

Dr hab. inż. Jarosław Korzeb, prof. PW
Politechnika Warszawska, Wydział Transportu
Zakład Budowy i Eksploatacji Środków Transportu
ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa
e-mail: jaroslaw.korzeb@pw.edu.pl

Warszawa, 28 października 2025 r.

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ
autorstwa mgr inż. Julii Milewicz
pt.

„Bioróżnorodność a transport kolejowy – klasyfikacja metod ograniczania negatywnego wpływu na dzikie zwierzęta oraz propozycja adaptacyjnej ramy analityczno-decyzyjnej do wdrażania rozwiązań mitygujących jako element strategii zrównoważonego rozwoju”

Promotor rozprawy: Dr hab. inż. Grzegorz Szymański, prof. PP
Promotor pomocniczy: Dr inż. Tomasz Nowakowski
Dziedzina nauki: Nauki Inżynieryjno-Techniczne
Dyscyplina naukowa: Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport

I. Podstawy opracowania recenzji

Podstawy formalne opracowania recenzji:

- zlecenie Pana Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport, Prof. dr hab. inż. Jacka Pielechy (pismo nr RD/d/50/02/2025, z dnia 8.10.2025) i umowa nr 0410/2025/73;
- uchwała Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport z dnia 7.10.2025;
- egzemplarz rozprawy doktorskiej mgr inż. Julii Milewicz w wersji drukowanej oraz elektronicznej.

Uwzględnione podstawy prawne podczas opracowania recenzji rozprawy doktorskiej:

- Ustawa z dnia 20.07.2018 r. – „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz.U. 2024 r., poz. 1571 z późn. zm.),
- Obwieszczenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 12.02.2025 r. w sprawie dziedzin nauki i dyscyplin naukowych oraz dyscyplin artystycznych (Dz.U. 2025 poz. 211).

Podczas opracowywania niniejszej recenzji szczególną uwagę zwrócono na poziom merytoryczny przedstawionych w pracy treści. Analizie poddano zarówno strukturę i układ logiczny rozprawy, jak i adekwatność oraz poprawność stosowanej terminologii naukowej w odniesieniu do przyjętego zakresu tematycznego. Oceniono trafność merytoryczną i spójność wyводу w kontekście celów badawczych oraz zgodność wniosków z uzyskanymi wynikami.

Istotnym elementem oceny była dysertabilność podjętej tematyki oraz potencjału naukowego tematu, a ponadto oryginalność ujęcia problematyki oraz jej znaczenie dla

rozwoju dyscypliny naukowej Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport. W ramach tej oceny zwrócono uwagę na dobór i aktualność wykorzystanych źródeł literaturowych, prawidłowość cytowań oraz sposób powiązania odniesień bibliograficznych z treścią pracy.

Dodatkowo, oceniono przejrzystość prowadzenia wywodu, poziom języka techniczno-naukowego, a także dbałość o stronę formalną opracowania, w tym poprawność zapisów liczbowych, symboli, wykresów i tabel. Sprawdzono również konsekwencję stosowania międzynarodowego układu jednostek i miar (SI) oraz zgodność użytych oznaczeń z obowiązującymi normami i konwencjami edytorskimi.

II. Ogólny układ rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska liczy 149 stron dokumentu, na które składają się: strona tytułowa i streszczenia (3 strony), spis treści (2 strony), dwie strony wstępu, dziewięć rozdziałów autorskich (115 stron), podsumowanie i wnioski (6 stron), oświadczenie autorki (1 strona), bibliografia (16 stron) oraz spisy rysunków i tabel (4 strony).

Odpowiednie zestawienia liczbowe charakteryzujące przedstawiony do recenzji materiał z podziałem na rozdziały zamieszczono w poniższej tabeli.

Rozdział	Liczba			
	rysunków	tabel	równań	stron
Str. tytułowa				1
Streszczenie				2
Spis treści				2
Wstęp				2
Transport kolejowy...	13	2		28
Cel i teza pracy				4
Metodyka badań				1
Kolizje pojazdów szynowych...	5	19	1	19
Klasyfikacja i ocena...	11	1		18
Adaptacyjna rama...	2	1	3	13
Studium przypadku...	14	7	4	22
Studium przypadku II...	6			5
Szanse i wyzwania...				5
Podsumowanie i wnioski				6
Oświadczenia				1
Bibliografia (299 pozycji)				16
Spis rysunków				2
Spis tabel				2
Razem	51	30	8	149

W spisie bibliografii ujęto 299 pozycji wydawniczych, raportów naukowo-badawczych, rozporządzeń krajowych i międzynarodowych, konwencji, danych jakościowych i ilościowych z autoryzowanych źródeł zewnętrznych (dane statystyczne dotyczące kolizji udostępnione od przewoźników kolejowych oraz wywiady eksperckie) oraz źródeł internetowych (59

materiałów). Treść pracy obejmuje ponadto bogaty materiał ilustracyjny, na który składa się 51 rysunków i fotografii oraz 30 tabel.

II.1. Tematyka i zakres rozprawy

Podjęta w rozprawie problematyka dotyczy jednego z kluczowych zagadnień współczesnej inżynierii środowiska i transportu – wpływu infrastruktury kolejowej na środowisko przyrodnicze, ze szczególnym uwzględnieniem bioróżnorodności i występowania kolizji z dzikimi zwierzętami. Praca wpisuje się w nurt badań nad zrównoważonym rozwojem transportu, łącząc w sobie wątki techniczne, ekologiczne i decyzyjne. Tak zarysowane tło pozwala uchwycić złożoność relacji pomiędzy rozwojem infrastruktury liniowej a integralnością ekosystemów, co jest punktem wyjścia dla dalszych analiz. Autorka, dostrzegając rosnące znaczenie integracji ochrony przyrody z planowaniem i eksploatacją infrastruktury kolejowej, postawiła sobie za cel nie tylko rozpoznanie i opisanie skali oddziaływań, lecz także opracowanie praktycznego narzędzia wspierającego proces podejmowania decyzji w zakresie działań mitygacyjnych.

