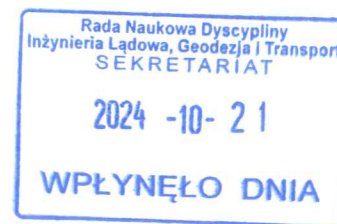


dr hab. inż. **Piotr Sawicki**, prof. PP
Politechnika Poznańska
Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu
Zakład Systemów Transportowych
piotr.sawicki@put.poznan.pl

Poznań, 18.10.2024 r.



RECENZJA

rozprawy doktorskiej **mgr inż. Katarzyny Józwiak** pt. *Metoda wspomagania doboru pojazdów do zadań transportowych*

Podstawa opracowania recenzji: 1) Uchwała nr 995/2024 Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport z dn. 02.07.2024 r. w sprawie powołania komisji doktorskiej w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora Pani mgr inż. Katarzynie Józwiak, 2) Pismo nr WTBD.521.DR.116.2024 Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport, zlecające wykonanie recenzji, 3) Ustawa z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, z późniejszymi zmianami, Dz.U. 2003, Nr 65, poz. 595.

1. OGÓLNA OCENA ROZPRAWY

1.1. Syntetyczna charakterystyka recenzowanej rozprawy

Tytuł rozprawy doktorskiej mgr inż. Katarzyny Józwiak brzmi *Metoda wspomagania doboru pojazdów do zadań transportowych*. Promotorem rozprawy jest dr hab. Jolanta Żak, prof. uczelni, a promotorem pomocniczym dr inż. Tomasz R. Waśniewski. Rozprawa przedstawiona do zaopiniowania zawiera jest na 155 stronach i składa się z:

- siedmiu zasadniczych rozdziałów, z czego dwa są nienumerowane, tj. wstęp oraz podsumowanie i wnioski,
- streszczenia w j. polskim i angielskim,
- spisu bibliograficznego zawierającego 208 pozycji literaturowych,
- spisu 46 rysunków i 10 tabel oraz wykazu 47 oznaczeń i symboli.

1.2. Dobór tematyki i sformułowanie tytułu rozprawy

Przedmiotowa rozprawa doktorska, według deklaracji zawartej w tytule pracy, dotyczy problematyki doboru pojazdów do zadań transportowych przy uwzględnieniu specyficznych okoliczności podejmowania decyzji. Struktura pracy i zawartość jej rozdziałów poświęconych przeglądowi stanu wiedzy wskazuje, że tematyka pracy związana jest zarówno z problemem przydziału pojazdów do zadań – AP, jak i planowania tras – VRP. Biorąc pod uwagę stopień szczegółowości analiz i objętość poświęconą obu wspomnianym problemom decyzyjnym, to przydział pojazdów do zadań transportowych jest najbardziej eksponowany w pracy. Biorąc powyższe pod uwagę, można stwierdzić, że teoretyczna część pracy nie daje jednoznacznego przesądzenia co do tematyki podjętej w pracy. Z kolei część empiryczna, zwłaszcza w zakresie konstrukcji modelu matematycznego, wskazuje, że intencją Autorki jest połączenie obu problemów decyzyjnych, tj. przydziału pojazdów do zadań z jednoczesnym budowaniem tych zadań, tj. konstrukcją tras. Zdecydowanie najbardziej klarowny obraz tematyki pracy jawi się dopiero w części eksperymentalnej, gdzie następuje implementacja metody. Wówczas można dojść do przekonania, że centrum zainteresowania jest ustalenie struktury i liczebności floty pojazdów niezbędnych do realizacji zadań transportowych. Takie zagadnienie w literaturze nazywane jest **problemem kompozycji taboru**, ang.

fleet composition problem – FCP. Jeśli zgodzić się z takim sformułowaniem problemu, wówczas naturalnym i bardziej zrozumiałym staje się włączenie przez Autorkę elementów prognostyki. Problem kompozycji taboru jest bowiem zagadnieniem stricte strategicznym, względnie taktycznym, wymagającym podjęcia decyzji, których konsekwencje firma użytkująca środki transportu ponosi w przyszłości. Niewłaściwie ustalony poziom popytu w analizowanym horyzoncie prognostycznym będzie brzemienny w skutkach albo w postaci utraty zleceń, w przypadku zbyt małej i strukturalnie niedopasowanej floty, albo ponoszenia nieuzasadnionych kosztów stałych, z tytułu niewykorzystywanego potencjału przewozowego.

