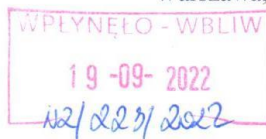


Prof. dr hab. inż. Mirosław Siergiejczyk
Politechnika Warszawska Wydział Transportu
ul. Koszykowa 75
00-662 Warszawa

Warszawa, 9 września 2022 r.



Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. inż. Łukasza Wolniewicza
nt. „*Metoda rekonfiguracji planowanego rozkładu jazdy z uwzględnieniem
odporności systemu transportu kolejowego*”

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Artur Kierzkowski, prof. uczelni

1. Podstawa opracowania recenzji

Przedmiotem opinii jest rozprawa doktorska mgr. inż. Łukasza Wolniewicza nt. „*Metoda rekonfiguracji planowanego rozkładu jazdy z uwzględnieniem odporności systemu transportu kolejowego*”. Recenzja została opracowana na zlecenie prof. dr hab. inż. Wojciecha Puła Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Wrocławskiej (Pismo Rady Dyscypliny Naukowej Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Wrocławskiej z dnia 15.07.2022 r. nr W2/880/2022, powiadamiające o powołaniu przez Radę Dyscypliny Naukowej Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Wrocławskiej uchwałą nr 187/27/RDND06/2021-2024 z dnia 13 lipca 2022 roku na recenzenta rozprawy doktorskiej mgr. inż. Łukasza Wolniewicza nt. „*Metoda rekonfiguracji planowanego rozkładu jazdy z uwzględnieniem odporności systemu transportu kolejowego*”) oraz na podstawie dostarczonej rozprawy doktorskiej (Raport serii PRE nr12/2022 Praca Doktorska) pod wyżej wymienionym tytułem.

2. Uwagi wstępne

Współczesny rynek usług transportowych ukształtowany został w przeważającej mierze zmieniającymi się potrzebami i preferencjami klientów usług transportowych. W ślad za rosnącymi wymaganiami dotyczącymi: czasu, jakości, punktualności, dostępności, bezpośredniości oraz kompleksowości usług świadczonych przez operatorów rynku transportowego, stopniowo ulega zmianie prezentowana na rynku przez przewoźników oferta.

Jakość, dostępność i niezawodność usług transportowych będzie w nadchodzących latach coraz ważniejsza, między innymi ze względu na starzenie się społeczeństwa i potrzebę promowania transportu publicznego. Głównymi cechami usług wysokiej jakości są: atrakcyjny rozkład jazdy, komfort, łatwy dostęp, niezawodność usług i integracja z innymi środkami transportu. Dostępność informacji na temat czasu podróży oraz informacje na temat

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Kierzkowski".

tras alternatywnych są równie ważne dla zapewnienia niezakłóconej podróży „od drzwi do drzwi”, zarówno dla pasażerów, jak i w odniesieniu do transportu towarów.

Dynamika zmian rynku kolejowego jest duża. Obecnie coraz częściej można spotkać modele biznesowe działające w taki sposób, że przewoźnik koncentruje się na swojej podstawowej działalności, to znaczy na wykonywaniu przewozów, a wszystko, co wykracza poza wąsko pojmowaną działalność podstawową, zleca na zewnątrz. W takim układzie niezbędne jest zatrudnianie maszynistów i załóg pociągów pasażerskich, ale mechaników obsługi, serwis sprząający i wielu innych pracowników zatrudniają inne podmioty, świadczące usługi przewoźnikom.

Transport kolejowy w Polsce ma istotne znaczenie zarówno w przemieszczaniu pasażerów jak i ładunków. Kolej zaspakaja potrzeby transportowe osób związane z realizacją ich indywidualnych celów. Dzięki kolei możliwe jest dostarczanie towarów, wytworzonych przez różne zakłady produkcyjne, klientom zainteresowanym ich zakupem, którzy znajdują się w różnych, często odległych miejscach w kraju i za granicą. Istotne znaczenie w popycie na usługi kolejowe ma dostępność do tego typu przewozów, jest ona o wiele większa niż w transporcie lotniczym, czy morskim.

Codzienna aktywność części społeczeństwa wiąże się z potrzebą skorzystania z usług oferowanych przez transport kolejowy. Punktualność pociągów oraz gwarancja odbycia podróży ma ogromny wpływ na plan dnia dużej liczby pasażerów. Dlatego tak ważne jest eliminowanie wszystkich nieprawidłowości na tym zakresie. Analizując przyczyny opóźnień można stwierdzić, że niektóre z nich mają charakter systemowy. Jako najistotniejsze z nich można wskazać przyczyny: taborowe, infrastrukturalne, handlowe czy też zewnętrzne.