Zakres rozprawy obejmuje zarówno część teoretyczno-analityczną, jak i część empiryczno-aplikacyjną. W pierwszej z nich autorka przeprowadziła szeroką analizę literatury krajowej i międzynarodowej, dokumentów normatywnych oraz raportów środowiskowych, koncentrując się na identyfikacji rodzajów oddziaływań kolei na faunę, sposobów ich ograniczania oraz skuteczności stosowanych rozwiązań. W wyniku tych analiz opracowano uporządkowaną klasyfikację metod mitygacyjnych – od rozwiązań technicznych, takich jak ogrodzenia, przejścia dla zwierząt i systemy detekcji, po środki organizacyjne i zarządcze, związane z monitorowaniem, utrzymaniem infrastruktury i edukacją personelu. Zidentyfikowano potrzebę opracowania zintegrowanego podejścia, które łączyłoby elementy ekologii, ekonomiki transportu oraz zarządzania ryzykiem środowiskowym.

W drugiej części rozprawy, o charakterze empirycznym, wykorzystano rzeczywiste dane pochodzące od przewoźników kolejowych oraz instytucji zarządzających infrastrukturą. Dane te obejmowały m.in. rejestry kolizji pociągów z dzikimi zwierzętami, raporty zdarzeń oraz informacje o lokalnych uwarunkowaniach środowiskowych. Analiza tego materiału pozwoliła określić skalę zjawiska, jego zróżnicowanie przestrzenne i czasowe, a także wskazać obszary szczególnego ryzyka, w których potrzeba wdrażania działań ochronnych jest najbardziej uzasadniona.

Na tej podstawie Autorka opracowała autorską ramę analityczno-decyzyjną, integrującą elementy oceny środowiskowej, przestrzennej i organizacyjnej. Na tym gruncie rozwinięta została część metodyczna, w której zaproponowano autorską koncepcję ramy analityczno-decyzyjnej. Jej konstrukcja odzwierciedla interdyscyplinarny charakter pracy – integruje narzędzia analizy statystycznej, oceny ryzyka (FMEA), metody klasyfikacji przestrzennej i logiki decyzyjnej. Model został osadzony w realiach danych empirycznych pochodzących od przewoźników kolejowych, co nadało mu wymiar aplikacyjny i potwierdziło możliwość jego implementacji w praktyce zarządczej. Model ten łączy metody klasyfikacji, analizy ryzyka i priorytetyzacji działań mitygacyjnych, opierając się na idei wielokryterialnego wspomagania

decyzji. W konstrukcji ramy wykorzystano założenia podejścia systemowego, w którym transport kolejowy traktowany jest jako część złożonego ekosystemu przestrzenno-społecznego, a nie jedynie jako sektor techniczny.

W kolejnych rozdziałach autorka przeprowadziła empiryczną weryfikację opracowanego modelu, wykorzystując rzeczywiste przypadki infrastruktury kolejowej. Analiza danych dotyczących kolizji zwierząt z pociągami, uzupełniona o charakterystyki środowiskowe i przestrzenne, pozwoliła nie tylko zidentyfikować czynniki sprzyjające występowaniu zagrożeń, ale również przetestować skuteczność proponowanego narzędzia w kontekście realnych decyzji eksploatacyjnych, czy planistycznych. Dla zweryfikowania skuteczności i uniwersalności opracowanego podejścia przeprowadzono studia przypadków, obejmujące m.in. linię kolejową nr 356 oraz odcinek analizowany *ad hoc*. Badania te pozwoliły na zastosowanie zaproponowanego modelu w rzeczywistych warunkach terenowych, z uwzględnieniem lokalnych uwarunkowań przyrodniczych, technicznych i eksploatacyjnych. W ich rezultacie uzyskano zestaw wniosków praktycznych, które mogą stanowić podstawę do wdrażania systemowych rozwiązań ograniczających kolizje fauny z ruchem kolejowym.

Wyniki uzyskane w rozprawie posiadają dwutorową wartość – poznawczą i praktyczną. W wymiarze poznawczym praca wnosi istotny wkład w rozumienie relacji pomiędzy systemem transportowym a przyrodą, ukazując transport kolejowy nie tylko jako źródło presji ekologicznej, lecz również jako potencjalny element równowagi i współistnienia z otoczeniem przyrodniczym. Rozprawa systematyzuje wiedzę na temat mechanizmów działań, sposobów pomiaru i doboru kryteriów oceny skuteczności działań mitygacyjnych. Ważnym elementem pracy są rekomendacje środowiskowe sformułowane na podstawie analizy eksperckiej oraz porównania rozwiązań stosowanych w Polsce i innych krajach europejskich. Autorka wskazała, że skuteczna ochrona bioróżnorodności w transporcie kolejowym wymaga nie tylko działań infrastrukturalnych, ale również integracji instytucjonalnej i edukacyjnej, a także wdrażania standardów zarządzania środowiskowego w duchu idei „*no net loss of biodiversity*”.

Całość rozprawy charakteryzuje się spójnym i konsekwentnie zaprojektowanym układem logicznym, który prowadzi czytelnika w sposób uporządkowany od podstaw teoretycznych do praktycznego rozwiązania inżynierskiego i decyzyjnego. Konstrukcja rozprawy tworzy spójną narrację naukową, w której każdy rozdział pełni określoną funkcję poznawczą – od zdefiniowania problemu, przez ocenę stanu wiedzy i narzędzi, aż po propozycję rozwiązania i jego praktyczne sprawdzenie. Taki układ nie tylko potwierdza dojrzałość koncepcyjną pracy, ale również podkreśla jej interdyscyplinarny charakter, łączący nauki techniczne, przyrodnicze i społeczne w spójnym ujęciu problemu zrównoważonego rozwoju transportu.

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska w znacznym stopniu opiera się na gruntownej wiedzy teoretycznej, obejmującej interdyscyplinarny zakres zagadnień z obszaru inżynierii środowiska, ekologii stosowanej, planowania transportu i zarządzania infrastrukturą kolejową. Jednocześnie praca posiada wyraźny wymiar praktyczny, gdyż zaprezentowane w niej rozważania i modele zostały poparte analizą rzeczywistych danych empirycznych dotyczących kolizji fauny z ruchem kolejowym oraz oceną skuteczności stosowanych metod mitygacyjnych. Autorka nie ograniczyła się do syntetyzowania dostępnej wiedzy, lecz

opracowała autorską, weryfikowalną ramę analityczno-decyzyjną, stanowiącą narzędzie wspomagające proces podejmowania decyzji w zakresie ochrony bioróżnorodności w transporcie szynowym. W części badawczej przeprowadzono analizę o charakterze eksperymentalnym i studialnym, która potwierdziła walory aplikacyjne zaprezentowanego podejścia oraz jego potencjał wdrożeniowy w praktyce zarządzania środowiskiem kolejowym.