W przypadku problemu kompozycji taboru fundamentalna literatura w tym zakresie dobrze eksponuje przypadki podejmowania decyzji strategicznych, tj. ustalanie struktury i liczebności taboru, i na gruncie decyzji operacyjnych, tj. detalicznego planowania tras. Szczegółowy przegląd stanu wiedzy w zakresie FCP, aktualny na dzień publikacji, została przedstawiony w pracy Żaka, Redmera i Sawickiego (2008)¹, nawiązując do fundamentalnych prac takich autorów, jak Gould (1969)² oraz Eilon, Watson-Gandy i Christofides (1970)³ z początku lat 70-tych ubiegłego stulecia. Problem FCP nadal jest szeroko analizowany w literaturze; od 2008 roku opublikowano ponad 340 kolejnych prac w tym zakresie, z czego w ostatnim okresie, tj. 2020-2024, ponad 150 pozycji⁴.

Konkludując, problematyka poruszana w pracy jest istotnym zagadnieniem badawczym, żywo dyskutowanym w literaturze w ostatnim czasie. Mankamentem zauważalnym w pracy jest jednak fakt, że nie została ona precyzyjnie wyeksponowana zarówno w tytule, jak i strukturze pracy oraz części empirycznej; brakuje spójności w tym zakresie.

1.3. Identyfikacja luki badawczej, sformułowanie tezy, celu rozprawy i metodyki badawczej

W rozdziale wstępnym Autorka postawiła tezę, iż *po przeanalizowaniu literatury dotyczącej problematyki doboru pojazdów do zadań transportowych można stwierdzić, iż brak jest holistycznego podejścia wyznaczającego dobór pojazdów do zadań (...). Holistyczne podejście uwzględni m.in.:*

- *wyznaczanie prognozy popytu;*
- *wyznaczenie tras jazdy pojazdów;*
- *wyznaczenie typów pojazdów realizujących zadania transportowe;*
- *wyznaczenie liczby pojazdów określonego typu do przydzielonych zadań transportowych;*
- *dobór pojazdów do zadań w ujęciu wielokryterialnym.*

Następnie, w podrozdz. 2.2, została przedstawiona obszerna analiza istniejących prac w zakresie problemu przydziału pojazdów, ogólniej kandydatów, do wykonania zadań. Autorka sformułowała konkluzję, że (...) *nie istnieje metoda doboru pojazdów do zadań transportowych pozwalająca jednocześnie optymalizować:*

- *liczbę potrzebnych pojazdów;*
- *liczbę pojazdów danego typu;*
- *wykorzystanie przestrzeni ładunkowej pojazdów;*
- *długość pokonanej drogi;*
- *czas realizacji zadań transportowych;*
- *trasy jazdy pojazdu;*

z uwzględnieniem prognozy popytu, wykorzystującej sieci neuronowe (...). Na podstawie takiej konkluzji z przeglądu stanu wiedzy Autorka ponownie, względem wprowadzenia do pracy, sformułowała tezę, która zakłada, że (...) *metoda modelowania matematycznego wykorzystująca sieci neuronowe do wyznaczenia prognoz popytu umożliwi racjonalny dobór pojazdów do przyszłych zadań transportowych, w którym jednocześnie wyznaczane są trasy jazdy pojazdów (...).*

Taki układ przyczynowo skutkowy jest właściwy, wskazuje potrzebę głębszego przeanalizowania problemu badawczego i stanowi propozycję badań, które powinny wypełnić lukę badawczą. W mojej ocenie zastrzeżenie co do właściwej identyfikacji luki badawczej budzi fakt, że problem

¹ Żak J., Redmer A., Sawicki P., Multiple objective optimization of the fleet sizing problem for road freight transportation. *Journal of Advanced Transportation*, 2008 (42/4) 379–427.

² Gould, J., The Size and Composition of a Road Transport Fleet. *Operational Research Quarterly*, 1969 (20) 81-92.

³ Eilon, S., Watson-Gandy, C.D.T., Christofides, N. *Distribution Management: Mathematical Modeling and Practical Analysis*. Griffin, London, 1970.

⁴ na podstawie kwerendy *fleet composition problem* wykonanej w multiwyszukiwarce źródeł cyfrowych, dostępnej na platformie librabry.put.poznan.pl.

badawczy nie został właściwie nazwany, a zatem teza została sformułowana na podstawie przeglądu stanu wiedzy osobno w zakresie problemów przydziału pojazdów do zadań i planowania tras. Jak wspomniałem wcześniej, łączenie problematyki AP i VRP w kierunku sformułowania problemu FCP jest spotykane w literaturze, powinno być zatem przedmiotem rozpoznania w ramach niniejszej rozprawy.

