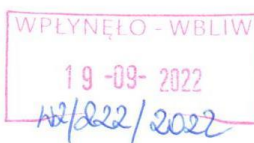




**Politechnika Krakowska**  
Wydział Mechaniczny



dr hab. inż. Maciej Szkoda, prof. PK  
Politechnika Krakowska  
Katedra Pojazdów Szynowych i Transportu

Kraków, 15 września 2022 r.

## RECENZJA

Rozprawy doktorskiej mgr inż. Łukasza Wolniewicza pt.: „Metoda rekonfiguracji planowanego rozkładu jazdy z uwzględnieniem odporności systemu transportu kolejowego”

Podstawą wykonania niniejszej recenzji było postanowienie Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Wrocławskiej z dnia 13 lipca 2022 roku. Praca doktorska mgr inż. Łukasza Wolniewicza została przygotowana w trybie art. 190 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2022 nr 574 poz. 595 z późn. zm.). Zgodnie z art. 187, ustawy „Rozprawa doktorska, powinna prezentować ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie albo dyscyplinach oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej. Przedmiotem rozprawy doktorskiej jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej lub społecznej albo oryginalne dokonanie artystyczne”.

Recenzja została podzielona na cztery części, w których odpowiednio przedstawiono: 1. Ogólną charakterystykę pracy, 2. Ocenę podjętego tematu, 3. Analizę treści pracy, 4. Uwagi szczegółowe do pracy i 5. Konkluzję końcową. Zawarto w nich uzasadnienie podjęcia tematu pracy, odniesienie struktury i celu pracy, jak również przedstawiono konkluzję końcową rozprawy doktorskiej.

### 1. Ogólna charakterystyka pracy

Praca doktorska mgr inż. Łukasza Wolniewicza pt.: „Metoda rekonfiguracji planowanego rozkładu jazdy z uwzględnieniem odporności systemu transportu kolejowego” została napisana pod kierunkiem promotora: dr hab. inż. Artura Kierzkowskiego, Prof. Ucz. Praca składa się z dziewięciu rozdziałów, wstępu, podsumowania, bibliografii, spisu rysunków i tabel oraz ośmiu załączników. Praca liczy łącznie 323 stron, z czego tekst zasadniczy 164

strony. Na Bibliografię (łącznie 205 pozycje) składają się zwarte pozycje książkowe, artykuły z czasopism, akty prawne oraz źródła internetowe umieszczone na końcu spisu literatury. Doktorant wykorzystał w pracy zarówno literaturę polską, jak i obcojęzyczną (w języku angielskim).

W rozdziale pierwszym, poprzedzonym słownikiem pojęć, przedstawiono problem punktualności w transporcie kolejowym oraz genezę pojęcia odporności i jego zakres w różnych dziedzinach nauki. Kolejne rozdziały 2 ÷ 4 to obszerne studium aktualnego stanu wiedzy z zakresu definiowania odporności w systemach technicznych, systemach transportowych oraz w obszarze eksploatacji systemu transportu kolejowego. Podsumowanie studium literaturowego zawiera rozdział 5, gdzie w tabeli 5.1 przedstawiono zbiorczo zidentyfikowane parametry oceny odporności na zakłócenia transportu kolejowego prezentowane w różnych analizowanych publikacjach. Cel i zakres pracy opisano w rozdziale 6. Rozdział 7 dotyczy szczegółowego opisu opracowanej metody rekonfiguracji planowanego rozkładu jazdy z uwzględnieniem odporności systemu transportu kolejowego. Przykład aplikacji opracowanej metody rekonfiguracji na wybranych odcinku linii kolejowej przedstawiono w rozdziale 8. Rozdział dziewiąty zawiera wnioski z przeprowadzonych badań, podsumowanie osiągniętych celów oraz krótką ocenę możliwości praktycznego wykorzystania wyników.

Rozprawa jest napisana poprawnym i precyzyjnym językiem. Układ pracy jest przejrzysty, podział treści rozprawy na rozdziały i podrozdziały poprawny. Materiały graficzne (rysunki, schematy, algorytmy) oraz tabele z wynikami zamieszczone w pracy, w sposób właściwy przedstawiają studia Doktoranta, które dotyczą metod oceny i projektowania rozkładu jazdy z uwzględnieniem różnych czynników zakłócających oraz zagadnień odporności systemu transportu kolejowego na zakłócenia.

