

Dr hab. inż. Aleksander Sobota, prof. PŚ.

Katowice, dn. 28.03.2022 r.

Katedra Systemów Transportowych, Inżynierii Ruchu i Logistyki

Wydział Transportu i Inżynierii Lotniczej

Politechnika Śląska

ul. Krasińskiego 8

40-019 Katowice

## RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Jana Hipolita Aleksandrowicza  
pt. „**Modele optymalizacji przydziału taboru  
do linii miejskiego transportu zbiorowego**”

### 1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Podstawę formalną opracowania recenzji stanowi Uchwała Rady Naukowej Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej z dnia 19.01.2022 r. oraz pismo Dziekana Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej, prof. dra hab. inż. Andrzeja Szaraty z dnia 21.01.2022 r.

### 2. Wprowadzenie

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska Pana mgr inż. Jana Hipolita Aleksandrowicza pt. „**Modele optymalizacji przydziału taboru do linii miejskiego transportu zbiorowego**”. Promotorem rozprawy jest prof. dr hab. inż. Wiesław Starowicz, a promotorem pomocniczym dr inż. Daniel Kubek.

Dysertacja składa się z 4 rozdziałów, streszczenia w języku polskim i angielskim, wprowadzenia, podsumowania i wniosków, spisu rysunków, spisu tabel, wykazu ważniejszych oznaczeń oraz spisu literatury. Tekst rozprawy obejmuje 187 stron w tym 15 stron spisu literatury, po 2 strony spisu rysunków i spisu tabel oraz 25 stron załączników. W rozprawie zamieszczono 31 rysunków, 23 tabele, 56 wzorów przy czym nie wszystkie zaprezentowane w pracy zależności są ponumerowane. W zbiorze 221 pozycji literaturowych rozprawy znajduje się 6 publikacji Autora dysertacji, wśród których 3 są autorskie (wszystkie w języku polskim) i 3 współautorskie (jedna w języku angielskim i dwie w języku polskim). Zawarte w pracy rysunki i tabele są należycie opisane i ponumerowane. W streszczeniu w języku polskim i angielskim przedstawiono przedmiot prowadzonych rozważań, a także syntetycznie opisano zakres rozprawy.

Treść rozprawy można podzielić na dwie części. Pierwsza, teoretyczna obejmująca istotę i znaczenie przydziału taboru do linii w miejskim transporcie zbiorowym jako podstawowego

D Z I E K A N A T	
Wydziału Inżynierii Lądowej	
Wpłynęło dnia.....	10.04.2022
L. dz. ....	10.510.1.3.2022
podpis.....	<i>[Podpis]</i>



problemu badawczego, a także studia literaturowe w tym zakresie oraz matematyczne modele optymalizacji przydziału taboru do linii w miejskim transporcie zbiorowym. W części drugiej, praktycznej zaprezentowano komputerową implementację zbudowanych modeli a także testy tych modeli z wykorzystaniem opracowanego programu komputerowego. Ponadto w części tej omówiono wyniki prowadzonych prac badawczych.

### **3. Ocena merytoryczna rozprawy**

#### **3.1 Ogólna charakterystyka rozprawy i ocena jej struktury**

Wprowadzenie rozprawy zaczyna się od przedstawienia uwarunkowań wskazujących na potrzebę podjęcia tematu badawczego. Autor w tej części wskazuje na cztery, jego zdaniem, zasadnicze problemy dotyczące miejskich systemów transportu zbiorowego krótko je charakteryzując. Przedstawia potencjalne rozwiązanie tych problemów wymagające zastosowania wielokryterialnych modeli optymalizacyjnych. Omawia również genezę podjęcia tematu. Opisuje cel i zakres pracy.

Rozdział pierwszy obejmuje opis ogólnych uwarunkowań przydziału taboru do linii w miejskim transporcie zbiorowym. Przedstawione jest klasyczne zagadnienie przydziału w postaci zależności matematycznej. Zawarte są także ogólne informacje dotyczące algorytmów genetycznych i zachłannych, które wykorzystano przy opracowywaniu autorskiego programu komputerowego. Ponadto Doktorant opisał szczegółowo, jego zdaniem, najważniejsze kryteria wpływające na przydział taboru do linii, tj. liczba przewożonych pasażerów, energochłonność taboru i obciążenie środowiskowe.

W drugim rozdziale Autor dokonał przeglądu literatury modeli przydziału taboru do linii w miejskim transporcie zbiorowym. Ponadto wykonał analizę porównawczą tych modeli na podstawie przeprowadzonych studiów literaturowych. Następnie syntetycznie opisał prace naukowe dla wybranych charakterystyk związanych z publicznym transportem miejskim wpływających na proces przydziału taboru do linii, które użył w opracowanych przez siebie modelach wielokryterialnych. Były to prace dotyczące prognozowania popytu na usługi transportowe, wpływu różnych czynników na energochłonność taboru, wpływu czynników zewnętrznych na wielkość emisji szkodliwych substancji. Rozdział ten kończy podsumowanie przeglądu modeli przydziału taboru do linii. Jedną z ważniejszych informacji opisanych w tym rozdziale było przedstawienie definicji pojęcia „przydział taboru”. Układ treści tego rozdziału jest opracowany właściwie. Na uwagę zasługuje również forma prezentacji zebranych informacji dotyczących porównania prac na temat modeli optymalizacji przydziału taboru przedstawiona w tabeli 2.2, która świadczy o skrupulatnym podejściu Doktoranta do tego etapu prowadzenia prac badawczych jak również o jego umiejętności syntetyzowania wiedzy.

