

Recenzje spełniono wymogi formularza

Dr hab. inż. Andrzej Massel

Instytut Kolejnictwa

Przewodniczący Rady Dyscypliny
Inżynieria Lądowa, Gospodarka i Transport
Politechniki Śląskiej

dr hab. inż. Piotr Folega, prof. PŚ

Recenzja rozprawy doktorskiej pt.

„Opracowanie i wdrożenie mapy wydarzeń kolejowych oraz modelu ich predykcji jako narzędzi wykorzystywanych w systemie zarządzania bezpieczeństwem przewoźników kolejowych”

autorstwa mgr inż. Katarzyny Gawlak

wykonanej na Politechnice Śląskiej

Warszawa, 01.12.2024 r.

POLITECHNIKA ŚLĄSKA
Instytut Inżynierii Lądowej,
ul. Akademicka 16, 40-047 Katowice, polska
Wzrost: 11.12.2024
274

1. Przedmiot i podstawa recenzji

Niniejsza recenzja została opracowana na podstawie uchwały Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Śląskiej.

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska p. mgr inż. Katarzyny Gawlak pod tytułem „Opracowanie i wdrożenie mapy wydarzeń kolejowych oraz modelu ich predykcji jako narzędzi wykorzystywanych w systemie zarządzania bezpieczeństwem przewoźników kolejowych”. Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Jarosław Konieczny, prof. Politechniki Śląskiej, promotorem pomocniczym – dr inż. Wojciech Gamon.

2. Ogólna charakterystyka rozprawy

Przedmiotem rozprawy p. mgr inż. Katarzyny Gawlak jest opracowanie i wdrożenie mapy wydarzeń kolejowych oraz modelu ich predykcji jako narzędzi wykorzystywanych w systemie zarządzania bezpieczeństwem przewoźników kolejowych. Praca została napisana w języku polskim i liczy 117 stron. Składa się ona z 9 rozdziałów: (1) Wprowadzenie do tematyki rozprawy doktorskiej, (2) Bezpieczeństwo w transporcie kolejowym w aspekcie przewoźnika kolejowego, (3) Metody oceny bezpieczeństwa i predykcji wydarzeń kolejowych powiązanych z transportem kolejowym, (4) Przegląd map powiązanych z bezpieczeństwem transportu kolejowego, (5) Cel i teza pracy, (6) Model predykcji kolizji pociągów ze zwierzyną, (7) Mapa wydarzeń kolejowych, (8) Podsumowanie, (9) Wnioski.

Całość poprzedzają spis treści oraz wykaz najważniejszych skrótów i oznaczeń. Na końcu pracy znajduje się bibliografia, która zawiera 195 pozycji. Zamieszczono także spis załączników, spis rysunków oraz spis tabel. Ogółem dysertacja zawiera 4 załączniki, przy czym są to mapy wydarzeń kolejowych Kolei Śląskich oraz Kolei Wielkopolskich z warstwą ostrzeżeń dla wybranych godzin. Ponadto w pracy znajduje się 46 rysunków oraz 9 tabel. Do pracy dołączono streszczenie przygotowane zarówno w języku polskim, jak i w języku angielskim.

