

Katowice, dn. 7 marca 2025 r.

Dr hab. inż. Marcin Staniek, prof. PŚ
Wydział Transportu i Inżynierii Lotniczej
Politechnika Śląska
e-mail: marcin.staniek@polsl.pl

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. **Karola Nehringa**
pt. „Wieloaspektowa metoda optymalizacji załadunku składu
pociągu intermodalnego w terminalu lądowym”

Podstawa opracowania: Uchwała nr 1068/2024 Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Warszawskiej, podpisana przez Przewodniczącego Pana prof. dr. hab. inż. Konrada Lewczuka, z dnia 17.12.2024 r.

Dokumentację merytoryczną niezbędną do sporządzenia recenzji stanowi egzemplarz rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Karola Nehringa pt. „Wieloaspektowa metoda optymalizacji załadunku składu pociągu intermodalnego w terminalu lądowym”.

Promotorami przedmiotowej rozprawy są profesorowie Politechniki Warszawskiej: dr hab. inż. Roland Jachimowski oraz dr hab. inż. Michał Kłodawski.

1. Uwagi ogólne o doborze tematu rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska Pana mgr inż. Karola Nehringa obejmuje swoim zakresem opracowanie metody umożliwiającej zoptymalizowanie procesu załadunku składu pociągu intermodalnego w lądowym terminalu intermodalnym. Podjęte przez Doktoranta prace stanowią ważny i aktualny obszar badawczy zarówno w zakresie naukowym, ale również w zakresie praktycznym. Zaproponowana metoda może znaleźć zastosowanie w przedsiębiorstwach i podmiotach zarządzających terminalami intermodalnymi, przyczyniając się do poprawy organizacji pracy, podniesienia efektywności operacyjnej oraz wsparcia zrównoważonego rozwoju transportu intermodalnego.

Autor pracy skupia się na całościowym ujęciu zagadnienia, uwzględniając zarówno uwarunkowania techniczne (m.in. rodzaje wagonów, parametry jednostek ładunkowych, kwestie aerodynamiki), jak i organizacyjne (np. rozmieszczenie ładunków w terminalu, dostępność zasobów sprzętowych). Główną motywacją realizacji badań jest skrócenie czasu załadunku, co bezpośrednio przekłada się na zwiększenie efektywności i bezpieczeństwa operacji, a także prowadzi do obniżenia kosztów oraz ograniczenia negatywnego wpływu na środowisko.

Aktualność podjętej przez Doktoranta problematyki badawczej potwierdza rozwój intermodalny transport kolejowy, który wciąż zyskuje na znaczeniu jako jeden z kluczowych elementów zrównoważonego systemu logistycznego. Rozwój transportu szynowego i rosnące oczekiwania względem jego efektywności (czasowej, kosztowej i środowiskowej) sprawiają,



że usprawnianie procesów w terminalach intermodalnych, w tym optymalizacja załadunku, ma bezpośrednie przełożenie na konkurencyjność całego łańcucha dostaw.

Na bazie przeglądu literatury i zidentyfikowanych luk badawczych Pan mgr inż. Karol Nehring proponuje matematyczny model optymalizacyjny, który w dalszym etapie realizacji pracy zostaje rozszerzony o elementy modelowania symulacyjnego w środowisku FlexSim. Kluczowym narzędziem służącym do rozwiązywania sformalizowanego problemu jest algorytm mrówkowy, zaimplementowany w języku Python i współpracujący z modelem symulacyjnym. Nowatorskim elementem jest uwzględnienie aspektów aerodynamicznych, co pozwala dodatkowo zmniejszyć koszty energetyczne transportu i emisję zanieczyszczeń.

Aby w pełni wykorzystać potencjał intermodalnego transportu kolejowego, niezbędne jest stałe doskonalenie procesów logistycznych, a więc również optymalizacja załadunku, która umożliwia maksymalizację przepustowości przy zachowaniu krótkich czasów obsługi. Dlatego właśnie prace badawcze, w tym przedmiotowa praca doktorska, które wykorzystują m.in. metody sztucznej inteligencji, zaawansowane algorytmy optymalizacyjne czy modelowanie symulacyjne, są potrzebne i aktualne w kontekście dynamicznych zmian rynku i polityki transportowej.