Na bazie sformułowanej luki badawczej Autorka przyjęła cel główny pracy i zestaw celów cząstkowych. Za cel główny uznano opracowanie metody wielokryterialnego wspomaganie decyzji w zakresie racjonalnego doboru pojazdów do zadań transportowych. Jako cele cząstkowe Autorka wymienia takie elementy, jak:

- *identyfikacja obszaru badawczego w zakresie transportu drogowego towarów, w tym branży meblarskiej i problematyki wyznaczania tras przejazdów;*
- *systematyzacja wiedzy na temat procesu doboru pojazdów do zadań transportowych oraz zastosowania sieci neuronowych w logistyce;*
- *opracowanie modelu matematycznego doboru pojazdów do zadań uwzględniającego prognozę popytu oraz wszystkie jego istotne elementy ze względu na przedmiot badań tj.: formalizację języka opisu, formalizację kryteriów oceny, zapisu układu ograniczeń uwzględniających aspekty techniczne, ekonomiczno-technologiczne;*
- *opracowanie projektów sieci neuronowej poprzez wykorzystanie danych rzeczywistych do prognozy popytu;*
- *opracowanie modelu symulacyjnego do weryfikacji opracowanego rozwiązania oraz ocenę poprawności wyników.*

Powyższe sformułowanie celu jest właściwie ustrukturyzowane poprzez cel główny i szczegółowe cele cząstkowe. Przychyłałbym się jednak ku stwierdzeniu, że cele cząstkowe są zadaniami badawczymi, gdyż wyraźnie wskazują chronologię i zakres podejmowania określonych działań. Co jednak ważniejsze, zwracam uwagę, że przedstawiony układ cel główny – cele cząstkowe, jest pozbawiony kryterium weryfikacji osiągnięcia tego celu. Można bowiem hipotetycznie przyjąć, że opracowanie nowej metody, która w swojej strukturze będzie zawierała elementy prognozy, bazujące na sztucznych sieciach neuronowych, będzie spełnieniem zakładanego celu. Tymczasem, w postawionej wcześniej tezie wyraźnie wskazywana jest konieczność uzyskania racjonalnego i wielokryterialnego rozwiązania przedmiotowego problemu decyzyjnego i właśnie ten aspekt wymagałby odzwierciedlenia w celu pracy, tj. wskazania podstaw weryfikacji tej racjonalności. Chciałbym również podjąć polemikę ze sformułowaną przez Autorkę rozprawy koncepcją połączenia planowania tras z elementami prognozy. Samo w sobie połączenie dwóch technik wydaje się interesujące, niemniej planowanie pracy pojazdów, niezależnie od tego, czy traktowane jako przydział pojazdów do zadań, czy układanie tras, rozumiane jako klasa problemów VRP, jest działaniem o charakterze operacyjnym, w którym następuje próba jak najlepszego, w danych warunkach, dopasowania podaży (wielkości lub kompozycji taboru) do popytu (zleceń na wykonanie konkretnej pracy). Wprowadzenie elementów prognozowania do przewidywania stanu popytu w przyszłości jest jednak próbą rozwiązywania problemu w warunkach niepewności co do poziomu i intensywności popytu. Pytanie zatem jakie się pojawia dotyczy celu wykonywania takiego zabiegu. W tym miejscu powinna pojawić się refleksja, iż uwzględnienie prognozowania ma na celu wsparcie podejmowania decyzji strategicznych, a więc również wiążących dla stanów przyszłych, a to z kolei powinno nakierować Autorkę na właściwe nazwanie poruszanej problematyki.

Zwracam również uwagę, na fakt, że o ile przegląd stanu wiedzy został wykonany w zakresie problematyki przydziału i doboru pojazdów do zadań transportowych, o tyle w sformułowaniu tezy oraz celu pracy posługuje się pojęciem doboru pojazdów do zadań. Pojęcia przydziału i doboru są bliskoznaczne, ale nie są synonimami. Według mojej oceny przydział jest ściśle związany z decyzją o charakterze operacyjnym, w której kandydatowi zostaje wskazane – przydzielone wykonanie określonego zakresu działań. Dobór jest określeniem procesu decyzyjnego, którego efektem jest wskazanie jednego lub kilku właściwych rozwiązań. W pracy Autorka nie dokonuje wyraźnego rozgraniczenia obu tych pojęć, co rodzi określone wątpliwości formalne.