3. Treść rozprawy

Rozdział 1 (13 stron) stanowi wprowadzenie do tematyki rozprawy. W pierwszej kolejności (podrozdział 1.1) omówione zostały definicje bezpieczeństwa. W odniesieniu do bezpieczeństwa transportu bardzo słusznie wyróżniono bezpieczeństwo komunikacyjne oraz bezpieczeństwo osobiste. Następnie (podrozdział 1.2) scharakteryzowany został kolejowy transport pasażerski. Uwzględniono przy tym pionową oraz poziomą klasyfikację transportu. Nieco głębszej analizie poddany kolejowy transport regionalny. Jest to naturalne, bowiem praca dotyczy działalności przewoźników wykonujących przewozy o takim właśnie charakterze, to jest Kolei Śląskich i Kolei Wielkopolskich. W podrozdziale 1.3 omówiono znaczenie czynnika ludzkiego, jako niezwykle ważnego elementu mającego wpływ na bezpieczeństwo przewozów. Wprowadzanie nowoczesnych, interoperacyjnych rozwiązań technicznych pozwala zmniejszyć udział człowieka w prowadzeniu ruchu kolejowego, ale droga do całkowitego jego wyeliminowania jest nadal daleka. Z tego względu duże znaczenie mają badania i analizy przyczyn i okoliczności zdarzeń kolejowych. W badaniach takich można wykorzystywać na przykład sieci bayesowskie, czyli modele matematyczne do przedstawiania związków przyczynowo-skutkowych między zmiennymi losowymi. Ostatnim aspektem ujętym w rozdziale wprowadzającym (podrozdział 1.4) jest kultura bezpieczeństwa w transporcie kolejowym. Przegląd literatury wskazuje, że dotychczas powstało wiele modeli kultury bezpieczeństwa funkcjonujących w różnych branżach. Przykładem tego jest Europejski Kolejowy Model Kultury

Bezpieczeństwa, którego zadaniem jest wsparcie podmiotów rynku kolejowego w identyfikacji mocnych i słabych stron z zakresu kultury bezpieczeństwa.

W rozdziale 2 (7 stron) Autorka odnosi się do bezpieczeństwa w transporcie kolejowym widzianego z perspektywy przewoźnika kolejowego. Najpierw przedstawiony jest (podrozdział 2.1) przegląd regulacji prawnych związanych z zapewnieniem bezpieczeństwa przez przewoźnika. Są nimi akty prawa UE, w tym Dyrektywa 2016/798 w sprawie bezpieczeństwa kolei a także cztery rozporządzenia, w których zdefiniowano wymagania dotyczące zarządzania bezpieczeństwem, oceny i wyceny ryzyka, monitorowania systemów zarządzania a także sprawozdań z dochodzeń w sprawie zdarzeń kolejowych. Scharakteryzowano również podstawowe akty prawa krajowego w tym zakresie. W podrozdziale 2.2. scharakteryzowane zostały obowiązki przewoźnika w aspekcie wydarzeń kolejowych. Przytoczono i omówiono klasyfikację wydarzeń i zdarzeń obowiązującą na sieci PKP PLK wraz z ogólnym schematem identyfikacji tych wydarzeń. Zwrócono uwagę na fakt, że wydarzenia kolejowe mają źródła w zagrożeniach, które mogą mieć swoje źródła zarówno wewnątrz, jak i na zewnątrz systemu transportu kolejowego. Przedstawiono najważniejsze grupy zagrożeń, zwracając uwagę na najczęstsze przyczyny występowania niepożądanych sytuacji na sieci kolejowej.

