pojazdów kolejowych metra z zastosowaniem nowoczesnych technologii elektronicznych i informatycznych oraz transmisji danych on-line na potrzeby oceny technicznej istotnych dla bezpieczeństwa eksploatacji części elementów pojazdów użytkowanych przez metro.

Autor podjął się niełatwego, ale ważnego zadania związanego z opracowaniem innowacyjnego systemu utrzymania pojazdów metra z wykorzystaniem diagnostyki oraz nowoczesnych systemów pomiarowych, metod analizy sygnałów oraz wnioskowania o obecnym i przyszłym stanie technicznym wybranych elementów taboru metra. Autor przewiduje, że wdrożenie systemu predykcyjnego (planowo-zapobiegawczego z diagnozowaniem) dla pojazdów metra, znacząco poprawi sposób zarządzania eksploatacją pojazdów. Przyniesie to w ocenie Autora rozprawy znaczące korzyści, ale także wymagać będzie odpowiednich zmian organizacyjnych.

Biorąc pod uwagę powyższe stwierdzenia uważam, że wybór tematu rozprawy jest aktualny i istotny dla efektywniejszego i bezpieczniejszego funkcjonowania oraz zarządzania nowoczesną flotą pojazdów metra.

4. Analiza treści rozprawy

Obszar badawczy zdefiniowany przez Doktoranta dotyczy modelu predykcyjnego systemu utrzymania taboru kolejowego metra, który obejmuje zagadnienia związane z cyklem i pozio-

mami utrzymania, w szczególności z procedurami i technologiami systemu planowo zapobiegawczego oraz diagnostyki technicznej.

We rozdziale pierwszy pracy *„Identyfikacja obszaru badawczego – przegląd stanu wiedzy”*, Autor omówił podstawowe pojęcia i definicje stosowane w pracy oraz istotę systemu utrzymania taboru kolejowego w tym jego istotne poziomy utrzymania zdefiniowane przez Rozporządzenie Ministra Infrastruktury. Przedstawiono analizę polskich aktów normatywnych oraz badań realizowanych przez krajowe i zagraniczne ośrodki naukowe w zakresie systemów utrzymania taboru szynowego i diagnostyki, co pozwoliło na wskazanie przez Autora luki badawczej w obszarze utrzymania pojazdów kolejowych metra.

Rozdział drugi *„Cel, teza i zakres pracy”* dotyczy głównie sformułowanego celu i tezy pracy. Celem rozprawy jest opracowanie modelu predykcyjnego, który będzie stanowił narzędzie wspomagania decyzji dla efektywnego systemu utrzymania pojazdów metra warszawskiego. Ma on na celu nie tylko podniesienie bezpieczeństwa realizacji usług przewozowych, ale również efektywne wykorzystanie taboru poprzez zastosowanie odpowiednich narzędzi i metod decyzyjnych.

W związku z powyższym, główny cel pracy jaki zdefiniował Autor jest następujący: *„Opracowanie systemu utrzymania pojazdów kolejowych metra z zastosowaniem technologii elektronicznych i informatycznych dla transmisji danych on-line na potrzeby oceny technicznej istotnych dla bezpieczeństwa eksploatacji części elementów pojazdów użytkowanych przez metro”*. Na podstawie zdefiniowanego celu głównego pracy, Autor zdefiniował również następujące cele cząstkowe które są niezbędne dla osiągnięcia celu głównego pracy:

1. *Analiza dostępnej literatury w zakresie istniejących metod utrzymania taboru kolejowego.*
2. *Analiza i ocena możliwości zastosowania dostępnych technologii elektronicznych i informatycznych.*
3. *Opracowanie modelu predykcyjnego utrzymania taboru kolejowego.*
4. *Weryfikacja i ocena wpływu i skuteczności opracowanego modelu, poprzez przeprowadzenie przygotowanych testów i analiz.*

Zrealizowanie tak zdefiniowanego celu głównego pracy oraz celów cząstkowych, moim zdaniem jest zagadnieniem obszernym i bardzo ambitnym. Wymaga ono podejścia interdyscyplinarnego (elektronika, informatyka, statystyka, niezawodność, bezpieczeństwo, mechanika), oraz wiedzy praktycznej z zakresu budowy i utrzymania taboru metra oraz doświadczenia badawczego. Autor w pełni zdaje sobie sprawę z ogromu zadań, które stają przed nim, ale mając wiedzę merytoryczną oraz doświadczenie i długoletnią praktykę zawodową związaną z utrzymaniu taboru szynowego metra jest w stanie zrealizować postawiony cel pracy.

