

Dr hab. inż. Wiesław Zabłocki, prof. PW
Politechnika Warszawska,
Wydział Transportu

Recenzja rozprawy doktorskiej **mgra inż. Pawła Uklei**
pt. *Bezpieczeństwo łączy bezprzewodowego pomiędzy systemami sterowania ruchem
kolejowym na liniach regionalnych* napisanej pod kierunkiem
prof. dr hab. inż. Andrzeja Lewińskiego, profesora zwyczajnego

1. Wprowadzenie, cel recenzji

Podstawą opracowania recenzji jest pismo nr PK-042/22/52-1/st.dr-r/16 z dnia 23 czerwca 2016 r., prof. dr. hab. Sławomira Bukowskiego, Prorektora Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego im. Kazimierza Pułaskiego, zgodnie z uchwałą Rady Wydziału Transportu i Elektrotechniki z dnia 10 czerwca 2016 r.

Przedmiotem recenzowanej rozprawy jest metoda analizy uwarunkowań technicznych i bezpieczeństwa bezprzewodowych łączy radiowych, które mogą zostać zastosowane w systemach sterowania ruchem kolejowym (srk) na liniach regionalnych, zgodnie z aktualnymi tendencjami i osiągnięciami technologii i technik telekomunikacyjnych.

Celem recenzji jest merytoryczna ocena rozprawy, potwierdzająca czy Doktorant wykazuje wiedzę w dyscyplinie naukowej TRANSPORT, sformułowanie opinii, czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego oraz czy Doktorant posiada kompetencje i umiejętności realizacji badań i prac naukowych.

2. Ocena wyboru tematu rozprawy

Mgr inż. Paweł Ukleja uczestniczy w projektach i pracach badawczych obejmujących systemy sterowania i kierowania ruchem nowej generacji o charakterystyce funkcjonalnej i technicznej, dobrze dostosowanej do wymagań linii regionalnych. Charakter prac i rozwój zawodowy Doktoranta charakteryzuje pełna znajomość specyfiki kolejnictwa, a w szczególności zagadnień formułowania założeń i wymagań bezpieczeństwa systemów sterowania ruchem kolejowym (srk).

Tematyka rozprawy podjęta przez Doktoranta wiąże się także z pracami naukowo-badawczymi realizowanymi wcześniej w Politechnice Radomskiej a obecnie kontynuowanymi na Wydziale Transportu i Elektrotechniki Uniwersytetu Technologiczno – Humanistycznego. Prace te obejmują m. in. zastosowanie transmisji bezprzewodowej w sterowaniu ruchem w transporcie szynowym oraz metody oceny efektywności poziomu bezpieczeństwa systemów srk, oparte na analizowaniu procesów stochastycznych.

Recenzowana praca doktorska stanowi zamknięcie etapu kilkuletnich prac własnych i publikacji, prezentuje oryginalne i innowacyjne rozwiązania technik bezprzewodowych do celów sterowania ruchem. Ponadto rozprawa wpisuje się do zbioru osiągnięć badawczych szkoły naukowej obejmującej badania nad bezpieczeństwem systemów srk utworzonej przez prof. Andrzeja Lewińskiego. Zaproponowana i podjęta przez Doktoranta problematyka pracy doktorskiej staje się trafna i aktualna, nie tylko ze względów naukowych, badawczych i technicznych, ale także społecznych, ponieważ otrzymane wyniki mogą przyczynić się do poprawy funkcjonowania transportu kolejowego.

3. Cel rozprawy, znaczenie oraz innowacyjność problematyki rozprawy

Na podstawie dotychczasowego doświadczenia i dorobku naukowo – badawczego oraz dostępnych narzędzi badawczych, Doktorant sformułował zasadnicze cele pracy, które obejmują:

- analizę i ocenę założeń funkcjonalnych linii regionalnych,
- opracowanie założeń systemu srk spełniającego wymagania linii regionalnej,
- opracowanie koncepcji bezprzewodowego łącza zależnościowego pomiędzy posterunkami linii regionalnej,
- opracowanie szeregu modeli transmisji bezprzewodowej i wyznaczenie możliwych do osiągnięcia wskaźników oceny efektywności i bezpieczeństwa transmisji radiowej (radiolinii),
- identyfikację i sformułowanie warunków bezpieczeństwa radiowej transmisji danych.