Rozdział 3 (7 stron) dysertacji poświęcony jest metodom oceny bezpieczeństwa i predykcji wydarzeń kolejowych. W zakresie metod oceny bezpieczeństwa kolejowego (podrozdział 3.1) zwrócono uwagę na fakt, że dane w zakresie zdarzeń kolejowych (oraz, w razie potrzeby, innych wydarzeń mających znaczący wpływ na bezpieczeństwo) są gromadzone na poziomie krajowym przez krajowe władze bezpieczeństwa oraz organy dochodzeniowe, a także na poziomie unijnym przez Agencję Kolejową Unii Europejskiej. Instytucje poszczególnych krajów członkowskich UE opracowują corocznie raporty dotyczące stanu bezpieczeństwa. Raporty takie są publikowane w bazie danych ERADIS. Podobne sprawozdania są sporządzane także w krajach spoza UE, na przykład w Australii, Kanadzie, Wielkiej Brytanii. Jednak z analizy raportów wynika, że na szczeblu centralnym (krajowym) nie są analizowane sytuacje związane z potrąceniami zwierzyny. Autorka przeprowadziła przegląd publikacji naukowych dotyczących kolizji pociągów ze zwierzętami. Publikacje te koncentrują się na wzorcach przestrzennych i czasowych potrąceń zwierząt przez pojazdy kolejowe w różnych regionach globu, charakteryzujących się zróżnicowanymi warunkami klimatycznymi i gatunkami występującej zwierzyny. W podrozdziale 3.2 Autorka przedstawiła metody przewidywania wydarzeń kolejowych. Zidentyfikowała ona stosunkowo dużo publikacji dotyczących predykcji zdarzeń na przejazdach kolejowo-drogowych. W tym kontekście zwraca uwagę model predykcji stosowany przez Departament Transportu USA, wykorzystujący koncepcję Bayesa, a w tym między innymi zmienne powiązane z ruchem pociągów (gęstością i prędkością), pojazdów drogowych, typem nawierzchni drogowej, lokalizacją przejazdu na terenie zurbanizowanym lub wiejskim. W kontraście do przewidywania zdarzeń na przejazdach w poziomie szyn, modele predykcyjne w zakresie kolizji pociągów ze zwierzyną nie są tak powszechne, pomimo wysokiej liczby zarejestrowanych przypadków tego typu wydarzeń. Z przeglądu metod predykcji wynika, że podmioty rynku kolejowego powinny dysponować tak skonstruowanym modelem przewidywania kolizji ze zwierzętami, który wykorzystuje przede wszystkim dane samodzielnie przez nie gromadzone.

Rozdział 4 (15 stron) dotyczy map elektronicznych i ich zastosowań w kolejnictwie. W pierwszej kolejności (podrozdział 4.1) przedstawiono możliwości, jakie dają mapy interaktywne, pozwalające użytkownikowi na dodatkowe przetwarzanie danych przy pomocy dedykowanych narzędzi. W praktyce mapy takie dzieli się na typy związane z poziomem interaktywności. Ponadto wyróżnia się grupy i podgrupy funkcji interaktywnych. Mapy elektroniczne o różnym poziomie interaktywności znajdują szereg zastosowań związanych z transportem kolejowym (podrozdział 4.2). Szeroki zakres informacji (i możliwości zastosowania) mają mapy udostępniane na oficjalnych stronach zarządców

infrastruktury, na przykład interaktywne mapy linii kolejowych PKP PLK S.A. (Polska) oraz DB InfraGo (Niemcy). Mapy te cechują się wyższym stopniem interaktywności, w których funkcje nawigacyjne oraz kartograficzne i wizualizacyjne są bardziej rozbudowane, odznaczają się między innymi możliwością włączania i wyłączania warstw, składników legendy, filtrowania danych. Oprócz map przygotowanych przez różne podmioty kolejowe, dostępne są również mapy sieci kolejowych, które tworzone są przez otwarte i dobrowolne współuczestnictwo. Mapy te nie mają charakteru komercyjnego a są tworzone na podstawie otwartego dostępu dla użytkowników.

Najpopularniejszym przykładem takiej mapy jest OpenRailwayMap. Ważną grupę map interaktywnych stanowią mapy różnych podmiotów rynku kolejowego (zarządców, przewoźników) które dają możliwość śledzenia aktualnej lokalizacji pociągów oraz odchyłeń od rozkładu jazdy. Z punktu widzenia bezpieczeństwa duże znaczenie ma bieżące przekazywanie informacji dotyczących utrudnień na liniach kolejowych. Jako przykład podane są mapy zarządcy infrastruktury DB InfraGo oraz przewoźnika ScotRail. Bardziej szczegółowych informacji dostarczają mapy obrazujące wybrane zagadnienia dotyczące bezpieczeństwa, na przykład kolizje pociągów z osobami postronnymi, na przykład mapy opracowane dla terenu Republiki Czeskiej w ramach projektu „Amelia”, a także mapy udostępniane przez Departament Transportu USA.

