

dr hab. inż. Andrzej Toruń – profesor Instytutu Kolejnictwa
Instytut Kolejnictwa
Zakład Sterowania Ruchem i Teleinformatyki
e-mail: atorun@ikolej.pl

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Macieja Irlika

„Wpływ raportowania pozycji pociągu na przepustowość linii kolejowej”

/"Impact of the train position reporting on railway line capacity"/

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawą wykonania recenzji jest Uchwała 09/2023 Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Śląskiej z dnia 23.03.2023 podpisana przez Przewodniczącego Rady Dyscypliny Pana dr hab. inż. Marcina Staniek – prof. PŚ. (przekazana pismem recenzentowi RDILGT.512.25.2023 z dnia 27.03.2023r. podpisane przez Przewodniczącego Rady Dyscypliny Pana dr hab. inż. Marcina Staniek – prof. PŚ).

Recenzja stanowi wynik realizacji Umowy o dzieło nr UMC/1038/2023 zawartej z Politechniką Śląską.

Dokumentację merytoryczną do sporządzenia recenzji stanowi egzemplarz papierowy (książka – 245 stron) rozprawy pt. *„Wpływ raportowania pozycji pociągu na przepustowość linii kolejowej”* autorstwa Pana mgr inż. Macieja Irlika.

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Piotr Folęga, profesor Politechniki Śląskiej,

Promotor pomocniczy: dr inż. Szymon Surma

2. Syntetyczna charakterystyka recenzowanej rozprawy, ocena doboru tematu rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Macieja Irlika napisana została na 245 stronach (w tym 13 załączników o łącznej liczbie 60 stron) oprawionych w książkę formatu A4 w twardej oprawie i zawiera:

- streszczenie w języku polskim oraz angielskim,
- spis treści,
- wykaz oznaczeń używanych w pracy,
- wykaz skrótów używanych w pracy,
- wykaz pojęć używanych w pracy,
- dziesięć ponumerowanych rozdziałów, w tym: uzasadnienie podjęcia tematu rozprawy, trzy rozdziały merytoryczne dotyczące ogólnych zagadnień związanych z inżynierią ruchu i systemami sterowania ruchem kolejowym oraz cztery rozdziały merytoryczne (stanowiące istotę rozwiązania problemu badawczego) zawierające opis modeli jazdy pociągów (w tym opis modelu zaproponowanego przez doktoranta), wyniki badań symulacyjnych dla

zaproponowanych modeli jazdy pociągów w odniesieniu do parametru zdolności przepustowej linii kolejowej, wyniki weryfikacji uzyskanych wyników symulacji w odniesieniu do wybranej rzeczywistej linii kolejowej oraz podsumowanie,

- bibliografię liczącą 139 pozycji krajowych i zagranicznych, w tym 10 pozycji Autora rozprawy (6 samodzielnych i 4 jako Współautor), oraz 3 odniesienia do stron internetowych,
- spis tabel,
- spis ilustracji,
- Załączniki:
 - do rozdziału 7 pracy, (zał. 7.1.1.÷ 7.1.5, 7.3.1., 7.3.5) – 10 załączników,
 - do rozdziału 8 pracy, (zał. 8.1.1.) – 1 załącznik,
 - do rozdziału 9 pracy, (zał. 9.1.1., 9.1.2) – 2 załączniki,

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska odnosi się do obszaru wiedzy z zakresu transportu kolejowego i porusza tematykę badań wpływu systemów sterowania i kierowania ruchem kolejowym (w szczególności metod detekcji położenia pociągu) na warunki eksploatacyjne linii kolejowych tj. wpływu na jej zdolność przepustową.

Z punktu widzenia potrzeb szeroko rozumianego rynku kolejowego, są to problemy aktualne i mające wpływ zarówno na procesy związane z zapewnieniem rosnącego zapotrzebowania przewoźników na dostęp do infrastruktury, ale również na planowanie inwestycji i modernizacji linii a przede wszystkim na zapewnienie bezpieczeństwa ruchu kolejowego.

Dlatego też, wszelkie próby rozwiązania problemu optymalizacji zdolności przepustowej linii kolejowej w tym poszukiwanie nowych modeli pozwalających na oszacowanie przewidywanych parametrów linii kolejowej zwłaszcza w powiązaniu jej wyposażeniem w systemy sterowania ruchem kolejowym (również w systemy komputerowe działające w rozproszonej logice) należy uznać, za zagadnienie istotne dla planowania oraz poprawy dostępności w obszarze transportu kolejowego.

W rozprawie Doktorant zaproponował rozwiązanie problemu szacowania zdolności przepustowej linii kolejowej w odniesieniu do stopnia wyposażenia linii kolejowej w systemu sterowania ruchem kolejowym (klasyczną – sygnalizacja świetlna oraz stałe ostępy detekcji taboru, oraz zaproponowaną w pracy metodę raportowania położenia – wirtualizację wyznaczania położenia pojazdu kolejowego). Dla celów badawczych Doktorant opracował oprogramowanie symulacyjne w środowisku MATLAB&Simulink, które zweryfikował dla przyjętych dwóch modeli jazdy pociągu:

- pojazd prowadzony przez maszynistę na podstawie wskazań sygnalizatorów przytorowych,
- pojazd prowadzony przez maszynistę pod nadzorem systemu klasy BKJP (bezpieczna kontrola jazdy pociągu) – ETCS (European Train Control System) w oparciu o raportowaną pozycję pociągu.