Trzeci rozdział obejmuje opisanie opracowanych modeli przydziału taboru. Rozpoczyna się od przedstawienia ogólnych założeń dla modeli przydziału taboru związanych z taborami, prognozowanym popytem na przewozy, typami dni, dla których projektowany jest rozkład jazdy linii, liczbą dostępnego taboru i uwarunkowaniami związanymi z włączeniem się linii do



realizacji zadań przewozowych. Następnie napisano podrozdział poświęcony identyfikacji elementów modeli optymalizacji przydziału taboru. Dalej przedstawione są parametry elementów opracowywanego przez Autora modelu omówione w niefortunnie, zdaniem recenzenta, zatytułowanym podrozdziale 3.3 „Parametryzacja elementów miejskiego systemu transportu zbiorowego”. Dotyczą one cech taboru miejskiego transportu zbiorowego, zadań przewozowych, charakterystyk tras linii i procesu organizacji przydziału taboru. Kolejne treści obejmują omówienie klasycznych elementów budowanych modeli decyzyjnych, tj. definicji zmiennych decyzyjnych, identyfikacji ograniczeń, wyboru kryteriów oceny a także sformułowania modeli. Rozdział ten kończy zestawienie najważniejszych wniosków z przeprowadzonych prac badawczych. Z punktu widzenia czytelności i zawartości rozdziału, zdaniem recenzenta właściwym byłoby:

- przedstawienie założeń ogólnych w jednym podrozdziale (na przykład 3.1) a nie jak to ma miejsce w dwóch 3.1 pt. „Założenia ogólne modeli przydziału taboru” i 3.3.1 pt. „Założenia ogólne”,
- zmiana tytułu podrozdziału 3.3 z „Parametryzacja elementów miejskiego systemu transportu zbiorowego” na Parametry elementów modelu przydziału taboru do linii w miejskim transporcie zbiorowym,
- zmiana tytułu podrozdziału 3.3.2 z „Parametryzacja taboru miejskiego transportu zbiorowego” na Parametry cech taboru miejskiego transportu zbiorowego,
- zmiana tytułu podrozdziału 3.3.4 z „Parametryzacja charakterystyk tras brygad miejskiego transportu zbiorowego” na Parametry charakterystyk tras linii i brygad miejskiego transportu zbiorowego,
- przeniesienie treści najistotniejszych z punktu widzenia rozprawy, obejmujących prezentację opracowanych modeli z podrozdziału na poziomie 2 (obecnie jest to 3.6.2) do podrozdziału na poziomie 1 (na przykład 3.7). Co więcej, obecnie podrozdział 3.6.2 pt. „Modele optymalizacji przydziału taboru” jest elementem podrozdziału 3.6 pt. „Kryteria oceny modeli optymalizacji przydziału taboru” co nie przyczynia się do zapewnienia przejrzystości dysertacji.

Ogólna ocena dla przyjętej przez Doktoranta struktury tego rozdziału jest jednak pozytywna.

Rozdział czwarty ma charakter praktyczny. Dotyczy opisu opracowanego przez Doktoranta programu komputerowego, w którym zaimplementowano przygotowane przez niego modele matematyczne. Rozdział rozpoczyna omówienie architektury programu, projektu baz danych i interfejsu użytkownika. Następnie przedstawiono sposób działania programu, jego strukturę wraz z instruktarzem dla użytkownika i opisem wykorzystywanych dwóch algorytmów obliczeniowych (genetycznego i zachłannego). Ważnym fragmentem tego rozdziału jest omówienie wykonanych przez Autora symulacji dla opracowanych modeli przy użyciu zbudowanego programu komputerowego. Mając na uwadze fakt, że są prowadzone na podstawie danych rzeczywistych dla Krakowa, doktorant traktuje wykonane testy jako potwierdzenie poprawnie zrealizowanej przez siebie pracy badawczej. Rozdział kończą wnioski z przeprowadzonych prac. Układ treści rozdziału czwartego ma klasyczną, poprawną postać.

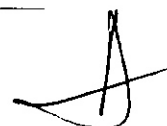
Pracę kończy rozdział pt. „Podsumowanie i wnioski”, w którym Autor przedstawia walory opracowanych przez siebie modeli wskazując na ich wyjątkowość w stosunku do występujących w literaturze. Głównie z uwagi na fakt, iż dane pozyskiwane są automatycznie, co przekłada się na uniwersalność zbudowanego przez niego narzędzia. Zwraca także uwagę na dużą szczegółowość wykorzystywanych danych wejściowych. Podkreśla zrealizowanie celów dysertacji i opisuje kierunki dalszych badań.