Rozdział 5 zawiera 4 strony. W pierwszej części tego rozdziału (podrozdział 5.1) Autorka przedstawiła uzasadnienie podjęcia tematu. W jej opinii brakuje realnego wpływu dotychczasowych analiz czasowych i przestrzennych potrąceń zwierząt przez pojazdy kolejowe na podniesienie poziomu bezpieczeństwa. Wynika to z faktu, że dostępne publikacje nie wskazują wyraźnie sposobu możliwości ich wykorzystania przez przewoźników kolejowych. W podrozdziale 5.2 Autorka sformułowała cel, zakres oraz tezę pracy. Jako cel główny pracy określono opracowanie mapy wydarzeń kolejowych oraz modelu ich predykcji na podstawie wybranych danych regionalnych przewoźników pasażerskich. Zdefiniowane zostały także cele naukowe pracy, którym są:

- a) analiza przestrzenna i czasowa wydarzeń kolejowych związanych z potrąceniem zwierzyny przez pojazdy kolejowe,
- b) wyznaczenie na podstawie analizy „czarnych punktów” tzw. hot-spotów na sieci kolejowej obsługiwanej przez regionalnych przewoźników kolejowych,
- c) wyznaczenie odcinków linii kolejowych, na podstawie wyników modelu predykcyjnego, o których ze względu na zagrożenie potrąceniem zwierzyny powinien być ostrzegany maszynista.

Jako praktyczny cel dysertacji Autorka przyjęła wdrożenie opracowanej mapy wydarzeń kolejowych oraz modelu ich predykcji u wybranego regionalnego przewoźnika pasażerskiego oraz wykazanie, że wdrożone narzędzia mogą być wykorzystane w funkcjonujących systemach zarządzania bezpieczeństwem. W związku z tak określonymi celami pracy, sformułowana została jej teza, iż „zasadnym jest opracowanie mapy wydarzeń kolejowych oraz modelu ich predykcji jako narzędzi wykorzystywanych w systemie zarządzania bezpieczeństwem przewoźników kolejowych”.

W rozdziale 6 (34 strony) przedstawiony został opracowany przez Autorkę model predykcji kolizji pociągów ze zwierzyną. W pierwszej kolejności (podrozdział 6.1) omówione zostały wstępne założenia modelu. Przyjęto, że model ma uwzględniać dane, które są rejestrowane przez przewoźników kolejowych tak, aby uniknąć konieczności zaangażowania stron trzecich. Uwzględniono też znaczenie światła dziennego, warunkującego zakres pola widzenia maszynisty, a także zwierzyny. Model został oparty na podejściu bayesowskim i uwzględnia następujące dane: numer linii kolejowej i jej kilometraż, datę i godzinę wydarzenia. Badanie zostało ograniczone do linii kolejowych, które nie były wyposażone w urządzenia ostrzegawcze UOZ-1. Analiza danych dotyczących kolizji pociągów ze zwierzyną oraz późniejsza implementacja modelu została

przedstawiona na przykładzie dwóch regionalnych przewoźników pasażerskich: Kolei Śląskich oraz Kolei Wielkopolskich. Dwa kolejne podrozdziały zawierają analizę danych dotyczących kolizji ze zwierzyną w Kolejach Śląskich (6.2) oraz w Kolejach Wielkopolskich (6.3). Dane te dotyczą lat 2020-2022. W tym okresie Kolej Śląskie odnotowały ogółem 877 kolizji ze zwierzyną, Koleje Wielkopolskie zaś – 1380 kolizji. W celu wyboru linii do dalszych analiz dla każdej z linii, po której kursowały pociągi poszczególnych przewoźników wyznaczono wskaźnik liczby kolizji na 1 km linii. Na potrzeby weryfikacji modelu dla każdego z przewoźników wytypowano po cztery linie, charakteryzujące się największą wartością wskaźnika liczby kolizji na 1 km. Dla wybranych linii obliczono wskaźnik gęstości wystąpienia kolizji na odcinkach o długości 5 km.