Odnosząc się do zastosowanej metodyki badawczej stwierdzam, że praca zawiera wyraźnie wyodrębnione dwie części, tj. teoretyczną i empiryczną. W części teoretycznej rozprawy zastosowano bogaty warsztat badawczy, obejmujące takie techniki, jak: dedukcja i indukcja, analiza i synteza systemowa; modelowanie, analiza i ocena literatury, porównania i analogie. Dodatkowo, wspomniabym o technikach klasyfikacji, niezbędnych do systematyzowania wiedzy. W części empirycznej skorzystano zaś z takich technik jak: obserwacje i zbieranie danych, badanie opinii, ale również z zakresu modelowania matematycznego, prowadzenia eksperymentów symulacyjnych i wnioskowania.

Reasumując, uważam, że luka badawcza przedstawiona w rozprawie nie została precyzyjnie sformułowana. Postawiona teza jest zatem obciążona ryzykiem braku rozpoznania właściwego zakresu literatury, a co za tym idzie trudno będzie ostatecznie uzyskać w pełni wiarygodne potwierdzenie słuszności postawionej tezy. Niezależnie od tej krytycznej uwagi w odniesieniu do tezy i celu uważam, że do przeanalizowania i rozwiązania przedmiotowego problemu Autorka zastosowała bogaty warsztat badawczy. Dowodzi to sprawności w posługiwaniu się różnymi technikami i narzędziami badawczymi.

2. OCENA TREŚCI ROZPRAWY

2.1. Ogólna charakterystyka rozprawy i jej konstrukcji

Rozprawa doktorska mgr inż. Katarzyny Jóźwiak jako dzieło naukowe charakteryzuje się zwartą konstrukcją, składa się z 7 kluczowych głównych rozdziałów. Układ poszczególnych rozdziałów rozprawy jest racjonalny. Zawiera on wprowadzenie do tematyki ze sformulowaniem pierwszej tezy, a następnie wyodrębnione zostały dwie kluczowe części pracy, tj. teoretyczna i empiryczna. W części teoretycznej został przedstawiony obszerny przegląd stanu wiedzy w zakresie problematyki przydziału pojazdów, w ogólności kandydatów, do zadań, a w konsekwencji została sformułowana kolejna teza oraz główny cel pracy i jego uszczegółowienie. Formalnie, w pracy nie zdefiniowano zadań badawczych, choć jak wspominałem wcześniej cele cząstkowe noszą znamiona zadań badawczych. W części empirycznej Autorka dokonała formalizacji rozważanego problemu doboru, a następnie przeprowadziła serie eksperymentów obliczeniowych z zastosowaniem opracowanej metodyki. Zaproponowano 2 poligony badawcze; w obu przypadkach, zdaniem Autorki, zastosowanie metodyki zostało zweryfikowane. Ostatecznie praca została podsumowana i zostały sformułowane kierunki dalszych badań.

W ogólności, zaproponowany układ pracy jest przejrzysty. Formalizacja autorskiego modelu matematycznego i jego parametryzacja są w rozprawie przedstawione z wystarczającą dokładnością. Mniejsza przejrzystość zauważalna jest w zakresie implementacji modelu oraz interpretacji uzyskanych wyników. W dalszej części opinii przedstawiłem zestaw szczegółowych uwag zarówno natury formalnej, jak i edytorskiej, jednak pragnę zaznaczyć, że mimo wszystko lektura ocenianej rozprawy była ciekawym doświadczeniem, w szczególności w zakresie przeglądu i systematyzacji wiedzy problemu przydziału oraz w zakresie autorskiego modelu i procedury jego praktycznego zastosowania.

2.2. Dyskusja merytorycznej zawartości rozdziałów rozprawy

2.2.1. Charakterystyka rozdziału 1

Pierwszy rozdział zatytułowany *Identyfikacja obszaru badawczego* zawarty jest na 34 stronach (s. 15-48); zawiera podrozdziały poświęcone: analizie obecnego stanu w transporcie drogowym towarów, organizacji przewozów, problematyce wyznaczania tras przewozów oraz sieciom neuronowym w logistyce.