Podsumowując, stwierdzam, że Pan Karol Nehring, podejmując się realizacji rozprawy doktorskiej dotyczącej zagadnień optymalizacji załadunku pociągu intermodalnego w lądowym terminalu, doskonale wpisuje się w aktualne potrzeby badawcze w obszarze transportu intermodalnego. Nacisk na efektywność procesu, zastosowanie nowatorskich metod optymalizacyjnych oraz uwzględnienie czynników technicznych wskazują na wysoki poziom merytorycznego przygotowania Doktoranta. Zastosowane podejście, łączące modelowanie symulacyjne z elementami sztucznej inteligencji, umożliwia szczegółową analizę i ocenę uzyskanych wyników, dzięki czemu praca ma zarówno wymiar poznawczy, jak i praktyczny. Wnosi ona istotny wkład w rozwój narzędzi wspierających zarządzanie procesami operacyjnymi w terminalach intermodalnych, co ma szczególne znaczenie dla zwiększenia efektywności i zrównoważonego rozwoju całego sektora transportowego.

2. Analiza struktury rozprawy – podział treści na rozdziały

Praca składa się ze 178 stron, streszczenia w języku polskim i angielskim, 7 ponumerowanych rozdziałów, bibliografii, słownika podstawowych oznaczeń i skrótów, oraz spisu dokumentów reagujących wymagania w zakresie ITU. Spis materiałów źródłowych zawiera 100 pozycji, w tym 4 pozycje współautorskie Doktoranta. Zasadnicza treść rozprawy doktorskiej zawarta jest w rozdziałach 1-7.

Część merytoryczną pracy rozpoczyna nienumerowany rozdział (Wprowadzenie; str. 3), który wprowadza do problemu badawczego, koncentrując się na rosnącym znaczeniu transportu intermodalnego w globalnych łańcuchach dostaw. Omawia rolę terminali jako kluczowych węzłów przeładunkowych oraz najważniejsze aspekty ich funkcjonowania. W rozdziale wskazano także cele i zakres rozprawy, podkreślając konieczność optymalizacji czasu załadunku pociągów intermodalnych w kontekście efektywności i zrównoważonego rozwoju transportu.

W pierwszym rozdziale (Identyfikacja obszaru badawczego; str.18) przedstawiono kluczowe zagadnienia dotyczące transportu intermodalnego, poczynając od jego definicji i podstawowych cech, aż po analizę jego rosnącego znaczenia w Europie a w szczególności w Polsce. Doktorant dokonuje w nim przeglądu literatury, przywołuje dane statystyczne EUROSTAT oraz UTK, potwierdzające wzrost wolumenów przewożonych ładunków w systemie intermodalnym. Odnosi się do terminali intermodalnych – zarówno lądowych, jak i morskich – zestawiając ich funkcje, zadania oraz różnice organizacyjne i infrastrukturalne. Zwraca uwagę na wyzwania decyzyjne związane z zarządzaniem terminalami, przedstawiając w tabelach główne obszary wymagające optymalizacji (od harmonogramowania pracy suwnic aż po kompleksowe planowanie załadunku pociągu). Z przeprowadzonego przeglądu wynika, że choć tematykę tę porusza wiele publikacji, wciąż brakuje ujęć holistycznych, zwłaszcza jeśli chodzi o opracowanie optymalnych metod załadunku w lądowych terminalach intermodalnych.

Rozdział drugi (Problematyka procesu załadunku składu pociągu intermodalnego; str. 35) obejmuje wieloaspektową analizę procesu załadunku składu pociągu intermodalnego, uwzględniając zdefiniowanie głównych założeń decyzyjnych związanych m.in. z ograniczeniami wagowymi, rozkładem ITU na wagonach czy koniecznością rekonfiguracji sworzni. Przedstawia szczegółowy przegląd literatury naukowej i stosowanych metod optymalizacyjnych uwzględniając programowanie liniowe i różnego rodzaju heurystyki i metaheurystyki. Uwypukla rozważania związane z aerodynamiką pociągu tj. opór powietrza, wpływ luk między kontenerami oraz wiatrów bocznych. Doktorant wykazuje, że dotychczasowe prace koncentrują się na wybranych aspektach, np. ograniczeniach procesu harmonogramowania pracy suwnic lub na ograniczeniach wagowych, nie tworząc kompleksowego modelu integrującego wszystkie kluczowe czynniki. Wskazuje też na istotne znaczenie zaawansowanych algorytmów, takich jak metody genetyczne czy mrówkowe, które mogą skutecznie przeszukiwać duże przestrzenie rozwiązań, nie blokując się na optimum lokalnym. Szczególną uwagę zwraca konieczność powiązania planowania załadunku z efektywnością operacyjną całego terminalu (m.in. przepływami w strefie składowej) oraz poprawą parametrów eksploatacyjnych (redukcja zużycia paliwa, hałasu i emisji) wynikającą z optymalnego rozmieszczenia kontenerów pod kątem aerodynamiki.