W podrozdziale 6.4 zawarto opis modelu predykcyjnego. Model został opracowany przy współpracy z Instytutem Informatyki Teoretycznej i Stosowanej Polskiej Akademii Nauk. Jego celem jest wyznaczenie miejsc na sieci kolejowej obsługiwanej przez przewoźników, w których prawdopodobieństwo zaistnienia kolizji ze zwierzyną osiąga wyznaczoną wartość progową. Model, na podstawie danych historycznych, pozwala na oszacowanie prawdopodobieństwa zdarzenia, że dla danego dnia i danego pociągu, kolizja ze zwierzyną wydarzy się w kilometrach od x do $x + \Delta x$ linii nr l o danej porze dnia, biorąc pod uwagę τ część roku. Model zakłada całkowitą niezależność czasowych i przestrzennych profili kolizji. Z tego względu został on podzielony na część przestrzenną i część czasową. Autorka zamieściła Procedurę nr 1 BayesWarnAnimals, służącą do aktualizacji ostrzeżeń na wybranej linii, w określonym miesiącu i w zadanym okresie.

Podrozdział 6.5 przedstawia implementację modelu dotyczącego przewidywania miejsca i czasu występowania kolizji pociągów ze zwierzyną. Opisano przyjęte szczegółowe założenia oraz wykonywane obliczenia. Przeanalizowane zostały również wyniki modelu, które zostały następnie zweryfikowane na podstawie pozyskanych danych testowych obejmujących okres od stycznia do kwietnia 2023 r. Przedstawiono weryfikację modelu dla wybranych linii kolejowych obsługiwanych przez Koleje Śląskie, przy czym dla każdej linii sprawdzenie odbyło się na przykładzie dwóch losowo wybranych miesięcy, dla których posiadano dane testowe tj. z okresu styczeń – kwiecień 2023 r. Istotne jest, że lokalizacja kolizji z zestawu danych weryfikacyjnych (styczeń – kwiecień 2023 r.) pokrywa się w dużej mierze z lokalizacjami, dla których wydano ostrzeżenie lub znajdują się w ich pobliżu. Analogiczną weryfikację przeprowadzono z wykorzystaniem danych dla sieci kolejowej obsługiwanej przez Koleje Wielkopolskie. Istotne jest, że przy weryfikacji modelu sprawdzono wpływ różnych tolerancji zgodności wydanych ostrzeżeń z danymi testowymi. Wprowadzenie już drobnej korekty w zakresie lokalizacji (kilometrażu wydanego ostrzeżenia) powodowało znaczący wzrost skuteczności modelu.

Rozdział 7 (6 stron) poświęcony jest mapie wydarzeń kolejowych. W celu prezentacji wyników modelu predykcji kolizji pociągów ze zwierzętami Autorka wykorzystwała możliwości mapy wydarzeń kolejowych, która była przedmiotem jest wcześniejszych prac naukowych. Mapa ta została wdrożona w Kolejach Śląskich. Jest ona na bieżąco jest aktualizowana danymi o nowych wydarzeniach na sieci kolejowej eksploatowanej przez przewoźnika. Dalszy rozwój mapy wydarzeń kolejowych jest związany z opracowanym modelem predykcji potrażeń zwierzyny przez pociągi przewoźników kolejowych. Graficzne przedstawienie wyników symulacji, które pozwala na identyfikację odcinków o zwiększonym poziomie zagrożenia w aspekcie wystąpienia kolizji pociągu ze zwierzyną. W pracach nad rozszerzeniem funkcjonalności mapy wykorzystano oprogramowanie geoinformacyjne QGIS. W kreatorze map utworzono siatkę pięciokilometrowych odcinków linii kolejowych dla Kolei Śląskich oraz dla Kolei Wielkopolskich. Następnie do każdego odcinka przyporządkowane zostały ostrzeżenia powiązane z przekroczeniem wartości progowych przyjętych w modelu predykcji potrażeń zwierzyny.

