

Dr hab. inż. Aleksander Sobota, prof. PŚ.
Katedra Systemów Transportowych, Inżynierii Ruchu i Logistyki
Wydział Transportu i Inżynierii Lotniczej
Politechnika Śląska
ul. Krasińskiego 8
40-019 Katowice

Katowice, dn. 28.05.2021 r.

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ
mgra inż. Igora Betkiera
pt. „Metoda komputerowego wspomaganie procesu
planowania przemieszczania pojazdów nienormatywnych”

1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Podstawę formalną opracowania recenzji stanowi Uchwała nr 168/2021 Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Warszawskiej z dnia 13.04.2021 r. oraz pismo Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Warszawskiej, dra hab. inż. Konrada Lewczuka, prof. uczelni z dnia 22.04.2021 r.

2. Wprowadzenie

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska Pana mgra inż. Igora Betkiera pt. „Metoda komputerowego wspomaganie procesu planowania przemieszczania pojazdów nienormatywnych”. Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Szymon Mitkow, prof. WAT, a promotorem pomocniczym dr inż. Arkadiusz Jóźwiak.

Dysertacja składa się z sześciu rozdziałów, wstępu, podsumowania, spisu rysunków, spisu tabel, wykazu ważniejszych oznaczeń oraz spisu literatury. Tekst rozprawy obejmuje 218 stron, 72 rysunki, 30 tabel, 34 wzory. Autor stosuje także aparat matematyczny wykorzystywany do formalizacji zagadnienia, lecz nie numeruje opracowanych zależności. W zbiorze pozycji literaturowych rozprawy znajdują się 4 publikacje, wśród których 2 są autorskie (jedna w języku angielskim i jedna w języku polskim) i 2 współautorskie (jedna w języku angielskim i jedna w języku polskim). Zawarte w pracy rysunki i tabele są należycie opisane i ponumerowane. Praca zawiera ponadto streszczenie w języku polskim i angielskim, w którym opisano przedmiot prowadzonych rozważań, krótko scharakteryzowano zasadnicze osiągnięcie będące wynikiem prowadzonych badań, a także syntetycznie opisano jej zakres.

Treść rozprawy można podzielić na dwie części. Pierwsza, teoretyczna obejmująca identyfikację obszaru badawczego, analizę uwarunkowań wpływających na przebieg tras przejazdu pojazdów nienormatywnych oraz charakterystykę algorytmów wyznaczania



optymalnych tras w oparciu o teorię grafów. W części drugiej, praktycznej przedstawiono metodę wyznaczania trasy przejazdu pojazdu nienormatywnego wraz z jej matematyczną formalizacją oraz zaprezentowano autorskie oprogramowanie, które wykorzystano do implementacji metody. Ponadto w części tej zaprezentowano prowadzone badania oraz omówiono ich wyniki.

3. Ocena merytoryczna rozprawy

3.1 Ogólna charakterystyka rozprawy

Wstęp rozprawy zaczyna się od przedstawienia uwarunkowań wskazujących na potrzebę podjęcia tematu badawczego. Autor w tej części akcentuje również fakt, że problematyka planowania przewozów nienormatywnych jest istotna zarówno z punktu widzenia zapewnienia potrzeb cywilnych, jak i wojska.

Rozdział pierwszy obejmuje opis ogólnych aspektów planowania i realizacji transportu nienormatywnego. Przedstawione są dane obejmujące zmiany i strukturę przewozu ładunków. Omówiono proces planowania przejazdu pojazdów nienormatywnych, a także scharakteryzowano rodzaje ładunków i środków transportowych wykorzystywanych do realizacji przewozów. Ponadto Doktorant przybliżył problematykę drogowego transportu nienormatywnego w Polsce oraz syntetycznie scharakteryzował systemy informatyczne stosowane do wspomagania procesu przemieszczenia pojazdów nienormatywnych.

W drugim rozdziale Autor określił czynniki determinujące przebieg tras przejazdu pojazdów nienormatywnych. W umiejętny sposób podzielił je na sześć kategorii. Pierwsza z nich to uwarunkowania prawne. Kolejna związana jest z infrastrukturą drogową, która wpływa na techniczną możliwość przejazdu pojazdu nienormatywnego z uwagi na ograniczenia związane z jego szerokością, wysokością, długością i wagą. Pozostałe dotyczą kwestii związanych z ruchem, czasem pracy kierowcy, warunkami atmosferycznymi oraz innymi aspektami, które zostały nazwane „czynnikami towarzyszącymi”. Według Doktoranta obejmują one między innymi wstępny objazd trasy, wyznaczenie tras alternatywnych, analizę prac związanych z przygotowaniem trasy przejazdu, przygotowanie planu operacyjnego realizacji przewozu oraz planowanie prac i kosztów związanych z przygotowaniem trasy. Układ treści tego rozdziału jest opracowany właściwie.