Uważam, że podjęta tematyka rozprawy ma znaczenie zarówno pod względem poznawczym, naukowym jak i użytecznym. Za pierwiastek naukowy rozprawy należy uznać opracowanie autorskiej metody szacowania i oceny zdolności przepustowej linii kolejowej w zależności od jej wyposażenia w systemy sterowania ruchem kolejowym. Użyteczny charakter odnosi się do możliwości wdrożenia proponowanej metody w zastosowaniach praktycznych (wykorzystanie opracowanego modelu i oprogramowania symulacyjnego np. na etapie planowania modernizacji linii kolejowych).

Na tej podstawie mogę stwierdzić, że temat rozprawy jest dysertabilny i aktualny.

3. Teza i cel pracy

W przedstawionej do recenzji rozprawie Doktorant podjął się rozwiązania złożonego zagadnienia określonego, jako szacowanie zdolności przepustowej linii kolejowej w zależności od przyjętego modelu prowadzenia ruchu wynikającego z zastosowanych na linii kolejowej środków technicznych tj. systemów sterowania ruchem kolejowym.

W uzasadnieniu wyboru tematyki badawczej Doktorant odniósł się do transportu kolejowego jako problematyki, którą można rozpatrywać na wielu płaszczyznach, m.in. jej wpływu na społeczeństwo i środowisko, w tym kontekście zwiększanie dostępności przewozów poprzez poprawę zdolności przepustowej linii kolejowej oraz poprawa płynności ruchu pociągów niewątpliwie przyczynia się do poprawy dostępności kolei dla klienta oraz ograniczenia emisji CO₂ (zwiększenie udziału transportu kolejowego w rynku przewozowym przy właściwym doborze systemów sterowania ruchem kolejowym wynikającym z potrzeb aktualnych i przewidywanych).

Jak zauważył Doktorant (s.16) cyt. „.....*Metody symulacyjne oceny zdolności przepustowej linii kolejowej opierają się na dedykowanych rozwiązaniach lub bazują na komercyjnym oprogramowaniu do modelowania i symulacji środowiska kolejowego Programy (Metody) te mają jednak swoje ograniczenia, głównie w zakresie możliwości parametryzacji modelu pociągu oraz modelu infrastruktury...*”

dlatego też, mimo dostępności różnych komercyjnych narzędzi programowych (np. oprogramowanie RailSys) brak jest na rynku uniwersalnego narzędzia o dużym stopniu szczegółowości i parametryzacji, które umożliwiałoby odwzorowanie zasad sygnalizacji oraz metod prowadzenia pociągów w szczególności na kolejach polskich.

Analiza ta stała się przyczynkiem do sformułowania zagadnienia będącego przedmiotem rozprawy – celu pracy, który Doktorant zdefiniował na s. 18 rozprawy - Cel główny: cyt. „...*Opracowanie modeli jazdy pociągów i oprogramowania symulacyjnego w celu oceny wpływu nowoczesnych systemów sterowania ruchem kolejowym na zdolność przepustową linii kolejowej.*”

Dodatkowo cele pomocnicze (6 – celów) pozwalających na osiągnięcie przyjętego celu zasadniczego: cyt. „.....

Cel 1: Opracowanie założeń do modelu jazdy pociągu sterowanego przez maszynistę w oparciu o sygnalizację przytorową stosowaną na sieci kolejowej w Polsce.

Cel 2: Opracowanie założeń do modelu jazdy pociągu sterowanego przez sygnalizację kabinową z wykorzystaniem systemu bezpiecznej kontroli jazdy pociągu ETCS oraz przy zastosowaniu dodatkowego podziału odstępu blokowego w oparciu o wirtualne odstępy.

Cel 3: Wykorzystanie w modelach jazdy pociągu rzeczywistych charakterystyk przyspieszania i hamowania pociągu, uzyskanych z pomiaru, oraz charakterystyk hamowania zgodnych z modelem hamowania zdefiniowanym w standardzie ETCS.

Cel 4: Wykonanie sprawdzenia poprawności działania oprogramowania symulacyjnego na bazie opracowanych modeli jazdy pociągu.

Cel 5: Przeprowadzenie badań symulacyjnych związanych z kontrolowanym wyprawianiem pociągów na szlak w celu wyeliminowania strat czasu wynikających z hamowania i przyspieszania pociągu w wyniku zaistnienia konfliktu ruchowego z poprzedzającym pociągiem.

Cel 6: Przeprowadzenie badań symulacyjnych zdolności przepustowej przy wykorzystaniu opracowanych modeli jazdy pociągów przy różnych konfiguracjach podziału odstępów:

- *klasyczny podział zgodny z rzeczywistym rozmieszczeniem semaforów odstępowych;*
- *zastosowanie dodatkowego podziału odstępu z wykorzystaniem wirtualnych odstępów.*

...

Zakres pracy jest obszerny i prezentuje tematykę badawczą, którą zajmuje się autor rozprawy. Został on podporządkowany realizacji celu pracy. W efekcie Doktorant podjął się opracowania modeli, które mogą zostać zastosowane do opisu procesu jazdy pociągów oraz odwzorował je i zweryfikował w środowisku programowym MATLAB&Simulink.

Mając na względzie tak sformułowany cel pracy Doktorant stawia tezę - Teza rozprawy (str. 18) – cytuję:

„Wykorzystanie modeli jazd pociągów, z uwzględnieniem rzeczywistych charakterystyk przyspieszania i hamowania w badaniach symulacyjnych, umożliwia ocenę zdolności przepustowej linii kolejowej przy wykorzystaniu różnych systemów sterowania ruchem kolejowym.”.