Kolejnym dotkliwym dla pasażerów problemem są odwołania pociągów. Podobnie jak w przypadku opóźnień, wśród przyczyn odwołań pociągów największe znaczenie mają te związane z taborem. Powtarzające się przypadki braku sprawnego taboru czy niewłaściwego planowania obiegów składów zwracają uwagę na problemy systemowe w zakresie utrzymania pojazdów kolejowych. Stosunkowo częste awarie pojazdów spalinowych każą zweryfikować przyczyny takiego stanu rzeczy. Warto zwrócić również uwagę na problemy powstające w sytuacji, gdy prace remontowe czy modernizacyjne na sieci kolejowej nie przebiegają zgodnie z przyjętym harmonogramem – skutki takich odwołań mogą być szczególnie uciążliwe dla pasażerów, gdyż mają charakter długookresowy.

Rynek kolejowy powinien kierować się najlepszymi wzorcami i dążyć do sytuacji, gdzie niepotrzebne będą analizy przyczyn opóźnień czy odwołań pociągów, ponieważ zjawiska takie będą incydentalne. Jedynie zaangażowanie wszystkich zainteresowanych może



doprowadzić do tego, że wskaźniki punktualności będą rosły. Jednym z takich działań powinny badania w zakresie identyfikacji zdarzeń wpływających na punktualność na etapie projektowania harmonogramu w aspekcie lokowania buforów czasowych i ich wielkości, ustalenia kolejności pociągów oraz czasów działań powiązanych. Ponadto istotnym wydaje możliwość szacowania skutków wprowadzania modyfikacji w rozkładzie jazdy na efekt końcowy punktualnego działania systemu transportu szynowego.

Rozprawa Pana mgr. inż. Łukasza Wolniewicza dotyczy bardzo aktualnego problemu rekonfiguracji planowanego rozkładu jazdy. Rozkład jazdy pociągów to podstawowy element organizacji przewozów kolejowych stanowiący plan pracy kolei, według którego odbywa się ruch wszystkich pociągów po sieci kolejowej lub jej części. Prawidłowa konstrukcja rozkładu jazdy, ma wpływ na dotrzymanie czasów jazdy przez pociąg – punktualność, bezpieczeństwo, konkurencyjność wobec innych środków transportu. Tworzenie rozkładu jazdy nie jest prostą rzeczą, więc się ciągle dąży do opracowania nowych narzędzi wspomagających konstrukcję rozkładu jazdy. Mgr inż. Łukasz Wolniewicz w swojej rozprawie uwzględnił w procesie budowy rozkładów jazdy w transporcie szynowym jego ocenę i możliwą modyfikację z uwzględnieniem odporności analizując dane o zdarzeniach niepożądanych.

Sformułowanie tematu rozprawy można uznać za zasadne i odpowiadające współczesnym potrzebom nauki jak i potrzebom w szczególności systemu transportu kolejowego. Wyniki badań uzyskane przez Autora mogą być wykorzystane do oceny rozkładów jazdy przewoźników kolejowych i wprowadzania zmian z uwzględnieniem różnych warunków operacyjnych i infrastrukturalnych. W praktyce mogą być pomocne z zakresie weryfikacji rozkładu jazdy w aspekcie jego odporności na zakłócenia i rekonfiguracji przed wdrożeniem do systemu rzeczywistego.

3. Przedmiot i zakres pracy

Recenzowana rozprawa doktorska składa się z dziewięciu rozdziałów merytorycznych uzupełnionych o wykaz najważniejszych oznaczeń, słownik pojęć, bibliografię, spis rysunków, spis tabel i załączniki, a zajmuje objętość 323 strony.