Przeprowadzona przez Autora analiza literatury wskazała, że stacjonarne systemy planowo zapobiegawcze utrzymania są spotykane zarówno w utrzymaniu infrastruktury jak też taboru. Brak jest natomiast systemów mobilnych tego typu, które obejmowałyby zagadnienie całościowo. Pierwsze prace naukowe obejmujące ten obszar powstały w ostatnich latach i są nowator-

skimi elementami w tej dziedzinie. Modyfikacja, zaproponowana w rozprawie przez Autora, w porównaniu z powszechnie używanymi systemami polega na wdrożeniu systemu parametrycznego dla kluczowych dla bezpieczeństwa eksploatacji elementów pojazdu.

Dlatego główną tezę pracy Autor zdefiniował następująco: „*Stosowanie narzędzi elektronicznych i informatycznych, w tym wnioskowania statystycznego oraz transmisji on-line umożliwia opracowanie efektywnego predykcyjnego systemu utrzymania taboru kolejowego, który zwiększa bezpieczeństwo i efektywność eksploatacji pojazdów oraz ich dostępność, jednocześnie automatyzując i zmniejszając nakład pracy w zakresie utrzymania*”.

Teza pracy sformułowana przez Autora jest poprawna i wynika z przekonania, na podstawie analizy literatury oraz własnych przemyśleń i doświadczeń, że możliwe jest zbudowanie predykcyjnego systemu utrzymania taboru kolejowego metra.

W rozdziale trzecim „*Narzędzia wykorzystywane w proponowanym w rozprawie rozwiązaniu*”, omówione są elementy elektroniczne i informatyczne, narzędzia aparatu matematycznego oraz modele symulacyjne i techniki predykcyjne. Rozdział ten opracowany został w oparciu o dane literaturowe oraz analizę systemów stosowanych w innych rodzajach transportu i nie tylko. Uważam, że rozdział ten jest propozycją i koncepcją wykorzystania znanych rozwiązań w budowie predykcyjnego systemu utrzymania taboru metra. Dla potrzeb prowadzonych badań w rozprawie Autor zaproponował wykorzystywanie określonych narzędzi aparatu matematycznego wśród nich funkcje niezawodności, zawodności oraz intensywności uszkodzeń. Tak zdefiniowane funkcje przez Autora w pracy dotyczą obiektów nieodnawialnych tzn. pracujących do pierwszego uszkodzenia. Natomiast dla obiektów odnawialnych stosowane są inne charakterystyki np.: współczynnik gotowości, czas lub przebieg do pierwszego uszkodzenia, czas lub przebieg między uszkodzeniami na poszczególnych poziomach dekompozycji strukturalnej obiektu itp.

Rozdział czwarty pt.: *Modelowanie symulacyjne a zasady budowy modeli opartych na predykcji*. W rozdziale tym przedstawiona została istota budowy modeli symulacyjnych oraz etapy budowy takich modeli ze szczególnym uwzględnieniem modelu predykcyjnego. Propozycja takiego modelu symulacyjnego zaproponowanego przez Autora pracy, a przedstawiona w postaci schematu na rysunku 4,3 może być wykorzystana do wyboru najlepszego scenariusza utrzymania taboru, a nawet do wyboru parametrów diagnostycznych oraz wartości granicznych. W zaproponowanym modelu symulacyjnym brakuje bloku dotyczącego analizy trendu zmian parametrów diagnostycznych, która jest podstawą opracowania analitycznego modelu prognostycznego, opartego na rzeczywistych danych. Autor zaproponował zespołu ekspertów z danej dziedziny i analityków danych oraz specjalistów w zakresie wykorzystania technologii zastosowanych w modelu predykcyjnym. Na szczególną uwagę zasługuje zastosowanie w modelu sieci neuronowych do analizy sygnałów pod kątem wyboru sygnałów maksymalnie informacyjnych oraz o dużej wrażliwości na zmiany stanu obiektu.