## **2. Ocena podjętego tematu**

Recenzowana praca dotyczy zagadnienia odporności systemu transportu kolejowego na zakłócenia generowane przez różne czynniki związane z infrastrukturą, taborem i otoczeniem. Zgodnie z polityką klimatyczną Unii Europejskiej transport kolejowy ma istotną rolę w osiągnięciu neutralności klimatycznej do 2050 r. Jest on jedynym rodzajem transportu, w którym od 1990 r. stale obniża się poziom emisji gazów cieplarnianych i CO<sub>2</sub>. Realizacja przewozów kolejowych opiera się na harmonogramie, którego konstrukcja w pierwszej fazie bazuje na popycie i musi spełniać szereg ograniczeń. Oprócz zaspokojenia potrzeby przewozowej i zapewnienia wymaganej liczby pociągów w odpowiednim czasie ważna jest punktualność realizacji usługi przewozowej. Zależna jest ona głównie od dopasowania harmonogramu do realnych warunków, które wiążą się z występowaniem zdarzeń niepożądanych w sieci kolejowej. Błędy na etapie projektowania rozkładu jazdy mogą



doprowadzić do zmniejszenia zainteresowania transportem kolejowym na rzecz innych rodzajów transportu, co byłoby sprzeczne z polityką klimatyczną UE.

**Biorąc pod uwagę powyższe stwierdzenia uważam, że wybór tematu rozprawy jest aktualny i istotny dla transportu kolejowego w Polsce i Unii Europejskiej.**

### **3. Analiza treści pracy doktorskiej**

W przedstawionej do recenzji rozprawie, doktorant podjął się zadania związanego opracowaniem metody oceny odporności transportu kolejowego i zaprojektowania rozkładu jazdy z uwzględnieniem zdarzeń niepożądanych występujących w sieci kolejowej pod kątem generowanych zakłóceń czasowych przez poszczególne grupy zdarzeń i przypisanie ich do odpowiednich elementów w modelu symulacyjnym linii kolejowej (infrastruktura, tabor, otoczenie). Problem ten jest złożony ze względu na konieczność zaplanowania odpowiednich buforów czasowych w harmonogramie i odstępów między pociągami w połączeniu z realizacją zaplanowanych połączeń oraz ograniczeniami wynikającymi z infrastruktury oraz specyfiki transportu kolejowego.

Obszerne badania stanu wiedzy przeprowadzone przez Autora w rozdziałach 2 ÷ 5 o odporności transportu kolejowego i zdarzeniach niepożądanych wykazały brak metod oceny odporności systemu kolejowego uwzględniających wszystkie zidentyfikowane w rozpoznaniu literaturowym parametry zastąpione syntetycznymi wskaźnikami odporności: udział pociągów punktualnych, wydłużenie czasu podróży, opóźnienie pociągów na stacjach, działania powiązane, opóźnienie na stacji oraz wykorzystujących rzeczywiste dane dotyczące zdarzeń zakłócających. Autor zauważył potrzebę szczegółowej analizy zdarzeń niepożądanych występujących w sieci kolejowej pod kątem generowanych zakłóceń czasowych przez poszczególne grupy zdarzeń. Dodatkowo Autor stwierdził, że zakłócenia ruchowe pociągów mogą także wpływać na inne pojazdy i generować opóźnienia wtórne.

Na podstawie studium analitycznego zdefiniowano główny cel pracy, którym było opracowanie metody rekonfiguracji planowanego rozkładu jazdy z uwzględnieniem odporności systemu transportu kolejowego. Metoda ma uwzględniać wpływ zdarzeń niepożądanych na punktualną realizację ocenianego zaplanowanego rozkładu jazdy. Osiągnięcie celu rozprawy doktorskiej wiązało się z realizacją następujących zadań cząstkowych:

- zdefiniowanie pojęcia odporności dla systemu transportu kolejowego,
- klasyfikacja i opracowanie danych o zdarzeniach niepożądanych występujących w systemie,
- identyfikacja ograniczeń związanych z konstrukcją kolejowego rozkładu jazdy,
- opracowanie metody oceny odporności rozkładu jazdy,

- opracowanie metody wprowadzania zmian w rozkładzie jazdy,
- budowa bazy pociągów,
- budowa modelu symulacyjnego linii kolejowej.