II.2. Charakterystyka rozprawy

Ogólna charakterystyka rozprawy

Autorka w sposób uporządkowany i logiczny zaprojektowała strukturę rozprawy, prowadząc wywód od analizy teoretycznej do praktycznej weryfikacji wyników. Trafnie zdefiniowała problem badawczy i osadziła go w kontekście zrównoważonego rozwoju oraz ochrony bioróżnorodności w transporcie kolejowym. Następnie przedstawiła metodykę badań, obejmującą analizę danych empirycznych dotyczących kolizji zwierząt z pociągami, klasyfikację metod mitygacyjnych oraz opracowanie autorskiej ramy analityczno-decyzyjnej. W dalszej części pracy przeprowadziła studia przypadków, które pozwoliły zweryfikować opracowany model i przedyskutować jego zastosowanie w systemach zarządzania środowiskowego. Całość zamyka zwięzłe, lecz rzeczowe podsumowanie podkreślające znaczenie uzyskanych wyników.

Autorka rozprawy dokonała prawidłowej alokacji ciężaru treści przedstawionej w pracy, poświęcając odpowiednio 3% na strony tytułowe, streszczenia, spisy treści i oświadczenie, 1% na wstęp, 5% na wprowadzenie do tematyki, 19% na wprowadzenie czytelnika w osnovę teoretyczną problemu, 13% na charakterystykę wypadków występujących na wybranych odcinkach dróg szynowych, 12% na klasyfikację i dostępność rozwiązań rynkowych, 27% dla opisu adaptacyjnej ramy systemowej, umożliwiającej minimalizację negatywnego wpływu transportu kolejowego na bioróżnorodność ekosystemów i 2 studia przypadków, 3% na potencjał i wyzwania przyszłości, 4% na podsumowanie, 2% na spisy tabel i rysunków. Należy zauważyć, że Autorka dokonała bogatej przeglądu literatur stanowiącego 11% objętości pracy.

Zakres źródeł bibliograficznych cytowanych w pracy obejmuje publikacje naukowe (czasopisma i książki), akty prawne i dokumenty UE, raporty instytucjonalne (m.in. PKP PLK, CPK, Sejm RP), źródła internetowe, prace magisterskie i doktorskie o charakterze porównawczym oraz opracowania branżowe z zakresu ekologii transportu.

Bibliografia rozprawy doktorskiej Julii Milewicz ma charakter interdyscyplinarny, z dominującym udziałem literatury naukowej. Najliczniejszą grupę – ponad połowę wszystkich pozycji – stanowią artykuły z uznanych czasopism, takich jak *Journal of Cleaner Production*, *Transportation Research*, *Sustainability*, *Energies*, *Journal of Transport Geography* czy *Archives of Transport*. Uzupełniają je prace konferencyjne (m.in. *Transport Means*, *ECORAIL*, *TST*) oraz monografie dotyczące modelowania emisji, logistyki i polityki środowiskowej. Około 15% źródeł to akty prawne i dokumenty strategiczne UE i RP, obejmujące kluczowe ustawy (np. Prawo ochrony środowiska, Prawo o ruchu drogowym), dyrektywy UE (2008/50/WE,

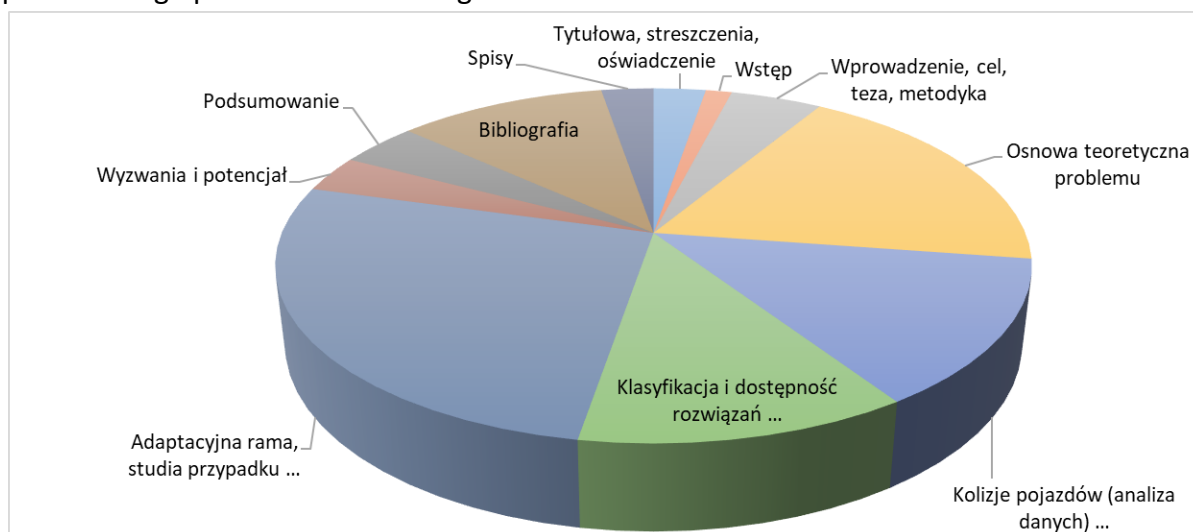
2019/1161, 2021/1119) oraz programy rozwojowe (KPK, Fit for 55). Istotny blok tworzą raporty instytucjonalne i branżowe (UIC, PKP PLK, UTK, CPK, EEA, IPCC) dotyczące emisji, modernizacji infrastruktury i efektywności energetycznej. Źródła internetowe i portale branżowe stanowią niewielką część bibliografii; służą aktualizacji danych i odniesieniu do praktyki sektora. Wykorzystano również prace dyplomowe i rozprawy naukowe jako tło metodologiczne oraz zestaw norm i wytycznych PN-EN i ISO stosowanych w analizach technicznych. W efekcie bibliografia pracy tworzy spójny i aktualny zasób źródeł – łączący perspektywę naukową, prawną i praktyczną, co podkreśla kompleksowy charakter rozprawy i jej zakorzenienie w problematyce zrównoważonego transportu kolejowego.