Zdaniem recenzenta tak sformułowana Teza rozprawy wyznacza granice i zakres stosowania proponowanych modeli do wykorzystania przy realizacji określonego celu w ramach rozważań prowadzonych przez Autora.

Z naukowego punktu widzenia teza jest postawiona prawidłowo i jest adekwatna do tematu i celu pracy.

4. Analiza treści rozprawy

Zasadnicza treść rozprawy zdaniem recenzenta zawarta jest w rozdziałach 5-9.

Całość pracy można podzielić na dwie zasadnicze części.

Pierwsza część rozprawy obejmująca rozdziały 1÷4, dotyczy uzasadnienia wyboru tematu, analizy stanu istniejącego, sformułowania celu badawczego, a także rozważań teoretyczno-badawczych dotyczących badawczego obszaru z zakresu inżynierii ruchu oraz systemów sterowania ruchem kolejowym.

Rozdział pierwszy (*Uzasadnienie podjęcia tematu* – 6 stron) zawiera wprowadzenie w tematykę badawczą poruszaną przez Doktoranta w rozprawie oraz jest dla czytelnika wprowadzeniem w rozważany w rozprawie problem badawczy.

Stanowi również uzasadnienie przyjętego przez Doktoranta celu pracy, a szczegółowa analiza aktualnego stanu wiedzy pozwoliła na określenie kierunku badań, oraz na sformułowanie omówionej już w recenzji tezy pracy.

Syntetyczną informację na temat zawartości poszczególnych rozdziałów pracy Doktorant zawarł w **rozdziale drugim** (*Układ rozprawy* – 1 strona). Pozwala ona oraz przedstawiła kolejne kroki postępowania Doktoranta.

Dopełnieniem części pierwszej rozprawy stanowią rozdziały trzy i cztery – w **rozdziale trzecim** (*Zdolność przepustowa linii kolejowej* – 17 stron) Doktorant definiuje obszar badawczy z zakresu inżynierii ruchu charakteryzując pojęcia, metody szacowania i oceny zdolności przepustowej linii

dr hab. inż. Andrzej Toruń – profesor Instytutu Kolejnictwa, recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Macieja Irlika „Wpływ raportowania pozycji pociągu na przepustowość linii kolejowej” / "Impact of the train position reporting on railway line capacity"

kolejowej. W szczególności w rozdziale 3.2 (*Badania zdolności przepustowej linii kolejowej*) dokonuje charakterystyki metod badawczych (metody analityczne, optymalizacyjne, symulacyjne).

Definicje i opisy Doktorant uzupełnia bogatym materiałem ilustracyjnym (wykresy, tabele, wzory), poprawiającym czytelność pracy. **Rozdział czwarty** (*Systemy sterowania ruchem kolejowym (srk)* – 15 stron) podobnie jak rozdział trzeci ma charakter poznawczy i stanowi usystematyzowaną wiedzę z obszaru systemów sterowania ruchem kolejowym w zakresie niezbędnym czytelnikowi. W rozdziale tym Doktorant przedstawia podstawowe pojęcia, klasyfikację systemów srk wraz ich przeznaczeniem i rolę jaką pełnią w „podsystemie sterowanie”, a co jest szczególnie istotne przybliża czytelnikowi ogólną zależność pomiędzy wyposażeniem linii kolejowej w systemy sterowania ruchem kolejowym a ich oddziaływaniem na zdolność przepustową linii kolejowej, która stanowi przedmiot rozważań merytorycznych Autora.

Definicje i opisy Doktorant uzupełnia bogatym materiałem ilustracyjnym (wykresy, tabele, wzory), poprawiającym czytelność pracy

Druga część rozprawy obejmująca rozdziały 5÷9 (oraz załączniki), ma charakter badawczy i użytkowy stanowiąc element zasadniczy rozprawy. W moim przekonaniu rozdziały te decydują o wartości naukowej rozprawy.

Rozdział piąty (*Modele jazdy pociągów* – 19 stron) zawiera definicję autorskich modeli opisujących jazdy pociągów. W rozdziale tym Doktorant opisuje przyjęte w rozważaniach dwa modele jazdy pociągów:

- (p. 5.1 *Model jazdy pociągów w oparciu o sygnalizację przytorową*) – model 1,
- (p. 5.2 *Model jazdy w oparciu o raportowaną pozycję pociągu*) – model 2,

Dla każdego z modeli zdefiniowane zostały szczegółowe założenia, warunki realizacyjne oraz charakteryzuje poszczególne parametry modelu wynikające z parametrów linii kolejowej, wyposażenia infrastruktury, rodzaju pociągu, czy wyposażenia w urządzenia sterowania ruchem kolejowym – zasada prowadzenia ruchu.

Doktorant uzupełnił opisy materiałem ilustracyjnym (wykresy, tabele), ale odnoszą się one do poszczególnych założeń szczegółowych.

Część założeń pozwala na jednoznaczne określenie danych wejściowych do symulacji, czy zasad „pracy” algorytmu zastosowanego w modelu:

Np. założenie I. s 52 – „...*Wprowadzany jest profil dopuszczalnej prędkości na szlaku ...*”.

czy warunków uwzględnianych (przetwarzanych) przez algorytm modelu:

Np. założenie V. s 53 – „...*Podczas symulacji są uwzględniane współrzędne początku (czoła) i końca każdego z pociągów jadących po szlaku ...*”.

