

Katowice, 30.08.2022

prof. dr hab. inż. Piotr Czech

Politechnika Śląska
Wydział Transportu i Inżynierii Lotniczej



Recenzja

rozprawy doktorskiej mgra inż. Jacka Makowskiego

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgra inż. Jacka Makowskiego pt.:

Metoda oceny wpływu stanu toru bezстыkowego na możliwość wystąpienia jego wyboczenia,
napisanej pod kierunkiem naukowym dra hab. inż. Jacka Kukulskiego prof. uczelni, oraz promotora pomocniczego dra inż. Piotra Woźnicy.

Recenzję opracowałem na prośbę Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Warszawskiej, dra hab. inż. Konrada Lewczuka prof. uczelni, zgodnie z Uchwałą nr 450/2022 Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Warszawskiej z dnia 07.06.2022 r. w sprawie wyznaczenia recenzentów rozprawy doktorskiej.

1. Uwagi wstępne – wybór tematyki badań, celu i tezy pracy

Transport towarzyszy ludzkości od początku rozwoju cywilizacyjnego. Obecnie to jeden z ważniejszych i najdynamiczniej rozwijających się działów gospodarki, umożliwiający jej sprawne funkcjonowanie i zaspokajanie potrzeb społeczeństwa. W ostatnich latach jesteśmy świadkami jego ogromnego rozwoju i nieustannej modernizacji. Zachodzące zmiany związane są zarówno ze wzrostem zapotrzebowania transportowego, wzrastającymi problemami ich zaspokojenia, jak również ogólnymi wymaganiami narzuconymi przez międzynarodowe czy unijne przepisy i regulacje. Jedną z gałęzi transportu jest transport kolejowy. Bazuje on na przemieszczeniu pasażerów i/lub towarów przy użyciu specjalnie do tego celu

skonstruowanych pojazdów w obrębie specjalnie do tego celu stworzonej sieci. Środki transportu poruszają się tutaj po trasie wytyczonej przez tor kolejowy. Wprowadzenie w ubiegłym wieku toru bezстыkowego dało możliwość komfortowego poruszania się przy znacznie większych prędkościach jazdy. Niestety pojawiły się również nierozwiązane do dziś problemy. Do najważniejszych z nich należy wyboczenie szyn, które jest spowodowane dodatkowymi siłami wzdłużnymi pojawiającymi się wraz ze wzrostem temperatury. Zjawiska te należy bezwzględnie w sposób ciągły monitorować, aby zachować odpowiedni poziom bezpieczeństwa transportowanego ładunku i/lub pasażerów.

W związku z powyższym za cel rozprawy doktorskiej wskazano *opracowanie metody wspomaganie decyzji w procesie utrzymania toru bezстыkowego oraz zachowania się toru bezстыkowego na podstawie przeprowadzonych pomiarów temperatury oraz sił wzdłużnych występujących w tokach szynowych, a także obserwacji wzrokowej toru w różnych warunkach atmosferycznych.*

Żeby zrealizować postawiony sobie cel doktorant określił następujące zadania do wykonania:

- przeprowadzenie pomiarów na odcinku doświadczalnym;
- opracowanie algorytmu postępowania zaproponowanej metody;
- weryfikację możliwości zastosowania i przydatności zaproponowanej metody w formie implementacji, instrukcji i kroków postępowania.

Do pełnego zobrazowania czynności koniecznych do zrealizowania, został precyzyjnie określony następujący zakres pracy:

- wybór odcinka linii kolejowej do badań doświadczalnych,
- wykonanie pomiarów za pomocą przyrządów do pomiaru siły podłużnej i temperatury szyny,
- wzrokowa ocena stanu technicznego badanego odcinka toru bezстыkowego,
- obliczenie siły termicznej jaka występuje w szynie,
- sporządzenie wykresów temperatur szyny i otoczenia oraz siły podłużnej w szynie,
- opracowanie algorytmu postępowania na wypadek możliwego powstania wyboczenia toru bezстыkowego,

- wyznaczenie parametrów dla badanego toru bezстыkowego i ich porównanie z parametrami normatywnymi,
- zdefiniowanie, dla służb technicznych kolei, niezbędnych czynności przeprowadzanych w czasie wizualnej kontroli stanu technicznego toru bezстыkowego, pod kątem możliwego wyboczenia.