Analiza tytułów zamieszczonych pozycji literatury naukowej utwierdza w przekonaniu, że dobór źródeł bibliograficznych nie budzi większych zastrzeżeń.

Rozprawa napisana jest poprawnym językiem, z uwzględnieniem właściwych pojęć i terminów oraz konsekwentnie stosowane są w niej jednostki układu SI i ich krotności.

Ocena struktury podziału treści rozprawy

Autorka rozprawy dokonała prawidłowej alokacji materiału w pracy, a rozkład proporcji istotnych elementów przedłożonego materiału pokazano na rysunku. Taki podział treści pracy nie budzi zastrzeżeń i świadczy o przemyślanym podejściu do wieloetapowego rozwiązania postawionego problemu badawczego.



Rozdział 1 ma charakter wprowadzający i osadza problem badawczy w kontekście globalnych i europejskich strategii zrównoważonego rozwoju. Autorka wskazuje na znaczenie ochrony bioróżnorodności w transporcie kolejowym oraz definiuje powody podjęcia tej problematyki. Rozdział stanowi uzasadnienie naukowe i praktyczne wyboru tematu oraz nakreśla jego powiązania z politykami środowiskowymi.

W rozdziale 2 omówiono ramy teoretyczne badań, przedstawiając ewolucję idei zrównoważonego rozwoju, miejsce transportu w systemie środowiskowym oraz znaczenie różnorodności biologicznej w politykach Unii Europejskiej. Autorka dokonuje hierarchizacji działań ochronnych, charakteryzuje oddziaływania kolei na ekosystemy i dokonuje przeglądu

międzynarodowych dokumentów, strategii i konwencji. W syntetyczny sposób prezentuje też metody minimalizacji skutków środowiskowych kolei, w tym rozwiązania techniczne i organizacyjne.

Rozdziały 3-4 zawierają cel, tezę, pytania badawcze oraz zakres pracy. Wskazuje zarówno wymiar poznawczy, jak i aplikacyjny rozprawy, podkreślając znaczenie opracowania narzędzia wspomagającego proces decyzyjny. Autorka stawia tezę: *„Opracowanie adaptacyjnej ramy analityczno-decyzyjnej do planowania i wdrażania działań łagodzących negatywny wpływ transportu kolejowego na dzikie zwierzęta – uwzględniającej aspekty przestrzenne, przyrodnicze i operacyjne – stanowi rozwiązanie wspierające proces decyzyjny na rzecz ochrony bioróżnorodności i ograniczania kolizji pojazdów szynowych ze zwierzętami”* oraz wskazuje warunki jej przyjęcia. Rozdział 4 opisuje metodykę badań, prezentując przyjęte metody analizy danych, narzędzia klasyfikacji i oceny ryzyka środowiskowego, a także sposób opracowania autorskiej ramy analityczno-decyzyjnej. W mojej opinii rozdział 4 Autorka potraktowała bardzo skrótowo.

W rozdziale 5 przedstawiono analizę kolizji pociągów z dzikimi zwierzętami w Polsce, opartą na danych PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. oraz wybranych przewoźników kolejowych, obejmujących kilka lat obserwacji i kilkaset zdarzeń. Dane zestawiono z przebiegiem linii, pokryciem terenu i natężeniem ruchu, co pozwoliło określić rozmieszczenie przestrzenne i sezonowe kolizji oraz wskazać czynniki środowiskowe zwiększające ryzyko występowania zdarzeń. Zidentyfikowano najczęściej poszkodowane gatunki (m.in. sarny, jelenie, dziki) i odcinki o podwyższonym ryzyku kolizji, zlokalizowane głównie w pobliżu lasów, dolin rzecznych, a zwłaszcza korytarzy migracyjnych. Oceniono także skutki operacyjne i ekonomiczne zjawiska, odnosząc je do bezpieczeństwa i płynności ruchu kolejowego. Wyniki potwierdziły zależność pomiędzy częstotliwością kolizji a fragmentacją siedlisk, porą roku i natężeniem ruchu. Rozdział kończy podsumowanie wskazujące na potrzebę systematycznego monitoringu i tworzenia krajowej bazy danych zdarzeń z udziałem zwierząt.

Rozdział 6 ma charakter przeglądowo-analityczny i obejmuje klasyfikację dostępnych rozwiązań mitygacyjnych ograniczających wpływ kolei na faunę. Autorka uporządkowała je w cztery grupy: infrastrukturalne (ogrodzenia, przejścia dla zwierząt, ekrany naprowadzające), aktywne (systemy detekcji i ostrzegania), bierne (utrzymanie zieleni, ograniczanie atrakcyjności torowisk) oraz zarządcze (monitoring, planowanie, edukacja). Każde z rozwiązań oceniono pod względem skuteczności, kosztów, trwałości i możliwości wdrożenia w warunkach krajowych. Efektem tej analizy jest praktyczny katalog metod mitygacyjnych, stanowiący narzędzie wspierające wybór optymalnych działań ochronnych w transporcie kolejowym.

Rozdział 7 ma charakter czysto autorski i prezentuje opracowaną przez autorkę adaptacyjną ramę analityczno-decyzyjną WILD-RAIL (*Wildlife-Impact Limitation & Decision framework for RAIL transport*). W podrozdziałach przedstawiono założenia koncepcyjne modelu, jego architekturę i funkcjonalność oraz etapy procesu decyzyjnego obejmujące identyfikację problemu, analizę ryzyka, dobór metod mitygacyjnych i ocenę efektywności działań. Zdefiniowano zestaw kryteriów decyzyjnych, obejmujący skuteczność ekologiczną, wykonalność techniczną, koszty wdrożenia i utrzymania oraz zgodność z przepisami

środowiskowymi. W dalszej części rozdziału opisano sposób wdrożenia ramy w praktyce, wskazując na możliwość integracji z systemami GIS i bazami danych kolizji. Autorka zaprezentowała również przykład interaktywnego formularza decyzyjnego opracowanego w języku Python, służącego do dynamicznego wyboru wariantów mitygacyjnych i oceny ich priorytetu, co potwierdza potencjał operacyjny i aplikacyjny koncepcji WILD-RAIL.