W rozdziale piątym pt.: „*Wymagania funkcjonalne budowy systemu utrzymania taboru kolejowego opartego na modelu predykcyjnym*” Autor zdefiniował i opisał wymagania prawne i organizacyjne wprowadzenia predykcyjnego systemu utrzymania taboru metra i sposobu wykorzystania danych do bieżącego utrzymania stanu zdatności taboru. Jak słusznie zauważył Autor, żeby system predykcyjny mógł efektywnie funkcjonować najważniejszym jest wyposażenie pojazdów w elementy sensoryczne, czujniki i przetworniki i urządzenia pomiarowe, które są niezbędne dla pozyskania informacji o stanie diagnozowanych elementach. Nie bez znaczenia dla diagnostyki, zdaniem Autora, jest blok analizy danych, w którym będą przetwarzane pozyskane dane z podsystemu pomiarowego i wygenerowane decyzje o stanie wybranych elementów pojazdu. Moim zdaniem jest on podstawą każdego systemu diagnostycznego, zgodnie z zasadą: „Jakie dane, jakie algorytmy przetwarzania, taki wynik”

W kolejnym rozdziale szóstym pt.: „*Model predykcyjny utrzymania taboru kolejowego*”, przedstawiony został model, będący najważniejszym elementem rozprawy. Głównym zadaniem opracowanego modelu jest dostarczenie użytkownikom pojazdów metra narzędzia wspomagającego proces eksploatacji poprzez ocenę i predykcję stanu istotnych dla bezpieczeństwa eksploatacji elementów pojazdu. Najważniejszym elementem takiego systemu, jest podsystem parametryczny, czyli podsystem (blok) zbierania i analizy danych oraz system analityczny i predykcyjny oceniający stan elementów oraz pozostały czas eksploatacji. System wykorzystuje dane referencyjne oraz odpowiednie algorytmy do analizy danych pochodzących z różnych czujników i systemów pojazdów, które są następnie przetwarzane i wykorzystywane do przewidywania potrzeb utrzymaniowych oraz optymalizacji procesów eksploatacyjnych. Model ten został szczegółowo opisany a jego istota przedstawiona w postaci algorytmów oceniających poszczególne wybrane elementy pojazdu. Przedstawiony został również opis formalny modelu.

Brakuje mi przykładowych procedur lub algorytmów np.: do wyznaczania progów zdatności i niezdatności (wartości granicznych parametrów), zastosowanych modeli regresyjnych, jakie modele prognostyczne zostały zastosowane, itp.

Rozdział siódmy pt.: „*Procedura metody systemu predykcyjnego – algorytm oraz możliwości implementacji*”. W rozdziale tym opisany został proces algorytmicznego prowadzenia analizy on-line danych otrzymywanych z czujników zamontowanych na pojeździe oraz otrzymywania raportu potwierdzającego o stanie elementów pojazdu oraz oszacowanego zapasu zdatności eksploatacyjnej, która pozwala na optymalizację procesu utrzymania pojazdów kolejowych metra. Na podstawie raportów generowanych z systemu obrazowane są także wszystkie stany podzespołów i elementów poszczególnych pojazdów. Pozwala to na podejmowanie decyzji o ryzyku (zagrożeniu) wystąpienia niepożądanych skutków uszkodzeń podzespołów oraz ewentualnych skutków będących negatywnymi następstwami dla następnych elementów pojazdu.