Trzeci rozdział (Cel i teza pracy; str.3) w sposób formalny definiuje cel pracy, jej tezę główną oraz tezy cząstkowe. Wskazana przez Autora rozprawy luka badawcza (w drugim rozdziale) jest podstawą zdefiniowania celu i tezy rozprawy. Cytując Doktoranta:

„Celem rozprawy jest opracowanie metody optymalizacji procesu załadunku składu pociągu intermodalnego w terminalu lądowym”.

Cel pracy nawiązuje do istoty problemu naukowego określonego tytułem rozprawy „Wieloaspektowa metoda optymalizacji załadunku składu pociągu intermodalnego w terminalu lądowym”. Uzupełnieniem sformułowanego celu pracy jest teza rozprawy, którą Autor rozprawy zdefiniowała jako:

„Wykorzystując narzędzia programowania matematycznego, algorytmy metaheurystyczne oraz badania symulacyjne, możliwe jest wyznaczenie optymalnego planu załadunku składu pociągu intermodalnego w terminalu przeładunkowym, przy kompleksowym uwzględnieniu czynników technicznych i organizacyjnych warunkujących ten proces”.

Z punktu widzenia naukowego teza pracy została zapisana poprawnie. Doktorant w rozdziale tym, uszczegóławia założenia opracowanej metody, cyt.:

...proponowana metoda:

1. Uwzględni ograniczenia techniczne i organizacyjne odnoszące się do wagonów, jednostek intermodalnych, aerodynamiki składu oraz rozmieszczenia jednostek na placu składowym;
2. Umożliwi optymalne rozmieszczenie jednostek ładunkowych na wagonach w sposób minimalizujący czas i w rezultacie koszty załadunku;
3. Zredukuje czas i dystans pokonywany przez urządzenia ładunkowe niezbędny do realizacji załadunku a także zmniejszy zużycie energii przez pociąg dalej w transporcie;

Autor rozprawy określa również cel użyteczny (str. 66) jako cyt. „Opracowana metoda ma potencjał do zastosowania w praktyce, umożliwiając operatorom terminali poprawę efektywności swoich działań przy jednoczesnym spełnianiu wymagań zrównoważonego rozwoju.”, co jest szczególnie ważne w obszarze logistyki intermodalnej i optymalizacji procesów transportowych.