Otrzymane rezultaty badań pozwoliły na wysunięcie następującej tezy: *Systemy sterowania ruchem kolejowym przeznaczone do zabudowy na liniach regionalnych komunikujące się ze sobą w sieci bezprzewodowej spełniają stawiane im wymagania bezpieczeństwa*. Taką też tezę udowodnił Doktorant w recenzowanej rozprawie, w odniesieniu do wybranych systemów sterowania ZSB 2000/BUES 2000, w których zastosowano bezprzewodową sieć STRENET. Sieć bezprzewodowa dotyczy jednak specyficznych systemów stacyjnych, liniowych i przejazdowych dedykowanych dla linii regionalnych lub o umiarkowanym natężeniu ruchu.

Jak wspomniano wcześniej, znaczenie rozprawy określa nie tylko trafność wyboru tematu odnoszącego się do koncepcji bezpiecznego łącza przewodowego, ale i podjęta metoda modelowania. Ponadto Autor, w rozprawie, wykazuje publikacje i wystąpienia konferencyjne, w których zamieścił osiągnięcia, analizy i wyniki badań związane z zakresem rozprawy, str. 12 – 13, wykaz pozycji [A, ..., K]. Zdecydowana większość tych publikacji to prace współautorskie.

Innowacyjność rozprawy potwierdzają następujące wątki merytoryczne:

- A. Identyfikacja wymagań funkcjonalnych i ruchowych linii regionalnej.
- B. Zastosowanie podstaw statystyki, procesów Markowa i rozkładu hiperwykładniczego w modelowaniu radiowej linii bezprzewodowej do celów sterowania ruchem pociągów.
- C. Opracowanie wskaźników określających poziom bezpieczeństwa i efektywności systemów srk, w których zastosowano transmisję bezprzewodową.

Przedstawiona przez Doktoranta rozprawa należy do nielicznych, w warunkach polskich, prac, w których podjęto zagadnienia zastosowania bezprzewodowych sieci teletransmisyjnych w technice sterowania ruchem kolejowym. Ponadto, rozprawa dobrze harmonizuje z nowymi technologiami aspirując do alternatywnych rozwiązań w odniesieniu do masowo wdrażanych w kolejach polskich systemów ETCS, a tym samym może przyczynić się do rozwiązania problemu sterowania pociągami na liniach regionalnych lub na liniach o zbliżonej charakterystyce techniczno-ruchowej, gdzie istotny staje się rachunek efektywności kosztów wdrożenia i eksploatacji poprzez poprawę organizacji kierowania i sterowania ruchem (płynność i bezpieczeństwo ruchu, zgodność z rozkładem jazdy i inne). Elementem innowacyjności są także doświadczenia wdrażania transmisji bezprzewodowej, które być może będą mogły zostać zastosowane w podsystemach ETCS, ponieważ aplikacje technologii GSM-R są skomplikowane, a i sam system staje się już nienowoczesny, choć spełnia zasady interoperacyjności.

4. Ocena edytorska pracy

Rozprawa obejmuje 102 strony tekstu podzielonego na 6 rozdziałów, w tym *WPROWADZENIE*, *WNIOSKI* i *BIBLIOGRAFIA*. Poza tym zamieszczono *Wykaz użytych oznaczeń* oraz *Spis rysunków*. Bibliografia obejmuje 110 pozycji i **dodatkowo** 11 pozycji autorstwa lub współautorstwa Doktoranta, zamieszczonych na str. 12-13. Bibliografia zawiera także specyfikacje norm i innych pozycji, takich jak materiały firm producenckich, czasopisma, raport z pracy n-b i inne. Bibliografia stanowi bogaty materiał źródłowy. W pracy zamieszczono tabele z danymi i