Rozdział 8 (5 stron) ma charakter podsumowania. Model predykcji potrąceń zwierzyny na obszarze kolejowym wraz z późniejszą prezentacją wyników na dedykowanej do tego celu mapie jest przykładem innowacyjnego rozwiązania dla systemów zarządzania bezpieczeństwem. Przedstawiony w rozprawie model został opracowany na podstawie danych uczących obejmujących okres 3 lat (2020-2022), pozyskanych od dwóch regionalnych, polskich przewoźników kolejowych. Autorka konkluduje, że przez osiągnięcie celu głównego rozprawy doktorskiej tj. opracowanie mapy wydarzeń kolejowych oraz modelu ich predykcji na podstawie wybranych danych regionalnych przewoźników pasażerskich oraz wskazanie ich powiązania z systemami zarządzania bezpieczeństwem, potwierdzona została teza pracy wskazująca, że zasadnym jest opracowanie mapy wydarzeń kolejowych oraz modelu ich predykcji jako narzędzi wykorzystywanych w systemie zarządzania bezpieczeństwem przewoźników kolejowych.

W rozdziale 9 (2 strony) zawarto w ośmiu punktach wnioski z pracy.

4. Ocena rozprawy

Recenzowana rozprawa została przedłożona Radzie Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport. Dotyczy ona bowiem bezpieczeństwa w transporcie szynowym. Równocześnie praca ma charakter interdyscyplinarny. Przedstawiony w niej problem badawczy a także zastosowane narzędzia jego rozwiązania mogą być rozpatrywane z perspektywy kilku dziedzin nauki (nauk inżynieryjno-technicznych, nauk społecznych, nauk ścisłych i przyrodniczych i wielu dyscyplin naukowych (w tym szczególnie geografii społeczno-ekonomicznej i gospodarki przestrzennej, nauk biologicznych).

Odnosząc się do tematyki rozprawy należy w pierwszej kolejności zwrócić uwagę na zasadność podjęcia tematu, jego aktualność i na rosnące znaczenie problemu wydarzeń kolejowych, a w szczególności zdarzeń kolejowych. Krajowe i unijne organy bezpieczeństwa zbierają i analizują dane dotyczące zdarzeń kolejowych oraz w razie potrzeby innych wskazanych wydarzeń mających znaczący wpływ na bezpieczeństwo realizowanych przewozów. Organy te wyznaczają wartości wskaźników bezpieczeństwa oraz publikują raporty. Na poziomie centralnym nie są jednak analizowane sytuacje związane z potrąceniami zwierzyny. Tymczasem problem kolizji pociągów ze zwierzyną dotyczy przewozów kolejowych realizowanych na całym świecie. W odniesieniu do kolei w Polsce kolizje pociągów ze zwierzyną mają coraz poważniejszy (i stale rosnący) wpływ na realizację przewozów i na koszty ponoszone przez przewoźników pasażerskich. Wynika to w mojej opinii z następujących przyczyn:

- 1) Znaczące zwiększenie w ostatnich 10 latach pracy eksploatacyjnej w ruchu pasażerskim wykonywanej na sieci kolejowej (137 mln pockm w 2013 roku, 191 mln pockm w 2023 roku),
- 2) Zwiększenie prędkości pociągów na bardzo wielu odcinkach linii sieci kolejowej,
- 3) Wrażliwość nowoczesnych pojazdów, w szczególności elektrycznych i spalinowych zespołów trakcyjnych na skutki zderzeń (duże koszty napraw, koszty wyłączenia taboru z ruchu, koszty opóźnień),
- 4) Zwiększenie się populacji wielu gatunków zwierząt i zmiany w jej terytorialnym rozmieszczeniu.

Ważnym czynnikiem uzasadniającym kierunek poszukiwań są dotychczasowe doświadczenia Autorki związane z opracowaniem przez nią, na wcześniejszym etapie pracy naukowej, „Mapy wydarzeń kolejowych” i zauważenie faktu, że narzędzie to może być rozwinięte o nowe funkcjonalności.