Trzeci rozdział zawiera definicję celów rozprawy (wielu), określenie problemu badawczego, identyfikację kryteriów dla działania warunków logicznych algorytmu do wyznaczania trasy przejazdu pojazdów nienormatywnych. Sformułowano także tezę rozprawy oraz zdefiniowano i krótko scharakteryzowano metody wykorzystywane do rozwiązania problemu badawczego. Zdaniem recenzenta treści opisujące charakterystykę wykorzystywanych metod mogłyby zostać pominięte, ponieważ nie mają istotnego znaczenia dla podniesienia wartości merytorycznej rozprawy. W rozdziale tym opisano również etapy rozwiązania zaproponowanego problemu badawczego. Zaznaczyć należy, że Doktorant definiując cele rozprawy powołuje się na niedobór metod i narzędzi wspomagających

planowanie transportu nienormatywnego. Jak twierdzi, wnioski takie są wynikiem przeprowadzenia analizy literatury przedmiotu. Przy czym we wcześniejszych rozdziałach dysertacji nie poświęca tej problematyce należytej uwagi. W opinii recenzenta, cele definiuje bazując bardziej na swojej wiedzy i doświadczeniu aniżeli studiach literaturowych.

Rozdział czwarty ma charakter teoretyczny. Dotyczy opisu algorytmów wyznaczania tras bazujących na teorii grafów. Autor najpierw wprowadza czytelnika do tej problematyki opisując zagadnienie w sposób ogólny. Prezentuje także studia literaturowe z zakresu opisu metod przeszukiwania grafu sieci do wyznaczenia optymalnej trasy przejazdu. Następnie omawia aspekty przydatności algorytmu w procesie wyznaczania trasy związane ze złożonością zadania do rozwiązania, jak i rodzajem znalezionej trasy. Rozdział kończy charakterystyką różnych postaci algorytmów Dijkstry, algorytmu A* oraz algorytmu Bellmana-Forda. Z uwagi na fakt, że w podrozdziale 4.2.2 Doktorant porównuje czas znalezienia rozwiązania dla konkretnych algorytmów w zależności od liczby krawędzi w grafie, a w podrozdziale 4.3 dopiero je charakteryzuje. Wydaje się, że z punktu widzenia czytelności treści rozprawy właściwym byłaby zamiana kolejności podrozdziałów 4.2 i 4.3.

Zasadniczą częścią piątego rozdziału jest opis modelowania matematycznego do budowy metody wspomaganie procesu planowania przejazdu pojazdów nienormatywnych. Formalizację zagadnienia rozpoczyna odwzorowanie obiektu badań, tj. pojazdu nienormatywnego i jego parametrów. Następnie opisana jest struktura sieci drogowej rozpoczynając od jej ogólnej charakterystyki, poprzez charakterystykę elementów punktowych sieci transportowej, a także połączeń między tymi elementami. Kolejno zdefiniowano zmienne decyzyjne, ograniczenia i funkcje kryteriów związanych z czasem jazdy, kosztami oraz bezpieczeństwem. Rozdział kończy prezentacja metody wyznaczania trasy pojazdu nienormatywnego oraz algorytm sprawdzania poprawności trasy i algorytm sprawdzania przejezdności pojedynczych dróg. Układ treści ma klasyczną, poprawną postać. Zastanawia jedynie tytuł rozdziału piątego „*Założenia teoretyczne metody wspomaganie komputerowego procesu planowania przemieszczenia pojazdów nienormatywnych*”, ponieważ poza tytułowymi założeniami teoretycznymi Autor przedstawił opracowaną przez siebie metodę. Jest to w opinii recenzenta przestrzeń do poprawy. Mając na uwadze zawartość merytoryczną rozdziału, która jest kompletna, uważam że należało zmienić tytuł rozdziału piątego.

Rozdział szósty ma zdecydowanie charakter praktyczny. Rozpoczyna się opisem struktury bazy danych autorskiego oprogramowania do wspomaganie procesu planowania tras pojazdów nienormatywnych. Następnie Autor dokonuje przeglądu istniejących i dostępnych zewnętrznych aplikacji, modułów funkcjonalnych, a także webserwisu obliczeniowego. Drugą część rozdziału szóstego stanowi prezentacja prowadzonych badań w tym poligonu badawczego, transportowanych ładunków i pojazdów do tego wykorzystywanych. Opisane są wyniki badań dla trzech typów przewożonych ładunków przez sieć transportową województwa mazowieckiego. W rozdziale tym Doktorant przedstawia zarówno kwestie techniczne związane z budową oprogramowania, jak i prowadzone badania oraz ich wyniki.

Uważam, że są to treści, które z merytorycznego punktu widzenia mogą być oddzielnymi rozdziałami.