We wstępie, stanowiącym zarazem **pierwszy rozdział merytoryczny**, Autor odniósł się do przedstawienia roli, jaką odgrywa transport kolejowy. Autor pracy słusznie zauważył, że w związku ze wzrostem skali i długości przewozów obecna sieć kolejowa jest podatna na zakłócenia i ich propagację. Jednym z głównych wyzwań stojących przed przewoźnikami kolejowymi jest oferowanie punktualnych usług w zakresie przewozów pasażerskich i towarowych przy minimalnej liczbie postojów i krótkim czasie przejazdu. Obecnie istnieje

 3

rosnąca potrzeba szacowania skutków zakłóceń i implementowania metod, które będą im zapobiegały. Zaniedbania na etapie projektowania rozkładu jazdy mogą doprowadzić do spadku zainteresowania omawianą gałęzią transportu. W związku z tym zrodziło się pytanie o możliwość uwzględniania zdarzeń wpływających na punktualność na etapie projektowania harmonogramu. W dalszej części wstępu Autor przedstawił motywację do prowadzonych badań oraz genezę pojęcia odporności. Zauważył, że jest ono używane w różnych dziedzinach nauki i w zależności od dziedziny charakteryzuje się innym znaczeniem.

Rozdział 2 został poświęcony problematyce dotyczącej stanowi wiedzy z zakresu definiowania odporności w systemach technicznych. Szczególna uwaga Autora została zwrócona zarówno na rozróżnienie definicji odporności w kontekście angielskich słów „resilience” oraz „robustness”. Wyróżniono metryki definiujące odporność bazujące na: krzywej odporności, czasie odzysku, skali odporności systemu technicznego. Następnym aspektem odporności systemów technicznych tyczy się uwzględnienia tego wskaźnika na etapie projektowania. Zwrócono uwagę także na predykcyjną analizę odporności. Podczas projektowania systemu technicznego, który ma być odporny na zdarzenia niepożądane, istotne jest, aby umożliwić ocenę poziomów odporności systemu dla różnych alternatywnych rozwiązań projektowych. W kontekście użytkowania systemów technicznych opisano pojęcie elastycznych harmonogramów, zapewniających odporność w obliczu nieprzewidzianych zdarzeń. Opisano dwie metody: PCP (ang. Precedence Constraint Posting) oraz POS (ang. Partial Order Schedule).

Podsumowując, Autor przedstawił zwarty przegląd stanu wiedzy z zakresu definiowania pojęcia odporności w systemach technicznych oraz podzielił je na trzy grupy.

Rozdział 3 przedstawia problematykę związaną ze stanem wiedzy z zakresu definiowania odporności w systemach transportowych. Systemy transportowe należą do systemów infrastrukturalnych, które są najbardziej narażone na zakłócenia losowe. Autor zauważył, że w literaturze dotyczącej odporności systemów transportowych można wyróżnić trzy główne kategorie: odporność oparta na topologii sieci, odporność operacyjna oraz odporność oparta na wydajności. Metryki topologiczne są zwykle budowane na podstawie pewnych właściwości topologicznych sieci, takich jak centralność międzygałęziowa lub długość najkrótszej ścieżki. Metryka operacyjna i metryka oparta na wydajności uwzględniają zarówno strukturę systemów transportowych, jak i potoki ruchów. Parametry wydajnościowe stosowane do oceny odporności na zakłócenia mają na celu pomiar odporności systemów na podstawie ich działania w zdefiniowanym okresie trwania zakłócenia. Metryki operacyjne



zwykle koncentrują się na jednej lub kilku właściwościach i mierzą odporność systemu transportowego na zakłócenia na podstawie wyników w określonych okresach czasowych.

W sposób prawidłowy przeprowadzono rozpoznanie literaturowe w zakresie definiowania odporności w systemach transportowych, a w tym klasyfikację trzech głównych kategorii miar odpornościowych.

Rozdział 4 dotyczy przeglądu stanu wiedzy z zakresu eksploatacji systemu transportu kolejowego. W pierwszym podrozdziale Autor przedstawił przegląd literatury z zakresu definicji odporności w systemie transportu kolejowego. Dodatkowo zaznaczył, że w europejskich sieciach przewozów kolejowych występuje duża zajętość szlaków w wielu punktach sieci. Konsekwencją tego jest wrażliwy na opóźnienia system ruchu z niewielką odpornością na zakłócenia. Kolejny podrozdział to przegląd literatury z zakresu wskaźników oceny odporności systemu eksploatacji transportu szynowego. Na podstawie formalnego modelu systemu transportu kolejowego podzielono parametry na trzy grupy, związane z: rozkładem jazdy (punkty krytyczne, bufor czasu, czas podróży, liczba pociągów, działania powiązane), taborem (punktualność, czas postoju) oraz siecią kolejową (alternatywne ścieżki, węzły (stacje)). W dalszych podrozdziałach zostały one szczegółowo opisane.