Podrozdział 1.1 dotyczy genezy podjęcia tematu. Autorka wskazuje na kilka kluczowych trendów rynkowych, takich jak: rosnący popyt na usługi przewozowe w skali globalnej, znaczący udział polskich firm transportowych na europejskim rynku przewozów towarowych, duża liczba przedsiębiorstw przewozowych, w tym dominujący udział małych i średnich podmiotów oraz inne. Autorka słusznie wnioskuje, że zjawiska te łącznie powodują, że zasadne jest podejmowanie tematu doboru pojazdów do zadań transportowych, jako problemu mającego bezpośredni wpływ na opłacalność prowadzonej działalności. Zwracam uwagę, że wśród licznych analiz zamieszczonych w tym podrozdziale, a dotyczących rynku przewozów towarowych, wskazano na dynamikę zmian liczby przedsiębiorstw działających w 2021 roku w branży transportu drogowego (Wyk. 3, s. 18). Nie wskazano jednak okresu referencyjnego, względem którego te zmiany są oceniane. Dodatkowo, o ile znaczący udział polskich przewoźników w europejskim rynku przewozów towarowych potwierdzają liczne obserwacje Autorki, o tyle niezrozumiałe są wyjaśnienia i interpretacja Wyk. 5. Grafika ma być potwierdzeniem odporności rynku transportowego na kryzys gospodarczy z okresu 2008-2009, przy czym zawarte tam informacje dotyczą wyłącznie okresu 2011-2020.

W podrozdziale 1.2 zostały zdefiniowane podstawowe pojęcia związane z tematyką pracy, w tym:

system transportowy i jego struktura, system logistyczny, proces transportowy, proces modelowania, proces przewozowy, proces logistyczny, zadanie transportowe. Autorka dokonała również identyfikacji kluczowych uwarunkowań mających wpływ na przydział wykonawców do zadań. Następnie w podrozdziale 1.3 przedstawiła przegląd literaturowy w zakresie problematyki wyznaczania tras przejazdu. Szczególną uwagę poświęcono przeglądowi sposobów modelowania problemu planowania tras oraz algorytmów ich rozwiązywania. Podrozdział ten ma znaczenie poznawcze, porządkuje podstawowe dla tematyki pracy pojęcia i wskazuje stan zaawansowania prac badawczych w tym obszarze. W takim rozumieniu jest on cennym materiałem. Zwracam jednak uwagę, że wśród definiowanych pojęć zabrakło jasnego postawienia granicy pomiędzy problemami przydziału a planowania tras, lub wskazaniem ich wspólnego mianownika. Dodatkowo, Autorka zbyt głęboko poruszyła problem sprawności i szybkości obliczeniowej wybranych algorytmów rozwiązywania przybliżonych problemów ustalania tras w sytuacji, w której praca dotyczy bardziej sformułowania problemu i jego symulacyjnej weryfikacji, a nie tworzenia efektywnych algorytmów do jego optymalizacji.

Ostatni element rozważań, podrozdział 1.4, poświęcono sieciom neuronowym w logistyce. Autorka scharakteryzowała podstawowe zależności dotyczące zastosowania sieci neuronowych w prognostyce, w szczególności w zakresie transportu i logistyki. Zostały wyodrębnione jej podstawowe odmiany, a także ich kluczowe właściwości.

Podsumowując, rozdział 1 w istocie charakteryzuje obszar badawczy podejmowany w pracy, lecz w znikomym stopniu nakreśla lukę badawczą, której wypełnienie miałyby stać się udziałem Autorki rozprawy. Rozdział stanowi bardziej kompendium wiedzy niż prowadzi do sformułowania wniosków, pozwalających uzasadnić naukowe przesłanki podjęcia celu pracy.

2.2.2. Charakterystyka rozdziału 2

Rozdział drugi zatytułowany *Ogólne sformułowanie problemu doboru pojazdów do zadań transportowych* zawarty jest na 24 stronach (s. 49-72). Został on podzielony na 3 podrozdziały dotyczące w kolejności: wprowadzenia do modelowania, sformułowania problemu doboru pojazdów do zadań transportowych oraz określenia celu i zakresu pracy wraz z postawieniem tezy.

Podrozdział 2.1 poświęcony jest istocie rozwiązywania problemu decyzyjnego, w którym centralnym elementem jest tworzenie modelu matematycznego oraz procesowi jego powstawania i klasyfikacji. Odnosząc się do zawartości Rys. 12, dotyczącego procedury konstruowania modelu, zwracam uwagę na trzy kwestie. Po pierwsze niezręcznością jest nazywanie 7-etapowej procedury konstruowania modelu identycznie jak jeden z jej etapów. Z uwagi na fakt, że procedura kończy się wdrożeniem modelu (etap 7), proponowałbym przyjąć, że mowa jest o procedurze rozwiązywania problemu decyzyjnego. Po drugie, w ramach etapu 3 polegającego na budowie modelu matematycznego, sugerowałbym rozgraniczyć dwa wymiary modelu, tj. wymiar informacji tworzącej model, tj. zmienne decyzyjne i parametry, oraz roli sformułowanych zależności, tj. funkcja kryterium i ograniczenia. Jest to dość fundamentalna charakterystyka każdego modelu matematycznego, o której Autorka sama wspomina w końcowym fragmencie podrozdziału 2.1. Po trzecie, z uwagi na charakter rozdz. 1 zdecydowanie sugerowałbym umieszczenie podrozdz. 2.1 w tamtej strukturze, co czyniłoby go dobrym uzupełnieniem wprowadzenia do tematyki.