Na podstawie założonego celu rozprawy, sformułowano tezę mówiącą, że *opracowanie metody wspomagania podejmowania decyzji w procesie utrzymania toru bezстыkowego, z wykorzystaniem zintegrowanych elementów diagnostyki oraz technologii robót utrzymania pozwala zwiększyć jakość utrzymaniową zapobiegającą jego wyboczeniu.*

Dokonany przez doktoranta przegląd literatury, jak również doświadczenie wynikające z praktyki, jednoznacznie potwierdziły trafność a nawet konieczność przeprowadzenia badań w wybranej tematyce. Należy również zaakcentować fakt, że wyniki pracy mogą bezpośrednio wpłynąć na poprawę aktualnego stanu wiedzy i stosowanej praktyki.

2. Ogólna charakterystyka rozprawy doktorskiej – struktura pracy

Przedstawiona do oceny rozprawa została spisana na 180 stronach. Składa się z części zasadniczej oraz załączników.

Po spisie treści zamieszczono streszczenie oraz słowa kluczowe w języku polskim i angielskim.

Kolejnym punktem rozprawy jest spis oznaczeń zastosowanych w pracy. Został on sporządzony w formie tabelarycznej zawierającej informacje co oznacza dany symbol oraz jednostkę. Dodanie spisu do pracy niewątpliwie ułatwia czytelnikowi proces zaznajamiania się z pracą.

Zasadnicza część rozprawy została podzielona na 9 rozdziałów, gdzie same ich nazwy jednoznacznie wskazują, że podział ten jest logiczny i właściwy.

Pierwszym rozdziałem dysertacji jest *Wprowadzenie*, w którym wyodrębniono 3 podrozdziały: *Uwagi ogólne*, *Stan zagadnienia*, *Sformułowanie obszaru badawczego*. W pierwszej części rozdziału w skrótej formie przedstawiono historię rozwoju transportu kolejowego na świecie. Oprócz samych faktów czytelnik dowiaduje się o przyczynach i skutkach zmian zachodzących w tej materii na przestrzeni kolejnych lat. Następnie przedstawiono genezę podjętej w pracy tematyki badawczej oraz wybrany obszar badań.

Analiza obecnego stanu literatury została zawarta w rozdziale 2. Rozdział ten został podzielony na 4 odrębne części, w których przedstawiono obecny stan wiedzy dotyczący metodologii badania torów kolejowych. W rozprawie zwrócono uwagę na szereg różnego typu badań prowadzonych w krajowych i zagranicznych ośrodkach badawczych, m.in. w: Politechnice Gdańskiej, Politechnice Krakowskiej, Politechnice Warszawskiej, Politechnice Wrocławskiej, Instytucie Kolejnictwa w Warszawie, Instytucie Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk, Volpe National Transportation System Center w USA, firmie VORTOK Ltd. w Wielkiej Brytanii, Koleje węgierskie (MAV), firmę Grontmij Nederland B.V. w Holandii.

Rozszerzeniem przedstawionych treści są informacje dotyczące torów bezстыkowych zawarte w rozdziale 3. Rozdział ten został podzielony na 6 logicznych części. Zawiera szczegółowe informacje dotyczące konstrukcji i eksploatacji toru bezстыkowego, jego układu geometrycznego oraz zjawisk w nim zachodzących, czy też informacji o samej nawierzchni kolejowej.

Wymienione do tego miejsca recenzji rozdziały dysertacji można traktować jako część teoretyczną pracy. Stanowi ona uzasadnienie wybranych w pracy tezy, celu oraz zakresu badawczego. Te właśnie elementy zostały szczegółowo scharakteryzowane w rozdziale 4.