Autor w sposób prawidłowy przeprowadził przegląd literatury w zakresie eksploatacji systemu transportu kolejowego oraz dokonał klasyfikacji metryk odpornościowych dla tego systemu.

Rozdział 5 jest rozdziałem, w którym podsumowano przeprowadzone studia literaturowe w zakresie definiowania pojęcia odporności oraz wskaźników oceny odporności na zakłócenia. Wykazały one, że w systemach transportu szynowego definicja odporności na zakłócenia związana jest z harmonogramem (rozkład jazdy, plan pracy). Podejście to Autor argumentuje tym, że od realizacji harmonogramu zależy punktualność, na którą wpływają inne czynniki zewnętrzne (remonty, uszkodzenia, wypadki, warunki atmosferyczne, czynnik ludzki). Dodatkowo w wielu publikacjach odporność jest definiowana jednowymiarowo poprzez jeden ze wskaźników. Autor zdefiniował odporność systemu transportu szynowego na zakłócenia jako zdolność kontynuacji punktualnego działania systemu z punktu widzenia działań powiązanych, kursowania pociągów i realizacji zaplanowanego rozkładu jazdy po wystąpieniu czynników zakłócających. Usystematyzowano metody oceny odporności stosowane w literaturze i wyróżniono następujące parametry: odzyskana punktualność, udział pociągów punktualnych, rzeczywisty czas podróży, liczba pociągów na szlaku, długość alternatywnych ścieżek, średnie opóźnienie pociągu, opóźnienie przez działania powiązane,



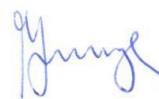
realizacja działań powiązanych, rozmieszczenie buforów czasowych, czas postoju, opóźnienie na stacjach, bufor czasowy w punktach krytycznych, identyfikacja stacji (węzłów) sieci, które nie generują opóźnień.

Rozdział 6 jest rozdziałem metodologicznym, w którym zawarto podstawowe założenia metodologiczne rozprawy, tj. tezę, przedmiot i cel badań oraz zakres pracy. Przedstawiono także problemy szczegółowe, metody i narzędzia oraz ogólny problem badawczy będące zarazem zadaniami badawczymi, których realizacja pozwoliła osiągnąć założony przez Autora cel badań. Do postawienia tezy pracy w zakresie przedmiotu badań oraz określenia celu pracy, przyczyniły się przede wszystkim dokonana analiza przeglądu literatury przedmiotu badań oraz doświadczenia zawodowe Autora.

Autor w sposób prawidłowy określił cel badań i problemy badawcze, bazując na stwierdzeniu, że dotychczas opracowano wiele metod oceny odporności, które nie zawsze uwzględniały rzeczywiste dane dotyczące zakłóceń oraz losowych charakter ich powstawania. Wynioskowano, że brakuje metody oceny odporności transportu szynowego, która uwzględniałaby jednocześnie wszystkie oceniane parametry oraz wskazywała jakie zmiany należy wprowadzić w rozkładzie jazdy w celu podwyższenia wartości wskaźników i jednocześnie odporności systemu na zakłócenia. W szczególności badania wskazują na potrzebę szczegółowej analizy 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). Przypisanie zdarzeń do poszczególnych elementów pozwala na wprowadzanie modyfikacji w harmonogramie uwzględniających uszkodzalność podsystemu infrastruktury i taboru, intensywność użytkowania systemu związaną z zależnościami ruchowymi pociągów oraz wpływ czynnika ludzkiego na funkcjonowanie systemu. Dodatkowo zakłócenia ruchowe pociągów mogą wpływać na inne pojazdy oraz powodować dodatkowe sytuacje generujące opóźnienie.

Autor zastosował w swoich badaniach zarówno teoretyczne, jak i empiryczne metody badań, których wyniki stanowiły podstawę do osiągnięcia zasadniczego celu pracy i rozwiązania problemów badawczych określonych w tym rozdziale. Należy przy tym podkreślić, że wyniki badań teoretycznych, których podstawą była krytyczna analiza literatury przedmiotu, przyczyniły się do logicznego uporządkowania aktualnego stanu wiedzy z zakresu odporności systemu transportu kolejowego na zakłócenia.

Rozdział 7 jest rozdziałem, w którym opisano opracowaną metodę rekonfiguracji planowanego rozkładu jazdy z uwzględnieniem odporności systemu transportu kolejowego.