Koncepcja opracowanej metody rekonfiguracji planowanego rozkładu jazdy przedstawiono graficznie w pracy na rysunku 7.1. W pierwszym algorytmie wykonawczym budowana jest baza pociągów na podstawie pobranego rozkładu jazdy, zaplanowanego według procedur zarządcy sieci kolejowej. W kolejnym algorytmie generowane są zdarzenia niepożądane w sieci kolejowej, a następnie przeprowadzona jest symulacja. Działania w ramach pierwszej warstwy polegają na implementacji zaplanowanego rozkładu jazdy do metody rekonfiguracji planowanego rozkładu jazdy z uwzględnieniem odporności systemu transportu kolejowego, natomiast warstwa druga współdziała ze sobą w ramach prowadzenia symulacji i generowania w niej zdarzeń niepożądanych. Po symulacji na podstawie uzyskanych wyników wskaźników odporności rozkładu jazdy obliczany jest wskaźnik odporności  $W_{zbi}$  dla pociągów. W przypadku, w którym wskaźnik ten nie jest powyżej wartości krytycznej  $W_{zbr}$  wprowadzane są zmiany w rozkładzie jazdy. Następnie cały proces powtarza się, aż do uzyskania wartości wskaźnika odporności  $W_{zbi}$  wyższej od krytycznej  $W_{zbr}$ .

Zgodnie z postawionymi celami cząstkowymi opracowana metoda uwzględnia wpływ zdarzeń niepożądanych na punktualną realizację rozkładu jazdy i składa się z kilku algorytmów:

- algorytmu budowy bazy pociągów,
- algorytmu przypisywania zdarzeń niepożądanych,
- algorytmu symulacji z zakłóceniami,
- algorytmów obliczania wskaźników odporności rozkładu jazdy,
- algorytmu wprowadzania zmian w rozkładzie jazdy.

Opis poszczególnych algorytmów przedstawiono szczegółowo w pracy w punktach 7.1. ÷ 7.5. oraz w załącznikach A ÷ B.

W mojej opinii postawiony cel pracy zdefiniowany jako: *Opracowanie metody rekonfiguracji planowanego rozkładu jazdy z uwzględnieniem odporności systemu transportu kolejowego* został zrealizowany. Opracowana metoda została zweryfikowana dla rzeczywistego odcinka linii kolejowej (Wrocław – Żmigród) z danymi o zakłóceniach odwzorowanymi w programie symulacyjnym OpenTrack. W modelu symulacyjnym linii kolejowej odwzorowano dokładny kształt infrastruktury wraz z urządzeniami sterowania ruchem oraz rozjazdami. Zachowano wszystkie czasy stacyjne oraz obowiązujące ograniczenia prędkości i zależności na posterunkach sterowania ruchem. Dla pierwotnego rozkładu jazdy otrzymano wskaźnik odporności systemu  $W_{zbs}$  na poziomie 0,57, a dla po przeprowadzonych rekonfiguracjach wartość wskaźnika zwiększyła się do wartości 0,75.



Przeprowadzono dodatkowo analizę zmienności wskaźnika odporności  $W_{zby}$  na przestrzeni lat 2017 – 2021 i porównano z wynikiem otrzymanym z wykorzystaniem opracowanej metody rekonfiguracji. Udało się zwiększyć wartość wskaźnika odporności  $W_{zbs}$  dla systemu o 0,18, udział pociągów punktualnych o 14%, zmniejszyć wydłużenie czasu podróży o 6%, poprawić realizację działań powiązanych o 5%, zmniejszyć średnie opóźnienie na stacjach o 0,5 min.