istotnymi wynikami (niestety Autor nie zamieścił wykazu tablic) oraz liczne rysunki (38), z wykresami, strukturami systemów i urządzeń, grafami (schematy przejść między stanami) oraz zrzuty ekranowe dokumentujące wyniki obliczeń symulacyjnych. Układ merytoryczny pracy i podział logiczny treści są poprawne i spójne. Układ tekstu jest przejrzysty a materiał ilustracyjny przygotowany starannie, czytelnie i z uwzględnieniem szczegółów. Praca, w zasadzie, napisana jest językiem naukowym i technicznym umożliwiającym zrozumienie zawartych w niej treści nie tylko specjalistom hermetycznej wiedzy srk, ale i specjalistom z innych dziedzin techniki. W pracy występują jednak pojęcia nieprecyzyjne, np. *Bardzo duży nacisk* (20), *Rozwój komunikacji bezprzewodowej jest ogromny* (33) lub nietechniczne, np. *System zależnościowy jest sercem systemu*(29) i wiele innych oraz szereg literówek, np. str. 92, zamiast *systemu* winno być *systemy* lub na str. 53 *prawdopodobieństwo*. Ponadto, praca mogłaby zyskać, gdyby Doktorant konsekwentnie stosował standaryzację redakcji treści rozprawy. Przykładowo, w tekście pracy (str. 16) Autor powołuje się na stanowisko A. Chudzikiewicza dotyczące linii regionalnych, w innym akapicie (str. 22) Autor odwołuje się do normy EN 50125. Wskazane odwołania nie zostały wykazane w *Bibliografii* jako źródła. Gdyby te pozycje znalazły się w *Bibliografii*, można byłoby odwołać się bezpośrednio do numeru pozycji bibliograficznej. Przykładem innej formy braku standaryzacji są opisy parametrów radiolinii (str. 34). Zdecydowanie, określenia te należałoby zamieścić w utworzonym do tego celu słowniku pojęć, w którym mogłyby zostać zamieszczone również pozostałe pojęcia i akronimy (np. pojęcia matematyczne lub określenia algorytmów kolejkowych) i inne, którymi Autor posługuje się w całej pracy. Słownik taki wydaje się niezbędny w tej rozprawie. Autor nie ustrzegł się także powtórzeń, np. rysunki: Rys. 2.3. i Rys. 4.1., zamieszczone odpowiednio na stronach 26 i 70 są tożsame.

5. Omówienie i analiza pracy

Wykaz użytych oznaczeń, str. 6, zawiera wykaz tylko 16 oznaczeń odnoszących się w zasadzie do statystyki. Szkoda, że niezależnie od *Wykazu użytych oznaczeń*, Autor nie zamieścił *Słownika pojęć*, co było już sygnalizowane powyżej.

1. Wprowadzenie, str. 7 – 14, zawiera nienumerowane podtytuły, takie jak: *Przegląd literatury*, *Przedmiot rozprawy*, *Cel i teza rozprawy* oraz *Opis rozprawy doktorskiej*.

Wprowadzenie obejmuje precyzyjne sformułowanie problemu, opis przedmiotu rozprawy, przegląd i charakterystykę publikacji innych autorów, którzy nawiązują do problematyki zbliżonej do zagadnień rozprawy. Autor krótko scharakteryzował prace innych autorów i stwierdził, że analizowane źródła nie odnoszą się do zagadnień modelowania sieci bezprzewodowych systemów srk linii regionalnych z zastosowaniem rozkładu hiperwykładniczego. W rozdziale zostały przedstawione najważniejsze osiągnięcia publikacyjne w liczbie 11, w tym 10 współautorskich. Analiza treści rozdziału nasuwa jednak pewną refleksję wynikającą ze stwierdzenia Autora, że: *W celu realizacji ... zadań autor wykonał kilka analiz i podsumowań ..., które zostały przedstawione w poniższych publikacjach. Zawarte tam opinie i wnioski są integralną częścią doktoratu*. Stwierdzenie Autora odnosi się do wspomnianych powyżej publikacji, zatem warto byłoby określić lub wskazać albo doprecyzować poziom własnych szczególnych osiągnięć Autora w odniesieniu do pozostałych współautorów publikacji przywoływanych przez Doktoranta, które traktuje jako integralną część doktoratu. Recenzent, w tym przypadku, nie kwestionuje ani nie wątpi we własne osiągnięcia Autora. Jednak udział własny Doktoranta w tych pracach powinien być jednoznacznie określony, skoro udział ten stanowi integralną część doktoratu.