W pierwszym opracowanym przez Autora algorytmie wykonawczym tworzona jest baza pociągów na podstawie pobranego rozkładu jazdy, zaplanowanego według procedur zarządcy sieci kolejowej. W kolejnym algorytmie generowane są zdarzenia niepożądane w sieci kolejowej, następnie budowany jest model symulacyjny i przeprowadzane eksperymenty. Działanie w ramach pierwszej warstwy polega na implementacji zaplanowanego rozkładu jazdy do metody rekonfiguracji planowanego rozkładu jazdy z uwzględnieniem odporności systemu transportu kolejowego, natomiast warstwa 2 współdziała ze sobą w ramach prowadzenia symulacji i generowania w niej zdarzeń niepożądanych. Autor opracował rzeczywiste dane dotyczące zakłóceń na analizowanej sieci kolejowej. Do danych empirycznych dopasował teoretyczne rozkłady gęstości prawdopodobieństwa dla czasów pomiędzy zdarzeniami i czasów trwania zdarzeń. Dopasowane rozkłady teoretyczne potwierdzono testem zgodności Kołmogorowa-Smirnowa na poziomie istotności 0,05. Opisano także wszystkie parametry prowadzonej symulacji podzielone na następujące kategorie: stacje, urządzenia sterowania ruchem kolejowym, odcinki torowe, symulacja, rozkład jazdy, zakłócenia. Po przeprowadzeniu eksperymentu symulacyjnego na podstawie uzyskanych wyników, z wykorzystaniem opracowanych przez Autora algorytmów obliczany jest wskaźnik odporności W_{-b}^j dla pociągów. Autor na podstawie przeprowadzonego przeglądu literatury opracował syntetyczne wskaźniki odporności: wskaźnik udziału pociągów punktualnych W_{up}^j , wskaźnik wydłużenia czasu podróży W_{wczp}^j , wskaźnik działań powiązanych W_{dp}^j , wskaźnik opóźnienia pociągu na stacjach W_{op}^{ji} , wskaźnik opóźnienia na stacjach W_{opost}^i . W przypadku, w którym wskaźnik nie uzyskał wartości krytycznej W_{-bkr} wprowadzane są zmiany w rozkładzie jazdy w zakresie: przesunięć pociągów, relokacji bufora czasowego, zmiany czasów działań powiązanych, dodania bufora czasowego. Następnie cały proces powtarza się, aż do uzyskania wartości wskaźnika odporności W_{-b}^j wyższej od krytycznej W_{-bkr} . Autor w sposób prawidłowy opracował formułę do obliczania wskaźnika odporności W_{-b}^j przeprowadzając analizę niezależności zdarzeń. Wartość krytyczna wskaźnika odporności W_{-bkr} została wyznaczona na podstawie przyjętych wartości krytycznych dla jego składowych: wskaźnika udziału pociągów punktualnych W_{up}^j , wskaźnika wydłużenia czasu podróży W_{wczp}^j , wskaźnika działań powiązanych W_{dp}^j . W tym celu przeprowadzono wywiad ekspercki oraz przegląd publikacji naukowych.

Należy przy tym uznać, że opracowana w tym rozdziale przez Autora metoda jest prawidłowa i może stanowić podstawę do realizacji dalszych badań.

Rozdział 8 będący końcowym rozdziałem merytorycznym niniejszej rozprawy poświęcono aplikacji i weryfikacji modelu symulacyjnego linii kolejowej zbudowanego