Rozdział czwarty (Model matematyczny załadunku pociągu intermodalnego; str. 14) w czytelny i usystematyzowany sposób opisuje matematyczne ujęcie problemu załadunku pociągu intermodalnego. W podrozdziale 4.1 Autor przedstawia schemat terminalu lądowego (wraz z uwzględnieniem pasma torowego, pola składowego ITU, pasma drogowego i suwnicy RMG) oraz kluczowe założenia dotyczące m.in. rozmieszczenia kontenerów w terminalu (wzdłuż pasma torowego, na polu składowym), położenie kontenerów, charakterystyki wagonów czy ograniczeń masowych. W dalszej części rozdziału, podrozdziałach 4.2 – 4.4 Doktorant definiuje zbiór niezbędnych danych do modelu załadunku pociągu intermodalnego, zmiennych decyzyjnych oraz funkcję celu minimalizującą czas załadunku, jak również ograniczenia przyjęte w modelu. Istotną zaletą opracowania jest precyzyjne rozdzielenie etapów obliczeniowych służących do wyznaczania czasów przemieszczeń suwnicy, z uwzględnieniem m.in. parametrów takich jak prędkość opuszczania i podnoszenia ładunku, co pozwala precyzyjnie odwzorować rzeczywiste warunki eksploatacyjne. Warto podkreślić, iż Autor wykracza poza typowe ograniczenia związane wyłącznie z wagą i gabarytami kontenerów, implementując dodatkowo aspekty aerodynamiczne (nieczęsto uwzględniane w modelach załadunku pociągu). Przyjęte rozwiązanie pozwala na bardziej wszechstronną analizę warunków eksploatacyjnych i kosztowych. Dzięki temu rozdział daje podstawy do przeprowadzenia w kolejnych częściach pracy (lub w przyszłych badaniach) nie tylko symulacji czasu obsługi, ale i oceny efektywności energetycznej składu. Niedosyły przedstawianych treści może być odczuwalny ze względu na brak konkretnych przykładów liczbowych przedstawiających sposób działania modelu, co ułatwiłoby czytelnikowi prześledzenie obliczeń krok po kroku. Należy jednak zaznaczyć, że przedstawione założenia i sformułowane równania sprawiają, że zaproponowany przez Doktoranta opis modelu pozostaje wystarczająco szczegółowy, a zarazem dobrze uzasadniony pod kątem dalszych prac optymalizacyjnych.

W piątym rozdziale (Metoda optymalizacji załadunku składu pociągu intermodalnego; str. 34) przedstawiono opracowaną przez Autora metodę optymalizacji załadunku składu pociągu intermodalnego, uwzględniającą zarówno zagadnienia operacyjne (m.in. rozmieszczenie wagonów i kontenerów, ograniczenia wagowe czy limity slotów), jak i kwestie aerodynamiczne. Jest on podzielony na etapy o charakterze iteracyjnym i powtarzalnym,

z jasno wyróżnionymi krokami i koniecznymi decyzjami. Głównym elementem metody jest autorski algorytm bazujący na algorytmach mrówkowych, opisany wraz z niezbędnymi krokami matematycznymi, inicjalizacją, aktualizacją feromonów oraz kryterium stopu. Doktorant zaimplementował przedmiotowy algorytm w języku Python, co pozwala na szczegółowe raportowanie i analizę wyników, w tym m.in. weryfikację nacisków na osie wagonów, masy ładunków czy aspektów aerodynamicznych. Aby ułatwić i przyspieszyć przygotowywanie danych wejściowych oraz weryfikację rozwiązań, w pracy wykorzystano model symulacyjny zbudowany w środowisku FlexSim. Model ten generuje losowe lub zadane zestawy warunków początkowych, odwzorowuje kluczowe elementy terminala intermodalnego (suwnicę bramową, plac składowy kontenerów, pasmo przytorowe, tor ładunkowy z wagonami) i pozwala symulować cały proces załadunku. Możliwa jest zatem: (1) integracja algorytmu optymalizacyjnego (mrówkowego) z modelem symulacyjnym – dane wejściowe są automatycznie generowane i weryfikowane w FlexSim, a algorytm uruchamiany w środowisku Python, po czym wynik jest ponownie importowany do symulacji oraz (2) użycie samego algorytmu mrówkowego z ręcznie przygotowanymi danymi, co jest zasadne w sytuacjach nietypowych. Dodatkowo w modelu symulacyjnym zaimplementowano pięć prostych heurystyk (o zróżnicowanych priorytetach obsługi slotów i kontenerów), co pozwala porównać efektywność autorskiego algorytmu.