Kolejny podrozdział, tj. 2.2, obejmuje bardzo szeroko analizowane sformułowanie problemu doboru pojazdu do zadań transportowych dzieląc modele matematyczne na przypadki: przydziału do jednego lub wielu wykonawców, jedno- i wielokryterialne, liniowe i nieliniowe, z przydziałem jedno- i wielowymiarowym, etc. W tym zakresie zwracam uwagę na kilka kwestii dotyczących meritum rozważań, jak i ich konstrukcji. Po pierwsze, w rozdziale tym przedstawiony i szczegółowo omówiony został przekrój sformułowań matematycznych różnych przypadków problemu przydziału. Opis ten jest bardzo obszerny, przy czym niezrozumiałe jest wielokrotne powtarzanie niektórych zależności w sytuacji, w której każdy z nich ma swój unikalny numer porządkowy na który można się powołać w dalszych fragmentach pracy. Po drugie, występuje sporo zapisów formalnych zawierających błędy, w tym:

- w klasycznym sformułowaniu problemu przydziału (*classic AP*), tj. zależności (1)-(3), brakuje kluczowego ograniczenia dziedziny zmiennych decyzyjnych, tj. $x(i, j) \in \{0; 1\}$;

- w modelu Carona *i in.*⁵ dotyczącego problemu przydziału pracowników ze zdefiniowanymi umiejętnościami pracowników wartość wskazująca indywidualne cechy pracownika $q(i, j)$, por. zależność (5), nie może być kolejną zmienną decyzyjną; jest to klasyczny parametr – umiejętności pracownika nie podlegają optymalizacji;
- odnosząc się do sformułowania funkcji celu (4), wielkość $k(i, j)$ jest parametrem określającym jednostkowy koszt przydziału, a więc jest wielkością znaną, nie kolejną zmienną decyzyjną;
- w modelu przedstawianym jako sformułowanie problem pół-przydziału, opis specyficznych cech takiego podejścia vs. ponownie wskazana klasyczna postać funkcji celu, por. zależność (15), są rozbieżne, tj. brak jest odniesienia do liczby zadań d_j .
- w odniesieniu do zależności (18), por. s. 18, w opisie oznaczeń indeks i oraz j oznaczają wymiennie zadania oraz wykonawców; dodatkowo, wielkość k jednocześnie stanowi indeks zasobu i liczbę zadań do wykonania, przy czym ten ostatni element nie jest odzwierciedlony w zapisie formalnym.

Dodatkowo, Autorka w swoim przeglądzie zidentyfikowała odrębną grupę problemów przydziału, której charakterystyczną cechą jest występowanie wielu kryteriów oceny (por. s. 59-60). Słusznie przytaczane są dwojaki sposoby rozwiązywania tego typu modeli, tj. poprzez sprowadzanie zbioru kryteriów do jednego lub ich sekwencjonowanie. Autorka nie wspomina jednak o trzeciej kategorii, a mianowicie o problemie poszukiwania kompromisu, tj. zastosowania metod wspomagania decyzji. Jednym z przykładów może być praca recenzenta⁶ lub inne w tym obszarze. Wspomnę również, że podział modeli przydziału z uwagi na liczbę kryteriów został zaburzony. Autorka rozprawy najpierw przedstawiła modele jednokryterialne, zaczynając od klasycznych i rozwijając jego odmiany, następnie omówiła wybrane modele wielokryterialne, po czym ponownie wróciła do modeli jednokryterialnych.

W podsumowaniu podrozdziału 2.2 Autorka rozprawy stwierdza, iż (...) *przyjęto zadanie transportowe jako przewóz ładunków z miejsca pobrania do miejsca wyładunku, a opracowana metoda wspomagania doboru pojazdów do zadań transportowych sprowadza się do wyznaczenia zadania w postaci trasy jazdy pomiędzy punktami nadania i punktami odbioru, a następnie przydzielenie do tej trasy pojazdu zgodnie z przyjętymi kryteriami (...)*. Takie założenie jest oczywiście możliwe, zachodzi jednak pytanie, dlaczego w takim przypadku nie zastosowano modelu wyznaczania tras przejazdu z uwzględnieniem pojemności środków transportu, co pozwoliłoby na układania tras z punktu widzenia dostępnych pojazdów o zdefiniowanych cechach pojemnościowych.