#### 4. Uwagi szczegółowe do pracy

1. Na początku pracy zamieszczono bardzo wartościowy Słownik pojęć. Niestety tylko przy wybranych pozycjach podano źródło literatury – chyba, że definicje przy których brak jest źródła są opracowane przez Autora. Wydaje, że na początku słownika, przed pierwszą definicją w jednym zdaniu mogą być podane zbiorczo wszystkie źródła bibliograficzne.
2. Bibliografia pracy liczy 205 pozycji, lecz nie zawiera żadnej pracy doktoranta pomimo, że w bazie Scopus widnieje 8 publikacji mgr Łukasza Wolniewicza w renomowanych czasopismach naukowych. Jest to o tyle istotne, że do wyróżnienia rozprawy doktorskiej zgodnie obowiązującą uchwałą Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Lądowa i Transport PWr, wymagane jest odwołanie do co najmniej jednej publikacji z bazy JCR, której autorem jest autor rozprawy.
3. W pkt. 6 sformułowano główny cel pracy: Opracowanie metody rekonfiguracji planowanego rozkładu jazdy z uwzględnieniem odporności systemu transportu kolejowego, który pokrywa się z tytułem pracy. W mojej opinii, w tak ważnym temacie powinien być zdefiniowany zarówno cel naukowy jak i użyteczny, co jest standardem w pracach doktorskich w dziedzinie nauk inżyniersko-technicznych.
4. W budowie algorytmu przypisywania zdarzeń niepożądanych (pkt. 7.2.) wykorzystano bazę zdarzeń obejmującą dane z II połowy 2019 roku. Nie podano jaka była liczność zarejestrowanych zdarzeń, ale w mojej opinii do wyciągnięcia wiarygodnych wniosków co do rozkładów gęstości prawdopodobieństwa tych zdarzeń czas gromadzenia danych eksploatacyjnych powinien obejmować co najmniej pełny rok, aby posiadać dane o zdarzeniach w różnych warunkach atmosferycznych (lato/zima).
5. Do danych empirycznych dopasowano rozkłady teoretyczne. Dla czasu pomiędzy zdarzeniami i dla czasu trwania zdarzenia dla kategorii infrastruktura, otoczenie i tabor zastosowano trzy rozkłady: Weibulla, Gamma, wykładniczy. Statystyczna teoria niezawodności wykorzystuje wiele różnych rozkładów prawdopodobieństwa do modelowania zjawisk związanych z czasem poprawnej pracy, a zaawansowane programy statystyczne umożliwią szybką weryfikację dopasowania rozkładu teoretycznego do danych empirycznych. Pytanie czy w analizie były brane pod uwagę wszystkie możliwe rozkłady stosowane w analizie niezawodności? Czy na

podstawie uzyskanych wyników nie można by uprościć tego algorytmu i do symulacji czasu pomiędzy zdarzeniami niepożądanymi zastosować jeden rozkład np.: rozkład Weibulla, w którym w zależności od doboru parametrów kształtu i skali można modelować różne przypadki? A z kolei do wyznaczenia teoretycznych dystrybucyj czasu trwania zdarzenia zastosować rozkład lognormalny, który najczęściej jest wykorzystywany do modelowania czasu trwania obsługi technicznych.

6. Praca napisana jest na bardzo dobrym poziomie z zastosowaniem właściwej terminologii. Nie mniej jednak Autor nie uniknął błędów językowych, edytorskich i stylistycznych np.:
  - str. 31 wiersz 26 jest: *z punkcie krytycznym* a powinno być: *z punktem krytycznym*,
  - str. 35 wiersz 13: *związany jest*, a powinno być *związany jest*.
  - str. 41, pkt. 4.2.3.2.: *Celem jest, aby ilościowo określić zdolność sieci do radzenia sobie w warunkach zakłóceń (...)* – powinno być: *Celem pracy jest ocena zdolności sieci do radzenia sobie w warunkach zakłóceń (...)*.
  - str. 45: *(...)analiza FMEA uwzględniająca następujące czynniki* – powinno być: *(...)FMEA uwzględniająca następujące zagrożenia*.
  - Str. 46: wiersz 10: brak wyjaśnienia parametru „b” i brak wyjaśnienia co oznacza częstotliwość na zamieszczonym wykresie
  - str. 48: wzór (11) niekompletny, brak identyfikatorów przy symbolu sumy
  - str. 48: *w fazie konturowania*, powinno być: *w fazie konstruowania*
  - str. 58 rys. 4.11 brak wyjaśnień do niektórych bloków w schemacie
  - str. 66 wiersz 13: *Bufor czasowy jest dodatkową marżą pozwalającą(...)* – powinno być: *Bufor czasowy stanowi rezerwę pozwalającą na(...)*
  - str. 68: wiersz 4: *tonaż* – powinno być: *masa pociągu*
  - str. 71: *Na podstawie przeglądu literatury odporność systemu transportu szynowego* – powinno być: *Na podstawie przeglądu literatury odporność systemu transportu kolejowego, ponieważ studium literatury nie obejmowało innych niż kolejowe systemy transportu (np.: metro, tramwaj)*
  - str. 75: błąd na schemacie „zakłóceniami”, – powinno być: *zakłóceniami*
  - str. 77 wiersz 10: *Procedura postępowania została opisana w Instrukcji Ir-1 o prowadzeniu ruchu pociągów [84]* – odwołanie jest do innej instrukcji: *Instrukcji o rozkładzie jazdy pociągów Ir-11*,
  - str. 97 – brak odwołania do rys. 7.15
  - str. 100 wiersz 19: *Jest to Zadawana(...)* – powinno być: *Jest to zadana...*

