

Tytuł rozprawy doktorskiej:

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

Streszczenie:

Rozprawa podejmuje problematykę wpływu transportu kolejowego na ekosystemy i bioróżnorodność, ze szczególnym uwzględnieniem zjawiska kolizji pojazdów szynowych z dzikimi zwierzętami. Dotychczasowe badania koncentrowały się głównie na wybranych aspektach oddziaływań środowiskowych, pomijając potrzebę systemowego podejścia do ochrony przyrody w transporcie szynowym. W pracy przyjęto perspektywę strategii zrównoważonego rozwoju oraz przeanalizowano międzynarodowe konwencje, unijne akty prawne i programy, które wyznaczają ramy dla minimalizacji negatywnego wpływu kolei na środowisko.

Celem dysertacji było opracowanie adaptacyjnej ramy analityczno-decyzyjnej do wdrażania rozwiązań mitygujących wpływ transportu kolejowego na dzikie zwierzęta (ang. *Wildlife-Impact Limitation & Decision framework for Rail transport*, WILD-RAIL), umożliwiającej identyfikację krytycznych odcinków linii kolejowych, dobór adekwatnych rozwiązań łagodzących oraz ocenę ich efektywności. Metodyka badań obejmowała analizę statystyczną danych o kolizjach pojazdów szynowych ze zwierzętami w Polsce, przegląd literatury naukowej i branżowej, studia przypadków oraz wywiady eksperckie. Zidentyfikowano linie kolejowe o największej liczbie zdarzeń, gatunki zwierząt szczególnie narażonych na potrącenie oraz najczęstsze uszkodzenia pojazdów wskutek zderzenia, a także określono uwarunkowania środowiskowe i eksploatacyjne sprzyjające kolizjom. Na podstawie analizy dostępnych rozwiązań (infrastrukturalnych, aktywnych i uzupełniających) opracowano katalog metod mitygacyjnych wraz z oceną ich skuteczności i możliwości wdrożenia.

W części empirycznej zastosowano dwa podejścia: studium główne (linia kolejowa nr 356, odcinek Owińska – Bolechowo), które pozwoliło na pełne wdrożenie ramy WILD-RAIL i sformułowanie kompleksowych rekomendacji dla kluczowych stron zainteresowanych, w tym dla zarządcy infrastruktury oraz przewoźnika regionalnego, oraz studium ad hoc (linia kolejowa nr 139, Tychy Żwaków – Piasek), którego najważniejszym efektem była szybka diagnoza problemu i zaproponowanie możliwego do wdrożenia rozwiązania mitygacyjnego przy ograniczonej dostępności danych. Oba przypadki potwierdziły użyteczność ramy zarówno w planowaniu strategicznym, jak i w praktyce operacyjnej.

Dobór i ocenę rozwiązań wsparto m.in. analizą SWOT uzupełnioną elementami PESTEL, a ryzyka wdrożeniowe oszacowano z wykorzystaniem metody FMEA. Efektem pracy jest również prototyp narzędzia informatycznego (interaktywnego formularza w programie Python) umożliwiającego praktyczne zastosowanie ramy WILD-RAIL w procesach decyzyjnych.

Wywiady eksperckie potwierdziły, że skuteczność działań zależy nie tylko od technologii, ale także od czynników instytucjonalnych, finansowych i społecznych. Zwrócono uwagę na potrzebę systemowego podejścia oraz wskazano bariery organizacyjne i możliwości doskonalenia praktyk w zakresie ochrony środowiska w transporcie kolejowym.

Opracowana rama analityczno-decyzyjna integruje wiedzę inżynierską i ekologiczną, a jej innowacyjność polega na adaptacyjności, systemowym ujęciu problemu oraz potencjale implementacyjnym. Dysertacja wnosi tym samym zarówno wkład teoretyczny w rozwój badań nad ochroną przyrody w transporcie, jak i praktyczne podstawy wdrażania skutecznych i zrównoważonych rozwiązań w sektorze kolejowym.

Title of the doctoral dissertation:

Biodiversity and rail transport – classification of methods for reducing negative impacts on wildlife and proposal for an adaptive analytical and decision-making framework for implementing mitigation measures as part of a sustainable development strategy

Abstract:

The dissertation addresses the issue of the impact of rail transport on ecosystems and biodiversity, with particular emphasis on train–wildlife collisions. Previous studies have focused mainly on emissions, noise, and selected environmental impacts, while overlooking the need for a systemic approach to nature conservation in the railway sector. This work adopts the perspective of sustainable development strategies and includes an analysis of international conventions, EU legal acts, and programmes that define the framework for minimising the negative environmental impact of railways.

The aim of the dissertation was to develop an adaptive analytical and decision-making framework for implementing mitigation measures in rail transport with regard to wildlife (WILD-RAIL – Wildlife-Impact Limitation & Decision framework for Rail transport). The framework enables the identification of critical railway sections, the selection of adequate mitigation solutions, and the assessment of their effectiveness. The research methodology included statistical analysis of train–wildlife collision data in Poland, a review of scientific and industry literature, case studies, and expert interviews. The study identified railway lines with the highest number of incidents, species particularly vulnerable to collisions, and the most frequent types of rolling stock damage caused by accidents, as well as environmental and operational conditions conducive to collisions. On this basis, a catalogue of mitigation methods (infrastructural, active, and complementary) was developed, together with an assessment of their effectiveness and feasibility.

Two approaches were applied in the empirical part: the main case study (railway line no. 356, section Owińska – Bolechowo), which enabled full implementation of the WILD-RAIL framework and the formulation of comprehensive recommendations for key stakeholders, including the infrastructure manager and the regional railway operator; and the ad hoc case study (railway line no. 139, section Tychy Żwaków – Piasek), whose main outcome was the rapid diagnosis of the problem and the proposal of a feasible mitigation measure under conditions of limited data availability. Both cases confirmed the applicability of the framework in both strategic planning and operational practice.

The selection and evaluation of measures were supported by SWOT and PESTEL analyses, while implementation risks were assessed using the FMEA method. Another important outcome of the dissertation is the development of a prototype IT tool (an interactive Python-based form), which allows for the practical application of the WILD-RAIL framework in decision-making processes.

Expert interviews confirmed that the effectiveness of mitigation actions depends not only on technology but also on institutional, financial, and social factors. Respondents emphasised the need for a systemic approach and identified organisational barriers as well as opportunities to improve environmental practices in the railway sector.

The proposed analytical and decision-making framework integrates engineering and ecological knowledge. Its innovativeness lies in its adaptive nature, systemic scope, and implementation potential. The dissertation therefore contributes both a theoretical advancement in biodiversity protection in transport and practical foundations for introducing effective and sustainable mitigation measures in the railway sector.