2. Typowa struktura linii regionalnej, str. 14 - 32.

Autor szczegółowo formułuje założenia i opis znaczenia funkcjonalnego linii regionalnych a także podejmuje próbę zdefiniowania linii regionalnych oraz przeprowadza analizę porównawczą w odniesieniu do innych rodzajów linii. W rozdziale tym Doktorant zamieścił także istotną z punktu widzenia założeń i wymagań analizę struktury i warunków bezpieczeństwa ruchu kolejowego, które są wymagalne dla linii regionalnych lub także dla linii o zbliżonych parametrach

techniczno-ruchowych. W rozdziale przedstawiono także konkretne przykłady systemów dedykowane dla linii o znaczeniu regionalnym. Znaczenie rozdziału jest istotne, ponieważ Autor racjonalnie uzasadnił znaczenie linii regionalnych a tym samym i potrzebę stosowania sprofilowanych systemów srk. Zdaniem recenzenta w rozdziale zabrakło, choćby krótkiej, analizy odniesień do problemu interoperacyjności z uwagi na podsystemy terenowe, przytorowe i wyposażenie pojazdów trakcyjnych.

Zaproponowana przez Autora wizja linii regionalnych i infrastruktury sterowania na tych liniach odpowiada wymaganiom bezpiecznego, ale i nowoczesnego transportu szynowego, jak i potrzebom społecznym.

3. Radiolinia i jej modelowanie, str. 33 - 69.

W rozdziale Autor definiuje pojęcie radiolinii, jako środka bezprzewodowej i bezpiecznej transmisji danych. W tym celu, jako wprowadzenie, zamieszcza podstawowe informacje z zakresu statystyki, rozkładów wykładniczych, procesów Markowa i modeli masowej obsługi stosowanych w transmisji. Podstawą modelowania jest analiza przejścia pomiędzy stanami. Przejścia między stanami są określone funkcją intensywności uszkodzeń λ i powrotu μ mogą być interpretowane za pomocą grafów odwzorowywanych układem równań różniczkowych, co pozwala wyznaczyć prawdopodobieństwo przebywania w danym stanie.

Na podstawie tej wiedzy Doktorant konstruuje następujące modele służące do modelowania własności radiolinii:

- dwukanałowej transmisji danych do wyznaczania opóźnień między dwoma systemami stacyjnymi,
- transmisji ze względu na parametr niezawodności wyrażony dostępnością 2 takich samych kanałów transmisyjnych,
- dostępności 2 kanałów transmisyjnych, ale o różnych nośnikach w tych kanałach,
- hiperwykładniczego systemu obsługi informacji w dwukanałowym ringu modemowym pomiędzy dwoma sąsiednimi posterunkami ruchu w celu oceny prawdopodobieństwa dotarcia informacji do ostatniego uczestnika
- także transmisji z hiperwykładniczym systemem obsługi, ale przy realizacji ringu modemowego przez niezależne kanały,
- transmisji jak w poprzedzającym punkcie, ale przy współczynniku zmienności odstępów czasu między zdarzeniami równym „1”,
- obiegu transmisji w ringu modemowym z urządzeniem pośredniczącym w jednym kanale odpowiedzialnym za kolejkovanie informacji.

Otrzymane wyniki modelowania z zastosowaniem środowiska Mathematica pozwalają wyznaczyć relacje służące do obliczeń wartości poszczególnych prawdopodobieństw. Na tej podstawie Autor uzyskał m. in. wiedzę, że modelowanie transmisji z zastosowaniem rozkładu hiperwykładniczego generuje dokładniejsze wyniki niż w przypadku rozkładu wykładniczego (str. 66). Innym wnioskiem uzyskanym na podstawie zastosowanych modeli jest stwierdzenie Autora, że system powinien powtarzać wysyłanie telegramów do podwójnej krotności (str. 68).