Rozprawa ma bez wątpienia znaczenie gospodarcze, ze względu na korzyści, jakie mogą odnieść w wyniku wdrożenia jej wyników przewoźnicy kolejowi. Korzyści te wiążą się przede wszystkim z możliwością zmniejszenia liczby wydarzeń związanych z kolizjami ze zwierzętami lub ograniczenia ich skutków.

Rozprawa dobrze wpisuje się w tematykę badań realizowanych od szeregu lat na Wydziale Transportu i Inżynierii Lotniczej Politechnice Śląskiej, w tym w szczególności dotyczących niezawodności i zapewnienia bezpieczeństwa a także systemów zarządzania jakością, bezpieczeństwem i utrzymaniem w transporcie kolejowym. Badania w tym obszarze tematycznym powinny być kontynuowane.

Oceniając założenia modelu predykcji kolizji pociągów ze zwierzętami należy uznać je za prawidłowe. Bardzo istotne było wykorzystanie do analizy danych rzeczywistych pochodzących od dwóch przewoźników regionalnych (Koleje Śląskie, Koleje Wielkopolskie), realizujących przewozy z dużą, jak na warunki polskie częstotliwością i po tych samych liniach kolejowych w obu regionach. Opracowany model predykcyjny został zweryfikowany na rzeczywistych danych dwóch dużych pasażerskich przewoźników regionalnych, realizujących przewozy na liniach kolejowych o zróżnicowanym charakterze. Dowodzi to, że model ten charakteryzuje się uniwersalnością i może być stosowany także przez innych przewoźników kolejowych.

Praca nie budzi zastrzeżeń pod względem prawidłowości zastosowanych przez Autorkę metod badawczych. Zostały one zastosowane adekwatnie do postawionych przez nią celów naukowych i celu utylitarnego. Przyjęcie modelu wykorzystującego koncepcję Bayesa jest całkowicie uzasadnione, o czym świadczą zastosowania modeli bayesowskich do wyjaśniania związków przyczynowo-skutkowych w różnych obszarach życia. Ponadto warto zwrócić uwagę na fakt, że Autorka z dużą biegłością posługuje się narzędziami geoinformatycznymi, wykorzystując je do opracowania i rozwijania mapy wydarzeń kolejowych.

Rozprawa jest poprawna pod względem językowym, a niewielkie zastrzeżenia w tym względzie zawarto w dalszej części niniejszej Recenzji.

5. Uwagi ogólne

Dyskusyjny jest moim zdaniem podział treści rozprawy na rozdziały. Kluczowy rozdział 6, poświęcony modelowi predykcji kolizji pociągów ze zwierzętami, jest dość obszerny. Rozdział ten mógłby z powodzeniem być podzielony na dwa rozdziały, z których pierwszy zawierałby założenia modelu i jego opis, drugi zaś dotyczyłby jego implementacji i weryfikacji w warunkach dwóch przewoźników kolejowych. Z kolei treści stosunkowo krótkich rozdziałów 2 i 3 można było w mojej opinii połączyć bez szkody dla jasności wyводу.

Zastrzeżenia budzi sposób przedstawienia bibliografii. W opinii recenzenta powinna być ona podana w porządku alfabetycznym. Pożądane byłoby także pogrupowanie pozycji literatury, na przykład z wydzieleniem artykułów naukowych, aktów prawnych i źródeł internetowych.

6. Uwagi szczegółowe

W rozdziale 3.1, na stronie 26 Autorka przedstawia informacje o kolizjach ze zwierzętami na polskiej sieci kolejowej. W tym miejscu celowe byłoby także odniesienie się do informacji na temat występowania i różnorodności gatunkowej zwierząt w pobliżu linii kolejowych oraz wpływu

transportu kolejowego na ich zachowanie i śmiertelność na liniach kolejowych, zawartych w opracowaniu pod tytułem: „Ekspertyza dotycząca wpływu linii kolejowych na zwierzęta oraz szlaki migracji dla projektów inwestycyjnych z perspektywy 2014 – 2020, Część nr 1 Ssaki, z wyjątkiem nietoperzy”. Ekspertyza ta została wykonana na rzecz PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. w 2015.