Uważam, że przyjęty przez Autora układ pracy w większości jest poprawny. Potwierdza to także fakt równomiernego rozłożenia treści rozprawy w poszczególnych rozdziałach, tj.: rozdział pierwszy napisano na 31 stronach, drugi na 21 stronach, trzeci obejmuje 24 strony a czwarty 33 strony. Dysertacja zawiera także 22 strony załączników. W przeważającej większości treści zawarte w kolejnych rozdziałach odpowiadają tytułom i stanowią logiczne rozwinięcie problematyki podjętej w rozprawie.

### **3.2 Ocena doboru tematu i zakresu pracy doktorskiej**

Na funkcjonowanie publicznego transportu zbiorowego (ptz) w miastach wpływa szereg czynników związanych między innymi z zadaniami realizowanymi przez organizatorów ptz, operatorów, polityką transportową władz lokalnych a także zachowaniami komunikacyjnymi pasażerów. Relacje pomiędzy tymi interesariuszami kształtują zarówno potrzeby jak i oczekiwania formułowane w odniesieniu do publicznego transportu zbiorowego. W rozprawie Autor poprzez rozważanie problematyki przydziału taboru do linii miejskiego transportu zbiorowego dotyka relacji mających wpływ na wszystkich wymienionych interesariuszy, a to w rezultacie ma skutkować ogólną poprawą jakości i efektywności funkcjonowania publicznego transportu miejskiego.

Doktorant uzasadniając wybór tematu wskazuje na cztery zasadnicze grupy problemów związanych z miejskimi systemami transportu publicznego. Dotyczą one zróżnicowania wykorzystania podaży dla linii publicznego transportu miejskiego, kosztów, zanieczyszczenia powietrza oraz parametrów elementów infrastruktury transportowej. Nie można się z nim nie zgodzić, jednak sposób sformułowania tych problemów i uzasadnienia ich znaczenia budzi wątpliwości recenzenta o czym napisano w dalszej części recenzji. Jako narzędzia, które można wykorzystać do rozwiązania wspomnianych problemów Autor wskazuje na modele optymalizacyjne, jedno- lub wielokryterialne poprzez uwzględnienie takich kryteriów jak: potrzeby pasażerów, energochłonność, emisja spalin a także oczekiwania organizatora publicznego transportu zbiorowego. W rezultacie wykorzystanie tych narzędzi ma przełożyć się na spełnienie rosnących wymagań w odniesieniu do publicznego transportu miejskiego przy zachowaniu co najwyżej tego samego poziomu kosztów. Jednym z trzech mechanizmów jest, zdaniem Doktoranta, przydział taboru do linii. W związku z powyższym uważam, że temat podjęty przez Doktoranta w recenzowanej rozprawie jest ważny i aktualny zarówno z punktu widzenia minimalizacji kosztów funkcjonowania publicznego transportu miejskiego, jak i poprawy jego atrakcyjności.





Zakres rozprawy został podzielony na dwie części. Pierwszą, w której opisano genezę tematu pracy, podstawy teoretyczne związane z przydziałem taboru do linii w miejskim transporcie zbiorowym obejmujące m.in. uwarunkowania tego przydziału, metody i narzędzia wykorzystywane do tego procesu a także charakterystykę, najważniejszych jego zdaniem, kryteriów mogących wpływać na przydział. W części tej dokonano przeglądu literaturowego obejmującego przegląd modeli przydziału taboru do linii miejskiego transportu zbiorowego. Najważniejsze treści tej części obejmują prezentację autorskich modeli wraz z opisem ich elementów. W drugiej części rozprawy przedstawiono komputerową implementację zbudowanych modeli. Scharakteryzowano architekturę programu, strukturę baz danych, interfejs użytkownika, proces wczytywania podstawowych i dodatkowych danych wejściowych, proces przygotowania danych do analizy dla wybranego podsystemu miejskiego transportu zbiorowego, wykorzystywane algorytmy oraz testy opracowanych modeli przydziału taboru do linii miejskiego transportu zbiorowego. Testy, o których mowa prowadzono dla trzech zbiorów danych rzeczywistych dla linii obsługiwanych przez Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne S.A. w Krakowie.

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

Doktorant sformułował dwa cele pracy. Pierwszy, naukowy, tj. *„Opracowanie modelu dla wielokryterialnego wspomaganie decyzji w problemie optymalizacji przydziału taboru do obsługi miejskich linii transportu zbiorowego z uwzględnieniem rzeczywistego popytu na usługi przewozowe, zużycia energii i emisji szkodliwych substancji taboru oraz oczekiwań organizatora miejskiego transportu zbiorowego”* oraz drugi, praktyczny, tj. *„Opracowanie efektywnej algorytmicznie metody heurystycznej dla rozwiązywania problemu przydziału taboru do obsługi linii transportu zbiorowego uwzględniającej rzeczywiste uwarunkowania funkcjonowania sieci transportu zbiorowego”*.

Uważam, że wyżej omówione cele pracy odnoszą się do najważniejszych zadań zrealizowanych w rozprawie. W mojej opinii, mając na uwadze treść rozprawy, cel naukowy można było sformułować precyzyjniej, tj. *„Opracowanie modelu dla wielokryterialnego wspomaganie decyzji w problemie optymalizacji przydziału taboru do obsługi miejskich linii transportu zbiorowego z uwzględnieniem napełnienia, zużycia energii do zasilania pojazdów, emisji szkodliwych substancji pochodzących z pojazdów oraz oczekiwań organizatora miejskiego transportu zbiorowego”*.

