

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Karola Nehringa
na temat:

Wieloaspektowa metoda optymalizacji załadunku składu pociągu intermodalnego w terminalu lądowym

Podstawą wykonania recenzji jest Uchwała nr 1068/2024 Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Warszawskiej z dnia 17.12.2024 r. oraz pismo prof. dr. hab. inż. Konrada Lewczuka – Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Warszawskiej z dnia 30.12.2024 r. (WTBD.521.DR.166.2024).

Dokumentację merytoryczną do sporządzenia recenzji stanowił egzemplarz rozprawy doktorskiej mgr inż. Karola Nehringa pt. *Wieloaspektowa metoda optymalizacji załadunku składu pociągu intermodalnego w terminalu lądowym*.

Promotorami rozprawy są:

dr hab. inż. Roland Jachimowski oraz dr hab. inż. Michał Kłodawski.

1. Ogólna charakterystyka rozprawy

Rozprawa doktorska mgr inż. Karola Nehringa obejmuje 178 stron, a jej treść stanowią:

- streszczenie w języku polskim oraz w języku angielskim,
- siedem numerowanych rozdziałów,
- wykaz istotnych oznaczeń i skrótów,
- wykaz literatury (100 pozycji),
- jeden załącznik (dokumenty regulujące wymagania ITU).

Rozprawę można podzielić na trzy zasadnicze części:

- część pierwszą (rozdziały 1 i 2 ok. 60 stron), która zawiera identyfikację obszaru badawczego – transport intermodalny (rozdz. 1) oraz literaturowy przegląd problemów związanych z procesami załadunku składu pociągu intermodalnego (rozdz. 2),
- część drugą (rozdziały 3, 4 i 5 ok. 50 stron), która obejmuje cel i tezę rozprawy oraz najważniejsze osiągnięcia Doktoranta, tj. sformułowanie modelu matematycznego załadunku pociągu oraz opis metody optymalizacji składu pociągu intermodalnego wraz z zaproponowaną implementacją komputerową (Python),
- część trzecią (rozdziały 6 i 7, ok. 55 stron) stanowi weryfikacja metody na przykładzie optymalizacji procesu załadunku pociągu dla 150 rozważanych scenariuszy, a także podsumowanie rozprawy.

Stwierdzam, że praca została napisana poprawnie i starannie zarówno pod względem językowym, jak i edytorskim.

Aktualnie w Polsce odczuwalny jest brak odpowiedniej infrastruktury umożliwiającej znaczące wykorzystanie transportu intermodalnego. Problemy związane z lokalizacją przyszłych terminali intermodalnych opisał w swej rozprawie Mariusz Brzeziński (*Metoda lokalizacji terminali intermodalnych w aspekcie zrównoważonego rozwoju*

Polski, PW 2024). Recenzowana praca jest ważnym przyczynkiem uzasadniającym wagę tematyki, a jednocześnie istotnym argumentem potwierdzającym celowość rozprawy.

2. Ocena merytoryczna rozprawy

Treść rozprawy mgr. inż. Karola Nehringa jest osadzona w problematyce transportu intermodalnego, a w szczególności w zagadnieniach związanych z procesami realizowanymi w terminalach lądowych.

We wprowadzeniu do rozprawy Doktorant stwierdza, że *terminale intermodalne stanowią węzły logistyczne umożliwiające efektywne łączenie transportu kolejowego z drogowym, morskim lub lotniczym*. Ponadto stwierdza, że jednym z kluczowych wyzwań związanych z efektywnością funkcjonowania terminali jest optymalizacja procesu załadunku składów pociągów intermodalnych. Według Doktoranta: *Ze względu na dynamikę oraz złożoność procesów coraz częściej niezbędne okazuje się wykorzystanie zaawansowanych systemów wspierania zarządzania, które bazują na nowoczesnych narzędziach komputerowych wykorzystujących liczne środowiska symulacji oraz nowoczesne algorytmy optymalizacyjne (s.8)*.

Obszerny przegląd literatury przedmiotu badań umożliwił Doktorantowi stwierdzenie istotnych luk badawczych w obszarze holistycznego formułowania modeli procesów załadunku. Wymienione powyżej przesłanki doprowadziły Doktoranta do sformułowania celu rozprawy.

2.1. Temat, teza i cel pracy

Temat rozprawy tj. *Wieloaspektowa metoda optymalizacji załadunku składu pociągu intermodalnego w terminalu lądowym* jest sformułowany poprawnie i w pełni oddaje zawartość pracy.