Rozdziały 8-9 mają charakter empiryczny i obejmują studia przypadków służące weryfikacji przydatności ramy analityczno-decyzyjnej WILD-RAIL w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych. W pierwszym studium, dotyczącym linii kolejowej nr 356 (Poznań Wschód – Bydgoszcz Główna), zastosowano pełną procedurę oceny, obejmującą identyfikację odcinków kolizyjnych, identyfikując punkty *hotspot*, prowadząc analizę uwarunkowań środowiskowych i przestrzennych, klasyfikację czynników ryzyka oraz dobór metod mitygacyjnych zgodnie z kryteriami opracowanymi w rozdziale 7. Autorka wskazała, że Podsumowując analizę czynników można zauważyć, że kluczową kwestią jest lokalizacja, czyli przecięcie korytarza ekologicznego łączącego dwa duże siedliska zwierząt. W celu kompleksowej oceny możliwości ograniczenia czynników wpływających na wysoką liczbę kolizji zwierząt z pociągami na wybranym odcinku 12,0–13,0 km linii kolejowej nr 356, przeprowadzono analizę SWOT z uzupełniającymi elementami PESTEL. Dane przestrzenne i przyrodnicze zestawiono z informacjami o natężeniu ruchu, typach taboru i parametrach linii, co pozwoliło wskazać obszary wymagające działań ochronnych, z doborem metod mitygacyjnych (infrastrukturalnej, aktywnej i uzupełniającej), takich jak montaż barier, poprawa drożności przejść dla zwierząt czy monitoring wizyjny. W celu kompleksowej oceny ryzyka związanego z wdrożeniem zaproponowanych rozwiązań przeprowadzono uproszczoną analizę FMEA (w zakresie identyfikacji scenariuszy niepowodzenia, oceny prawdopodobieństwa wystąpienia, skutków i wykrywalności z nadaniem priorytetu według wskaźnika RPN). Należy zauważyć, że dwa scenariusze (zmiana tras migracyjnych zwierząt po realizacji inwestycji oraz brak monitoringu skuteczności wdrożonych rozwiązań) uzyskały wartości powyżej 100, czyli są to zagrożenia o charakterze umiarkowanym lub podwyższonym. Zidentyfikowane ryzyka potwierdziły potrzebę wdrażania działań kontrolnych i adaptacyjnych, np. regularna weryfikacja skuteczności przejść, planowe inspekcje techniczne oraz sezonowa analiza lokalnych uwarunkowań środowiskowych. Drugie studium, o charakterze uzupełniającym i porównawczym, przeprowadzono na krótszym odcinku kolejowym linii nr 139 Katowice – Zwardoń, w odmiennych warunkach środowiskowych, co umożliwiło ocenę elastyczności i adaptacyjności narzędzia WILD-RAIL. Analiza ta potwierdziła możliwość zastosowania ramy w lokalizacjach o różnej skali problemu i dostępności danych. W obu przypadkach przeprowadzono walidację wyników z wykorzystaniem map ryzyka kolizji, opracowanych w środowisku GIS, oraz ocenę efektywności proponowanych rozwiązań mitygacyjnych. Rozdziały kończą syntetyczne podsumowania zawierające wnioski dotyczące praktycznej użyteczności modelu i rekomendacje dla zarządców infrastruktury kolejowej.

Rozdział 10 zawiera rekomendacje środowiskowe oparte na wynikach wywiadów eksperckich z przedstawicielami sektora kolejowego, środowisk naukowych i administracji. Zidentyfikowano w nim bariery i szanse dla wdrażania rozwiązań proekologicznych oraz podkreślono potrzebę integracji instytucjonalnej i poprawy komunikacji międzysektorowej.

Autorka zidentyfikowała kluczowe bariery wdrażania rozwiązań proekologicznych, wśród których wskazano m.in. brak spójnych procedur oceny środowiskowej, niedostateczną wymianę danych między instytucjami, ograniczenia finansowe oraz niską świadomość ekologiczną wśród części kadry technicznej. Jednocześnie określono czynniki sprzyjające – rozwój technologii monitoringu, rosnące znaczenie raportowania ESG, dostęp do funduszy unijnych oraz coraz silniejsze powiązanie polityki transportowej z celami klimatycznymi UE.

Rozprawę zamyka podsumowanie, w którym autorka potwierdza realizację założonych celów badawczych i osiem wniosków poznawczych dotyczących mechanizmów oddziaływania kolei na faunę, skuteczności metod mitygacyjnych i roli danych empirycznych w procesie decyzyjnym oraz sześć wniosków aplikacyjnych, odnoszących się do praktycznego wykorzystania opracowanego narzędzia w planowaniu i utrzymaniu infrastruktury kolejowej. Wskazuje w kierunkach dalszych prac, że wdrożenie ramy WILD-RAIL może stanowić element systemowego zarządzania środowiskowego, wspierającego zarządców infrastruktury w identyfikacji odcinków problemowych i doborze adekwatnych rozwiązań ochronnych, lub aplikacji GIS wspierającej zarządzanie ryzykiem kolizji w czasie rzeczywistym, czy też możliwość adaptacji opracowanego modelu do innych rodzajów transportu. Całość podsumowania kończy ważna refleksja o potrzebie łączenia wiedzy naukowej z praktyką zarządczą i kształtowania transportu kolejowego w sposób zgodny z zasadami odpowiedzialności środowiskowej. Po podsumowaniu Autorka zamieszcza oświadczenia dotyczące wykorzystywania danych oraz prowadzenia wywiadów eksperckich potwierdzające dojrzałość w prowadzeniu badań, w tym odnosi się również do wykorzystania na etapie przygotowania pracy narzędzi generatywnej sztucznej inteligencji.

Pracę dopełnia obszerna bibliografia (299 pozycji) oraz przejrzyste zestawienia tabel i rysunków, świadczące o wysokim stopniu dopracowania analitycznego i metodycznego rozprawy.

III. Ocena rozprawy

Rozprawa doktorska Pani mgr inż. Julii Milewicz ma czytelny układ. Autorka prawidłowo rozpoznała istniejący multidyscyplinarny problem badawczy i osadziła go w rozważaniach teoretycznych. Pracę cechuje wysoki poziom merytoryczny, ma ona przejrzystą strukturę, co potwierdza dojrzały warsztat badawczy. Układ pracy jest logiczny i spójny – prowadzi czytelnika od definicji i ram teoretycznych po część empiryczną i wnioski aplikacyjne. Każdy rozdział ma jasno określoną funkcję: część pierwsza porządkuje podstawy koncepcyjne, kolejne rozwijają analizę i metodykę badań, a część końcowa obejmuje wdrożenie opracowanej koncepcji oraz wnioski praktyczne. Przejrzystość układu i czytelna alokacja treści ułatwiają odbiór złożonej tematyki.