Przedstawiona metoda badań oparta na modelowaniu i wnioskowaniu o własnościach bezprzewodowego kanału transmisyjnego z zastosowaniem procesów Markowa jest niejako metodą „zobiektywizowaną”, ponieważ była lub jest stosowana z powodzeniem przez kilku autorów, a uzyskane wyniki obliczeniowe potwierdzają rzetelność metody i uzasadniają wybór tej metody przez Autora. Refleksję nad rozdziałem recenzent kieruje ku przyjmowanym wartościom λ i μ . Niektóre z tych wartości (str. 53) są tylko przyjmowane, inne (str. 55) założono, powołując się na publikację z 2008r. Szkoda, że Autor nie przeprowadził choćby krótkiej dyskusji doboru tych wartości. Interesujące byłyby też dane empiryczne, o których wspomina Autor powołując się na publikacje [70] i [83] i wskazuje, że zawarte w tych publikacjach wartości są zbliżone do wartości uzyskanych przez Autora. W rozdziale można zauważyć także brak precyzji w odwołaniach lub w opisach, np. na str. 49, Autor wyznacza wartość opóźnienia ze wzoru 3.8, moim zdaniem

jest to wzór 3.29, podobnie na str. 52, na rys. 3.9 nie występuje stan 12 wynikający z opisu pod rysunkiem.

Kluczowym zagadnieniem zamykającym rozdział jest podrozdział 3.10 n.t. koncepcji zastosowania transmisji otwartej w sterowaniu na liniach regionalnych. W podrozdziale tym Autor uwzględnił niektóre wnioski uzyskane na podstawie modelowania radiolinii.

4. Bezpieczeństwo łącza bezprzewodowego pomiędzy systemami sterowania ruchem na liniach regionalnych, str. 70 - 90.

Rozdział został poświęcony analizie bezpieczeństwa łącza bezprzewodowego zastosowanego w systemach ZSB 2000/BUES 2000. Analiza zawiera opisy: wymagań funkcjonalnych, bezpieczeństwa transmisji danych, protokołów transmisyjnych, detekcji usterek oraz modemu radiowego i funkcjonowania sieci STRENET. Rozdział został opracowany ze znawstwem systemów sterowania i technik realizacji bezpieczeństwa zapewniających w omawianych systemach i protokołach transmisyjnych poziom SIL4. Należy podkreślić, że sposób analizy systemów i transmisji został przeprowadzony szczegółowo i wnikliwie z uwzględnieniem stanów pracy systemów, funkcjonowania poszczególnych elementów strukturalnych i kanału transmisyjnego. Doktorant sprawnie posługuje się analizą warunków bezpieczeństwa i jednoznacznie wskazuje sposoby wykluczenia krytycznych zagrożeń. Przeprowadzona analiza bezpieczeństwa stanowi oryginalną redakcję wymagań i warunków bezpieczeństwa systemu produkcyjnego i dokumentuje dojrzałość badawczą Doktoranta. Rozdział byłby wzorcowy, gdyby Autorowi udało się uogólnić i pogrupować według kategorii wszystkie zastosowane rozwiązania zapewniające bezpieczeństwo, podobnie jak dokonał tego opracowując tablicę 4.4.5.

5. Wnioski -, str. 91 - 93.

Autor syntetyzuje otrzymane wyniki badań wskazując własne oryginalne osiągnięcia, potwierdzając udowodnienie tezy pracy oraz wiarygodność proponowanych koncepcji transmisji bezprzewodowej, zastosowanych narzędzi oraz osiągnięcie celów rozprawy. Doktorant określa także kierunek dalszych badań mających na celu kolejne analizy z uwzględnieniem danych empirycznych.

6. Ocena merytoryczna rozprawy i inne uwagi

Analizując treść rozprawy i uwzględniając przedstawioną powyżej syntezę rozprawy można sformułować następujące wnioski.

Podstawowym osiągnięciem Doktoranta jest analiza zastosowania łącza bezprzewodowego w systemach srk na liniach regionalnych. W tym celu Autor przeprowadził studium znaczenia linii regionalnych oraz opracował koncepcję wyposażenia odcinka takiej linii w dostępne rozwiązania sprzętowe srk ZSB 2000/BUES 2000 i sieciowo-transmisyjne STRENET. Propozycję Doktoranta uważam za użyteczną i celową. Wskazują na to wyniki modelowania, jak i dostępność systemów srk.