Pracę kończy podsumowanie, w którym Autor przedstawia syntetycznie funkcjonalności opracowanej aplikacji internetowej. Ujmuje także najważniejsze osiągnięcia rozprawy i uzasadnia prawdziwość sformułowanej tezy oraz poprawność użytych metod i narzędzi badawczych. Opisuje ponadto kierunki dalszych badań.

Uważam, że przyjęty przez Autora układ pracy w większości jest poprawny. Wydaje się jednak, że rozdział trzeci powinien być przeniesiony przed rozdział drugi z uwagi na fakt, że opisano w nim cele i tezę pracy oraz problem badawczy. Dopiero później powinny być scharakteryzowane czynniki wpływające na przebieg tras przejazdu pojazdów nienormatywnych. Co więcej, rozdział trzeci zawiera jedynie pięć stron, więc zdaniem recenzenta powinien być czwartym podrozdziałem rozdziału pierwszego. Moim zdaniem dobrym rozwiązaniem mogłoby być również przedstawienie treści rozdziału szóstego w dwóch osobnych rozdziałach. W przeważającej większości treści zawarte w kolejnych rozdziałach odpowiadają tytułom i stanowią logiczne rozwinięcie problematyki podjętej w rozprawie. Należałoby jedynie dokonać korekty nazwy rozdziału piątego, o której wspomniano wcześniej.

3.2 Ocena doboru tematu i zakresu pracy doktorskiej

Liczba przewozów ładunków z wykorzystaniem pojazdów nienormatywnych od 2001 roku systematycznie rośnie. Przyczynia się do tego ogólny poziom wzrostu społeczno-gospodarczego Polski, a także pojawienie się nowych technologii i potrzeb transportowych. Ten dynamicznie rozwijający się sektor usług nabiera na znaczeniu, ponieważ przewóz ładunków nienormatywnych w dużo większym zakresie, niż ładunków o konwencjonalnych wymiarach, wpływa na warunki ruchu panujące w sieci transportowej. Dodatkowo, z uwagi na fakt, że przewóz ładunków nienormatywnych w transporcie drogowym odbywa się po istniejącej sieci drogowo-ulicznej, przy jego realizacji należy uwzględnić szereg ograniczeń związanych z infrastrukturą transportową, prawem, cechami ruchu drogowego czy warunkami atmosferycznymi.

Występowanie pojazdów przewożących ładunki nienormatywne może przyczyniać się do powstawania problemów komunikacji lub sytuacji niebezpiecznych. Dlatego z punktu widzenia organów zajmujących się zarządzaniem ruchem i drogami oraz podmiotów zlecających i realizujących tego typu przewozy, należy dążyć do minimalizacji wpływu tych pojazdów na warunki ruchu. Stąd realizacja przewozów takich ładunków musi być skrupulatnie zaplanowana. Dlatego poszukiwanie rozwiązań przyczyniających się do zautomatyzowania powtarzalnych procesów w planowaniu przewozów ładunków nienormatywnych, a także wypracowanie mechanizmów kontroli poprawności realizacji planu przyczyni się do minimalizacji prawdopodobieństwa powstawania błędów podczas tego procesu. Dzięki temu zmaleje ryzyko wystąpienia zdarzenia drogowego z udziałem, bądź w wyniku przejazdu pojazdu nienormatywnego lub ryzyko powstawania zakłóceń w ruchu. Co więcej, usprawnienie procesu planowania może przyczynić się do zmniejszenia kosztów przewozu

i zwiększenia jakości obsługi. Dlatego uważam, że temat podjęty przez Doktoranta w recenzowanej rozprawie jest ważny zarówno z punktu widzenia bezpieczeństwa ruchu drogowego, jak i logistycznej obsługi klienta.

Zakres dysertacji został podzielony na dwie zasadnicze części. Pierwszą, w której opisano genezę tematu pracy, podstawy teoretyczne procesu planowania transportu ładunków nienormatywnych wraz z identyfikacją istotnych etapów tego procesu, które można poddać automatyzacji. Ponadto opisano analizę istniejących algorytmów wyznaczania tras oraz charakterystykę czynników wpływających na omawiany proces. W drugiej części rozprawy przedstawiono model matematyczny wspomaganie procesu przemieszczenia pojazdów nienormatywnych i opracowaną na jego podstawie metodę oraz autorską aplikację zawierającą implementację modelu i metody. Przedstawiono także wyniki badań.

Podsumowując, problem badawczy rozprawy jest aktualny. Doktorant zdefiniował ambitne zadanie do rozwiązania. Temat sformułował poprawnie a zakres jest zgodny z zasadami dociekań naukowych.