W rozdziale ósmym pt.: „*Weryfikacja o ocena modelu – case study*” przedstawiono wyniki weryfikacji i oceny modelu. Weryfikację modelu Autor przeprowadził na przykładzie pojazdu typu Inspiro produkcji firmy Siemens dla parametru przyspieszenia drgań zestawu kołowego

oraz temperatury łożnic (obudowy łożyska zestawu kołowego). Weryfikacja wyników była realizowana poprzez porównanie wyników algorytmu (symulacji) z rzeczywistymi obserwacjami, co pozwoliło Autorowi na ocenę dokładności i skuteczności opracowanego rozwiązania.

Wyniki analizy wykazały wysoką zgodność oceny stanu urządzenia z rzeczywistością, co potwierdza poprawność zastosowanego podejścia i modelu obliczeniowego. Prognozowanie przyszłych stanów elementów pojazdu również przyniosło obiecujące rezultaty – uzyskane predykcje odzwierciedlały zmiany w ich zachowaniu były zbieżne z rzeczywistymi wynikami pomiarów. Przeprowadzone badanie zdaniem Autora jednoznacznie wykazały, że opracowany algorytm cechuje się wysoką skutecznością w zakresie oceny bieżącego stanu elementów oraz prognozowania jego stanu w przyszłości.

W rozdziale dziewiątym „Wymogi implementacji systemu w metrze warszawskim”, Autor omówił czynniki, które muszą być spełnione w celu zastosowania opracowanego predykcyjnego systemu utrzymania taboru metra. Wdrożenie systemu predykcyjnego dla pojazdów kolejowych metra znacząco i pozytywnie wpłynie na sposób zarządzania eksploatacją pojazdów. Przyniesie to w ocenie autora rozprawy znaczące korzyści, ale także wymagać będzie odpowiednich zmian organizacyjnych. Najważniejszymi korzyściami z wdrożenia systemu, zdaniem Autora, będzie zwiększenie efektywności utrzymania pojazdów, zwiększenie ich dostępności, automatyzacja części procesu utrzymania i zmniejszenie nakładu pracy na utrzymanie w stanie zdatności pojazdów metra.

Rozprawa została zakończona podsumowaniem oraz wnioskami. Zdefiniowane zostały wnioski końcowe oraz kierunki dalszych badań.

5. Merytoryczna ocena pracy

Autor rozprawy skoncentrował się na opracowaniu koncepcji systemu utrzymania taboru metra w oparciu o elementy diagnostyki pokładowej i predykcji wybranych cech sygnałów diagnostycznych dla przewidywania przyszłych stanów w celu zwiększenia efektywności systemu utrzymania taboru metra.

W pracy zostały przeprowadzone rozważania teoretyczne jak i użytkarckie z zakresu utrzymania i eksploatacji pojazdów kolejowych i metra, diagnostyki technicznej oraz predykcji wybranych cech stanu elementów taboru metra. Głównym problemem badawczym było wykorzystanie systemu parametrycznego dla stworzenia systemu predykcyjnego, który dzięki transmisji danych on-line i ich automatycznej analizie zoptymalizuje system utrzymania taboru, Zdaniem Autora, znacząco zwiększy on dostępność użytkowanego taboru, poprawi poziom bezpieczeństwa eksploatacji pojazdów metra oraz pasażerów, a także efektywność wykorzystania dostępnego parku taboru.

Przeprowadzenie analizy narzędzi i ich możliwości wykorzystania w zaproponowanym modelu systemu utrzymania, przedstawienie istoty modelowania, zdefiniowanie wymagań funkcjonalnych budowy systemu utrzymania taboru opartego na modelu predykcyjnym wymagało od

Autora znajomości dokonań w tym zakresie przez innych badaczy oraz wiedzy o podobnych systemach już istniejących w różnych systemach pojazdów.

Opracowanie modeli decyzyjnych dla systemu predykcyjnego, które uwzględniają różnorodne scenariusze eksploatacyjne, strukturę decyzyjną w zakresie planowania czynności utrzymaniowych ze szczególnym uwzględnieniem optymalizacji procesów utrzymania i oceny zapasu zdolności podzespołów pojazdu kluczowych dla bezpieczeństwa eksploatacji, świadczą o dużej wiedzy Doktoranta z zakresu modelowania procesów eksploatacji.