W pracy nie sformułowano tezy, co w opinii recenzenta powinno być uzupełnione. Teza powinna być przedstawiona na publicznej obronie.

Cel naukowy realizowanej pracy doktorskiej został przez Doktoranta zrealizowany. Cel praktyczny również wydaje się zrealizowany z uwagi na fakt, że opracowano program komputerowy, w którym zaimplementowano opracowane modele przydziału. Natomiast

recenzent prosi Doktoranta o doprecyzowanie (w odniesieniu do sformułowanego celu praktycznego) w jaki sposób udowodniono w rozprawie, że opracowane metody heurystyczne są efektywnie algorytmiczne? Czy Doktorant wykorzystywał miary oceny efektywności algorytmów? Jeśli tak to jakie?

### 3.4 Ocena doboru metod do rozwiązania problemu badawczego

Optymalizacja przydziału taboru do obsługi miejskich linii transportu zbiorowego wymaga zastosowania odpowiednich metod i narzędzi wspomagających ten proces. Do takich metod należy modelowanie matematyczne, które zostało wykorzystane przez Autora. 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 scharakteryzowania założeń ogólnych modeli przydziału taboru prezentując definicje podstawowych terminów wykorzystywanych w rozprawie takich jak: tabor, zadania przewozowe, charakterystyka tras oraz organizacja przydziału taboru do zadań przewozowych. Należy zauważyć, że Doktorant podaje je dopiero na stronie 83 rozprawy, ale używa ich już w wcześniej. Następnie przedstawia ogólne postaci modeli przydziału taboru dla trzech możliwych wariantów struktur systemu transportowego, w których wykorzystuje się pojazdy zasilane: wyłącznie silnikami spalinowymi, wyłącznie silnikami elektrycznymi oraz silnikami spalinowymi i elektrycznymi. Wzory 3.1, 3.2 i 3.3 to matematyczne odwzorowanie tych modeli. Kolejno skoncentrowano się na scharakteryzowaniu elementów modeli, tj. zbiorów: dostępnego taboru, zadań przewozowych, tras i organizacji przydziału taboru. Zgodnie z metodyką formułowania modeli matematycznych w dalszej części rozprawy opisywane są zmienne decyzyjne w formie macierzy binarnych dla poszczególnych modeli zawierające informacje o liczbie eksploatowanych typów taboru oraz o liczbie brygad. Dalej w rozprawie opracowano matematyczne odwzorowanie przyjętych w modelach ograniczeń. W opinii recenzenta właściwie zdefiniowano założenia. Wydaje się jedynie, że ostatnie z nich (przedstawione na stronie 97 rozprawy) nie jest precyzyjnie sformułowane z uwagi na brak informacji o dopuszczalnym poziomie łącznej emisji spalin, akceptowanym przez Autora rozprawy. Kolejno przedstawione są kryteria oceny modeli przydziału taboru, tj. komfort podróży i wykorzystanie przepustowości pojazdów, energochłonność taboru, wielkość emisji szkodliwych substancji (tylko dla systemów transportowych, w których wykorzystywane są pojazdy spalinowe), oczekiwania organizatora miejskiego transportu zbiorowego. Wszystkie kryteria są minimalizowane. Tą część rozprawy kończą sformułowane trzy modele, które Autor nazywa następująco: model dla systemów miejskiego transportu zbiorowego, w którym wykorzystywane są wyłącznie pojazdy spalinowe, model dla systemów miejskiego transportu zbiorowego, w którym wykorzystywane są wyłącznie pojazdy elektryczne oraz model dla systemów miejskiego transportu zbiorowego, w którym wykorzystywane są pojazdy spalinowe i elektryczne.

Implementacji opracowanych modeli dokonano z wykorzystaniem autorskiego oprogramowania zbudowanego przez Doktoranta. Proces ten opisano w rozdziale czwartym dysertacji rozpoczynając od przedstawienia architektury tego programu (schematycznie na rysunku 4.1) oraz struktury baz danych. Krótko opisano także interfejs użytkownika tego programu, który zaprojektowano w oparciu o dostępne w środowisku MATLAB funkcje. Niestety doktorant nie zamieścił rysunku widoku interfejsu w dysertacji. Kolejno przedstawiono sposób działania oprogramowania, które realizację obliczeń wykonuje w pięciu etapach (wczytywanie danych wejściowych – etap I, wczytywanie danych dodatkowych – etap II, przygotowanie danych do optymalizacji – etap III, realizacja procesu obliczeniowego z wykorzystaniem algorytmu genetycznego lub zachłannego – etap IV, prezentacja wyników obliczeń – etap V). Następnie, każdy z nich jest szczegółowo omówiony w rozprawie. Co więcej Autor zamieszcza schematy blokowe poszczególnych faz realizacji procesu obliczeniowego, a to ułatwia zrozumienie idei działania i poprawia czytelność tej części dysertacji. Tą część pracy kończy prezentacja wyników.