W rozdz. 3, na str. 65 Doktorant sformułował następujący cel rozprawy:

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

Dodatkowo Doktorant stwierdza, że: *„Zasadniczym celem opracowanej metody jest minimalizacja czasu załadunku pociągu w terminalu intermodalnym, co przekłada się bezpośrednio na zwiększenie efektywności przepływu ładunków przez terminal intermodalny, redukcję kosztów operacyjnych oraz wsparcie zrównoważonego rozwoju transportu intermodalnego”*.

Do optymalizacji procesów załadunku Doktorant wykorzystał algorytm mrówkowy umożliwiający wyznaczenie najkrótszej ścieżki.

Uwzględniając zaproponowaną metodę oraz algorytm rozwiązania mgr inż. Karol Nehring sformułował tezę swojej rozprawy:

„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”.

Stwierdzam, że zarówno teza, jak i cel pracy są poprawnie sformułowane.

Mam jednak kilka uwag związanych z celem proponowanej metody. We wprowadzeniu na str. 9 Doktorant stwierdza, że: *Zasadniczym celem opracowanej metody jest minimalizacja czasu załadunku pociągu w terminalu intermodalnym, co przekłada się bezpośrednio na zwiększenie efektywności przepływu ładunków przez*

terminal intermodalny, redukcję kosztów operacyjnych oraz wsparcie zrównoważonego rozwoju transportu intermodalnego. To sformułowanie jest zresztą powtórzone (słusznie) w rozdz. 3 na str. 65 (Cel i teza pracy). W moim odczuciu tak sformułowany cel metody jednoznacznie opisuje zamierzenia Doktoranta.

Jednak dwa zdania niżej (str. 9) Doktorant stwierdza, że: *Zasadniczym celem opracowanej metody jest zwiększenie efektywności procesu obsługi jednostek intermodalnych w terminalu poprzez redukcję kosztów związanych z procesem załadunku oraz jednoczesnym wsparciem zrównoważonego rozwoju transportu.* To drugie stwierdzenie jest prawie tożsame z pierwszym, więc wydaje się być zbędnym powtórzeniem. Natomiast istotnym byłoby doprecyzowanie, co Doktorant rozumie pod pojęciem efektywności procesu (jakie wskaźniki).

W miarę postępów w rozwiązywaniu problemu Doktorant stwierdza, że (str. 89):... *głównym zadaniem opracowanej metody jest poszukiwanie najlepszych rozwiązań dla problemu przypisania ładunków intermodalnych do wagonów znajdujących się w terminalu przy jednoczesnej minimalizacji kosztu tego procesu oraz przy zachowaniu zadanych ograniczeń i aspektów aerodynamiki pociągu.*

Stwierdzenie jest poprawne, tyle, że Doktorant nie rozważa w swojej rozprawie kosztów badanych procesów.

Skąd zatem taka dość istotna zmiana celu metody, najpierw minimalizacja czasu załadunku, a dalej – minimalizacja kosztu procesu ?

2.2. Ocena przeprowadzonych badań i analiz

To co decyduje o naukowej wartości rozprawy zostało zawarte w dwóch rozdziałach:

- rozdział 4: *Model matematyczny załadunku pociągu intermodalnego,*
- rozdział 5: *Metoda optymalizacji załadunku składu pociągu intermodalnego.*

Zaproponowana w rozprawie metoda jest bardzo złożona i wielowariantowa. Ale też rozważany problem jest złożony i wymagający obszernego zbioru danych różnego typu. Do rozwiązania Doktorant zastosował oryginalne połączenie algorytmu mrówkowego i narzędzi symulacyjnych (generowanie danych wejściowych oraz symulacja wygenerowanych rozwiązań). Dla potrzeb symulacji mgr inż. Karol Nehring opracował cztery heurystyki sekwencjonowania zadań załadunku oraz heurystykę bazującą na algorytmie zachłannym. Do wyznaczenia danych wejściowych zadania załadunku Doktorant zaproponował dwa warianty:

- generowanie danych drogą symulacji cyfrowej,
- manualne wprowadzanie danych wejściowych.

W dalszych rozważaniach Doktorant wykorzystuje generowanie danych poprzez symulację. W autorskiej metodzie optymalizacji proces integracji symulacji z algorytmem mrówkowym przebiega w dwunastu krokach (opis na str. 84-87).