Rozdział szósty (Optymalizacja załadunku składu pociągu intermodalnego z wykorzystaniem opracowanej metody; str. 50) przedstawia proces optymalizacji załadunku składu pociągu intermodalnego z użyciem przedstawionej wcześniej metody (rozdział 5). W pierwszej części przedmiotowego rozdziału (podrozdziałach 6.1, 6.2) Doktorant definiuje założenia symulacyjne i warianty badawcze. Przedstawia szczegółową listę 150 wariantów, w których zmienia się m.in. procent ładunków pobieranych z różnych warstw placu składowego oraz fakt, czy suwnica po „kopaniu” (przestawianiu kontenerów z wyższych warstw, by dostać się do docelowego) odstawia je na pierwotne miejsce. W dalszej części (podrozdziałach 6.3, 6.4) Autor poddaje wyniki zebrane z serii symulacji, zapewniając reprezentatywność przyjętej próby badawczej. Wnioskuje, że czas pracy suwnicy i dystans pokonywany przez nią rosną wraz ze zwiększonym poborem ładunków z pola składowego, a także zależą od zastosowanej heurystyki pracy (priorytety slotów, kontenerów, najbliższych elementów czy też algorytm zachłanny lub mrówkowy). Wykazuje, że najkrótsze czasy i dystanse generują algorytmy zachłanny oraz mrówkowy, przy czym mrówkowy jest korzystniejszy w bardziej złożonych przypadkach. Algorytmy: praca suwnicy według kolejności wagonów bądź kontenerów przedstawiają się gorzej, jednak pozostają stabilne w wynikach, natomiast algorytmy: priorytetyzujące najbliższy slot bądź kontener okazują się najmniej efektywne. W podrozdziałach 6.3, 6.4 Doktorant przedstawia serię wariantów A–R, w których sprawdzono, jak opisywana metoda radzi sobie z poprawą parametrów aerodynamicznych. Autor pokazuje, że „zwarty” układ kontenerów istotnie ogranicza opory ruchu, a algorytm mrówkowy połączony z dodatkowym modulem poprawy aerodynamiki może dostarczać rozwiązań jednocześnie korzystnych czasowo i energooszczędnych.

W siódmym rozdziale (Podsumowanie; str. 4) Autor rozprawy prezentuje kluczowe ustalenia potwierdzające osiągnięcie zamierzonego celu dysertacji oraz weryfikujące poprawność postawionej tezy badawczej. Na podstawie uzyskanych wyników wskazuje, iż zastosowanie opracowanego algorytmu mrówkowego, zintegrowanego z modelem

symulacyjnym, istotnie wpływa na wzrost efektywności procesu załadunku, prowadząc zarówno do skrócenia czasu operacji, jak i ograniczenia kosztów eksploatacyjnych. Doktorant podkreśla ponadto możliwości dalszego rozwoju metody, zwracając uwagę na potencjał rozszerzeń i modyfikacji opracowanego podejścia w obszarze optymalizacji załadunku pociągów intermodalnych.

Podsumowując uważam, że całościowy układ rozprawy jest logiczny, czytelny, a ogólna jej forma, zakres, podział treści na rozdziały ujmuje wszystkie istotne elementy tematu rozprawy.

3. Ocena merytoryczna rozprawy

Analiza treści całej rozprawy dowodzi, że mgr inż. Karol Nehring z powodzeniem podjął się złożonego zadania zdefiniowanego w celu pracy, a polegającego na optymalnym rozmieszczeniu jednostek kontenerowych na wagonach pociągu intermodalnego. W efekcie realizacji tego celu Doktorant opracował metodę optymalizacji załadunku składu pociągu, integrując modelowanie matematyczne z nowoczesnymi algorytmami heurystycznymi (w tym algorytmem mrówkowym ACO) oraz narzędziami symulacyjnymi. W tym kontekście najważniejszą częścią rozprawy są, w mojej ocenie, rozdziały 5 i 6, w których Autor przedstawia zaproponowaną metodę optymalizacji, omawia elementy modelu symulacyjnego, sposoby przetwarzania uzyskanych wyników i weryfikacji poprawności modelowania, a także przeprowadza rozbudowaną analizę symulacji obejmujących 150 wariantów scenariuszy, z uwzględnieniem dodatkowych zagadnień aerodynamicznych.

Uważam, że zdefiniowany przez Pana mgr inż. Karola Nehringa cel rozprawy ma istotne znaczenie zarówno z perspektywy naukowej, jak i praktycznej. Przeprowadzone badania symulacyjne nad optymalizacją załadunku składu pociągu kontenerowego nie tylko potwierdzają skuteczną realizację tego celu, lecz również w pełni uzasadniają postawioną w pracy tezę zawartą w dysertacji pt. „Wieloaspektowa metoda optymalizacji załadunku składu pociągu intermodalnego w terminalu lądowym”.