Podstawa teoretyczna została opracowana rzetelnie i interdyscyplinarnie. Autorka dokonała przeglądu literatury branżowo spójnych czasopism uzupełniając go analizą raportów instytucjonalnych oraz norm, poddając krytycznej analizie. Wskazała brak zintegrowanego podejścia do oceny środowiskowych skutków ruchu kolejowego i potrzebę opracowania uniwersalnego narzędzia decyzyjnego.

W części badawczej przeprowadziła analizę danych empirycznych wybranych przewoźników (PKP PLK S.A., Kolei Wielkopolskich Sp. z o.o., Kolei Dolnośląskich Sp. z o.o., Kolei Małopolskich Sp. z o.o., Kolei Śląskich Sp. z o.o., Arriva RP Sp. z o.o.), z wykorzystaniem rzeczywistych rejestrów kolizji pociągów z dzikimi zwierzętami, obejmujące kilkadziesiąt zdarzeń na przestrzeni kilku lat. Dane zestawiono z informacjami o pokryciu terenu, typach siedlisk i natężeniu ruchu, co pozwoliło określić rozmieszczenie przestrzenne kolizji oraz wskazać tzw. *hot-spoty* (kolizyjne – odcinki infrastruktury o największym ryzyku wystąpienia zdarzeń). Wykazała, że ryzyko kolizji wzrasta w rejonach leśnych, dolinnych i na obszarach o wysokiej fragmentacji siedlisk, a zjawisko ma wyraźny charakter sezonowy i dobowy. Bazując na wynikach analizy empirycznej opracowała autorską ramę analityczno-decyzyjną WILD-RAIL, której wdrożenie zilustrowała przykładem interaktywnego formularza (jęz. Python), integrującego elementy analizy przestrzennej z prostym interfejsem użytkownika, co potwierdza poziom kompetencji autorki w zakresie wykorzystania narzędzi.

Walidację ramy przeprowadzono w ramach studiów dwóch przypadków. Pierwszy dotyczył linii kolejowej nr 356, gdzie przeprowadzono pełną analizę czynników ryzyka, zidentyfikowano kolizyjne odcinki infrastruktury i dobrano rekomendowane działania mitygacyjne. Drugie studium pozwoliło zweryfikować elastyczność modelu w odmiennych warunkach środowiskowych. Wyniki potwierdziły praktyczną użyteczność opracowanego narzędzia. Dalej autorka przeprowadziła badania jakościowe w postaci wywiadów eksperckich z przedstawicielami sektora kolejowego, nauki i administracji, a analiza tych opinii pozwoliła zidentyfikować bariery wdrażania rozwiązań proekologicznych i na tej podstawie opracowała zestaw rekomendacji środowiskowych, podkreślających znaczenie współpracy międzysektorowej i systemowego raportowania zdarzeń z udziałem fauny.

Metody badawcze zastosowane w rozprawie są poprawnie dobrane i zróżnicowane. Obejmują analizę ilościową, klasyfikację przestrzenną, analizę ryzyka, metody decyzyjne oparte na kryteriach wielowymiarowych oraz elementy modelowania GIS. Dobór metod jest adekwatny do celu i skali badań.

Interpretacja wyników jest rzetelna i oparta na danych, a Autorka zachowuje umiar w formułowaniu wniosków, wskazując ograniczenia wynikające z dostępności informacji oraz zróżnicowania jakości danych źródłowych. Wnioski końcowe są logiczną konsekwencją przeprowadzonych analiz.

Istnieje możliwość implementacji opracowanej koncepcji – rama WILD-RAIL może stanowić podstawę do stworzenia procedury decyzyjnej lub aplikacji zintegrowanej z systemami GIS, wspierającej zarządzanie ryzykiem kolizji i planowanie inwestycji. Praca ma wyraźny potencjał wdrożeniowy i odpowiada na realne potrzeby sektora kolejowego w zakresie środowiskowego zarządzania ruchem.

W mojej opinii zaproponowana metoda ma duży potencjał aplikacyjny oraz jest bardzo rozwojowa, o czym Autorka nie wspominała zbyt często w treści pracy. Wysoko oceniam uzyskane efekty poznawcze i bardzo wysoko stawiam użyteczną wartość przedstawionej do recenzji dysertacji.

III.1. Uwagi ogólne

Praca napisana jest w przeważającej części językiem technicznym, z bardzo dużą dbałością o szczegóły edycyjne, niemniej jednak nasuwa się kilka niżej przedstawionych uwag.