3.3 Ocena celów i tezy pracy doktorskiej

Wieloaspektowość zagadnienia wspomaganie procesu planowania przewozu ładunku nienormatywnego wymaga spojrzenia na problem w sposób systemowy. Dlatego Doktorant sformułował pięć celów rozprawy. Pierwszy, odnosi się do konieczności uporządkowania wiedzy w zakresie procesu planowania transportu nienormatywnego. Drugi, związany jest z potrzebą przeprowadzenia analizy dostępnych metod i narzędzi wykorzystywanych w procesie planowania przemieszczania ładunków nienormatywnych. Trzeci, według recenzenta najważniejszy, tj. *„sformułowanie metody wsparcia procesu planowania przemieszczenia pojazdów nienormatywnych, na podstawie założeń teoretycznych, warunków logicznych, a także odpowiednich ograniczeń”* odnosi się najistotniej do sformułowanego problemu badawczego. Zdaniem recenzenta można było wyróżnić go jako cel główny, a pozostałe określić jako cząstkowe. Cel czwarty stanowi o konieczności opracowania aplikacji internetowej i implementacji zaproponowanej metody. Natomiast piąty wskazuje na potrzebę sprawdzenia metody zaimplementowanej w autorskiej aplikacji komputerowej.

Uważam, że wyżej omówione cele pracy odnoszą się do najważniejszych zadań zrealizowanych w rozprawie. W opinii recenzenta brakuje określenia celu związanego z identyfikacją czynników determinujących proces planowania przewozów nienormatywnych, bowiem w rozdziale drugim takie rozważania zostały opisane bardzo dobrze. Warto dodać, że cele pracy są jasne, zasadne i ważne zarówno z naukowego, jak i praktycznego punktu widzenia.

Teza została sformułowana następująco: *„Wyznaczenie tras przejazdu dla pojazdów nienormatywnych jest procesem, którego automatyzacja poprzez poprawną implementację komputerową, skraca czas planowania oraz zwiększa poziom bezpieczeństwa realizacji zadania transportowego”*. Teza silnie koreluje ze sformułowaniem odnoszącym się do zdefiniowania problemu badawczego, tj. *„W jaki sposób sformułować metodę optymalizującą*

proces wyznaczania tras przejazdu dla pojazdów nienormatywnych z użyciem technologii internetowych". Można odnieść wrażenie, że tak sformułowana teza akcentuje bardziej charakter aplikacyjny recenzowanej dysertacji aniżeli naukowy. Należy jednak wyraźnie podkreślić, że została sformułowana poprawnie.

Wszystkie cele realizowanej pracy doktorskiej zostały przez Doktoranta zrealizowane, zaś przedstawiona teza udowodniona.

3.4 Ocena doboru metod do rozwiązania problemu badawczego

Planowanie przewozu pojazdów nienormatywnych wymaga zastosowania odpowiednich metod i narzędzi wspomagających ten proces. Do takich metod należy modelowanie matematyczne, które zostało wykorzystane przez Autora do opracowania własnej metody. Modelowanie daje możliwość odwzorowania poszczególnych części rozwiązywanego problemu przy uwzględnieniu danych wejściowych i ich charakterystyk, zmiennych decyzyjnych, ograniczeń oraz funkcji kryterium.

Doktorant modelowanie rozpoczął od odwzorowania matematycznego pojazdu nienormatywnego i czternastu jego parametrów, istotnych z punktu widzenia planowania trasy przejazdu. Kolejno odwzorowano strukturę sieci drogowej z wykorzystaniem grafu. W tym celu przedstawiono charakterystyki elementów infrastruktury punktowej. Skoncentrowano się głównie na rondach. Uważam, że brakuje matematycznego ujęcia innych obiektów tej infrastruktury (np. skrzyżowań z wyspą centralną). Następnie skoncentrowano się na matematycznym ujęciu własności elementów infrastruktury liniowej oraz czynników związanych z warunkami atmosferycznymi. Nie pomięto także odwzorowania matematycznego ograniczeń geometrycznych infrastruktury dla istniejących połączeń transportowych w celu oceny możliwości przejazdu pojazdu nienormatywnego, a także oceny możliwości ich eliminacji oraz kosztów z tym związanych. Warto zaznaczyć, że identyfikacja i charakterystyka ograniczeń została przeprowadzona szczegółowo. Później zdefiniowano zmienną decyzyjną, określono ograniczenia oraz funkcje kryterium. Zależności opisujące ograniczenia dotyczą: maksymalnego kosztu, maksymalnego czasu przejazdu, wyboru trasy przejazdu, możliwości postoju na trasie, nacisków na pojedynczą oś, możliwości mijania i wymijania (terminy użyte przez Autora), warunków atmosferycznych i typów przyjętych zmiennych decyzyjnych. Wybrane przez Doktoranta funkcje kryterium są związane z czasem jazdy, kosztami oraz bezpieczeństwem. Wszystkie kryteria są minimalizowane. W opinii recenzenta poprawnie zdefiniowano kryteria. Zastanawia jedynie przyjęta w odniesieniu do jednego z nich nazwa, tj. „bezpieczeństwo”.