Uzyskane rezultaty obliczeń, opisane w czwartym rozdziale, pozwalają wysnuć wniosek, że Doktorant umiejętnie posłużył się aparatem matematycznym, formułowaniem algorytmów obliczeniowych i ich implementacją w autorskim oprogramowaniu. Uważam, że wykorzystanie algorytmu genetycznego i zachłannego w autorskim oprogramowaniu ukazuje na wysokie umiejętności implementacji modeli matematycznych przy rozwiązywaniu problemów badawczych, a to z kolei potwierdza dojrzałość naukową Doktoranta.

### 3.5 Ocena oryginalności i naukowej wartości rozprawy

Opracowanie modeli optymalizacji przydziału taboru do linii miejskiego transportu zbiorowego i ich implementacja świadczy o oryginalności rozprawy. Wykorzystanie metody w praktyce może przyczynić się do zwiększenia efektywności realizacji procesów transportowych obserwowanych w miejskim transporcie zbiorowym a to z kolei przełoży się na zwiększenie atrakcyjności tej formy przemieszczania się przez podróżnych.

Do najistotniejszych osiągnięć naukowych Doktoranta przedstawionych w rozprawie zaliczam:

- uporządkowanie wiedzy z zakresu rozwoju badań nad optymalizacją przydziału taboru do linii w miejskim transporcie zbiorowym a także syntetyczne porównanie prac naukowych na temat modeli optymalizacji przydziału taboru,
- identyfikację i charakterystykę czynników wpływających na optymalizację przydziału taboru do linii w miejskim transporcie zbiorowym,
- sformułowanie matematycznych modeli optymalizacji przydziału taboru do linii miejskiego transportu zbiorowego dla trzech możliwych wariantów struktur systemu transportowego, w których wykorzystuje się pojazdy zasilane: wyłącznie silnikami spalinowymi, wyłącznie silnikami elektrycznymi oraz silnikami spalinowymi i elektrycznymi,

---

implementację opracowanych modeli z wykorzystaniem autorskiego oprogramowania, przeprowadzenie analiz dotyczących zagadnienia przydziału taboru do linii z wykorzystaniem autorskiego oprogramowania i opracowanych modeli. Analizy te wykonano na podstawie rzeczywistych danych i polegały na porównaniu wartości funkcji celu dla trzech możliwych wariantów struktur systemu transportowego (pojazdy zasilane wyłącznie silnikami spalinowymi, wyłącznie silnikami elektrycznymi oraz silnikami spalinowymi i elektrycznymi) obliczonych zarówno dla rzeczywistego przydziału taboru jak i przydziału określonego na podstawie algorytmu genetycznego oraz zachłannego.

### **Uwagi krytyczne**

#### **Uwagi o charakterze redakcyjnym i edycyjnym**

ólne recenzowana rozprawa doktorska jest napisana poprawnym językiem. Nie jest pozbawiona błędów redakcyjnych i edycyjnych. Do najważniejszych zaliczam:

występowanie błędów interpunkcyjnych, co jest widoczne w niekonsekwentnym stosowaniu przecinków w wykazie wszystkich skrótów i oznaczeń (na str. 14 i 15) lub nadmiernym używaniem dwukropków (np. w zdaniu opisanym w pierwszym akapicie na str. 24 lub tym przedstawionym w drugim akapicie na str. 25),

występowanie drobnych błędów ortograficznych, na przykład na stronie tytułowej skrót tytułu magistra napisano z wielkiej litery, a skróty stopni naukowych profesora i doktora z małej,

w wykazie wszystkich oznaczeń na str. 13 w odniesieniu do zmiennej *G* dwukrotnie opisano jej wyjaśnienie, najpierw jako „*graf dwudzielny dla zagadnienia przydziału*” a później jako „*rozpatrywany graf dwudzielny*”,

występowanie błędów składu potocznie nazywanych „literówkami”, na przykład jak dwukrotnie na str. 27 „*Zastosowane literaturze...*” zamiast „*Zastosowane w literaturze...*” oraz „*Czwarte przyjęte kryterium – oczekiwań organizatora...*” zamiast „*Czwarte przyjęte kryterium – oczekiwania organizatora...*”,

nieprecyzyjne używanie sformułowań przez Autora. Na przykład w odniesieniu do nazewnictwa opracowanego przez siebie programu komputerowego. Na str. 27 dysertacji Autor pisze o „*...programie do testowania modeli optymalizacji przydziału taboru.*”, podobnie jak na str. 28, gdzie przeczytać można „*...przedstawiono opracowany program komputerowy do testowania modeli i wyznaczania z ich pomocą przydziału...*”. Tymczasem tytuł podrozdziału 4.1 to „*Projekt programu do optymalizacji przydziału taboru*”, a podrozdziału 4.2 to „*Program komputerowy do wspomaganie decyzji w procesie optymalizacji przydziału taboru*”,

błędy logiczne w formułowaniu zdań, których przykład można znaleźć na str. 41, gdzie napisano „*... Prace polegały na zebraniu i zweryfikowaniu poprawności danych. Przeprowadzono pomiary mające zweryfikować dwie hipotezy dotyczące:*

- dokładności zbieranych danych,
- liczby brakujących wyników."