W podrozdziale 2.3 Autorka dysertacji syntetycznie podsumowuje obserwacje dokonane na gruncie przeglądu literatury, a ostatecznie formułuje tezę i związany z nią cel pracy – główny i częściowe. Wszystkie te aspekty konstytuujące przedmiotową dysertację zostały przedyskutowane w szerszym kontekście wcześniej, tj. w podrozdz. 1.3. W tym miejscu pragnę zwrócić uwagę, że choć ciąg przyczynowo skutkowy formułowania celu pracy jest poprawny, tj.: wprowadzenie do problematyki – przegląd stanu wiedzy – wskazanie luki badawczej – sformułowanie celu, to samo umiejscowienie tezy i celu pracy w jej środkowej części (s. 68 z 137) jest zabiegiem niefortunnym. Uważam, że ułożenie tych konstatacji we wprowadzeniu, przy zachowaniu powołania się na późniejsze obserwacje z przeglądu stanu wiedzy, byłoby bardziej przejrzyste. Obecnie czytelnik poznaje cel pracy dopiero po zapoznaniu się z jego znaczną częścią.

Reasumując, rozdział 2 stanowi obszerny i detaliczny przegląd stanu wiedzy, co powinno dać mocne podstawy do wnioskowania na temat słabych i mocnych stron istniejących rozwiązań, a następnie do formułowania własnych propozycji badawczych. Taka konstrukcja metodyczna została zastosowana w pracy, zasygnalizowałem jednak wcześniej, że zakres przeglądu wymagałby przeformułowania dla uwiarygodnienia sformułowania tezy i celu pracy.

2.2.3. Charakterystyka rozdziału 3

Rozdział trzeci zatytułowany *Model matematyczny doboru pojazdów do zadań transportowych* zawarty jest na 21 stronach (s. 73-93) i został podzielony na 2 podrozdziały dotyczące: założeń do modelowania oraz modelowania matematycznego problemu doboru pojazdów do zadań transportowych.

⁵ Caron G., Hansen P., Jaumard B., The assignment problem with seniority and job priority constraints, *Operations Research* 47 (3) (1999) 449–454.

⁶ Kopa M., Sawicki P., *Optymalizacja przydziału pojazdów w procesie realizacji pasażerskich przewozów regularnych*. W: J. Feliks, M. Karkula (red.), *Wybrane zagadnienia logistyki stosowanej – Tom II*, Wydawnictwa Akademii Górniczo-Hutniczej, Kraków 2013, s. 243-256.

W podrozdz. 3.1 Autorka syntetycznie przedstawia ogólne założenia i generyczny model procesu doboru pojazdów – MPDP. Uwzględniła w nim takie elementy, jak: struktura procesu, zbiór elementów procesu i jego charakterystyk, strumień zgłoszeń oraz zasady organizacji przewozów. Jest to wprowadzenie do kolejnego podrozdziału, w którym wszystkie te elementy są poddane szczegółowej analizie i modelowaniu.

W podrozdz. 3.2 przedstawiono uszczegółowienie wspomnianych kluczowych elementów MPDP, rozpoczynając od danych wejściowych i parametryzacji elementów. W tym zakresie zaproponowany został zbiór rodzajów środków transportu i rodzajów przewożonych ładunków. Następnie zdefiniowano opis struktury sieci drogowej, w tym punkty nadania i odbioru ładunków oraz węzły sieci drogowej. Elementy te zostały zidentyfikowane na gruncie teorii grafów. Kolejnym scharakteryzowanym elementem jest struktura sieci drogowej oraz środków transportu, w ramach których Autorka skoncentrowała się na wielkościach określających: długość relacji, rodzaj środków transportowych dopuszczonych do poszczególnych luków, oraz prędkość przemieszczania się na tych relacjach. W tym zakresie omówiono również parametry związane z charakterystykami funkcjonalnymi poszczególnych elementów struktury, takimi jak: liczba dostępnych pojazdów, liczba doków za- i rozładunkowych, czas trwania podstawowych operacji za- i rozładunkowych, oraz czas dostępności poszczególnych węzłów. Czwartym z kolei elementem MPDP jest zapotrzebowania na przewozy, które zostało zidentyfikowane i scharakteryzowane z dokładnością do numeru zadania, ujmując jednocześnie takie jego cechy, jak: punkty nadania i odbioru, rodzaj ładunku i wielkość zadania przewozowego. W ramach tego typu charakterystyk uwzględniono również parametry definiujące wzajemne dopasowanie typu pojazdu do rodzaju ładunku. W odniesieniu do piątego elementu MPDP, tj. trybu realizacji i przydziału zadań transportowych Autorka dokonała formalizacji trybów i klasyfikacji sposobu ich realizacji.