W rozdziale 4.2, w opisie rysunku 11 na stronie 40 Autorka użyła określenia „rozstaw toru”. Poprawny termin to „szerokość toru”.

W pracy, co najmniej w kilku miejscach, używane jest sformułowanie „w oparciu o”. Na przykład w rozdziale 5.2, na stronie 51 Autorka pisze: „W oparciu o przedstawione cele oraz zakres rozprawy doktorskiej, jak również własne doświadczenia, uzasadnione jest sformułowanie następującej tezy.....”. Użycie wyrażenia „w oparciu o” nie wydaje się właściwe przede wszystkim dlatego, że powstało ono z konstrukcji „opierać się o coś”, która odnosi się nie do zjawisk abstrakcyjnych, lecz do czynności fizycznych (patrz: Poradnia językowa PWN, <https://sjp.pwn.pl>). Z tego powodu, w omawianym przypadku poprawniej byłoby napisać: „Na podstawie przedstawionych celów oraz zakresu rozprawy doktorskiej....”. Podobnie w rozdziale 6.5 na stronie 79 napisano: „W oparciu o przedstawione mapy ostrzeżeń...”, tymczasem właściwsze byłoby sformułowanie: „Na podstawie przedstawionych map ostrzeżeń...”.

Bibliografia jest dość bogata i różnorodna, obejmuje 195 pozycji. W mojej opinii brakuje jednak odwołania do istotnych publikacji zagranicznych i krajowych, dotyczących zderzeń pociągów ze zwierzętami, w tym szczególnie:

- 1) Andersen R. Moose-train collisions: effects of environmental conditions. *Alces* 1991, 27, s. 79-84.
- 2) Belant J.L. Moose collisions with vehicles and trains in Northeastern Minnesota. *Alces* 1995, 31, s. 45-52.
- 3) Jasińska, K., Żmihorski, M., Krauze-Gryz, D., Kotowska, D., Werka, J., Piotrowska, D., & Pärt, T. (2019). Linking habitat composition, local population densities and traffic characteristics to spatial patterns of ungulate-train collisions. *JOURNAL OF APPLIED ECOLOGY*, 56(12), 2630-2640.

7. Wniosek końcowy

Uważam, że przedstawiona do recenzji rozprawa p. mgr inż. Katarzyny Gawlak posiada dużą wartość merytoryczną i stanowi oryginalne rozwiązanie problemu badawczego, jakim są kolizje pojazdów szynowych ze zwierzętami. Problem ten w istotny sposób wpływa na funkcjonowanie przewoźników kolejowych, jest to więc zagadnienie o dużym znaczeniu praktycznym, posiada też znaczny potencjał wdrożeniowy.

Doktorantka w prawidłowy sposób rozwiązuje problem naukowy a równocześnie wykazuje się dużą wiedzą specjalistyczną. Rozprawa potwierdza znajomość zagadnień praktycznych dotyczących bezpieczeństwa w transporcie szynowym, z uwzględnieniem zarówno aspektów technicznych, jak i formalno-prawnych. Przedłożona dysertacja potwierdza umiejętność samodzielnego prowadzenia przez Doktorantkę badań naukowych. Występujące w pracy niewielkie usterki nie podważają jej wartości merytorycznej.

Rozprawa doktorska pani mgr inż. Katarzyny Gawlak pod tytułem „Opracowanie i wdrożenie mapy wydarzeń kolejowych oraz modelu ich predykcji jako narzędzi wykorzystywanych w systemie zarządzania bezpieczeństwem przewoźników kolejowych” spełnia w mojej opinii wymagania

określone w Ustawie. Wnoszę zatem o przyjęcie recenzowanej rozprawy i dopuszczenie do publicznej jej obrony.