- 1) Niestety nie zamieszczono wniosków z podziałem na podrozdziały lub akapity zawierające część poznawczą, utylitarną i kierunki dalszych prac. Taki podział, przy tak istotnym znaczeniu pracy byłby pożądanym, w przeciwnym przypadku kierunków dalszych prac należy doszukiwać się w treści podsumowania.
- 2) W pracy bardzo rozbudowany jest rozdział 2 (liczy 28 stron), co dobrze wprowadza w problematykę, ale można odnieść wrażenie zbyt szczegółowego potraktowania problemu miejscami praca przybiera charakter encyklopedyczny, gdzie przeważa ton opisowy nad analitycznym. Istnieją też fragmenty dotyczące np. hierarchizacji działań środowiskowych i międzynarodowych polityk, które mogłyby zostać skrócone lub nawet przeniesione do załącznika. Uproszczenie tej części zwiększyłoby zwartość pracy bez uszczerbku dla jej treści.
- 3) Deskryptywny charakter narracji w rozdziałach 2 i 6. Dotyczy to zwłaszcza przeglądu literatury i prezentacji metod mitygacyjnych obejmujących rozwiązania infrastrukturalne, aktywne, bierne i zarządcze. Choć zestawienia te są obszerne i dobrze udokumentowane, przybierają formę opisową. Warto byłoby rozważyć przedstawienie porównania skuteczności metod w formie syntetycznej tabeli lub diagramu oceny wielokryterialnej, co zwiększyłoby przejrzystość i ułatwiło interpretację różnic pomiędzy kategoriami rozwiązań.
- 4) W pracy wykorzystano dużą liczbę ilustracji i tabel. Zdecydowana większość jest celowa i poprawna, jednak kilka ilustracji (np. rys. 6.5 i 6.6, czy rys. 8.3 i 8.4) powiela podobne informacje. Dokonanie ich syntezy mogłoby zwiększyć przejrzystość opracowania. Nie wpływa to jednak na wartość merytoryczną, a jedynie na aspekt edytorski.
- 5) Adaptacyjna rama analityczno-decyzyjna (rozdz. 7) jest wartościowym elementem, a jej opis przedstawiono w sposób przejrzysty, jednak przejście od klasyfikacji metod w rozdziale 6 do opisu ramy jest gwałtowne, tj. brakuje połączenia z wcześniejszą klasyfikacją metod (rozdz. 6) i późniejszymi studiami przypadków (rozdz. 8–9). Wprowadzenie podkreślające sposób wykorzystania przy budowie modelu wyników klasyfikacji, wzmocniłoby spójność logiczną i ciągłość argumentacji.
- 6) Studia przypadków – potrzeba syntetyzacji prezentacji wyników. Studia przypadków (rozdz. 8–9) są wartościowe, ale w przypadku linii nr 356 (22 strony) można by przedstawić wyniki w bardziej syntetycznej formie. Dane przestrzenne i środowiskowe zaprezentowano obszernie. Można rozważyć ich bardziej syntetyczną formę, lub przenieść część dokumentacji fotograficznej do załącznika.
- 7) Bibliografia – bardzo obszerna, lecz nierównomiernie wykorzystywana. Miejscami widać nierównowagę – niektóre źródła są cytowane kilkakrotnie w różnych miejscach (np. [157, 194, 222]) są cytowane po 7 razy, inne pojawiają się tylko raz. Należałoby przeanalizować czy wszystkie pozycje miały istotne znaczenie dla pracy.
- 8) Brak wyraźnego rozdziału poświęconego walidacji modelu. Choć w studiach przypadków (rozdz. 8–9) dokonano sprawdzenia zastosowania ramy WILD-RAIL, brak jednoznacznie zatytułowanego podrozdziału „Walidacja modelu”. Ujęcie tego elementu oddzielnie wzmocniłoby formalny aspekt metodyczny rozprawy. Podczas obrony proszę o komentarz dotyczący prowadzenia tej walidacji.

- 9) Opis metodyki odnosi się do analiz GIS i klasyfikacji ryzyka, jednak brak wskazania konkretnego oprogramowania, wersji narzędzi oraz sposobu walidacji wyników przestrzennych. W publikacjach o podobnym charakterze często podaje się np. nazwę pakietu QGIS, wersję biblioteki w Pythonie lub sposób interpolacji danych – taka informacja zwiększyłaby replikowalność badań. Poproszę o komentarz podczas obrony.
- 10) Wymieniono kryteria (ekologiczne, ekonomiczne, techniczne), ale nie podano sposobu ich ważenia ani metody nadawania priorytetów. Choć nie było to głównym celem, krótkie wskazanie (np. zastosowania prostego rankingu lub oceny punktowej) pozwoliłoby lepiej zrozumieć logikę działania ramy. W tym przypadku również proszę o komentarz.

III.2. Uwagi szczegółowe

Poniżej przedstawiono listę uwag szczegółowych.

- 1) W rozdziale 2 numeracja rysunków wymaga korekty – obecny rysunek oznaczony jako 1.1 powinien być konsekwentnie oznaczony jako 2.1, a kolejne rysunki odpowiednio przesunięte (od 2.1 do 2.12).
- 2) Rysunek 2.1 został przedstawiony w języku angielskim, podczas gdy wszystkie pozostałe ilustracje w pracy są w języku polskim. Dla zachowania spójności należałoby ujednolicić język opisów graficznych.
- 3) Rozdzielczość rysunków 1.1, 2.1, 2.4, 2.7, 6.11, 7.2, 8.1, 8.4 - nie wszędzie na rysunkach zastosowano przejrzyste oznaczenia elementów, wskazane byłoby zastosowanie bardziej wyraźnej legendy, lub większej czcionki.
- 4) W spisie tabel występuje niespójność numeracji względem treści pracy – tabela 8.4 pojawia się dwukrotnie, brakuje tabeli oznaczonej jako 8.6.
- 5) W spisie bibliograficznym zastosowano skróty tytułów czasopism naukowych (np. J. Clean. Prod., Transp. Res. Part D), co znacząco utrudnia jednoznaczną identyfikację źródeł i wymaga od czytelnika domyślania się pełnych nazw, pomimo zgodności skrótów z PN-ISO 4:1998, a jednocześnie ISSN (LTWA). W przypadku pracy doktorskiej przygotowywanej w języku polskim w mojej opinii zalecane byłoby przyjęcie zapisu rozwiniętego, z pełnymi tytułami periodyków naukowych (np. Journal of Cleaner Production, Transportation Research Part D: Transport and Environment), co zwiększyłoby przejrzystość oraz ułatwiło proces oceny bibliografii, a jednocześnie nadal zapewniało zgodność z normą PN-ISO 690:2012, zwłaszcza, że zastosowano dużo obszarów deskryptywnych w pracy.
- 6) Literówki i drobne błędy edycyjne: str. 8 forma „kompensację” – wydaje się słuszna niż „kompensacje”, str. 45 jest „przemieszkają” powinno być „przemieszczają”, str. 49 jest „ma szlaku”, powinno być „na szlaku”, str. 50 brak spacji po kropce oraz błąd składniowy jest „czas przybycia” powinno być „czasem przybycia”, str. 53 i 110 – jest „przed wszystkim” powinno być „przede wszystkim”, str. 87 wypunktowanie (gdy lista stanowi część rozpoczętego zdania, a punkty są dłuższe lub rozbudowane) powinno kończyć się średnikiem zamykającym każdy punkt.

Przedstawione uwagi nie obniżają wartości merytorycznej rozprawy Pani mgr inż. Julii Milewicz. Rozprawę oceniam wysoko, ponieważ została przygotowana z należytą dbałością o szczegóły i starannością. Treść rozprawy przedstawia oryginalne rozwiązanie problemu badawczego, z wykorzystaniem współcześnie nowych - również w tych obszarach metod

badawczych, a podjęte zagadnienie zostało rozwiązane w mojej opinii w sposób adekwatny do obecnego stanu wiedzy.