Kolejny rozdział pracy stanowi swoiste kompendium wiedzy na temat przeprowadzonych w trakcie realizacji pracy badań. Został on podzielony na 8 podrozdziałów, w których bardzo szczegółowo scharakteryzowano m.in.: lokalizację odcinka badawczego, konstrukcję toru bezстыkowego na badanym odcinku, proces przygotowania odcinka badawczego do badań, czy też sposoby pomiaru nierówności poziomych i pionowych, syntetycznego wskaźnika stanu toru, oraz temperatury.

Szczegółową charakterystykę obciążenia eksploatacyjnego wybranego do badań odcinka torów można znaleźć w rozdziale 6.

Informacje zawarte w rozdziałach 5 i 6 w pełni charakteryzują obiekt badań jakim jest wybrany odcinek torów bezстыkowych na szlaku Warszawa Wschodnia – Warszawa Centralna. Dają również odpowiedź na pytanie co i w jaki sposób było badane oraz opisują sam sposób przygotowania do badań doświadczalnych.

W rozdziale 7 dysertacji została przedstawiona autorska metoda wspomaganie decyzji w procesie utrzymania toru bezстыkowego. Składa się on z opisu założeń teoretycznych metody, przedstawienia samego algorytmu postępowania oraz szczegółowej charakterystyki parametrów i wartości normatywnych niezbędnych do określenia stanu toru bezстыkowego w zaproponowanej metodzie. Dodatkowo czytelnik znajdzie informacje dotyczące implementacji wyników badań doświadczalnych do zaproponowanej metody oraz implementacji metody w narzędziu stworzonym w środowisku MS Excel. Poprawność działania stworzonej aplikacji została zweryfikowana na kilku przykładach.

Rozdział 8 zawiera wyniki badań doświadczalnych przeprowadzonych przez doktoranta w trakcie realizacji dysertacji. Na początku po krótko scharakteryzowano przyjęte do badań założenia, by w dalszej części przedstawić otrzymane konkretne wyniki badań. Wyniki zostały pokazane w formie tabelarycznej i za pomocą wykresów.

W rozdziale 9 pracy dokonano jej podsumowania. Przedstawiono co zostało zrealizowane przez doktoranta w trakcie badań własnych, jak również uzasadniono realizację celu pracy i potwierdzenie przyjętej tezy. Dodatkowo doktorant wskazał również kierunki możliwych dalszych badań dotyczących tematyki podjętej w rozprawie doktorskiej.

Zasadnicza część dysertacji została zakończona zestawieniem bibliograficznym składającym się ze 104 pozycji. Wskazuje ono pozycje krajowe i zagraniczne, zawierające treści teoretyczne i praktyczne, oraz różnego typu instrukcje i regulacje dotyczące tematyki wybranej w pracy doktorskiej. W literaturze nie zabrakło również pozycji doktoranta.

Rozprawę doktorską zamyka 14 załączników obejmujących 19 stron. Zawierają one: zestawienie uzyskanych wyników i wykresów z pomiaru toru toromierzem elektronicznym TEC 1435, wykresów pomiarowych uzyskanych przy wykorzystaniu drezyny pomiarowej FMK004, wzór arkusza metryki toru bezстыkowego, przykład formularza pełzania toków szynowych, wykresy pełzania toków szynowych na badanym odcinku toru bezстыkowego, kartę dziennika pomiaru przemieszczeń szyn na punktach stałych, wzór arkusza analizy termicznej toru bezстыkowego, arkusz analizy termicznej dla badanego odcinka toru bezстыkowego, obciążenia wzorcowe reprezentujące klasę linii, dopuszczalny wzrost temperatury szyny ponad

temperaturę neutralną na prostej, dopuszczalny wzrost temperatury szyny ponad temperaturę neutralną dla toru położonego w łukach o promieniu wynoszącym $700 \text{ m} \leq R < 100 \text{ m}$, dopuszczalny wzrost temperatury szyny ponad temperaturę neutralną dla toru położonego w łukach o promieniu $500/450/300 \text{ m} \leq R < 700 \text{ m}$, wykaz podstawowych instrukcji związanych z utrzymaniem stanu toru.