Użyteczność każdej nowej metody można ocenić poprzez jej weryfikację. Doktorant opracował aplikację komputerową swojej metody wykorzystując język programowania Python. Do badań opracował aż 150 możliwych scenariuszy, które uwzględniają m.in. rozmieszczenie kontenerów w terminalu, różne rodzaje kontenerów, układ slotów na wagonach. Wyniki symulacji zostały zawarte w rozdz. 6 *Optymalizacja załadunku składu pociągu intermodalnego z wykorzystaniem opracowanej metody.* Jest to znaczący rozdział rozprawy (ok. 50 stron), gdyż udowadnia, że aplikacja działa poprawnie, jakkolwiek brak odniesienia do rzeczywistego systemu uniemożliwia pełną ocenę proponowanego rozwiązania (zadanie na przyszłość).

Uwagi do

Model matematyczny załadunku pociągu intermodalnego (rozdz. 4)

Do zamodelowania procesu załadunku pociągu intermodalnego Doktorant wykorzystał teorię mnogości. Stąd model M opisuje uporządkowana czwórka:

$$M = \langle D, Z, O, F \rangle$$

gdzie:

D – zbiór danych,

Z – zbiór zmiennych,

O – zbiór ograniczeń,

F – funkcja celu.

Elementami zbioru danych (D) są m.in. zbiór wagonów, zbiór kontenerów do załadunku, zbiór slotów na wagonach. Każdy z tych elementów jest w pracy szczegółowo scharakteryzowany. Dodatkowo Doktorant opisuje proste zależności związane z wyznaczeniem czasu przemieszczania suwnicy. W opisie elementów brakuje urządzeń ładunkowych (choć na str. 70 jest werbalny opis elementów, w którym suwnica została uwzględniona).

Jako zmienną decyzyjną mgr inż. Karol Nehring przyjął binarną wartość (1 lub 0) związaną z przypisaniem wybranego kontenera do odpowiedniego slotu umieszczonego na wagonie. Przy takim ujęciu funkcja celu jest poprawnie sformułowana (minimalizacja czasu realizacji zadania):

$$F(X) = c_{s \rightarrow ra0} + \sum_{v_n \in V} \sum_{r_a \in R} \sum_{s_r \in S} \left(x_{v_n r_a s_r} \cdot (c_{v_n \rightarrow r_a} + c_{r_{a-1} \rightarrow v_{n-1}} + c_p^{v_n} + c_o^{v_n} + c_{f_n}^{v_n}) \right)$$

$\rightarrow \min$

Poprawnie zostały także sformułowane ograniczenia, które w rozważanym zadaniu spełniają bardzo ważną rolę.

Istotnym elementem nowości użytym w rozwiązywanym problemie jest uwzględnienie aerodynamiki pociągu (algorytm na str. 80).

Stwierdzam, że model jest poprawnie zbudowany, co świadczy o dużej umiejętności Doktoranta w zakresie formułowania i modelowania procesów zachodzących w złożonych systemach technicznych.

Do modelu mam kilka istotnych uwag:

1. Co oznaczają współrzędne i, j, e – dlaczego nie x, y, z ?
 - współrzędne położenia środka kontenera w terminalu (str. 73) – jakiego środka (ciężkości ?)
2. Zależności 8-9 (str. 75) nie są poprawne
 - w zależności (8) wyznaczany jest czas, a nie prędkość
 - przy jednoczesnym wykonywaniu dwóch ruchów przez suwnicę nie można przyjmować prędkości przejazdu wg wzoru (8), bo z reguły prędkość jazdy suwnicy i prędkość jazdy wózka (wciągarki) są istotnie różne.
3. W zależnościach (15) i (16) warto użyć dodatkowego składnika związanego z losowością czasu manipulacji przy podnoszeniu i opuszczaniu – np. $\Delta(\omega)$
4. Ponownie występuje *waga* zamiast *masa* – waga kontenera, waga pociągu...

Problem rozważany w rozdziale 4 jest bardzo złożony. W zależności od przyjętych założeń (ograniczeń) można różnie opisywać realizację zadania załadunku. W moim odczuciu większość założeń przyjętych przez Doktoranta jest rozsądna (realna). Proponowałbym jednak by przyszły model rozbudować o co najmniej dwa elementy:

- większa liczba torów ładunkowych (choćby dwa),

- większa liczba suwnic (np. dwie).

Postać modelu byłaby podobna (zmiany w opisie relacji), a jednak znacząco wpłynęłoby to na szersze ujęcie problemu.