Opracowana metoda wyznaczania trasy przejazdu pojazdu nienormatywnego składa się z czterech faz: inicjalizacji, przeszukiwania, walidacji i wyboru. Autor przedstawia metodę w postaci schematu blokowego oraz opisu werbalnego. Przedstawiono jeszcze dwa schematy blokowe algorytmów (jak nazywa to Autor) opisujących proces sprawdzenia poprawności trasy oraz sprawdzania przejezdności poszczególnych odcinków, stanowiące element składowy ogólnego algorytmu metody.

Implementację opracowanej metody przeprowadzono z wykorzystaniem możliwości ogólnodostępnej platformy Neo4j, w której została odwzorowana sieć dróg krajowych województwa mazowieckiego. Jednak najważniejszym elementem implementacji metody była aplikacja składająca się z czterech modułów: roads, nodes, obstacles, calculator. Dodatkowo opracowano webserwis obliczeniowy składający się z sześciu modułów funkcjonalnych.

Uzyskane wyniki, opisane w szóstym rozdziale, pozwalają wysnuć wniosek, że Doktorant umiejętnie posłużył się aparatem matematycznym teorii modelowania oraz formułowaniem algorytmów obliczeniowych, które zaimplementował w autorskim oprogramowaniu. Przedstawiona w rozdziale piątym formalizacja zagadnienia, a także opisane w szóstym rozdziale wyniki badań pozwalają wysnuć wniosek, że Doktorant potrafi dobrać właściwie metody i narzędzia do rozwiązywania problemów o naukowym charakterze. Wysoko oceniam jego umiejętności w zakresie wykorzystania aparatu modelowania matematycznego, opracowywania algorytmów i użytkowania technologii informatycznych. Należy również wspomnieć o umiejętności systemowego podejścia do rozwiązywania problemów technicznych, czego dowodzi mnogość determinant, które zostały uwzględnionych w rozprawie.

3.5 Ocena oryginalności i naukowej wartości rozprawy

Opracowanie metody komputerowego wspomaganie procesu planowania przemieszczenia pojazdów nienormatywnych i jej implementacja świadczy o oryginalności rozprawy. Wykorzystanie metody w praktyce może przyczynić się do zwiększenia efektywności pracy planistów odpowiedzialnych za to zadanie i minimalizacji prawdopodobieństwa wystąpienia zakłócenia w ruchu.

Do najistotniejszych osiągnięć naukowych Doktoranta przedstawionych w rozprawie zaliczam:

- uporządkowanie wiedzy z zakresu planowania przewozów ładunków nienormatywnych;
- identyfikację i charakterystykę czynników wpływających na przebieg tras przejazdu pojazdów nienormatywnych;
- syntetyczne badania literaturowe w zakresie metod i narzędzi wykorzystywanych do wyznaczania optymalnych tras pojazdów;
- sformalizowanie zagadnienia planowania przemieszczenia pojazdów nienormatywnych z wykorzystaniem zaawansowanego aparatu matematycznego;
- rozwiązanie zadania optymalizacyjnego poprzez opracowanie jednokryterialnej metody wraz z autorską aplikacją komputerową cechującą się między innymi:
 - o zapewnieniem możliwości wyznaczenia trasy przejazdu pojazdu nienormatywnego;
 - o skróceniem czasu poświęconego na proces planowania przejazdu pojazdu nienormatywnego;



- wyeliminowaniem niektórych błędów mogących powstać w tym procesie;
- przygotowywaniem i porównywaniem kilku wariantów tras;
- implementacja opracowanej metody.

4. Uwagi krytyczne

4.1 Uwagi o charakterze redakcyjnym i edycyjnym

Ogólnie recenzowana rozprawa doktorska jest napisana poprawnym językiem na dobrym poziomie. Jednak nie jest pozbawiona błędów redakcyjnych i edycyjnych. Do najważniejszych zaliczam:

- występowanie błędów interpunkcyjnych, co jest szczególnie widoczne w wykazie ważniejszych oznaczeń;
- nieprecyzyjne używanie sformułowań przez Autora. Na przykład na str. 9 w opisie ważniejszych oznaczeń pisze „*dr – parametr odwzorowujący występowanie ruchu z przeciwnej strony*”. Poprawnym byłoby użycie sformułowania „...z przeciwnego kierunku ruchu”. Natomiast na str. 52 jest napisane „*Tego typu rozwiązania mają na celu zwężenie szerokości jezdni tam, gdzie występują najszybsze trajektorie przejazdu i poszerzenie jej w miejscach, gdzie promień łuku jest większy*”. Recenzent domyśla się, że Doktorant miał na myśli trajektorie zapewniające najszybszy czas przejazdu pojazdu;
- błędy logiczne w formułowaniu zdań oraz skróty myślowe. Na przykład na str. 15 Autor pisze „*W przypadku przewozów nienormatywnych nie sposób wspomnieć o specyficznym przewoźniku jakim są siły zbrojne*”. Doktorant chciał zaakcentować występowanie problemu przewozów nienormatywnych w wojskowości. Powinien użyć sformułowania „... nie sposób nie wspomnieć...”. Inne zdanie, niezrozumiałe dla recenzenta, występuje na str. 28, tj. „*Potrzeby w jego zakresie przejawiały się popytem definiowanym przez: wielkość, czas miejsce czy miejsce docelowe i mogły przyjąć charakter [76]*”. Przykład skrótu myślowego przedstawia zdanie ze str. 60 „*Biorąc pod uwagę fakt, że pojazd nienormatywny często sam może być przyczyną występowania zjawiska kongestii...*” oraz zdanie ze str. 61 „*Czasem pracy kierowcy nazywa się, w świetle wcześniej przywołanych przepisów, wszelkie czynności związane z wykonywaniem przewozu drogowego wykonywane od rozpoczęcia do zakończenia pracy.*”;
- brak opisu nazw zmiennych na wykresach zaprezentowanych na rys. 1., rys. 3., rys. 4. Inne, przedstawione na rys. 8., rys. 10., rys. 13. są poprawnie wykonane;
- używanie kolokwializmów, tak jak w zdaniu na str. 29 „*...tak narodził się transport nienormatywny...*”, bądź w zdaniu na str. 48 „*...nieszablonowe zakręty*” albo w zdaniu na str. 52 „*...najszybsze trajektorie przejazdu...*”;
- brak konsekwencji w opisie jednostek w tabelach. Na przykład w tabeli 3 na str. 47 jednostka jest przedstawiana następująco „(km/h)”, a w tabeli 4 na str. 49

następująco „[m]”. Ponadto w większości tabel, jednostki dla poszczególnych zmiennych są opisane w nagłówkach kolumn, a w tabelach 14, 15, 16, 17, 18, 22, 23, 27, 28 zostały zapisane przy wartościach tych zmiennych.

4.2 Uwagi o charakterze merytorycznym

1. Dane przedstawione na rys. 8, 10, i 13 są trudne do zinterpretowania. Powinny być przedstawione w ujęciu procentowym.
2. Str. 48 i 49 – Autor nie zawsze stosuje właściwą terminologię opisując cechy elementów technicznych infrastruktury transportowej. Na przykład na str. 49 napisano „W ten sposób eliminuje się konieczność zastosowania sygnalizacji świetlnej kierującej ruchem pojazdów, a natężenie ruchu jest płynnie rozładowywane. Badanie przeprowadzone w Stanach Zjednoczonych wykazało, że rondo zmniejszyło opóźnienia w przepływie ruchu o 87% ...”. Wątpliwości recenzenta budzą sformułowania: „...sygnalizacji świetlnej kierującej ruchem...”, „...natężenie ruchu jest płynnie rozładowywane...”, „...rondo zmniejszyło opóźnienia...”.
3. Str. 53 – na uproszczonym schemacie niwelety drogi, po której porusza się pojazd nienormatywny (rys. 15.) Autor prezentuje cztery zmienne x_1, x_2, x_3 , oraz x_4 wyrażające odległość w poziomie od początku łuku, zmienne y_1, y_2, y_3, y_4 a także i_1 oraz i_2 . Tymczasem w tekście pod rysunkiem oznacza je błędnie, w następujący sposób $x_{1,2,3,4}$. Podobnie jak zmienne $y_{1,2,3,4}$ oraz $i_{1,2}$. Zwłaszcza, że wzór (2.1) ma postać $T = R \frac{i_1 \pm i_2}{2}$.
4. Str. 98 – Autor pisze: „Odwzorowywana struktura sieci drogowej (graf) zawiera elementy (wierzchołki) kluczowe z punktu widzenia przewozu ładunków ponadgabarytowych. Są to:
 - punkt nadania ładunku / wejście do sieci transportowej,
 - punkt odbioru ładunku / wyjście z sieci transportowej,
 - węzeł sieci drogowej – skrzyżowanie dróg:
 - o ruchu zwykłym,
 - o ruchu okrężnym.”W literaturze przedmiotu nie wyróżnia się skrzyżowań o ruchu zwykłym. W dalszej części rozprawy Autor opisuje te obiekty wykorzystując termin „skrzyżowanie nie będące skrzyżowaniem o ruchu okrężnym”.
5. Podobny problem dotyczy opisu zmiennej na str. 98: „ $\alpha_1(v) = 2$, jeżeli element o numerze $v, (v \in VP)$ ma interpretację punktu sieci drogowej, w którym dochodzi do skrzyżowania dróg w jednej płaszczyźnie”. Zamiast sformułowania „...skrzyżowania dróg w jednej płaszczyźnie” należało użyć terminu skrzyżowania dróg jednopoziomowych.
6. Str. 124 – Opisując ograniczenie nr 5 Doktorant nazywa je „czas jazdy i możliwości postoju na trasie”, a w opisie warunków logicznych dla tego ograniczenia używa terminu „czas przejazdu”.