w programie symulacyjnym OpenTrack. Opracowana przez autora metoda rekonfiguracji planowanego rozkładu jazdy z uwzględnieniem odporności systemu transportu kolejowego została zaaplikowana i zweryfikowana na odcinku linii kolejowej 271 (Wrocław-Żmigród). Dane wejściowe do weryfikacji modelu symulacyjnego linii kolejowej stanowiły rozkłady gęstości prawdopodobieństwa występowania zdarzeń i czasów pomiędzy zdarzeniami. Informacją wyjściową było opóźnienie pociągów. Do weryfikacji dystrybuanty opóźnień pociągów na poszczególnych stacjach, empirycznej oraz otrzymanej z modelu symulacyjnego wykorzystano test zgodności Kołmogorowa-Smirnowa na poziomie istotności $\alpha=0,05$. Poprzez walidację udowodniono, że opracowany model symulacyjny linii kolejowej prawidłowo odwzorowuje rzeczywistość i może zostać użyty do rekonfigurowania rozkładu jazdy celem zwiększenia jego odporności na zakłócenia. Przeprowadzono 200 powtórzeń symulacji dla każdego z pociągów poruszających się po omawianej linii kolejowej oraz pociągów powiązanych dla pierwotnego rozkładu jazdy oraz rozkładu jazdy po przeprowadzonych zmianach w ramach algorytmu rekonfiguracyjnego. Dla każdego kroku wprowadzania zmian w rozkładzie jazdy była uruchamiana symulacja i aktualizowano zmienność wartości wskaźnika. Dla pierwotnego rozkładu jazdy otrzymano sumaryczny wskaźnik odporności systemu W_{zbs} na poziomie 0,57, a dla po przeprowadzonych rekonfiguracjach wartość wskaźnika zwiększyła się do wartości 0,75. Autorowi 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. Szczegółowy opis poszczególnych kroków algorytmu zestawiono w tabeli, a zmienność wskaźników dla każdego kroku w tabelach w załącznikach. Wyniki badań zrealizowanych w tym rozdziale pozwoliły Autorowi na osiągnięcie zasadniczego celu badań w aspekcie naukowym i praktycznym.

W **Podsumowaniu i wnioskach (rozdział 9)** Autor przedstawił końcowe podsumowanie wyników zrealizowanych prac badawczych. Podkreślił, że opracowana metoda rekonfiguracji planowanego rozkładu jazdy została zweryfikowana na rzeczywistym odcinku linii kolejowej odwzorowanym w programie symulacyjnym i archiwalnych danych o zakłóceniach dla tej linii. Metoda składa się z: algorytmu budowy bazy pociągów, algorytmu przypisywania zdarzeń niepożądanych, algorytmu symulacji z zakłóceniami, algorytmów obliczania wskaźników odporności rozkładu jazdy, algorytmu wprowadzania zmian w rozkładzie jazdy. Umożliwia ona ocenę rozkładu jazdy i wprowadzanie w nim zmian zgodnie z opracowanymi algorytmami i wskaźnikami, które pozwalają na zwiększenie odporności systemu transportu



kolejowego na zakłócenia. W aspekcie odporności systemu transportu szynowego została opracowana definicja oraz zidentyfikowane zostały wskaźniki kwantyfikujące odporność na zakłócenia rozkładów jazdy pociągów, które dotychczas nie były systematycznie uwzględniane. Należy przy tym podkreślić, że metoda jest Autorskim rozwiązaniem doktoranta. Ma ona charakter uniwersalny i może być stosowana do oceny i wprowadzania zmian w rozkładach jazdy dowolnych przewoźników kolejowych, w różnych warunkach operacyjnych i infrastrukturalnych. Opracowana metoda może w praktyce posłużyć do weryfikacji rozkładu jazdy w aspekcie jego odporności na zakłócenia i rekonfiguracji przed wdrożeniem do systemu rzeczywistego. Na uwagę zasługuje również zbudowany przez Autora szczegółowy model symulacyjny linii kolejowej.

4. Ocena rozprawy i uwagi

Doktorant umiejętnie zrealizował w pracy rozważania dla potrzeb osiągnięcia założonego celu naukowego oraz osiągnięcia określonych aspektów w zakresie celu ogólnego i problemów badawczych. Przedstawioną do recenzji pracą dowiódł, że cele przedstawione na str. 73 - 74, zostały osiągnięte.

Autor zidentyfikowane wskaźniki kwantyfikujące odporność systemu transportu kolejowego na zakłócenia, które dotychczas nie były systematycznie uwzględniane. Z ich wykorzystaniem opracował metodę rekonfiguracji planowanego rozkładu jazdy z uwzględnieniem odporności systemu transportu kolejowego na zakłócenia. Doktorant stwierdził, że rosnące zainteresowanie przewozami kolejowymi i coraz większa częstotliwość kursowania pociągów powoduje wzrost liczby zdarzeń niepożądanych i opóźnienia pociągów. Opracowana przez Doktorant metoda umożliwia ocenę planowanego rozkładu jazdy i wprowadzanie w nim zmian zgodnie z opracowanymi algorytmami. Została ona zweryfikowana na rzeczywistym odcinku linii kolejowej odwzorowanym w programie symulacyjnym i pozwoliła na poprawę wskaźnika odporności na zakłócenia systemu transportu kolejowego. Metoda Autora wykorzystuje: opracowane rzeczywiste dane o zdarzeniach niepożądanych przypisywane do poszczególnych elementów modelu symulacyjnego w formie rozkładów gęstości prawdopodobieństwa, ograniczenia związane z konstrukcją kolejowego rozkładu jazdy, syntetyczne wskaźniki odporności związane z: udziałem pociągów punktualnych, wydłużeniem czasu podróży, opóźnieniem pociągów na stacjach, działaniami powiązаныmi i opóźnieniem na stacji. Opracowana metoda składa się z pięciu algorytmów: algorytmu budowy bazy pociągów, algorytmu przypisywania zdarzeń