Według recenzenta badania dokładności zbierania danych obejmują również liczbę brakujących wyników. Dlatego hipotezy, o których pisze Doktorant należy doprecyzować,

7. stosowanie skrótów myślowych, tak jak na str. 40 gdzie Autor pisze „Wyznaczanie dobrego przydziału taboru dla każdego dnia oddzielnie wymaga znajomości aktualnej wiedzy o liczbie przewożonych pasażerów. Pomiary wykonywane klasycznie w sposób ciągły wymagałyby bardzo dużych nakładów finansowych, a czas potrzebny na analizę zebranych danych przekraczałby dostępny czas na wyznaczenie przydziału taboru. Rozwiązaniem tego problemu są automatyczne systemy zliczania pasażerów, w które wyposażone są pojazdy miejskiego transportu zbiorowego”. Recenzent rozumie, że Doktorant powinien użyć sformułowania „Rozwiązaniem tego problemu jest stosowanie automatycznych systemów do zliczania pasażerów...”. Na str.51 także jest można dostrzec skrót myślowy „...więc znając paliwo oraz...”,
8. brak opisu nazw zmiennych, symboli zmiennych i jednostek, w których są wyrażane na wykresach zaprezentowanych na rysunkach: 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8, 1.9, 4.8, 4.9, 4.10. Z kolei na rysunkach 1.10, 1.11, 1.12, 1.13 przedstawiono nazwy zmiennych, lecz bez ich oznaczeń i bez jednostek. W opinii recenzenta nieprecyzyjnie nazwano na tych wykresach zmienne, tj. pomiary ASZP i pomiary klasyczne, bowiem wykresy prezentują zależność liczby zarejestrowanych przez system ASZP wejść (lub wyjść) z pojazdu od liczby zarejestrowanych przez obserwatorów wejść (lub wyjść) z pojazdu,
9. rysunek 1.15 jest nieczytelny podobnie jak niektóre informacje na rys. 4.3, 4.4, 4.6,
10. używanie kolokwializmów, tak jak w zdaniu na str. 24 „...siatce połączeń...”, bądź w zdaniu zamieszczonym w przypisie na str. 87 „...niskopodłogowość...”,
11. powoływanie się na bardzo dużą liczbę pozycji literaturowych w jednym przypisie. Na przykład na str. 65 Autor powołuje się na 15 prac jednocześnie, na str.68 na 25 pozycji a na str. 79 aż na 35 prac,
12. brak legendy dla informacji przedstawionych w tabeli 2.2.

#### 4.2 Uwagi o charakterze merytorycznym

1. Str. 26: Opisując cel rozprawy Doktorant użył sformułowania „... z uwzględnieniem rzeczywistego popytu...”. Według recenzenta bardziej precyzyjnym byłoby użycie sformułowania „... z uwzględnieniem napelnienia...”, ponieważ w dalszej części rozprawy, gdy charakteryzuje elementy modeli optymalizacji przydziału taboru pisze na str. 84 „zidentyfikowanie popytu na usługi przewozowe z wykorzystaniem danych z automatycznego systemu zliczania pasażerów”. Zatem ewidentnie chodzi mu o wielkość określającą wykorzystanie zdolności przewozowej środków transportowych przez pasażerów, czyli napelnienie. Co więcej w załączniku nr 1 w tabelach (od str. 163)

przedstawiających zestawienie brygad autobusowych w roku 2014 i 2018 jedną ze zmiennych nazywa „Maksymalna liczba pasażerów w pojeździe”.

2. Str. 31: Autor pisze „Brygady można charakteryzować na przykład za pomocą:
  - a. łącznej długości trasy,
  - b. liczby pasażerów podróżujących brygadą podczas pomiarów.”

Moim zdaniem brygady można charakteryzować określając liczbę pasażerów nie tylko podczas pomiarów.

3. Str. 33: Doktorant przytacza zależność (wzór 1.1.) klasycznego zagadnienia przydziału jako:

$$f(x_p, z_p) = \sum_{i \in I} \sum_{j \in I} x_{p,i,j} * z_{p,i,j} \rightarrow \min_{x_p} / \max_{x_p}$$

W opinii recenzenta zależność jest zapisana niepoprawnie pod względem matematycznym. Wydaje się, że zamiast  $\max_{x_p}$  ma być  $\max_{z_p}$ .