7. Str. 125: Ograniczenie nr 7 nazywane jest przez Autora jako „utrzymanie możliwości mijania i wymijania” tymczasem opis tego ograniczenia sprowadzony jest do uwzględnienia manewru wymijania i omijania. W Ustawie z dnia 20 czerwca 1997 r. Prawo o ruchu drogowym (Dz. U. 1997 Nr 98 poz. 602 z późn. zmianami) nie wykorzystuje się do opisu manewru pojazdu terminu mijanie.
8. Rysując schematy blokowe algorytmów (nazwa wykorzystana przez Autora) Doktorant nie stosuje symboli łączników międzystronicowych (rys. 43), a także symboli punktów koncentracji (rys. 44 i 45).

Proszę aby Doktorant nie ustosunkowywał się do tych uwag podczas publicznej obrony lecz ewentualnie uwzględnił je w przyszłych publikacjach.

5. Pytania do Autora rozprawy

1. Str. 9: Opis zmiennej dm w wykazie najważniejszych oznaczeń to „liczba pasów drogowych w danym kierunku na połączeniu transportowym”. Proszę wyjaśnić, czy Autor miał na myśli pasy drogowe, czy może o pasy ruchu?
2. Str. 52 – Autor pisze „Analizując oba przejazdy, wyraźnie dostrzegalne są większe możliwości skrętu w prawo oraz jazdy na wprost dla pojazdu nienormatywnego, w przypadku ronda dwugeometrycznego”. Jak Doktorant rozumie pojęcie ronda dwugeometrycznego?
3. Str. 101 – 105 – Dlaczego w podrozdziale 5.2.2. Autor nie odwzorowuje charakterystyk innych obiektów infrastruktury punktowej niż ronda, mimo iż na str. 98 pisze „Ponadto z punktu widzenia różnorodności ograniczeń dla pojazdów nienormatywnych określono konieczność wyróżnienia rodzajów skrzyżowań drogowych”? Ograniczenia w ruchu dla pojazdów przewożących ładunki nienormatywne występują także na innych typach skrzyżowań niż ronda.
4. Str. 106 – Jak Autor wyznaczył wartości prędkości dla zdefiniowanych typów połączeń, z jakimi pojazd nienormatywny będzie poruszał się w przypadku braku występowania zjawiska kongestii na określonych klasach technicznych dróg?
5. Str. 107 – Doktorant pisze „przy czym wielkości $t_{min}(v, v') \in T$ ma interpretację minimalnego czasu przejazdu dla połączenia (v, v') uwzględniając przepisy ruchu drogowego, właściwości pojazdu oraz ładunku”. Proszę o wyjaśnienie jak doktorant rozumie właściwości pojazdu oraz ładunku?
6. Str. 107 – Wzór (5.8) wyraża nazwany przez Doktoranta „współczynnik natężenia ruchu”. Przy czym w liczniku tego wyrażenia występuje t_r – średni czas przejazdu w danej chwili pomiędzy węzłem v a węzłem v' , zaś w mianowniku t_{min} – minimalny czas przejazdu pomiędzy tymi węzłami. Dlaczego Autor nazwał tą wielkość współczynnikiem natężenia ruchu skoro zależność ta ma interpretację wartości wydłużenia czasu przejazdu danego odcinka do czasu, w którym można odcinek przejechać najszybciej?

7. Str. 131 – Definiując kryterium bezpieczeństwa Doktorant uwzględnił współczynnik natężenia ruchu, intensywność opadów atmosferycznych, długość odcinka dla połączenia transportowego (v, v') , występowanie przemieszczania pojazdu st przez połączenie (v, v') . Dlaczego zdecydował się nazwać je „bezpieczeństwo”?
8. Str. 133 – W punkcie 3 opisu metody wyznaczania trasy przejazdu pojazdu nienormatywnego następuje zainicjowanie wybranego algorytmu przeszukiwania. Według jakich kryteriów wybierany jest algorytm przeszukiwania i czy użytkownik ma wpływ na ten wybór?
9. Str. 133 – Opisując algorytm metody wyznaczania trasy przejazdu pojazdu nienormatywnego Doktorant w punkcie 7 informuje, że należy wybrać kryterium, według którego dokonany zostanie wybór optymalnej trasy i zostanie ono zastosowane dla znalezionych tras przejazdu. Czy została opracowana instrukcja wyboru kryterium, według którego dokonany zostanie wybór optymalnej trasy?
10. Str. 135 – W punkcie 4 algorytmu sprawdzania poprawności trasy należy dokonać dla każdego węzła $v \in S_0$ sprawdzenia przejezdności pojazdu przez rondo? Czy algorytm sprawdzania poprawności trasy uwzględnia również badanie przejezdności dla innych skrzyżowań niż rondo? Autor pisze o nich na str. 99 rozprawy (zbiór punktów S_N).
11. Str. 153 – Opisując funkcjonalności opracowanego przez siebie oprogramowania Autor pisze, że lista spełniających wymagania tras zawiera podstawowe dane o trasie przejazdu, do których zalicza:
 - „współczynnik pogodowy (*weather index*) – będący częścią funkcji kryterium bezpieczeństwa, będący średnią ważoną uwzględniającą długość odcinków poszczególnych dróg (łuków) oraz ilość opadów na nich występujących;
 - współczynnik bezpieczeństwa (*safety index*) – będący częścią funkcji kryterium bezpieczeństwa, uwzględniający zarówno natężenie ruchu drogowego, jak i ilość opadów atmosferycznych na trasie”.