Wysoko oceniam proces modelowania z wykorzystaniem narzędzia symulacyjnego FlexSim oraz implementację opracowanych algorytmów w języku Python, co pozwala na wierne odwzorowanie rzeczywistych procesów terminalowych. Opracowana metoda optymalizacyjna, a w szczególności jej implementacja komputerowa z zastosowaniem narzędzi symulacyjnych, umożliwia generowanie różnorodnych scenariuszy operacyjnych i weryfikację efektywności proponowanych rozwiązań. Przeprowadzone eksperymenty potwierdzają skuteczność metody, wskazując na istotne skrócenie czasu załadunku i redukcję kosztów operacyjnych, m.in. dzięki lepszemu wykorzystaniu urządzeń przeładunkowych i poprawie aerodynamiki składu pociągu. Co więcej, zaimplementowana metoda jest wysoce elastyczna, a więc może być rozszerzana o kolejne algorytmy heurystyczne i dostosowywana do różnych typów terminali, zapewniając znaczny potencjał wdrożeniowy w przedsiębiorstwach logistycznych obsługujących transport intermodalny.

Uważam, że przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska Pana mgr inż. Karola Nehringa stanowi oryginalne, autorskie ujęcie problemu optymalizacji rozmieszczenia jednostek kontenerowych na wagonach pociągu intermodalnego. Doktorant wypełnia istotną lukę badawczą, proponując całościowe podejście do skracania czasu operacji załadunkowych

oraz ograniczania kosztów eksploatacyjnych, m.in. poprzez bardziej efektywne wykorzystanie urządzeń przeładunkowych i poprawę aerodynamiki składu pociągu.

Przytoczone fakty wskazują, że Doktorant zrealizowała cel rozprawy i udowodniła tezę. Jako główne osiągnięcia Pana mgr inż. Karola Nehringa uważam:

1. w aspekcie teoretycznym rozprawy:
 - a. Usystematyzowanie problematyki procesów załadunku w terminalach intermodalnych.
 - b. Sformalizowanie matematycznych modeli załadunku oraz zadania optymalizacyjnego.
2. w zakresie zastosowań praktycznych:
 - a. Opracowanie modelu optymalizacji załadunku bazującego na metaheurystycznym algorytmie mrówkowym (ACO).
 - b. Implementację komputerową opracowanej metody w języku Python oraz jej integrację z narzędziem symulacyjnym FlexSim.
 - c. Weryfikację skuteczności metody, potwierdzoną szeroko zakrojonymi eksperymentami symulacyjnymi w środowisku terminalu intermodalnego.

Należy zaznaczyć, że opracowana przez Pana mgr inż. Karola Nehringa metoda pozwala na wszechstronne analizy wspierające decyzje w terminalach intermodalnych, a dzięki implementacji komputerowej ułatwia ocenę efektywności procesów logistycznych. Główne możliwości jej zastosowania obejmują:

1. Analizę efektywności urządzeń przeładunkowych w terminalach intermodalnych,
2. Redukcję kosztów operacyjnych poprzez m.in. ograniczenie zużycia energii (w urządzeniach i pociągu) oraz lepszą organizację pracy,
3. Ocenę wpływu na środowisko, w szczególności poprzez zmniejszenie emisji CO₂ i wpisanie się w zasady zrównoważonego transportu.

Stwierdzam, że podjęta w rozprawie problematyka oraz sposób rozwiązania postawionego problemu badawczego, świadczy o dobrym przygotowaniu merytorycznym Doktoranta, dojrzałości naukowej i umiejętności samodzielnego prowadzenia badań naukowych. Omawiane zagadnienia potwierdzają dobre przygotowanie i zaangażowanie Autora rozprawy w rozwiązywanie problemu.

Podsumowując, uważam że omówiona konstrukcja rozprawy oraz sposób opracowania materiału empirycznego, a także forma przeprowadzonych symulacji i analizy, w tym przyjęta metodyka badawcza są właściwe dla tego rodzaju prac. Doktorant wykazał się ogólną wiedzą teoretyczną, dobrą znajomością przedmiotu badań oraz opanowaniem metod eksperymentalnych stosowanych w dyscyplinie inżynieria lądowa, geodezja i transport.