Np. założenie XI. s 60 – „...*Hamowanie odbywa się, gdy czoło pociągu osiągnie współrzędną indywidualną dla danego semafora i pociągu drogi wyprzedzenia (lub nawet opóźnienia) rozpoczęcia hamowania [m] względem semafora, na którym jest wyświetlany sygnał „pomarańczowy S5 ...*”.

Np. założenie XIX. s 62 – „...*W modelu wprowadzono sygnał, nazwany jako „hamuj”, indywidualny dla danego pociągu, który oznacza rozpoczęcie hamowania przez pociąg lub nierozpoczęcie jazdy. Wartość sygnału „hamuj” równa „1” oznacza brak hamowania i jazdę pociągu, natomiast wartość sygnału „hamuj” równa „0” lub „-1” oznacza hamowanie pociągu lub nierozpoczęcie jazdy (dalsze zatrzymanie)...*”.

Jednak przypadku wielu definicji założeń dla modelu Doktorant używa sformułowania „...możliwe jest...”:

Np. założenie IV. s 53 – „...Możliwe jest wprowadzenie indywidualnych długości pociągów znajdujących się na szlaku...”.

Np. założenie VI. s 53 – „...Możliwe jest wprowadzenie indywidualnie dla danego szlaku współrzędnych semaforów odstępowych, rozpoczynających dany odstęp ...”.

Doktorant nie wyjaśnia czy jest to warunek opcjonalny czy wymagany w symulacji i czy brak zdefiniowania tego parametru powoduje, że w oprogramowaniu przyjęty jest parametr domyślny.

Podkreślić należy, że w modelu 2 Doktorant zaproponował dodatkowy podział odcinków detekcji pociągu poprzez podział istniejących klasycznych odcinków torowych (wykorzystywanych w metodzie 1) z wykorzystaniem wirtualnych detektorów położenia, co pozwala na przekazanie (np. w systemie ETCS) do systemu pokładowego dokładniejszej pozycji pociągu oraz skraca czas zajętości odcinka krytycznego kluczowego z punktu widzenia przepustowości linii kolejowej.

Na stronie 66 Doktorant przedstawia wybrane fragmenty realizacji modelu w środowisku MATLAB&Simulink dla modelu opartego o wykorzystanie blokady 3-stawnej (rysunek 5-15) jednak nie przedstawia on w pracy podobnego odwołania dla metody prowadzenia ruchu z wykorzystaniem systemu ETCS (choć warianty wzajemnego oddziaływania pociągów dla tej metody zostały przedstawione na rysunku 5-18).

Zdaniem recenzenta w pracy zabrakło ogólnego opisu modelu, który został odwzorowany w środowisku MATLAB&Simulink, ponieważ samo przedstawienie założeń oraz parametrów przetwarzanych w modelach symulacyjnych (nawet tak szczegółowo jak to zostało zrobione w pracy 24 warunki realizacyjne dla modelu 1 uzupełnione o dodatkowe 14 warunków realizacyjnych dla modelu 2), bez wskazania architektury ogólnej modelu trudno jest ocenić w pełni poprawność realizacji przyjętych założeń w opracowanym przez Doktoranta oprogramowaniu.

Doktorant powinien jednoznacznie wskazać, które z warunków (założeń) przyjął jako dane wejściowe do symulacji, a które jako parametry są skalowane indywidualnie dla potrzeb symulacji, omówić ograniczenia modelu w zależności od przyjętych założeń, ponieważ ma to wpływ na interpretację (zrozumienie przez czytelnika) uzyskanych w dalszej części pracy wyników symulacji.

Rozdział piąty z punktu widzenia rozprawy jest rozdziałem kluczowym, definiującym modele symulacyjne, dlatego modele te powinny zostać przedstawione nie tylko w formie opisowej (założenia), ale również, jako algorytmy opisujące działanie modelu oraz jego powiązanie wewnątrz modułów logicznych - schemat blokowy modelu charakteryzujący zasadę jego działania i odwzorowania modeli prowadzenia ruchu w środowisku MATLAB&Simulink.

Pytanie do Autora:

- 1) Czy może Pan zdefiniować warunki brzegowe i ograniczenia dla opracowanych modeli jeśli chodzi o ich parametryzację.(zwłaszcza, że w rozdziale pierwszym zwraca Pan uwagę, na fakt istnienia ograniczeń w dostępnych modelach symulacyjnych stosowanych w programach komercyjnych np. OpenTrack czy RailSys – s.16).
- 2) Proszę przedstawić ogólny algorytm działania modelu.

W rozdziale szóstym (*Sprawdzenie opracowanego modelu jazdy w oparciu o sygnalizację przytorową – 5 stron*) Doktorant zawarł wyniki weryfikacji modelu wykonane w środowisku MATLAB&Simulink, przy zadanych parametrach brzegowych dla modelu opisanego w założeniach w rozdziale 5 – dla modelu jazdy w oparciu o sygnalizację przytorową.

Weryfikacja została przeprowadzona dla pojedynczego szczególnego przypadku (długość pociągu 800m, dla maksymalnego dozwolonego profilu prędkości dla szlaku), dlaadanego rozmieszczenia sygnalizatorów na linii kolejowej.