Uwagi te nie dotyczą metody – metoda może mieć więcej ograniczeń.

Uwagi do

Metoda optymalizacji załadunku składu pociągu intermodalnego (rozd. 5)

Model sformułowany w rozdz. 4 posłużył Doktorantowi do opracowania oryginalnej, autorskiej metody optymalizacji załadunku składu pociągu intermodalnego. W mojej ocenie to najważniejsze osiągnięcie mgr. inż. Karola Nehringa.

Jak już kilkakrotnie stwierdzałem – w zależności od posiadanych danych, a także od przyjętych ograniczeń zależy stopień złożoności rozwiązywanego problemu.

W przypadku bliskim idealnemu – zarządzający terminalem posiada odpowiednio wcześniej wykaz zamówień, dla których przygotowuje odpowiednio wyposażone wagony. Jednocześnie zgodnie z ustalonym harmonogramem kontenery dostarczane są transportem samochodowym na pasmo przytorowe, gdzie dokonywany jest ich rozładunek (suwnica jest w stanie gotowości do rozładunku). Problemem do rozwiązania pozostaje przydział odpowiedniego kontenera do odpowiedniego slotu na wagonie.

Prawdopodobnie w praktyce taki przypadek występuje stosunkowo rzadko. Zbyt dużo zakłóceń losowych powoduje odmienną sytuację, niż w przypadku idealnym (opóźnienia w dostawach, niedostępność odpowiednich wagonów, nieodebranie zamówionych kontenerów, zmiana priorytetu zamówienia, etc.).

Doktorant świadom tych zakłóceń proponuje wielokrokową metodę optymalizacji czasu załadunku. W metodzie wykorzystuje nowoczesne narzędzia, do których opracowuje autorskie algorytmy. Najważniejszym z nich jest algorytm mrówkowy ACO. Istotą zaproponowanej metody jest kilka pierwszych kroków:

- ustalenie warunków początkowych i danych wejściowych (generowane z modelu symulacyjnego lub wprowadzane manualnie),
- import danych do algorytmu mrówkowego (kompilacja w Python),
- import rozwiązania optymalnego do symulatora (FlexSim).

W dalszych krokach Doktorant proponuje przeprowadzenie eksperymentów symulacyjnych dla różnych wariantów i proponuje wykorzystać dodatkowe heurystyki (pięć) aby porównać uzyskiwane w tych wariantach wyniki.

Przedstawiona w pracy metoda, opracowane algorytmy, a w szczególności autorski algorytm mrówkowy świadczą o bardzo znaczących zasobach wiedzy Doktoranta w obszarze modelowania i optymalizacji procesów.

Kilka uwag krytycznych:

Na str. 89 Doktorant stwierdza, że:

... głównym zadaniem opracowanej metody jest poszukiwanie najlepszych rozwiązań dla problemu przypisania ładunków intermodalnych do wagonów znajdujących się w terminalu przy jednoczesnej minimalizacji kosztu tego procesu oraz przy zachowaniu zadanych ograniczeń i aspektów aerodynamiki pociągu,

natomiast na str. 90:

Algorytm (mrówkowy – EM) ma na celu znalezienie rozwiązania minimalizującego koszty transportu i jednocześnie maksymalizującego wydajność załadunku, uwzględniając przy tym sformułowane ograniczenia.

To nie jest zgodne z celem opisanym wcześniej tj. minimalizacją czasu realizacji procesu załadunku kontenerów na wagony pociągu.

Ponadto w bardzo wartościowym algorytmie mrówkowym w kroku 7 Doktorant proponuje:

7. Zdefiniuj dodatkowy czas obsługi zależny od parametrów zawartych w zbiorach E oraz F (dodatkowe koszty operacji przesunięcia innych kontenerów):

- a o tych kosztach F nie ma dalej słowa.

Mój komentarz – rozumiem Doktoranta, że chciałby aby jego metoda optymalizowała czas realizacji zadania (min), wydajność procesu (max), a także ponoszone koszty (min). Zadanie bardzo ambitne i potrzebne przede wszystkim zarządzającym terminalem, ale jednocześnie zadanie trudne. Nie zawsze minimalizacja czasu przynosi niższe koszty (koszty czego?). Przykładowo – zastosowanie dwóch suwnic może obniżyć czas załadunku, ale prawdopodobnie zwiększy koszt realizacji zadania. Z kolei wydajność w dużej mierze zależy od używanych jednostek ładunkowych.