4. Pytania szczegółowe i uwagi krytyczne

Analiza tekstu rozprawy rodzi pytania szczegółowe, które nasunęły się w trakcie pisania recenzji. Odpowiedzi na poniższe pytania oczekuje podczas publicznej obrony:

1. W swojej pracy doktorskiej przedstawił Pan obszerny i wieloaspektowy model załadunku. Trudno jednak jednoznacznie ocenić, czy uwzględnia on wszystkie istotne czynniki charakterystyczne dla rzeczywistych terminali lądowych, takie jak ograniczenia infrastrukturalne, równoległe operacje przeładunkowe czy opóźnienia przyjazdu pociągów. Warto byłoby przeprowadzić analizę wrażliwości, aby określić, w jakim stopniu odchylenia kluczowych parametrów (np. dostępności sprzętu, liczby operatorów, błędów w alokacji ładunków) wpływają na wynik optymalizacji. Proszę o odniesienie się do tej kwestii.
2. Procesy realizowane w terminalach lądowych mają charakter dynamiczny, natomiast w rozprawie zaproponowano model statyczny lub quasi-statyczny, w którym plan załadunku ustalany jest raz lub podlega jedynie niewielkim korektom. W praktyce podczas załadunku mogą występować zakłócenia, takie jak opóźnienia innych składów, awarie sprzętu czy trudne warunki pogodowe. Czy Pana zdaniem zaproponowana metoda może zostać dostosowana do zmiennych warunków operacyjnych, np. poprzez mechanizmy aktualizacji rozwiązania w trybie online? Jeśli tak, proszę o wskazanie możliwych sposobów implementacji takiego podejścia.
3. W części pracy poświęconej minimalizacji oporów aerodynamicznych nie widać rozbudowanej analizy inżynierskiej. Proszę o wyjaśnienie, czy zastosowano zaawansowane modele CFD (Computational Fluid Dynamics), czy też ograniczono się do uproszczonych modeli dostępnych w literaturze. Istotne jest również określenie, w jakim stopniu faktyczne oszczędności energii wynikają z optymalizacji rozmieszczenia kontenerów oraz jakie są realne, mierzalne korzyści dla operatora. Jeśli poprawa aerodynamiki pociągu przynosi jedynie marginalne efekty, warto zastanowić się, czy nakład obliczeniowy oraz złożoność modelu są uzasadnione. Proszę o komentarz w tej sprawie.
4. Zaproponowana przez Pana metoda optymalizacji załadunku składu pociągu intermodalnego wskazuje na potencjalne korzyści płynące z jej wdrożenia. Czy rozwiązanie to zostało przewidziane jako w pełni autonomiczna aplikacja przeznaczona dla operatorów terminali, czy raczej jako narzędzie wspomagające proces decyzyjny? Jasne określenie tej kwestii ułatwi ocenę praktycznej wartości zaproponowanego podejścia.

Ponadto, w pracy dostrzeżono drobne niedociągnięcia edytorskie, które nie wpływają na jej wartość merytoryczną, ale mogą wymagać korekty. Przykładem jest błąd edytorski na stronie 41: „Osat Wstępnie ~~Ustalane~~ są zadania...”

5. Konkluzja

Uważam, że przedstawiane w recenzji uwagi i zastrzeżenia absolutnie nie zmniejszają merytorycznej wartości naukowej i aplikacyjnej recenzowanej pracy. Stanowi ona oryginalne rozwiązanie problemu badawczego sformułowanego w tezie pracy oraz opisanej przeze mnie



w charakterystyce rozprawy. Jej zakres mieści się w obszarze badań właściwym dla dyscypliny naukowej inżynieria lądowa, geodezja i transport.

Stwierdzam zatem, że rozprawa doktorska Pana mgr inż. Karola Nehringa pt. „Wieloaspektowa metoda optymalizacji załadunku składu pociągu intermodalnego w terminalu lądowym”, spełnia wymagania Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2020 r. poz. 85 z późn. zm.) oraz mieści się w dyscyplinie inżynieria lądowa, geodezja i transport.

Wnoszę o dopuszczenie do publicznej obrony rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Karola Nehringa na Wydziale Transportu Politechniki Warszawskiej oraz o dalsze procedowanie postępowania w celu nadania stopnia doktora nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria lądowa, geodezja i transport.



Marcin Staniek