IV. Osiągnięcia pracy

W mojej ocenie oceniana rozprawa posiada zarówno wyraźne walory poznawcze i praktyczne, a podjęta w niej problematyka ma charakter w pełni dysertabilny. Tematyka pracy pozostaje w ścisłym związku z realnym i aktualnym problemem badawczym, którego rozwiązanie przyczynia się do usprawnienia działań prewencyjnych w transporcie kolejowym, ochrony zwierząt oraz do rozwoju metod automatyzacji procesów wspomagających decyzje człowieka. Autorka wykazała się zdolnością do samodzielnego prowadzenia badań naukowych, właściwie dobierając i łącząc metody analizy, obserwacji oraz modelowania w celu rozwiązania zidentyfikowanego problemu i opisu towarzyszących mu zjawisk.

Do zrealizowania założonego celu pracy i udowodnienia postawionej tezy Autorka rozprawy opracowała następujące zadania szczegółowe:

- zaproponowanie autorskiej adaptacyjnej ramy analityczno-decyzyjnej WILD-RAIL, wspierającej wdrażanie i ocenę działań mitygacyjnych,
- zastosowanie ramy WILD-RAIL w studiach przypadków (linia kolejowa nr 356 oraz przykład ad hoc) w celu praktycznej weryfikacji i oceny jej elastyczności,
- opracowanie prototypu narzędzia informatycznego umożliwiającego implementację ramy WILD-RAIL w praktyce,
- integracja różnych narzędzi analitycznych w jednej procedurze decyzyjnej, zwiększająca kompleksowość i użyteczność opracowanego podejścia,
- opracowanie procedury identyfikacji hotspotów i analiza czynników środowiskowych sprzyjających ich występowaniu,
- analiza danych o kolizjach zwierząt z pociągami w Polsce oraz wskazanie różnic w raportowaniu i skali zjawiska między przewoźnikami,
- klasyfikacja i ocena metod mitygujących wpływ kolei na faunę i ekosystemy oraz opracowanie katalogu dostępnych rozwiązań,
- przeprowadzenie wywiadów eksperckich i sformułowanie rekomendacji środowiskowych dla praktyki planowania i zarządzania transportem kolejowym,
- ukazanie możliwości praktycznej realizacji idei zrównoważonego rozwoju poprzez systemowe podejście do ochrony środowiska w transporcie,
- podkreślenie interdyscyplinarnego charakteru badań łączących ekologię, ochronę przyrody, transport kolejowy i inżynierię zarządzania,
- przeprowadzenie analizy aktualnej wiedzy technicznej i dostępnej literatury przedmiotu,
- sformułowanie wniosków poznawczych i aplikacyjnych wskazujących dalsze kierunki badań i możliwości wdrożenia opracowanego rozwiązania.

Autorka potwierdziła tym samym posiadaną wiedzę teoretyczną, umiejętność samodzielnego prowadzenia prac naukowo-badawczych, w tym logicznego podejścia do badanego problemu i dobrą znajomość wykorzystanych narzędzi. Przedstawiła w pracy bogaty materiał teoretyczny i doświadczalny z zakresu transportu kolejowego na tle bioróżnorodności oraz

ograniczania negatywnych skutków eksploatacji infrastruktury liniowej w kontekście kolizji zwierząt z pociągami. Praca lokuje się w obszarze inżynierii środowiska i transportu, łącząc elementy ekologii stosowanej, zarządzania środowiskowego i analiz systemowych. Zastosowanie środowiska Python do stworzenia prototypowego narzędzia decyzyjnego oraz wykorzystanie systemów GIS w analizie przestrzennej stanowią mocny punkt rozprawy i świadczą o umiejętnym połączeniu metod informatycznych z inżynierską praktyką środowiskową.

IV. Wnioski końcowe

Tematyka oceny i ograniczania wpływu transportu kolejowego na bioróżnorodność, ze szczególnym uwzględnieniem kolizji dzikich zwierząt z pociągami jest zawsze aktualna. Osiągnięciem Autorki rozprawy jest znalezienie gotowego do zastosowania rozwiązania, które w sposób praktyczny łączy wyniki analiz środowiskowych i danych eksploatacyjnych w spójny system wspomagania decyzji, umożliwiający identyfikację obszarów o podwyższonym ryzyku kolizji zwierząt z pociągami oraz dobór adekwatnych metod mitygacyjnych. Rozwiązanie to, oparte na opracowanej ramie analityczno-decyzyjnej WILD-RAIL, może być bezpośrednio wykorzystane przez zarządców infrastruktury kolejowej i administrację środowiskową jako narzędzie wspierające planowanie działań ochronnych i integrację zasad zrównoważonego rozwoju w praktyce transportowej. Przedstawiona do recenzji rozprawa posiada wysoki poziom warsztatu technicznego oraz metodycznego i stanowi wartościowy dorobek naukowo-badawczy Autorki, a rezultaty mają zarówno wartość poznawczą i użyteczną w dziedzinie nauk technicznych, w szczególności w dyscyplinie Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport. Układ pracy jest prawidłowy, treść jest logicznie poprawna i dobrze koresponduje z aktualną wiedzą i praktyką prowadzenia badań. Uważam, że Autorka dokonała trafnego doboru tematyki, poprawnie zidentyfikowała i rozwiązała problem badawczy, osiągnęła postawione cele pracy i udowodniła postawioną tezę, a założone zadania badawcze zostały zrealizowane. Autorka zaproponowała implementację opracowanych rozwiązań oraz przeprowadziła poprawne wnioskowanie na podstawie przeprowadzonych badań.

Stwierdzam, że przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. **Julii Milewicz pt. „Bioróżnorodność a transport kolejowy – klasyfikacja metod ograniczania negatywnego wpływu na dzikie zwierzęta oraz propozycja adaptacyjnej ramy analityczno-decyzyjnej do wdrażania rozwiązań mitygacyjnych jako element strategii zrównoważonego rozwoju”** spełnia wymagania przewidziane dla rozpraw doktorskich stawiane obowiązującą Ustawą z dn. 20.07.2018 roku „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” ” (Dz.U. z 2024 r., poz. 1571 z późn. zm.) i **wnoszę o dopuszczenie jej Autorki do publicznej obrony.**

Z wyrazami szacunku