4. Str. 58: Autor pisze „Przyjęto, że warunki pogodowe, a w szczególności temperatura mają wpływ na emisję szkodliwych substancji przez pojazdy miejskiego transportu zbiorowego. Zależność tą zapisano za pomocą funkcji, dzięki której wyznacza się współczynniki wpływu pogody na wielkość emisji szkodliwych substancji.”. W dalszej części rozdziału 1 recenzent nie znajduje omawianej zależności oraz sposobu wyznaczenia przez Doktoranta tych współczynników. Dopiero w tabeli 2.9 przedstawiono funkcje obrazujące zależność wpływu pogody na emisję szkodliwych substancji, ale recenzent nie dostrzega omawianych współczynników. Na str. 89 przedstawiono parametr prezentujący współczynniki wpływu warunków pogodowych na wielkość emisji szkodliwych substancji dla poszczególnych typów taboru. Niestety nie wiadomo jak je wyliczyć.
5. Str. 61: Przedstawiona przez Doktoranta definicja przydziału taboru w opinii recenzenta jest nieprecyzyjna. Definicja, o której mowa to „Przydział taboru to proces polegający na przypisywaniu typu lub konkretnego pojazdu do realizacji ściśle określonego zadania. Przydział taboru realizowany jest na podstawie danych dotyczących zadania, jakie ma zostać wykonane i parametrów technicznych dostępnego taboru.”. Wydaje się, że to proces polegający na przypisywaniu typu i konkretnego pojazdu do realizacji ściśle określonego zadania. Ponadto na str. 83 Autor wymienia, że proces przydziału taboru do brygad w miejskim transporcie zbiorowym jest determinowany przez m.in. stan infrastruktury czy lokalizację zajezdni (stacji obsługi) o czym nie ma mowy we wspomnianej definicji.
6. Str. 65: Opis zmiennych pod wzorem 2.1 nie koreluje ze zmiennymi wykorzystanymi do zapisu formalnego tego wzoru. Uwaga dotyczy zmiennej  $p$  – liczba wszystkich węzłów połączonych odcinkami przejazdu. Taka sytuacja występuje również przy opisie wzoru 2.2 w odniesieniu do zmiennej  $m$  – liczba wszystkich typów pojazdów miejskiego transportu zbiorowego i  $n$  – liczba wszystkich brygad miejskiego transportu zbiorowego.

7. Str. 74: W tabeli 2.3 przedstawiono przegląd wykorzystywanych metod prognozowania w transporcie. Pominęto jednak grupę metod bazujących na wykorzystaniu makroskopowych modeli transportowych.
8. Str. 99: Przedstawiając wzorami 3.13 i 3.14 ograniczenia, Doktorant powinien, z uwagi na ujęcie w nich zmiennych  $wwpp_{p,b}$  i  $wwpp_{p,b}$ , właściwie je opisać. Zamiast sformułowania „dla pojazdów spalinowych” wydaje się, że powinien użyć „dla pojazdów spalinowych przy określonym typie pogody”. Podobnie jak dla sformułowania „dla pojazdów elektrycznych” wydaje się, że powinien użyć „dla pojazdów elektrycznych przy określonym typie pogody”.
- 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. 23: W pierwszym zdaniu Autor pisze *„Miejskie systemy transportu zbiorowego ze względu na zmieniające się potoki pasażerskie i różnorodność typów taboru borykają się z następującymi problemami:*
- *nierównomiernością wykorzystania miejsc w kursujących pojazdach,*
  - *wzrostem kosztu wykonywania kursów,*
  - *zanieczyszczeniem powietrza emitowanymi spalinami przez środki transportu, (w tym sformułowaniu występuje błąd gramatyczny)*
  - *zmieniającymi się parametry infrastruktury transportowej.” (w tym sformułowaniu występuje błąd gramatyczny).*

Mając powyższe na uwadze proszę o wyjaśnienie, dlaczego zdaniem Autora „wzrost kosztu wykonywania kursów” jest następstwem „zmieniających się potoków pasażerskich i różnorodności typów taboru”? Czy to sformułowanie jest poprawne z punktu widzenia operatora, organizatora a może gminy finansującej przewozy? W opinii recenzenta w ogólnym ujęciu wzrost kosztów wykonywania kursów jest następstwem spadku liczby pasażerów (spadku atrakcyjności linii), bowiem zmniejsza się dochodowość linii. Być może Doktorant przyjął inny punkt widzenia. Recenzenta zastanawia również związek przyczynowo-skutkowy pomiędzy „zmieniającymi się parametrami infrastruktury transportowej” a „zmieniającymi się potokami pasażerskimi i różnorodnością typów taboru” (z wyżej zacytowanego zdania można zbudować następujące *„Miejskie systemy transportu zbiorowego ze względu na zmieniające się potoki pasażerskie i różnorodność typów taboru borykają się z problemem zmieniających się parametrów infrastruktury transportowej.”*). Proszę o wyjaśnienie.

2. Str. 24: Na jakiej podstawie Doktorant formułuje tezę przedstawioną na początku rozprawy w zdaniu zamieszczonym na str. 24, tj. *„Pod kątem przydziału taboru do linii najlepszym rozwiązaniem jest stosowanie wielokryterialnych modeli optymalizacyjnych.”*?