Podsumowując charakterystykę struktury pracy, jej kompletności i czytelności, należy uznać spełnienie wymagań stawianym pod tym względem rozprawom doktorskim.

3. Uwagi szczegółowe – merytoryczna ocena

Przedstawiona w dysertacji analiza literaturowa jest przeprowadzona w sposób kompletny i właściwy. Bazując na przedstawionych treściach przede wszystkim nie ulega wątpliwości, że podjęta w recenzowanej dysertacji tematyka badawcza została wybrana na czasie i właściwie.

Po zapoznaniu się z częścią teoretyczną pracy, zawartą w 3 pierwszych rozdziałach, czytelnik nabywa wiedzy dotyczącej historii transportu kolejowego oraz czynników i problemów, których pojawienie się bezpośrednio wpłynęło na rozpoczęcie prowadzenia licznych badań w tej tematyce oraz generalnie na rozwój tej dziedziny transportu. Eksponowaną przede wszystkim tematyką była tematyka dotycząca sedna rozprawy, czyli zagadnienia związane z torem bezстыkowym a szczególnie z występującymi w nim zjawiskami i sposobami ich badania/monitorowania. Wszystko to zostało zrealizowane w taki sposób żeby czytelnik po zapoznaniu się z tymi informacjami w pełni rozumiał istotę podjętego problemu badawczego, jak również nie miał wątpliwości co do praktycznej celowości przeprowadzenia badań w tym zakresie. Warto również zwrócić uwagę na fakt zobrazowania zawartych w tych rozdziałach treści za pomocą własnej dokumentacji fotograficznej sporządzonej przez doktoranta. Niewątpliwie przyczynia się to do łatwiejszego i lepszego zrozumienia przekazywanych treści.

Badania własne zrealizowane przez doktoranta zostały szczegółowo przedstawione w rozdziałach 5–8. Po krótkim, ale treściwym, wprowadzeniu wyjaśniającym podjęte w badaniach problemy występujące w praktyce, następuje część pracy szczegółowo charakteryzująca przygotowanie i realizację podjętych badań.

W pełni należy się zgodzić z poprawnością i przedstawionym uzasadnieniem wyboru konkretnego odcinka toru bezстыkowego leżącego na uczęszczanym szlaku komunikacyjnym łączącym dworzec w Warszawie Wschodniej z dworcem w Warszawie Centralnej. Wybrany odcinek zapewnia dużą częstotliwość ruchu, występowanie zróżnicowanych nacisków na osi przejeżdżających jednostek, oraz zróżnicowanie występujących temperatur wynikających z jego zlokalizowania. Nie bez znaczenia pozostaje również fakt wymiany torów na wybranym odcinku przed przystąpieniem do realizacji badań, co umożliwiło wykonanie baz pomiarowych w szynach bez naprężeń termicznych. Gdyby nie to, badania byłyby niedokładne i niepełne.

Na szczególne wyróżnienie zasługuje szczegółowość przeprowadzonej charakterystyki obiektu badań i sposobu przeprowadzenia badań. Podobnie jak w poprzednich rozdziałach, tutaj również można zapoznać się z wyjątkowo bogatym materiałem fotograficznym sporządzonym przez doktoranta, który znakomicie uzupełnia przekazywane treści. Równocześnie można zauważyć, że doktorant bardzo często w tej części pracy posiłkuje się informacjami zaczerpniętymi z literatury, w tym pozycji o charakterze naukowym, jak i praktycznym. Pomimo iż mamy do czynienia z częścią pracy mogącą być określoną mianem części „własnej” (w przeciwieństwie do wcześniejszej – części „literaturowej”), i należałoby się spodziewać przede wszystkim własnych analiz doktoranta, taką formę należy uznać za poprawną a nawet właściwą w tej pracy. Niewątpliwym celem jaki przyświecał doktorantowi przy przyjęciu takiej formy opracowania swojej pracy była chęć wyjaśnienia czytelnikowi zagadnień w chwili, gdy jest o nich mowa w odniesieniu do przeprowadzonych własnych analiz. Taka forma dysertacji bez wątpienia przyczynia się do łatwiejszego jej zrozumienia nawet przez czytelnika, który wcześniej nie był zaznajomiony z wybraną do badań tematyką.