Uwzględniona została analiza złożoności procesów utrzymania i eksploatacji pojazdów metra, uwzględniając czynniki technologiczne, organizacyjne i prawne, które determinują możliwości wdrożenia nowoczesnych systemów monitorowania stanu technicznego tych pojazdów. Przedstawiona analiza możliwości wykorzystania elementów symulacji w systemie predykcyjnym utrzymania pojazdów kolejowych, jest dowodem na duże doświadczenie zawodowe, które pozwala Doktorantowi na analizę praktyczną zastosowania takiego rozwiązania w eksploatacji wagonów metra.

Na szczególną uwagę w pracy zasługują następujące jej elementy:

1. Opracowanie modelu decyzyjnego dla systemu predykcyjnego, który uwzględnia różnorodne scenariusze eksploatacyjne oraz strukturę decyzyjną w zakresie planowania czynności utrzymaniowych ze szczególnym uwzględnieniem optymalizacji procesów utrzymania i oceny zapasu zdolności podzespołów pojazdu kluczowych dla bezpieczeństwa eksploatacji.
2. Opracowanie algorytmu metody systemu predykcji stanu pojazdów metra, bazującego na analizie danych rzeczywistych on-line oraz zaawansowanych metodach obliczeniowych, takich jak modele Machine Learning i analiza trendów.
3. Zweryfikowanie opracowanej metody na podstawie danych rzeczywistych, co potwierdziło skuteczność algorytmu zarówno w ocenie aktualnego stanu technicznego pojazdów, jak i w prognozowaniu ich stanu w określonych horyzontach czasowych.
4. Opracowanie koncepcji systemu oceny i predykcji stanu pojazdów kolejowych metra, która obejmuje zarówno aspekty techniczne, jak i organizacyjne. System uwzględnia potrzeby operatora metra w zakresie optymalizacji kosztów utrzymania oraz poprawy niezawodności i bezpieczeństwa pojazdów.
5. Opracowanie wytycznych dla wdrożenia systemu w metrze warszawskim, w tym: ogólny harmonogram etapowego wdrożenia, umożliwiający minimalizację ryzyka operacyjnego, Przeprowadzona przez Autora weryfikacja metody potwierdziła jej skuteczność oraz możliwość zastosowania w warunkach rzeczywistych. Wdrożenie systemu zgodnie z jego założeniami pozwoli na zwiększenie efektywności utrzymania pojazdów i jej optymalizację, ograniczenie liczby nieplanowanych uszkodzeń pojazdów oraz optymalizację kosztów operacyjnych zarządzającego flotą.

Moim zdaniem cel pracy został przez Autora osiągnięty. Zaproponowany model decyzyjny dla systemu predykcyjnego, uwzględniający różnorodne scenariusze eksploatacyjne oraz strukturę decyzyjną w zakresie planowania czynności utrzymaniowych oraz opracowany algorytm metody systemu predykcji stanu pojazdów metra został pozytywnie zweryfikowany na danych rzeczywistych w eksploatacji.

Podsumowując ocenę merytoryczną pracy stwierdzam, że jest ona dobrym poziomem i wnosi nowe wartości do rozwoju systemów eksploatacji taboru metra. Na uwagę i pozytywną ocenę zasługują:

- szeroka wiedza Doktoranta dotycząca eksploatacji taboru metra,
- znajomość zagadnień eksploatacyjnych i ich modelowania, diagnostyki technicznej, niezawodności oraz predykcji stanów.
- bardzo dobra znajomość przepisów z zakresu utrzymania taboru kolejowego ich stosowania w praktyce,
- poprawne formułowanie wniosków w odniesieniu do zagadnień szeroko pojętej eksploatacji obiektów technicznych.