Z naukowego punktu widzenia metoda jest opracowana bardzo dobrze. To duże osiągnięcie Doktoranta. Natomiast niepotrzebnie Doktorant próbuje zadowolić także przyszłych użytkowników metody obiecując coś, czego w metodzie nie ma (choć oczywiście po rozbudowie metody może być).

Uwagi do

Optymalizacja załadunku składu pociągu intermodalnego z wykorzystaniem opracowanej metody (rozdz. 6)

Założenia i ograniczenia w hipotetycznym terminalu zostały opisane przez Doktoranta w rozdziale 6 (str. 115 - 160). Doktorant opracował program badań, który zawiera 7 wariantów rozmieszczenia kontenerów (Tab. 6.1)., uwzględniając dodatkowo opracowane heurystyki zaproponował 150 możliwych scenariuszy realizacji procesu załadunku. Dla wszystkich scenariuszy przeprowadził serie eksperymentów symulacyjnych.

Wyniki badań symulacyjnych zostały zamieszczone w tabelach (Tab. 6.7 – 6.22) oraz na wykresach (Rys. 6.4 do 6.27).

Do porównania wyników uzyskiwanych dla poszczególnych scenariuszy Doktorant przeprowadził bardzo wnikliwą analizę. Porównywanymi wielkościami były głównie:

- czas pracy suwnicy,
- długość drogi przebytej przez suwnicę.

Z analiz wynika, że najlepsze wyniki (czas pracy suwnicy) uzyskiwano dla wariantów działających wg algorytmu 5 (zachłanny) oraz algorytmu mrówkowego (6).

Dodatkowo Doktorant przeprowadził analizę redukcji czasu pracy suwnicy uzyskanego z symulacji wg algorytmów 5 i 6 w odniesieniu do heurystyk 1 – 4 (Tab. 6.13 do 6.16). Uzyskiwane zmniejszenia czasu załadunku składu są zaskakująco duże (np. wg Tab. 6.16 – czas wyznaczony wg algorytmu mrówkowego jest o ponad 1.5 godziny krótszy).

Tu moje dwie uwagi:

1. Dla lepszego uwidocznienia efektów możliwych do uzyskania przy stosowaniu zasad algorytmu mrówkowego (także zachłannego) warto w tabelach porównawczych umieścić kolumnę z wartością czasu trwania procesu załadunku. Z analizy wyników symulacji (Tab.6.7) wynika, że maksymalne czasy załadunku przekraczają 5 godzin.
2. Brakuje pełnego przykładu wybranej symulacji – struktura, skład pociągu, wygenerowane jednostki do załadunku, kolejność załadunku.

Przeprowadzone w tym rozdziale analizy oceniam wysoko. Poprawne jest także wnioskowanie, choć czasami wnioski są dość trywialne. Znaczącym walorem tych żmudnych analiz jest stwierdzenie, że wyniki uzyskiwane przy stosowaniu algorytmu mrówkowego są najlepsze.

2.3. Dodatkowe pytania i uwagi szczegółowe (wybrane)

1. W całej pracy Doktorant używa pojęcia *waga*, zamiast *masa*: wielokrotnie – waga wagonu, waga kontenera, waga i wymiary jednostek etc.
2. Masę powinno się podawać w [kg] - konsekwentnie
np. s.117 - ...na wagonie o pojemności 3 TEU (łącznie 60 ton),
a poniżej – dopuszczalna masa całkowita (wagonu) 80 000 kg,
np. na str. 117 – jest poprawnie: masa tara wagonu 22 000 kg,
ale już poniżej: ...dolna granica wagi dowolnego kontenera 5 ton;
... α – wartość współczynnika *wagi* feromonu (s.99) – poprawnie, choć *waga*.
3. Podobnie – kubatura (np. w tab. 4.1. w [m²]) – pojemność w [m³]

Pytania ogólne – do rozważenia w dalszych pracach

1. Czy możliwe jest porównanie pracy rzeczywistego terminala oraz terminala „komputerowego” działającego wg algorytmu mrówkowego (dane wejściowe wprowadzane manualnie) ?
2. Jaki wpływ na uzyskiwane wyniki miałyby wprowadzenie do struktury drugiej suwnicy (także w organizacji relacji między nimi) ?
3. Jakimi kryteriami powinno się oceniać realizację załadunku – min czasu trwania (jak w rozprawie), kosztami, wydajnością, czy jeszcze innymi ?
4. Jeśli algorytm mrówkowy jest rzeczywiście bardzo przydatny, to czy możliwe byłoby zbudowanie bliźniaka (twin) lub choćby quasi-twin, który współpracowałby on-line z operatorem suwnicy ?