Ponieważ celem dysertacji było opracowanie własnej metody, w jej treści nie mogło zabraknąć rozdziału, w którym ją scharakteryzowano. Takim rozdziałem jest rozdział 7 pracy. Po krótkim przedstawieniu założeń teoretycznych przyjętych w metodzie, została przedstawiona autorska metoda wspomagania decyzji w procesie utrzymania toru bezстыkowego. Zaproponowany przez doktoranta algorytm postępowania został zobrazowany na rysunku w formie drzewa decyzyjnego. Składa się on z 24 kroków opisanych w treści pracy. Wykorzystywane w nim parametry oraz wartości normatywne również zostały odpowiednio scharakteryzowane w treści pracy. Dodatkowo w rozdziale można znaleźć informacje dotyczące implementacji wyników badań doświadczalnych do opracowanej metody, czy też implementacji samej metody do aplikacji. Stworzone przez doktoranta narzędzie, w środowisku MS Excel, zostało dodatkowo zweryfikowane na kilku przykładach. W rozdziale tym doktorant

opisał również czynności konieczne do przeprowadzenia w trakcie wizualnej kontroli stanu technicznego toru pod kątem możliwości jego wyboczenia, podając co, jak i kiedy powinno być wykonane. Co warte zauważenia, w metodzie zostały zaimplementowane „rzeczywiste” (stosowane w praktyce) czynności konieczne do wykonania przez stosowne służby, a nie jak to bywa w pracach doktorskich „nowe” czynności (konieczne do wykonania dodatkowo do stosowanych w praktyce, często kosztowne w wykonaniu i/lub wdrożeniu).

Wykonane przez doktoranta w trakcie realizacji pracy badania doświadczalne zostały przedstawione w rozdziale 8. Trwały one ponad rok, co umożliwiło uwzględnienie w przeprowadzonych analizach wszystkich możliwych do wystąpienia warunków eksploatacyjnych. W tym rozdziale po krótkim przedstawieniu przyjętych do badań doświadczalnych założeń, zostały pokazane wyniki w postaci zmierzonych wartości temperatury szyn oraz obliczonych wartości sił podłużnych w szynach. Temperatury szyn mierzono z wykorzystaniem termometru przymocowanego do szyny za pomocą magnesów. W trakcie badań wykonano pomiary statyczne – przy nieobciążonym torze, oraz dynamiczne – w trakcie przejazdu pociągów. Przeprowadzone przez doktoranta badania doświadczalne składały się w sumie z 77 sesji pomiarowych. Celem jak najlepszego i w pełni transparentnego przedstawienia uzyskanych wyników, doktorant zdecydował się na pokazanie ich zarówno w formie tabelarycznej, jak i na wykresach. Niewątpliwie zaproponowana forma przedstawienia wyników badań daje możliwość łatwiejszego sposobu zapoznania się z nimi. W celu lepszego uwidocznienia zachodzących zależności, na wykresach pokazano występujące relacje pomiędzy zmierzonymi temperaturami szyny i otoczenia, oraz zmierzonymi temperaturami szyny i obliczonymi siłami podłużnymi występującymi w szynie. Warto również zauważyć, że uzyskane wyniki badań nie zostały tylko zaprezentowane, ale również, co ważniejsze, szczegółowo i poprawnie zinterpretowane.

Przedstawione w dysertacji analizy zostały zakończone rozdziałem *Podsumowanie*, gdzie doktorant wskazuje realizację konkretnych zadań badawczych. W konsekwencji udowadnia realizację celu pracy oraz poprawność przyjętej tezy. Dodatkowo wymienia najważniejsze osiągnięcia rozprawy. Ze wszystkim tym w pełni należy się zgodzić. Na koniec tego rozdziału doktorant wskazuje możliwe do realizacji w przyszłości kierunki dalszych badań w tej tematyce. Wydają się one być możliwe do zrealizowania, jak również patrząc na możliwe do uzyskania wyniki są jak najbardziej pożądane.