niepożądanych, algorytmu symulacji z zakłóceniami, algorytmów obliczania wskaźników odporności rozkładu jazdy na zakłócenia, algorytmu wprowadzania zmian w rozkładzie jazdy.

Na to uwagę zasługuje to, że metoda ma charakter uniwersalny i może być zaaplikowana u dowolnego przewoźnika kolejowego.

Stwierdzam, że treść pracy jest zgodna z jej tytułem. Rozprawa jest napisana według zasad obowiązujących przy redagowaniu prac doktorskich, a jej układ jest w zasadzie poprawny. Podział pracy na rozdziały jest właściwy, a ich tytuły są w zasadzie (Uwagi merytoryczne) jasno określone i tworzą logicznie uporządkowany materiał. Rozdziały wraz z podrozdziałami w większości oddają jednoznacznie zawarte w nich treści (Uwagi merytoryczne). Bibliografia źródłowa stanowi 205 pozycji literaturowych dobrze dobranych do wsparcia treści rozprawy i prowadzonych rozważań oraz jest właściwie zaprezentowana przez cytowanie w tekście. Zdziwienie budzi brak nazwiska Autora rozprawy doktorskiej na jej stronie tytułowej. Nazwisko Doktoranta znajduje się na drugiej stronie (nie wliczając w liczbę stron pierwszej okładki). W wielu publikacjach naukowych często przytaczamy tylko nazwisko (nazwiska) autora (autorów) i rok publikacji.

Zauważone uwagi dotyczące treści merytorycznych rozprawy, a w szczególności:

- W pracy doktorskiej brakuje jasno określonej tezy rozpraw. Co prawda na stronie 12 Autor napisał „...istotnym wydaje możliwość szacowania skutków wprowadzania modyfikacji w rozkładzie jazdy na efekt końcowy punktualnego działania systemu transportu szynowego”, ale to stwierdzenie trudno jest jednoznacznie interpretować jako tezę rozprawy.
- Według opiniującego tytuł rozdziału 4. *Stan wiedzy z zakresu obszarów eksploatacji systemu transportu kolejowego* nie do końca jest zgodny z treścią tego rozdziału. Eksploatacja systemu transportu kolejowego obejmuje znacznie większy obszar niż ten, który Doktorant przedstawił w tej części pracy np. systemy łączności pociągowej. Bez poprawnie funkcjonującej łączności pociągowej nie można realizować zadań przewozowych w transporcie kolejowym zgodnie z rozkładem. Wydają się, że odpowiedniejszym tytułem tej części pracy może być np. *Analiza i ocena odporności systemu eksploatacji transportu kolejowego*. W tej części rozprawy Doktorant przeanalizował metody oceny odporności stosowane w literaturze i wyróżnił wybrane parametry stanowiące podstawę dalszych rozważań w tej rozprawie.
- Dyskusyjna uwaga dotycząca rozdziałów 2 i 3. Zdaniem oceniającego te dwa rozdziały powinny być stanowić jeden rozdział, uzupełniony o podrozdział 4.1. *Odporność systemu transportu kolejowego* i posiadać jeden wspólny tytuł np. *Analiza*

stanu zagadnienia. Rozpatrywane przez Autora obszary tej analizy można opisać w odpowiednio zatytułowanych wyróżnionych podrozdziałach.