6. Uwagi szczegółowe

Podczas czytania i analizy treści rozprawy zauważyłem szereg potknięć edytorskich i merytorycznych, które wymagają komentarza i ustosunkowania się do nich Autora pracy. Do najważniejszych należą:

1. Brak wykazu oznaczeń np. MPDP, LTE, CNSP, BDU itp. – utrudnia to czytanie pracy.
 2. Parametry diagnostyczne (sygnały) były rejestrowane w sposób ciągły czy dyskretny?.
 3. Jakie parametry diagnostycznego sygnału drganiowego były wyznaczane dla określenia stanu elementów układu biegowego pojazdu metra.
 4. Do oceny stanu, jako wartość dopuszczalna stosowana jest transformata FFT → max [jedna trzecia+1/4 amplitudy – proszę wyjaśnić o co chodzi? Która trzecia i ¼ amplitudy jakiej? w określonym paśmie czy poziomym liniowego?.
 5. Autor używa niepoprawnych określeń typu: ocena sprawności zamiast zdatności, bezprzerwowa komunikacja – nieprzerwana komunikacja lub ciągła komunikacja, analiza ryzyka – czego?, kondycji łożysk, chyba stanu łożysk?, ocena kondycji technicznej pojazdu – chyba stanu technicznego pojazdu?, pomiar przyspieszeń i wibracji, czyli czego? itp.
 6. Na stronie 97 Autor pisze: „Z punktu widzenia realizacji rozprawy doktorskiej istotnymi będą dwa typy taboru: lokomotywy oraz wagony towarowe”, a praca dotyczy wagonów metra i weryfikacja modelu też dotyczyła wagonów metra.
 7. System jest zaprojektowany selektywnie (str. 104) – czyli jaki?.
 8. Na stronie 106 Autor pisze: „Jeżeli sygnał nie przekracza 2σ to status oceny jest ok’.
- Mam w związku z tym pytanie o jaki sygnał chodzi i parametr diagnostyczny?.

7. Podsumowanie i konkluzja

Przedstawioną do recenzji pracę oceniam pozytywnie, została ona wykonana na dobrym poziomie merytorycznym. Zawarte w niej treści dotyczą złożonych problemów eksploatacyjnych związanych utrzymaniem pojazdów metra, modelowaniem zagadnień eksploatacyjnych, diagnostyki i predykcji przyszłych stanów pojazdów oraz wnioskowania o bieżącym i przyszłym stanie technicznym pojazdów metra. Doktorant bardzo dobrze orientuje się w problematyce związanej z utrzymaniem pojazdów, zasadami, metodami oraz przepisami w tym zakresie oraz interoperacyjności na kolei w Polsce. Treści merytoryczne zawarte w pracy świadczą o dużej dojrzałości naukowej, wiedzy merytorycznej i praktycznej Doktoranta oraz o Jego umiejętności prowadzenia pracy naukowej złożonych zagadnień technicznych.

Zaprezentowane w rozprawie wyniki badań, opracowany model innowacyjnego systemu utrzymania pojazdów metra z wykorzystaniem diagnostyki oraz nowoczesnych systemów pomiarowych, metod analizy sygnałów oraz wnioskowania o obecnym i przyszłym stanie technicznym wybranych elementów taboru metra, są oryginalnym dorobkiem naukowym Doktoranta. Kandydat potrafi poprawnie rozwiązać i zaprojektować warsztat badawczy, zinterpretować wyniki uzyskane z badań oraz posiada też umiejętność krytycznej oceny własnych dokonań.

Opracowany i zweryfikowany przez Autora model może być wykorzystany w ocenie obecnego i przyszłego stanu pojazdów metra, pozwoli to na efektywne zarządzanie parkiem pojazdów oraz pozwala na wprowadzenie w metrze systemu planowo-zapobiegawczego z diagnozowaniem, a w przyszłości systemu utrzymania wg stanu technicznego.

Biorąc pod uwagę wcześniejsze rozważania stwierdzam, że rozprawa doktorska pt.: "Metoda utrzymania taboru metra warszawskiego przy zastosowaniu predykcyjnego systemu utrzymania taboru kolejowego" mgr inż. Marka Sokołowskiego spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim zawartym w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2024 r., poz. 1571, z późn. zm.).

W związku z tym proponuję Radzie Naukowej Dyscypliny Inżynierii Lądowej, Geodezji i Transportu Politechniki Warszawskiej dopuszczenie jej do publicznej obrony w dyscyplinie Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport.