3. Podsumowanie i ocena końcowa

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr. inż. Karola Nehringa pt. *Wieloaspektowa metoda optymalizacji załadunku składu pociągu intermodalnego w terminalu lądowym* podejmuje bardzo aktualne oraz istotne problemy związane z systemami transportu intermodalnego.

Poziom naukowy i aplikacyjny, a także całość rozprawy oceniam wysoko:

- Doktorant bardzo zasadnie opisuje wybór tematu rozprawy, poprawnie formułuje cel i tezę pracy,
- wyczerpująco opisuje problematykę procesu załadunku składu pociągu kontenerowego poprzez przegląd literatury (w wykazie 100 pozycji),
- w sposób naukowy buduje model matematyczny procesu załadunku pociągu intermodalnego,
- opracowuje autorską metodę optymalizacji załadunku składu pociągu,
- opracowuje implementację komputerową opracowanej metody (Python),
- przeprowadza obszerną weryfikację zaproponowanej metody (symulacja dla 150 scenariuszy) oraz dokonuje właściwej oceny uzyskanych wyników.

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska jest w mojej ocenie bardzo dobrze opracowana od strony metodologicznej. Po szczegółowej analizie zagadnień związanych z transportem intermodalnym oraz procesami załadunku składu pociągu Doktorant sformułował cel i tezę rozprawy. Dla przyjętych założeń i ograniczeń opracował model matematyczny procesu w ujęciu teoriomnogościowym, w którym poprawnie sformułował procedurę optymalizacji badanego procesu. W celu rozwiązania problemu optymalizacji opracował wielokrokową metodę. Zaproponowane w metodzie procedury i algorytmy (algorytm mrówkowy, heurystyki) wykorzystał do opracowania aplikacji komputerowej (Python). Przeprowadził obszernie badania symulacyjne celem weryfikacji zaproponowanej metody FlexSim). Rozprawę kończy podsumowanie zawierające poprawnie sformułowane wnioski oraz bardzo propozycje kierunków dalszych badań.

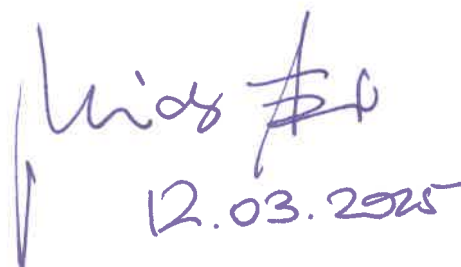
Do najważniejszych osiągnięć Doktoranta zaliczam:

- opracowanie autorskiej metody optymalizacji procesu załadunku składu pociągu intermodalnego w terminalu lądowym,
- sformułowanie modelu matematycznego procesu załadunku pociągu intermodalnego,
- opracowanie oryginalnego algorytmu optymalizacji procesu załadunku z wykorzystaniem algorytmu mrówkowego ACO,
- opracowanie aplikacji komputerowej (wykorzystanie języka Python),
- sformułowanie modelu symulacyjnego (FlexSim) oraz przeprowadzenie obszernych badań symulacyjnych (150 scenariuszy działania).

Ważnym elementem przedstawionej rozprawy jest także wskazanie przez Doktoranta kierunków dalszych badań (str. 167). Dotyczy to zwłaszcza propozycji budowy kompleksowych modeli logistycznych terminali intermodalnych. Jest to istotna propozycja, gdyż badania w pracy ograniczone były do procesów związanych z załadunkiem jednostek na wagony, natomiast pominięte zostały problemy związane z rozładunkiem i przygotowaniem jednostek do załadunku.

Na podstawie sporządzonej recenzji rozprawy doktorskiej mgr. inż. Karola Nehringa pt. *Wieloaspektowa metoda optymalizacji załadunku składu pociągu intermodalnego w terminalu lądowym* stwierdzam, że w pełni spełnione zostały wymagania określone w ustawie z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2020 r. poz. 85) oraz w Dziale 5 – Stopnie i tytuł w systemie szkolnictwa wyższego i nauki (art. 186, ust. 1).

Tym samym wnoszę o dopuszczenie mgr. inż. Karola Nehringa do publicznej obrony i do ubiegania się o stopień doktora w dyscyplinie inżynieria lądowa, geodezja i transport.


12.03.2025