W wyniku weryfikacji oprogramowania Doktorant stwierdził, że praca detektorów oraz obrazy sygnałowe na poszczególnych sygnalizatorach (w trakcie symulacji – przejazdu pociągu), są prawidłowe i zgodne z symulowanym stanem detektorów) i odpowiadają przypisanym im współrzędnym rozmieszczenia sygnalizatorów.

Tym samym, zdaniem Autora s. 75 cyt. „...Pozwala to potwierdzić poprawność działania oraz zgodność z założeniami (przedstawionymi w rozdziale 5.1) modelu i oprogramowania symulacyjnego w zakresie:

- pracy detektorów i generowanych przez nie sygnałów na podstawie przejazdu pociągu o określonej długości i prędkości;
- poprawności generowania sygnałów wyświetlanych na semaforach;
- poprawności uwzględnienia w oprogramowaniu symulacyjnym geografii wprowadzonego szlaku (długości poszczególnych odstępów blokowych, odległości detektorów stanowiących punkty oddziaływania od odpowiadających im semaforów)...”.

W rozważaniach teoretycznych zwykle weryfikacja metody oznacza porównanie wyników uzyskanych badaną metodą do wyników uzyskanych innymi metodami (np. metody analityczne) lub wyników wygenerowanych w innym środowisku aplikacyjnym dla tej weryfikowanej metody.

PYTANIE:

Zdaniem Recenzenta sposób potwierdzenia poprawności działania wykorzystaniu zaproponowanej metody wymaga dodatkowego wyjaśnienia Doktoranta.

W rozdziale siódmym (*Badania symulacyjne z użyciem modelu jazdy pociągów w oparciu o sygnalizację przytorową – 20 stron*) Doktorant zawarł wyniki badań symulacyjnych wykonanych o zdefiniowany wcześniej model I tj. jazda w oparciu o sygnalizację przytorową. Badania zostały wykonane w celu oszacowania wpływu na zdolność przepustową linii kolejowej tj. wyznaczenia czasu zajęcia – czasu przejazdu pociągu przez szlak (odstęp blokowy) dla takich czynników jak:

- opóźnienie wyprawienia pociągu na szlak, (mające na celu redukcję niezasadnego hamowania i ponownego przyspieszania pociągu w wyniku konfliktu ruchowego z poprzedzającym pociągiem („dogonienie” pociągu poprzedzającego) o znanej charakterystyce jazdy),
- długość pociągu,
- zmiany charakterystyk jazdy pociągu, (liczba hamowań i rozruchów w trakcie jazdy).

Wykonane badania symulacyjne wykazały, że możliwe jest skrócenie czasu przejazdu pojedynczego pojazdu przez szlak poprzez kontrolowane jego wyprawienie na szlak i ograniczenie liczby hamowań i redukcji prędkości wymuszonych warunkami bezpieczeństwa (dojazd do sygnalizatora ograniczającego prędkość lub wskazującego sygnał „Stój”). Badania symulacyjne wykazały możliwą

dr hab. inż. Andrzej Toruń – profesor Instytutu Kolejnictwa, recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Macieja Irlika „Wpływ raportowania pozycji pociągu na przepustowość linii kolejowej” /”Impact of the train position reporting on railway line capacity”/

5% redukcję czasu przejazdu pojedynczego pociągu przez szlak (po wprowadzeniu zmiany w organizacji ruchu polegającej na kontrolowanym opóźnieniu wyprawienia pociągu na szlak bez konieczności wprowadzania zmian w infrastrukturze – wyposażeniu linii kolejowej w systemy srk), jednak zdaniem recenzenta ważniejszym wnioskiem wynikającym z wykonanych symulacji jest zachowanie płynności ruchu poprzez ograniczenie liczby hamowań i rozruchów pojazdu kolejowego w trakcie przejazdu co również przyczynia się do ograniczenia zużycia energii przez pojazd kolejowy (a tym samym do ograniczenia emisji CO₂).

Uzyskane wyniki symulacji potwierdziły poprawność przyjętych przez Doktoranta założeń do modeli oraz skuteczne działanie opracowanego narzędzia symulacyjnego co znajduje również we wnioskach do jakich doszedł sam Doktorant cyt. „... pozwalają potwierdzić poprawność: modelu i działania oprogramowania symulacyjnego, w zakresie możliwości wprowadzania różnych charakterystyk jazdy pociągów oraz ich wpływu na uzyskane czasy przejazdu danego pociągu i łączny czas przejazdu kolejnych pociągów...” (s.95)

W rozdziale ósmym (Sprawdzenie opracowanego modelu jazdy pociągu w oparciu o raportowaną pozycję pociągu – 9 stron) Doktorant zawarł wyniki symulacji oparte w wykorzystanie systemu ETCS.

Symulacje te pozwoliły Doktorantowi na zweryfikowanie poprawności działania modelu 2 zwłaszcza w warunkach wirtualizacji odstępów blokowych. Badania zostały przeprowadzone w celu potwierdzenia poprawności działania modelu wykorzystującego wirtualne odstępy blokowe (wirtualne detektory pozycji).