3. Str. 29: Dlaczego Autor uważa, że przewoźnicy przygotowują plany przydziału pisząc „Przewoźnicy przygotowując plany przydziału muszą zwracać uwagę na wiele różnych ograniczeń problemu decyzyjnego...”? W opinii recenzenta, w miejskim transporcie zbiorowym w Polsce, jest to domena organizatora publicznego transportu zbiorowego zwłaszcza w odniesieniu do wyboru typu taboru do obsługi danej linii.
4. Str. 40: W podrozdziale 1.3 Doktorant opisuje sposób i wyniki przeprowadzonych badań, których celem jest udowodnienie zasadności wykorzystania danych pochodzących z automatycznych urządzeń do pomiarów nappełnień dla potrzeb budowy modeli przydziału taboru do linii. Prowadząc analizy Autor jako referencyjne przyjmuje wyniki badań prowadzonych przez obserwatorów (na dość dużej próbie badawczej), które podobnie jak pomiary prowadzone przez automatyczne urządzenia, są objęte błędem. Zatem z logicznego punktu widzenia porównuje dwa zbiory danych, które mogą być obciążone błędem pomiarowym. Jakie jest uzasadnienie merytoryczne dla takiej metodyki prowadzenia omawianych analiz? Czy Doktorant rozpatrywał wykonanie badań na ściśle określonej próbie wejść i wyjść do pojazdów? Wówczas wartość referencyjna nie jest obciążona błędem pomiarowym.
5. Str. 43: Autor pisze „Wykresy przedstawiają w jak istotny sposób były ze sobą skorelowane dane obu typów pomiarów.” Proszę o wyjaśnienie na jakiej podstawie Doktorant stwierdza, że istnieje możliwość określenia korelacji między zmiennymi przedstawionymi na rysunkach 1.4 i 1.5.
6. Str. 55: Doktorant pisze „Wyznaczenie wpływu liczby zatrzymań na energochłonność taboru wymaga określenia prawdopodobieństwa zatrzymania pojazdu (niezwiązanego z postojem na przystankach). Prawdopodobieństwo to wyznacza się na podstawie pomiarów dla każdej brygady przeprowadzonych w różnych warunkach drogowych.”. Jakie pomiary Doktorant ma na myśli?
7. Str. 84: Identyfikując elementy modeli optymalizacji przydziału taboru Autor pisze, że „...niezbędne jest zidentyfikowanie popytu na usługi transportowe z wykorzystaniem danych z automatycznego systemu zliczania pasażerów”. Tymczasem modele przedstawione zależnościami 3.1, 3.2 i 3.3 nie ujmują tego aspektu. Natomiast w podrozdziale 3.3.4 (str. 90) parametryzując charakterystyki tras brygad miejskiego transportu zbiorowego Autor uważa, że trasy brygad można charakteryzować za pomocą popytu. Na jakiej podstawie Doktorant stwierdził, że „Trasy brygad miejskiego transportu zbiorowego można charakteryzować za pomocą ... popytu na usługi transportowe.” zwłaszcza, że sformułowanie popyt jest utożsamiane przez Autora z danymi „zbieranymi w sposób automatyczny na temat liczby pasażerów podróżujących każdą brygadą miejskiego transportu zbiorowego” (str. 91)?
8. Str. 94: Parametryzacja organizacji przydziału taboru do zadań przewozowych zakłada, że organizator publicznego transportu zbiorowego określa oczekiwany przydział taboru (*WPO*) oraz akceptowalny poziom nappełnienia pojazdu (*pk*). Przy określaniu oczekiwań organizator transportu miejskiego, zdaniem Autora, bierze pod uwagę reprezentatywny charakter wybranych odcinków drogowych i torowych. Co Doktorant



rozumie pod pojęciem „*reprezentatywny charakter wybranych odcinków drogowych i torowych*”?

9. Str. 133: Autor pisze, że „*Na podstawie przeglądu literatury do tematu pracy oraz wiedzy praktycznej przyjęto wagi...*”. W jaki sposób wyznaczono wartości przyjętych wag?
10. Str. 143: W ramach dalszych prac Doktorant planuje szersze wykorzystanie danych zbieranych w sposób automatyczny. W jakim zakresie Autor zamierza szerzej wykorzystać omawiane dane?

## 6. Ocena rozprawy i wniosek końcowy

Autor dysertacji wykazał się bardzo dobrą znajomością podejmowanej w rozprawie problematyki. Dowiódł, że umiejętnie przeprowadził studia literaturowe, a także potrafi formułować modele matematyczne i opracowywać programy komputerowe. Mimo przedstawionych uwag krytycznych, recenzowaną rozprawę doktorską Pana mgr inż. Jana Hipolita Aleksandrowicza oceniam pozytywnie. Uważam, że przedstawiona do recenzji rozprawa została wykonana na bardzo dobrym poziomie merytorycznym. Wyznaczone przez Autora cele rozprawy zostały osiągnięte. W rozprawie nie sformułowano tezy.

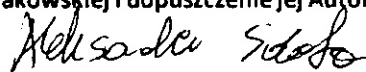
Oceniając całość rozprawy stwierdzam, że stanowi ona oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, który został zdefiniowany właściwie. Czytając rozprawę można zauważyć duże zainteresowanie Doktoranta problematyką optymalizacji w publicznym transporcie zbiorowym oraz programowaniem komputerowym.

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 a opracowane modele matematyczne sprawdzone przy użyciu autorskiego programu komputerowego.

Przedstawiona w rozprawie metoda jest oryginalnym dorobkiem naukowym Doktoranta i może być wykorzystana w praktyce. Praca wnosi istotny wkład w rozwój dyscypliny naukowej Inżynieria Lądowa i Transport w zakresie optymalizacji procesów transportowych w publicznym transporcie zbiorowym.

Konkludując, stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Jana Hipolita Aleksandrowicza pt. „*Modele optymalizacji przydziału taboru do linii miejskiego transportu zbiorowego*” 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 doktorskiej przez Radę Naukową Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej i dopuszczenie jej Autora do publicznej obrony.**



dr hab. inż. Aleksander Sobota, prof. PŚ