- W analizie stanu wiedzy z zakresu obszarów eksploatacji systemu transportu kolejowego Autor nie uwzględnił problematyki techniczno-ruchowych i eksploatacyjnych uwarunkowań automatycznego prowadzenia pociągu. A te aspekty mają wpływ między innymi na zwiększenie zdolności przepustowej linii kolejowych i były publikowane w polskich czasopismach naukowych.
- W podrozdziale 4.2. *Wskaźniki oceny odporności systemu eksploatacji transportu szynowego* Doktorant w przeprowadzonym przeglądzie literatury omówił metody oceny odporności systemu eksploatacji transportu szynowego związane z uwzględnieniem rozkładu jazdy, taboru i sieci kolejowej. Zdaniem oceniającego pełniejszy przegląd tych metod byłby, gdy zostały uwzględnione też inne przyczyny opóźnień. Do nich można zliczyć przyczyny handlowe, które generują największą liczbę opóźnień, z czego najbardziej istotne są przyczyny związane z lokowaniem podróźnych oraz późne zgłaszanie gotowości do odjazdu pociągu oraz zewnętrzne obejmujące przede wszystkim wypadki z udziałem innych pojazdów, ludzi czy zwierząt, akty chuligaństwa, istotne obecnie cyberataki lub te związane ze zjawiskami atmosferycznymi.
- Zastanawia fakt, że w Bibliografii źródłowej nie ma żadnej publikacji Doktoranta ani samodzielnej, ani współautorskiej. Trudno jest stwierdzić na ile problematyka rozprawy była przedmiotem wcześniejszych badań Autora.

W tej części recenzji odniosę się do tych zagadnień, których w tekście pracy nie znalazłem. Przy czym zawarte poniżej uwagi często mają charakter wątpliwości i zarazem formułują pytania, na które chciałbym, żeby Doktorant w trakcie publicznej obrony udzielił odpowiedzi.

1. W jaki sposób ustalono kolejność kroków w algorytmach związanych ze zmianami w rozkładach jazdy pociągów?
2. Czy metoda jest uniwersalna i może być zastosowana w innym kraju/u innego przewoźnika kolejowego?
3. Czy opracowana metoda uwzględnia normy kolejowe?

5. Wnioski końcowe

Reasumując należy stwierdzić, że mgr inż. Łukasz Wolniewicz:



1. Dokonał klasyfikacji i opracowania danych rzeczywistych o zdarzeniach niepożądanych występujących w systemie transportu kolejowego.
2. Przeprowadził identyfikację ograniczeń związanych z konstrukcją kolejowego rozkładu jazdy.
3. Zdefiniował pojęcie odporności dla systemu transportu kolejowego.
4. Opracował słownik pojęć używanych w rozprawie doktorskiej.
5. Wyznaczył syntetyczne wskaźniki odporności związane z: udziałem pociągów punktualnych, wydłużeniem czasu podróży, opóźnieniem pociągów na stacjach, działaniami powiązanymi i opóźnieniem na stacji.
6. Przeprowadził analizę niezależności syntetycznych wskaźników odporności.
7. Zrealizował postawione cele rozprawy i udowodnił tezę rozprawy.
8. Przeanalizował rzeczywisty rozkład jazdy pociągów na analizowanej linii kolejowej.
9. Opracował metodę rekonfiguracji planowanego rozkładu jazdy z uwzględnieniem odporności transportu kolejowego, składającą się z następujących algorytmów: budowy bazy pociągów, przypisywania zdarzeń niepożądanych, symulacji z zakłóceniami, obliczania wskaźników odporności rozkładu jazdy na zakłócenia, wprowadzania zmian w rozkładzie jazdy.
10. Wyznaczył wartości krytyczne wskaźników odporności na zakłócenia.
11. Zbudował i zweryfikował model symulacyjny rzeczywistej linii kolejowej w programie symulacyjnym.
12. Przeprowadził analizę uzyskanych wyników i ich weryfikację.

Przechodząc do podsumowania można stwierdzić, że Doktorant w sposób jednoznaczny określiła problem badawczy, potrafił samodzielnie sformułować zadanie naukowe, które następnie rozwiązał. Analizowany problem jest dość trudny teoretycznie, a poprawne jego rozwiązanie świadczy o dojrzałości badawczej Doktoranta. Przedstawiona rozprawa wykazuje, że Doktorant dysponuje wiedzą i dorobkiem naukowym o charakterze podstawowym w dziedzinie nauk inżynierjno-technicznych w dyscyplinie Inżynieria lądowa i transport w zakresie eksploatacji systemów transportowych.

Wyrażam opinię, że recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Łukasza Wolniewicza spełnia wymagania wynikające z Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 poz. 1668 z późn. zm) Dział V Stopnie i tytuł w systemie szkolnictwa wyższego i nauki oraz mieści się w dyscyplinie naukowej Inżynieria Lądowa i Transport. Biorąc powyższe pod uwagę stawiam wiosek o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.*

Mariusz Swajkowski