Uzyskane wyniki symulacji potwierdziły skuteczne działanie opracowanego narzędzia symulacyjnego (model 2) co znajduje również we wnioskach do jakich doszedł sam Doktorant „...Pozwala to potwierdzić poprawność działania oraz zgodność z założeniami (przedstawionymi w rozdziale 5.2) modelu i oprogramowania symulacyjnego w zakresie:

- pracy detektorów i generowanych przez nie sygnałów na podstawie przejazdu pociągu;
- poprawności odblokowania semaforów dla kolejnego pociągu P+1 w zakresie możliwości wydłużenia zezwolenia na jazdę w wyniku przejazdu pociągu P;
- poprawności uwzględnienia w oprogramowaniu symulacyjnym geografii wprowadzonego szlaku z dodatkowym podziałem odstępów (długości poszczególnych odstępów blokowych, odległości detektorów stanowiących punkty oddziaływania od odpowiadających im semaforów)..” (s.104)

Uwaga recenzenta:

Zarówno w rozdziale siódmym jak i rozdziale ósmym Doktorant nie opisał w sposób jednoznaczny celów i nie przedstawił planów testów, pośrednio wynika to z opisu testów zawartych w rozdziałach, w konsekwencji skłania do przyjęcia domyślnie, że cel testów został osiągnięty, a zakres wykonanych badań symulacyjnych jest wystarczający do sformułowania przez Doktoranta ww. wniosków.

W rozdziale dziewiątym (Badania zdolności przepustowej – 59 stron) Doktorant zawarł wyniki badań symulacyjnych w zdolności przepustowej linii kolejowej (szlaku) wykonanej dla modelu 2 dla jazdy z wykorzystaniem systemu ETCS. Symulacja wykonana dla rzeczywistych parametrów linii kolejowej (roztawienia semaforów na lk 4 szlak Psary – Góra Włodowska) w warunkach wirtualizacji odstępów blokowych. Badania symulacyjne miały na celu określenie maksymalnej zdolności przepustowej przy

ruchu pociągów wyposażonych w system ERTMS/ETCS, na wybranym rzeczywistym szlaku kolejowym, przy różnej konfiguracji podziału odstępów blokowych:

- wariantu bazowego (0 – odstępów wirtualnych) w oparciu o podział szlaku na odstępy blokowe zgodny z rzeczywistym rozmieszczeniem semaforów blokadowych;
- wariant dla którego badany był wpływ modelu jazdy pociągu w oparciu o raportowaną pozycję pociągu tj. zastosowanie dodatkowego podziału odstępu z wykorzystaniem wirtualnych odstępów (z 1 i 2 odstępami wirtualnymi).

W symulacji uwzględniono rzeczywiste parametry pojazdów kolejowych (2 typy) dla których Doktorant wyznaczył dopuszczalne krzywe hamowania (uwzględniające specyfikę systemu ETCS obowiązującą na kolejach polskich – zmienne narodowe) z wykorzystaniem dostępnego na stronach ERA narzędzia ERA Braking curves simulation tool w wersji 4.2.

Weryfikacji uzyskanych wyników czasów przejazdu wyliczonych w modelu 2 Doktorant dokonał z wartościami wyliczonymi przy wykorzystaniu używanego przez wielu zarządców infrastruktury oprogramowania komercyjnego wykorzystywanego do modelowania sieci kolejowej i symulowania jazdy pociągów według opracowanego rozkładu jazdy (s.160) jednak nie został on wymieniony z nazwy.

Oprogramowanie użyte do weryfikacji posiada ograniczenia w zakresie parametryzacji co skomentował Doktorant w pracy cyt. „...*Oprogramowanie komercyjne wykorzystuje metodę kompresji rozkładu jazdy zgodnie z kartą UIC (406)... Model jazdy pociągu opiera się na wprowadzeniu do oprogramowania charakterystyki trakcyjnej danego pociągu, czyli siły trakcyjnej w funkcji prędkości jazdy. Na podstawie wprowadzonej charakterystyki trakcyjnej i danych o infrastrukturze, oprogramowanie symuluje jazdę pociągów według określonego rozkładu jazdy i sprawdza możliwość jego realizacji. Oprogramowanie nie umożliwia wprowadzania rzeczywistych charakterystyk jazd pociągów uzyskanych z pomiarów...*”(s.160)

jednak jest wystarczające do weryfikacji wyników symulacji opartej o model 2 Doktoranta w odniesieniu do porównania czasów przejazdów teoretycznych.

Uzyskane wyniki badań symulacyjnych wykazały, że zmiana zasad raportowania informacji o położeniu pociągu (w wariancie z 1 i 2 detektorami wirtualnymi) pozwala na istotną poprawę zdolności przepustowej linii kolejowej.

Cyt. „.... *wprowadzenie dodatkowego podziału odstępu z zastosowaniem wirtualnych odstępów na analizowanym szlaku wpływa znacząco na zdolność przepustową:*

- *przy braku dodatkowych semaforów wirtualnych (podział odstępu rzeczywistego na dwa dodatkowe odstępy wirtualne) maksymalna zdolność przepustowa wynosi $N_t=21,8$ [poc./h];*
- *przy jednym dodatkowym semaforze wirtualnym (podział odstępu rzeczywistego na dwa dodatkowe odstępy wirtualne) maksymalna zdolność przepustowa wynosi $N_t=27,1$ [poc./h], co stanowi względny wzrost o 24%;*
- *przy dwóch dodatkowych semaforach wirtualnych (podział odstępu rzeczywistego na trzy dodatkowe odstępy wirtualne) maksymalna zdolność przepustowa wynosi $N_t=31,1$ [poc./h], co stanowi względny wzrost o 43%...*”(s.162)

Rozdział dziesiąty (*Podsumowanie i perspektywy dalszych badań* – 3 strony) zawiera syntetyczne podsumowanie prac zrealizowanych przez Doktoranta oraz wnioski do jakich doszedł Doktorant po wykonaniu analiz i badań symulacyjnych z wykorzystaniem opracowanych modeli.