1. Narzędzia badawcze i analityczne, które zastosował Autor są dobrane poprawne i aktualnie stosowane do analiz bezpieczeństwa i oceny efektywności systemów i kanałów transmisyjnych i są także zharmonizowane z normami europejskimi. Zastosowanie wspomnianych narzędzi doprowadziło Autora do opracowania metody modelowania, jak i oceny bezpieczeństwa. Czynnikiem, który powinien zostać szerzej uwzględniony w badaniach Doktoranta to walidacja i weryfikacja uzyskanych wyników w odniesieniu do danych empirycznych, z tego też względu Doktorant przewiduje dalszy program badań.
2. Wdrożenie systemu opartego na proponowanej przez Doktoranta koncepcji z łączem bezprzewodowym stworzy niewątpliwie problemy powiązania z innymi systemami (ETCS), jak i z dostosowaniem do interoperacyjności. Niewątpliwie jednak propozycje Autora i jego kon-

- cepcje będą służyć wdrażaniu nowych technik transmisyjnych opartych na kanałach radiowych.
3. Wiedza i praktyka tworzenia systemów sterowania w transporcie wskazują, że specyfika systemów sterowania, ze względu na warunek bezpieczeństwa, wymaga opracowania wielu różnych modeli systemowych, matematycznych, symulacyjnych tworzących bazę narzędzi badawczych do celów eksperymentów i analiz. Takie podejście do rozwiązania sformułowanego przez siebie problemu zastosował Doktorant.
 4. Opracowana przez Doktoranta koncepcja łączy spełnia dwa bezwzględnie wymagalne warunki: bezpieczeństwo poziomu SIL 4 i efektywność kanału transmisyjnego w czasie rzeczywistym.
 5. Metoda badań i eksperymentów symulacyjnych opracowana przez Doktoranta, spełnia postulat właściwie wybranej i efektywnej metody badawczej z zakresu modelowania komputerowego, ponieważ pozwala skutecznie wnioskować o własnościach kanału transmisyjnego.
 6. Merytoryczna strona rozprawy, jak i sposób jej redakcji nasuwają także uwagi o charakterze dyskusyjnym lub krytycznym. Wnioski i uwagi o charakterze krytycznym o różnym ciężarze znaczeniowym nie mają charakteru wymagalności zamieszczenia w rozprawie a priori, ale stanowią spojrzenie na pracę z pozycji recenzenta. Praca zawiera szereg niedoskonałości merytorycznych i redakcyjnych wykazanych sukcesywnie we wcześniejszych rozdziałach. Recenzent ma świadomość, że zachowanie poprawności redakcyjnej z materiałem merytorycznym o wysokiej szczegółowości technicznej i analitycznej jest trudno osiągalne.

7. Podsumowanie

Podsumowując, wyniki zawarte w rozprawie doktorskiej stanowią oryginalne rozwiązanie problemu naukowego w obszarze dyscypliny naukowej TRANSPORT a w szczególności obejmującej wiedzę z zakresu sterowania ruchem kolejowym. Wybór tematu, przygotowanie rozprawy doktorskiej, opracowanie oryginalnej koncepcji transmisji bezprzewodowej oraz metody lokalizacji pociągu z zastosowaniem narzędzi modelowania własności transmisji, potwierdzają, że Doktorant posiada umiejętności formułowania problemów oraz realizacji prac i badań naukowych. Praca posiada innowacyjne znaczenie poznawcze i aplikacyjne, nawiązuje do inteligentnych systemów transportowych, potencjalnie może się przyczynić do poprawy jakości usług świadczonych przez transport kolejowy w Polsce.

Praca kwalifikuje się do opublikowania po uwzględnieniu uwag merytorycznych i redakcyjnych zawartych w niniejszej recenzji. Istotne mogą być także publikacje tematyczne dotyczące wybranych zagadnień podejmowanych w pracy. W przypadku publikacji opartych na rozprawie, z uwagi na aparat matematyczny, jak i złożoność pracy polegającą na przenikaniu się wątków merytorycznych, recenzent proponuje profesjonalną redakcję tekstu tych publikacji.

Recenzowana praca spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim, zgodnie z Ustawą o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. a jej wyniki mają istotne znaczenie poznawcze i wdrożeniowe.

Uwzględniając powyższe wnioskuję o przyjęcie rozprawy doktorskiej pt. *Bezpieczeństwo łączy bezprzewodowego pomiędzy systemami sterowania ruchem kolejowym na liniach regionalnych* oraz o dopuszczenie mgra inż. Pawła Uklei do jej publicznej obrony.