Natomiast na str. 131 definiując funkcję kryterium bezpieczeństwa uwzględnił czynniki, które przedstawiłem w punkcie 7 (powyżej). Jest wśród nich nazywany przez Autora „parametr intensywności opadów atmosferycznych ra ”. Proszę o wyjaśnienie jaki jest związek pomiędzy parametrem intensywności opadów atmosferycznych ra , a współczynnikiem pogodowym i współczynnikiem bezpieczeństwa.
12. Str. 200 – W podsumowaniu, opisując kierunki dalszych badań, Autor nie rozważa możliwości rozwijania metody pod kątem uwzględnienia przy wyborze docelowego rozwiązania wielu kryteriów jednocześnie. Czy Doktorant nie widzi potrzeby rozwiązania problemu badawczego w ujęciu wielokryterialnym?

6. Ocena rozprawy i wnioski końcowe

Autor dysertacji wykazał się bardzo dobrą znajomością podejmowanej w rozprawie problematyki. Dowiódł, że umiejętnie przeprowadził badania eksperymentalne, a także potrafi

formułować modele matematyczne i opracowywać programy komputerowe. Mimo przedstawionych uwag krytycznych, recenzowaną rozprawę doktorską Pana mgra inż. Igora BETKIERA oceniam pozytywnie. Uważam, że przedstawiona do recenzji rozprawa została wykonana na bardzo dobrym poziomie merytorycznym. Wyznaczone przez Autora cele rozprawy zostały osiągnięte, a teza udowodniona.

Oceniając całość rozprawy stwierdzam, że stanowi ona oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, który został zdefiniowany na podstawie zdobytego doświadczenia Autora, jako odpowiedzialnego za organizację transportu nienormatywnego w Wojskowej Komendzie Transportu Warszawa. Dlatego w rozprawie można zauważyć spojrzenie Doktoranta na problem zarówno z naukowego, jak i praktycznego punktu widzenia. Autorowi bardzo zależało na tym, aby wyniki jego analiz prowadzonych w pracy były powszechnie wykorzystane. Stąd opracowana przez niego aplikacja internetowa jest dostępna z poziomu przeglądarki.

Należy zaakcentować, że Autor wykazał się zdolnością analitycznego ujęcia rozpatrywanego problemu oraz dojrzałością badawczą w samodzielnym prowadzeniu badań naukowych. Problem badawczy został poprawnie sformułowany, odwzorowany z wykorzystaniem właściwie dobranego aparatu matematycznego i rozwiązany przy użyciu autorskiej metody oraz opracowanego na te potrzeby narzędzia informatycznego.

Przedstawiona w rozprawie metoda jest oryginalnym dorobkiem naukowym Doktoranta i może być wykorzystana w praktyce, co zostało udowodnione przykładami zaprezentowanymi w rozdziale szóstym. Praca wnosi istotny wkład w rozwój dyscypliny naukowej Inżynieria Lądowa i Transport w zakresie planowania przemieszczenia ładunków nienormatywnych.

Konkludując, stwierdzam, że rozprawa doktorska mgra inż. Igora BETKIERA pt. „Metoda komputerowego wspomaganie procesu planowania przemieszczania pojazdów nienormatywnych” spełnia wymogi formalne stawiane pracom doktorskim w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie naukowej Inżynieria Lądowa i Transport zawarte w „Ustawie z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” (Dz. U. Nr 65, poz. 595 z późniejszymi zmianami).

Stawiam wniosek o przyjęcie recenzowanej rozprawy przez Radę Naukową Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Warszawskiej i dopuszczenie jej Autora do publicznej obrony.

Mając na uwadze wysoką wartość merytoryczną pracy informuję, że jeśli Doktorant odpowie poprawnie na zadane mu pytania, obrona przebiegnie pomyślnie oraz spełni stosowne wymagania zdefiniowane przez Wydział Transportu Politechniki Warszawskiej, wówczas złożę wniosek o wyróżnienie dysertacji.

Aleksander Sobota