Istotne moim zdaniem są tu stwierdzenia Doktoranta z którymi się zgadzam:

cyt.

„...należy stwierdzić, że założony cel pracy, tj. opracowanie modeli jazdy pociągów i programowania symulacyjnego w celu oceny wpływu nowoczesnych systemów sterowania ruchem kolejowym na zdolność przepustową linii kolejowej, został zrealizowany. Spełnione zostały również wszystkie pozostałe cele szczegółowe...”

„...Przedstawione wyniki badań symulacyjnych na analizowanym szlaku pozwalają na potwierdzenie założonej w pracy tezy, iż: wykorzystanie modeli jazd pociągów z uwzględnieniem rzeczywistych charakterystyk przyspieszania i hamowania w badaniach symulacyjnych umożliwia ocenę zdolności przepustowej linii kolejowej przy wykorzystaniu różnych systemów sterowania ruchem kolejowym.”

Ponadto w rozdziale tym Doktorant wskazał planowane dalsze kierunki badań w tym obszarze.

5. Ocena merytoryczna rozprawy

Układ pracy

Zawartość merytoryczna poszczególnych rozdziałów pracy powiązana jest z tytułem i odpowiada sformułowanemu celowi rozprawy.

Ogólnie układ i struktura pracy jest właściwa, treść rozdziałów jest zgodna z nadanymi im tytułami, a kolejne rozdziały stanowią logiczne rozwinięcie głównego wątku dysertacji.

Forma opracowania

Język, jakim posługuje się Doktorant, jest poprawny, a jego wypowiedzi formułowane są w sposób jasny i jednoznaczny.

Materiał ilustrujący tekst pracy (Rysunki, Tabele, wzory i zależności matematyczne) wzbogaca jej treść i znacznie ułatwia jej zrozumienie, zwłaszcza w zakresie śledzenia toku rozumowania i postępowania Autora rozprawy. Tabele, rysunki, wzory mają swoje odniesienia w tekście rozprawy co poprawia jej czytelność i zrozumienie.

W rozprawie zabrakło odniesienia w tekście do załączników, ale są one ponumerowane w sposób jednoznacznie umożliwiających ich przypisanie do konkretnych rozdziałów rozprawy doktorskiej.

Doktorant nie ustrzegł się w pracy drobnych błędów edycyjnych i stylistycznych, zauważone błędy edycyjne i stylistyczne nie wpływają na zasadnicze wartości merytoryczne pracy.

Dobór literatury (139 pozycji) uważam za poprawny i właściwy (większość istotnej literatury datowana jest na lata 2017-2022).

Ocena merytoryczna

Jak wcześniej podkreśliłem, wybór tematyki uważam za celowy, uzasadniony i aktualny, a sam tytuł rozprawy *„Wpływ raportowania pozycji pociągu na przepustowość linii kolejowej”* jednoznacznie określa badany i rozwiązywany problem.

Uważam, że omówiona konstrukcja rozprawy oraz sposób opracowania materiału empirycznego, a także forma przeprowadzonej analizy i przyjęta metodyka badań są na bardzo dobrym poziomie i właściwie dla tego typu prac. Doktorant wykazał się ogólną wiedzą teoretyczną, dobrą znajomością przedmiotu badań oraz opanowaniem metod eksperymentalnych i analitycznych stosowanych w dyscyplinie inżynieria lądowa, geodezja i transport oraz właściwą oceną materiałów źródłowych. Doktorant posiada cechy, które to predysponują go do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Jak napisałem wcześniej przedstawiona do oceny rozprawa ma niewątpliwie aspekt poznawczy (część pierwsza) pozwalający na syntetyczne zapoznanie się w problematyką rozważną w pracy, ale za szczególnie istotną i cenną merytorycznie (badawczą) należy uznać część drugą rozprawy zawierającą opis modeli oraz wyniki weryfikacji poprawności działania modelu, wyniki badań symulacyjnych dla poszczególnych modeli wykonane w środowisku testowym MATLAB&Simulink oraz wnioski płynące z uzyskanych wyników badań symulacyjnych.

Wykonanymi badaniami symulacyjnymi Doktorant wykazał, jak ważne jest odpowiednie dobieranie parametrów przejazdu pociągów, w tym profilu zmian prędkości przejazdu pociągów w funkcji współrzędnej początku pociągu na szlaku oraz opóźnienia startu kolejnego z pociągów, a także, jaki może być wpływ tych parametrów na liczbę możliwych do wyeliminowania niepotrzebnych hamowań i przyspieszeń pociągu oraz zwiększenia zdolności przepustowej szlaku i jakie możliwości stwarza prowadzenie symulacji bazujących na odpowiednim modelu.

Zaproponowana w pracy autorska metoda (model 2) wirtualizacji odstępów blokowych w ramach istniejącej infrastruktury (zweryfikowana na rzeczywistym szlaku lk nr 4 Psary – Góra Włodowska) wykazała, że zmiana zasad raportowania informacji o położeniu pociągu (w wariancie z 1 i 2 detektorami wirtualnymi) pozwala na osiągnięcie wymiernych efektów w postaci poprawy zdolności przepustowej linii kolejowej o 24% dla wariantu z jednym odstępem wirtualnym do 43% w wariancie z dwoma odstępami wirtualnymi w odniesieniu do ruchu pojazdów z zachowaniem istniejącego podziału szlaku na odstępy blokowe, będące następstwem skrócenia czasów pojedynczych przejazdów pojazdów kolejowych.