W tym momencie ciekawość poznawcza recenzenta skłania mnie do poproszenia o wyjaśnienie następujących kwestii:

- (1) W czym doktorant widzi wyjątkową pracochłonność metody wspomagającej podejmowanie decyzji na bazie narzędzi sztucznej inteligencji.
- (2) Czym miałyby się różnić komputerowy program ekspercki od stworzonego w trakcie realizacji rozprawy doktorskiej narzędzia.
- (3) Na którym kierunku powinny się głównie skupić prowadzone w przyszłości badania dotyczące tematyki związanej z torem bezstykowym – przykładowo na nowym materiale konstrukcyjnym szyn, nowej technologii wytwarzania szyn, ..., nowym sposobem pomiaru itd.

Opracowując swoją dysertację, zarówno jej część literaturową, jak i doświadczalną, doktorant posiłkował się 104 źródłami wymienionymi w *Bibliografii*. Co warte zauważenia, znajdują się tutaj pozycje o charakterze teoretycznym i doświadczalnym, jak również różnego typu instrukcje i regulacje stosowane w praktyce. Podana lista wydaje się być kompletna i wystarczająca.

Na końcu swojej dysertacji doktorant zdecydował się zamieścić szereg załączników. Nie ulega wątpliwości, że takie podejście ułatwia czytelnikowi proces poznawczy tematyki podjętej przez doktoranta w swoich badaniach.

Wartym podkreślenia jest fakt, że wszystkie treści zawarte w pracy są podane w sposób zrozumiały dla każdego potencjalnego czytelnika, a przy tym zostały dodatkowo opatrzone stosownymi ilustracjami.

Należy również wspomnieć, że rozprawa została poprawnie opracowana pod względem edycyjnym. Zauważyłem tylko kilka błędów literowych i gramatycznych, które jednak w żaden sposób nie umniejszają wartości samej pracy. Na obniżenie wartości pracy nie mają również wpływu zauważone błędy przy stosowaniu skrótów. Przykładowo symbol T raz będący aktualną temperaturą szyny, a raz temperaturą aktualną dla warunków Polski, czy też przyjęcie symbolu t jako numeru linii kolejowej przy wskazaniu, że $t \in T$. W pracy zauważono również błędne odniesienia do innych części pracy. Przykładowo w podrozdziale 7.6 zapisano: „*W celu zaimplementowania założeń teoretycznych przedstawionych w rozdziale 9...*”, gdzie wskazany rozdział jest podsumowaniem pracy. Niedociągnięcia edycyjne można również zauważyć na przedstawionych w rozdziale 8 wykresach. Przykładowo na rysunku 8.19 nie wiadomo co

oznacza przebieg pokazany kolorem niebieskim, czy też co przedstawia 20 kolorowych przebiegów pokazanych na rysunku 8.26. Podobnie jak poprzednio wskazane błędy, nie powodują one, że praca staje się niezrozumiała, czy też powinna zostać nisko oceniona.

4. Posumowanie

Przedstawiona do oceny rozprawa stanowi wartościową pozycję zarówno pod względem poznawczym jak i użytecznym. Doktorant postawił sobie do rozwiązania zadanie bezpośrednio wynikające z praktyki a nie jak to zwykle w tego typu pracach bywa z teorii. Poprawne rozwiązanie postawionego sobie za cel zadania daje możliwość wykorzystania uzyskanych wyników bezpośrednio w praktyce, co niewątpliwie podnosi wartość samej pracy.

Celem przeprowadzenia założonego zakresu badań i uzyskania pozytywnych wyników doktorant musiał udowodnić swoją dużą wiedzę i umiejętności zarówno na gruncie teorii, jak i praktyki w tej tematyce badawczej.

W związku z powyższym stwierdzam, że przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska bez zastrzeżeń spełnia wymogi Ustawy o Stopniach i Tytule Naukowym i wnoszę o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie doktoranta do publicznej obrony.

