

## Streszczenie

Celem rozprawy jest opracowanie wieloaspektowej metody optymalizacji załadunku składu pociągu intermodalnego w terminalu lądowym, której wdrożenie przyczyni się do zwiększenia efektywności procesów załadunku oraz minimalizacji kosztów operacyjnych. Zagadnienie to jest istotne z perspektywy usprawnienia poprawy organizacji transportu intermodalnego, funkcjonowania terminali intermodalnych oraz ograniczenia negatywnego wpływu transportu na środowisko naturalne.

Realizacja celu rozprawy obejmuje analizy literatury przedmiotu, opracowanie modeli matematycznych i symulacyjnych oraz zastosowanie zaawansowanych narzędzi optymalizacyjnych. Całość rozprawy została podzielona na dwie główne części: teoretyczną oraz użyteczną. Opracowanie teoretyczne oparte jest na wykonanym przeglądzie literatury. Sekcja użyteczna koncentruje się na opracowaniu holistycznego modelu optymalizacyjnego, który uwzględnia rzeczywiste warunki pracy terminalu oraz liczne aspekty techniczne.

Część pierwsza, teoretyczna, przedstawia podstawy transportu intermodalnego, jego kluczowe cechy oraz wyzwania związane z organizacją pracy terminali lądowych. Omówiono również znaczenie procesów załadunku dla efektywności przewozów oraz wpływ takich czynników, jak rozmieszczenie ładunków na bezpieczeństwo i efektywność procesów transportu intermodalnego. Dokonano przeglądu literatury naukowej, koncentrując się zarówno na problematyce załadunku pociągu kontenerowego w terminalu jak i dostępnym metodom optymalizacji procesu. Znacząca uwaga została poświęcona algorytmom wykorzystywanym do rozwiązania złożonych zagadnień przydziału. Nie został pominięty aspekt optymalizacji aerodynamiki składu pociągu, jako istotnego czynnika wpływającego na efektywność energetyczną i bezpieczeństwo przewozów. Przeprowadzona analiza pozwoliła na zidentyfikowanie luk badawczych i uzasadnienie wyboru algorytmu mrówkowego jako narzędzia do rozwiązania omawianego problemu.

Część użyteczna rozprawy obejmuje opracowanie oraz implementację modeli matematycznych i symulacyjnych, które odzwierciedlają proces załadunku składu pociągu intermodalnego realizowanego w lądowym terminalu intermodalnym. Model symulacyjny oparty został na środowisku symulacyjnym FlexSim współpracującym z algorytmem mrówkowym, implementowanym w języku Python. Poza nowatorskim wykorzystaniem algorytmu mrówkowego w omawianym problemie, w modelu uwzględniono także elementy optymalizacji aerodynamiki składu pociągu, takie jak minimalizacja oporów powietrza poprzez optymalne rozmieszczenie kontenerów na wagonach. Takie podejście umożliwia poprawę efektywności energetycznej przewozów oraz przyczynia się do zmniejszenia emisji zanieczyszczeń, co ma znaczenie dla zrównoważonego rozwoju transportu intermodalnego. Model ma charakter możliwie holistyczny, integrując różnorodne czynniki mające wpływ na realizację procesu.

Efektom pracy jest opracowanie metody optymalizacyjnej, która umożliwi usprawnienie procesów załadunku składu pociągu intermodalnego. Proponowane rozwiązanie, dzięki integracji elementów związanych z zastosowaniem algorytmu mrówkowego oraz aerodynamiką składu, stanowi istotny wkład w rozwój narzędzi wspierających optymalizację operacyjną w terminalach lądowych. Metoda ta może znaleźć praktyczne zastosowanie, przyczyniając się do poprawy organizacji pracy terminali, zwiększenia efektywności i bezpieczeństwa realizacji całego procesu oraz ograniczenia negatywnego wpływu na środowisko.

**Słowa kluczowe:** transport intermodalny, modelowanie procesów, pociąg kontenerowy, terminal intermodalny, optymalizacja.

## **Abstract**

The aim of the dissertation is to develop a multifaceted method for optimizing the loading process of an intermodal train at a land terminal, whose implementation will contribute to improving loading efficiency and minimizing operational costs. This issue is significant from the perspective of enhancing the organization of intermodal transport, improving the operation of intermodal terminals, and reducing the negative environmental impact of transport.

The realization of the dissertation's objective involves a review of the literature, the development of mathematical and simulation models, and the application of advanced optimization tools. The dissertation is divided into two main parts: theoretical and utilitarian. The theoretical section is based on an extensive literature review, while the utilitarian section focuses on creating a holistic optimization model that considers real-world terminal conditions and various technical aspects.

The first part, theoretical, presents the fundamentals of intermodal transport, its key features, and challenges related to the organization of work in land terminals. It also discusses the importance of loading processes for transport efficiency and the impact of factors such as load placement on the safety and efficiency of intermodal transport processes. A comprehensive review of scientific literature was conducted, focusing on the issues of container train loading at terminals and the available optimization methods. Significant attention was given to algorithms used to solve complex allocation problems. The optimization of train aerodynamics was also considered as an important factor affecting energy efficiency and transport safety. This analysis enabled the identification of research gaps and justified the selection of the ant colony algorithm as a tool for addressing the discussed problem.

The utilitarian part of the dissertation includes the development and implementation of mathematical and simulation models that reflect the loading process of an intermodal train at a land terminal. The simulation model was built using the FlexSim simulation environment in conjunction with the ant colony algorithm implemented in Python. In addition to the innovative application of the ant colony algorithm to this problem, the model also incorporates elements of train aerodynamics optimization, such as minimizing air resistance through the optimal placement of containers on wagons. This approach improves energy efficiency and contributes to the reduction of emissions, aligning with the goals of sustainable intermodal transport development. The model is as holistic as possible, integrating various factors that influence the execution of the process.

The outcome of the dissertation is the development of an optimization method that improves the loading process of intermodal trains. The proposed solution, through the integration of elements related to the application of the ant colony algorithm and train aerodynamics, represents a significant contribution to the development of tools supporting operational optimization in land terminals. This method has practical applications, enhancing terminal operations, increasing efficiency and safety throughout the process, and reducing the negative environmental impact.

**Keywords:** intermodal transport, process modelling, container handling, intermodal terminal, optimization.