Za główne osiągnięcia Doktoranta uważam:

1. Opracowanie modeli jazdy pociągów dla dwóch wariantów referencyjnych (jazda w oparciu o wskazania sygnalizatorów oraz jazda w oparciu o raportowaną pozycję pociągu).
2. Odtworzenie modeli w środowisko MATLAB&Simulink, oraz weryfikacja poprawności przyjętych założeń poprzez sprawdzenie działania modelu w środowisku testowym dla wybranego wariantu referencyjnego.
3. Przeprowadzenie badań symulacyjnych (dla wielu przypadków testowych) z wykorzystaniem opracowanych modeli jazdy pociągu mających na celu określenie wpływu różnych czynników (tj. opóźnienie startu pociągu, długość składu, profil prędkości, charakterystyka jazdy, stopień wirtualizacji odcinków detekcji taboru,) na czas jazdy pociągu, płynność ruchu pociągów oraz dla modelu 2 wpływ na zezwolenie na jazdę w systemie ETCS.
4. Wykonanie badań symulacyjnych z wykorzystaniem rzeczywistych danych wejściowych (charakterystyki trakcyjne pojazdów, profil linii kolejowej – lk 4 Psary – Góra Włodowska) w celu oszacowania wpływu sposobu prowadzenia ruchu i wyposażenia w urządzenia srk na zdolność przepustową linii kolejowej.
5. Wykazanie korzyści wynikających z zastosowanych w modelu 2 wirtualnych odstępów blokowych na poprawę zdolności przepustowej rzeczywistego odcinka linii kolejowej.

6. Uwagi i pytania szczegółowe

Analiza tekstu rozprawy niezależnie od kwestii wymagających odniesienia się przez Doktoranta zamieszczonych w tekście recenzji, rodzi kilka pytań szczegółowych, które nasunęły się w trakcie jej czytania.

Odpowiedzi na pytania oczekuję podczas publicznej obrony.

1. W rozdziale 5 *Modele jazdy pociągów* opisuje pan szczegółowe założenia dla przyjętych w pracy modeli (jazda w oparciu o sygnalizację przytorową oraz jazda w oparciu o raportowaną pozycję pociągu) proszę omówić ogólny algorytm działania Pańskiego modelu wraz ze wskazaniem ograniczeń w jego parametryzacji.
2. W pracy nie określił Pan ograniczeń stosowania w odniesieniu do opracowanych modeli. Proszę o wyjaśnienie czy istnieją ograniczenia, które powodują, że zaproponowane przez Pana modele są nieefektywne.
3. Czy proponowane przez Pana modele można zastosować dla linii niewyposażonej w sygnalizatory przytorowe na której ruch prowadzony jest w oparciu o zasadę „ruchomego odstępu blokowego”?
4. Jednym z parametrów wejściowych w modelu symulacyjnym są krzywe hamowania (dla modelu opisującego system ETCS wykorzystał Pan narzędzie ERA Breaking curves simulation tool v. 4.2 – s.121) w jaki sposób dane te są wprowadzane do opracowanych przez Pana modeli oraz czy możliwe jest wprowadzanie automatyczne danych dotyczących rozmieszczenia sygnalizatorów i czujników detekcji na podstawie planów schematycznych linii kolejowych (z istniejących baz danych projektowych)?

7. Wniosek końcowy oceny rozprawy

Uważam, że przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska pt. *„Wpływ raportowania pozycji pociągu na przepustowość linii kolejowej”* podejmuje istotne problemy poznawcze o potencjale aplikacyjnym i została wykonana na wysokim poziomie merytorycznym. Przyjęta przez Doktoranta teza rozprawy została udowodniona, a wyznaczony cel osiągnięty.

Uwagi zawarte w recenzji nie zmieniają mojej ogólnej pozytywnej opinii o rozprawie.

Zaprezentowane w rozprawie wyniki badań są oryginalnym dorobkiem naukowym Doktoranta, a rezultaty pracy mogą zostać bezpośrednio wykorzystane w praktyce.

Podsumowując recenzję stwierdzam, że:

- wybór tematu rozprawy doktorskiej był właściwy i aktualny,
- rozprawa zawiera wiele oryginalnych myśli i rozwiązań stanowiących własny dorobek naukowy Doktoranta i wnoszący nowe elementy do problematyki analizy i oceny zdolności przepustowej linii kolejowej,
- Doktorant wykazał się znajomością problemu, opracował i zastosował w sposób właściwy opracowane przez siebie modele jazdy pociągu oraz wykazał się umiejętnością rozwiązywania problemów naukowych.

Reasumując stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana mgra inż. Macieja Irlika pt. *„Wpływ raportowania pozycji pociągu na przepustowość linii kolejowej”* (promotor: dr hab. inż. Piotr Folega, profesor Politechniki Śląskiej, promotor pomocniczy dr inż. Szymon Surma) spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim określone w art. 13 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2017 r. poz. 1789).

Stawiam wniosek o przyjęcie przedstawionej do recenzji rozprawy doktorskiej Pana mgra inż. Macieja Irlika pt. *„Wpływ raportowania pozycji pociągu na przepustowość linii kolejowej”* i dopuszczenie jej do publicznej obrony w celu nadania stopnia doktora nauk technicznych w dyscyplinie Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport.

.....

Dr hab. inż. Andrzej Toruń – profesor Instytutu Kolejnictwa