- str. 102 wiersz 20: *pospiesznych* – powinno być: *pośpiesznych*
- str. 110, tabela 7.7., zamiast: *Opracowanie danych o zdarzeniach niepożądanych* – powinno być: *Wskaźnik zdarzeń niepożądanych*
- str. 127 pkt. 8. Aplikacja i weryfikacja modelu symulacyjnego linii kolejowej: *Po walidacji przyjęto, że opracowany model symulacyjny linii kolejowej prawidłowo odwzorowuje rzeczywistość (...)*. Powinno być: *Po weryfikacji przyjęto(...)*. Weryfikacja stwierdza czy model działa prawidłowo (spełnia wymagania funkcjonalne i niefunkcjonalne), a walidacja wiąże się ze sprawdzeniem funkcjonalności przez użytkownika końcowego.

Do części badawczej pracy nasuwa się kilka pytań, które uważam mogą być warte dyskusji podczas publicznej obrony pracy doktorskiej Doktoranta mgr Łukasza Wolniewicza:

1. W punkcie 7.1 Autor wskazuje, że aktualnie planowanie rozkładu jazdy odbywa się w aplikacjach informatycznych. Brakuje jednak przykładów takich aplikacji oferowanych na rynku, używanych przez zarządców infrastruktury lub przewoźników kolejowych.
2. Jaki jest wpływ urządzeń sterowania ruchem kolejowym stosowanych na konkretnej linii kolejowej na parametry wejściowe w opracowanym algorytmie?
3. Przykład aplikacji opracowanej metody rekonfiguracji przedstawiono na wybranym odcinku linii kolejowej Wrocław – Żmigród eksploatowanej przez Koleje Dolnośląskie. Pytanie, czy opracowana metoda może mieć szersze zastosowanie, np.: czy może być wykorzystana przez krajowego zarządcę infrastruktury PKP PLK S.A. do oceny i modyfikacji rozkładów jazdy dla dowolnych liniach kolejowych i dla różnych przewoźników?
4. W pkt. 8. Aplikacja i weryfikacja modelu symulacyjnego linii kolejowej: Na rysunkach 8.6 i 8.7 pokazano wyniki przeprowadzonych symulacji - wartości wskaźnika odporności w podziale na poszczególne pociągi dla rozkładu pierwotnego i po rekonfiguracji. Z wykresów można odczytać, że dla kilku pociągów wartość wskaźnika odporności  $W_{zbj}$  nie uległa zmianie, dla jednego nastąpiło pogorszenie wskaźnika. Jakimi były tego przyczyny?
5. Jakie wnioski mogą być zaproponowane odnośnie dalszych prac w zakresie podjętego tematu badawczego?

## 5. Konkluzja końcowa

Przedstawione uwagi nie umniejszają wartości naukowej i pozytywnej oceny merytorycznej pracy. W świetle sformułowanych uwag zawartych w recenzji pracy mgr inż.



Łukasza Wolniewicza pt.: „Metoda rekonfiguracji planowanego rozkładu jazdy z uwzględnieniem odporności systemu transportu kolejowego” stwierdzam, że niniejsza rozprawa doktorska spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim określone w obowiązujących przepisach: art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (tekst jedn. Dz.U. 2022 poz. 574) oraz w Ustawie z dnia 21 kwietnia 2017 r. o zmianie ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki oraz niektórych innych ustaw (Dz.U. 2017 poz. 859).

Recenzowana praca stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. W części teoretycznej doktorant dał dowód posiadania ogólnej wiedzy w dyscyplinie naukowej: Inżynieria Lądowa i Transport. W części badawczej dowiódł również, że posiada umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Rozprawa wnosi nowy wkład w wiedzę na temat budowy rozkładów jazdy w transporcie kolejowym z uwzględnieniem odporności systemu kolejowego wykorzystując dane o zdarzeniach niepożądanych i może stanowić podstawę do ubiegania się o nadanie stopnia naukowego doktora nauk technicznych w dyscyplinie Inżynieria Lądowa i Transport.

**W związku z powyższym wnoszę do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Wrocławskiej o dopuszczenie mgr inż. Łukasza Wolniewicza do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.**

Z poważaniem,