W ramach podrozdziału 3.2 Autorka dokonała formalizacji zapisu modelu matematycznego, w perspektywie parametrów, zmiennych decyzyjnych, ograniczeń i funkcji celu. Wyróżniła 5 zmiennych decyzyjnych, z których 4 mają charakter binarny, a 1 przyjmuje wartości z dziedziny liczb rzeczywistych. Zmienne binarne odpowiedzialne są za: 1) przyporządkowanie zadań do pojazdów, 2) konstrukcję trasy, 3) łączenie zadań przewozowych na trasie oraz 4) wybór trybu realizacji zadań transportowych. Ostatnia zmienna, z dziedziny liczb rzeczywistych odnosi się do 5) ustalenia czasu rozpoczęcia realizacji zadania. Zaproponowany model matematyczny uwzględnia 17 ograniczeń, które dotyczą: dziedziny zmiennych decyzyjnych, pojemnościowych i masowych ograniczeń ładowności pojazdów, liczby środków transportu, wyboru trybu i pierwszeństwa realizacji zadań, łącznego czasu i kosztu realizacji zadań, kosztu realizacji zadań z perspektywy nadawcy, możliwości łączenia zadań, nieprzekraczania pojemności i ładowności pojazdu, wyboru drogi oraz rozpoczęcia i zakończenia trasy w tej samej bazie. Zwieńczeniem listy ograniczeń jest zestaw wymagań związanych z nieprzekraczalnością czasu rozpoczęcia i zakończenia pracy nadawców i odbiorców. Ocena rozwiązań odbywa się z wykorzystaniem zbioru 6 kryteriów, wśród których znajdują się: 1) całkowity koszt realizacji zadań, 2) całkowity przebieg pojazdów, 3) czas realizacji pojedynczego zadania, 4) czas realizacji wszystkich zadań, 5) i 6) wykorzystanie przestrzeni ładunkowej, odpowiednio w wymiarze pojemnościowym oraz masowym.

Tak przedstawiony zapis struktury MPDP posiada wszystkie niezbędne elementy jego formalizacji, ale przede wszystkim świadczy o swobodnym posługiwaniu się aparatem matematycznym do opisu badanych zjawisk. Jednakże, w odniesieniu do przedstawionych rozważań zgłaszam kilka uwag, tj.:

- W opisie zależności (53), s. 84, stwierdzono, że jest to zależność określająca wielkość ładunku przyjeżdżającego do *ol*-tego nadawcy. Zakładam, że doszło do błędu edycyjnego i chodzi o wielkość ładunku docierającego do *ol*-tego odbiorcy.
- Zakładam również, że sformułowanie zależności (54), s. 84, powinno przyjąć postać:

$$\forall u \in U \sum_{nl \in NL} Q(nl, u) = \sum_{ol \in NL} Q(ol, u)$$

- Podobnie, w opisie zależności znajdującej się na s. 84, niestety nie posiadającym numeru porządkowego, pada stwierdzenie, że (...) *wielkość* $\pi(s, u)$, $\pi(s, u) \in R^+$ *ma interpretację pojemności pojazdu typu s w jednostkach typu s (...)*; zakładam, że chodzi o jednostki ładunkowe typu *u*.
- Do rozważenia przedstawiam również sugestię, iż ograniczenie wyrażone zależnością (66), a dotycząca zmiennej chwili rozpoczęcia zadania transportowego *tw* zamiast postaci

$$tw(z, nl) > 0,$$

powinno uwzględniać okna czasowego i wskazywać dziedziny liczb rzeczywistych, tj.

$$0 < tw(z, nl) \leq 1440; tw \in R^+.$$

- Zakładam, że prawa strona ograniczenia o nieprzekraczalności czasu rozpoczęcia pracy odbiorcy, wyrażonego zależnością (82), s. 91, zamiast $tp1(nl)$ powinna przyjąć wartość $tp1(ol)$.
- Ostatnia uwaga, przy czym najistotniejsza, dotyczy kompletności zapisu metamatematycznego w odniesieniu do czasu trwania procesów transportowych. Otóż żadne z kryteriów czasowych, tj. ani kryterium pn. globalny czas trwania zadań transportowych, ani czas trwania pojedynczego zadania transportowego, nie odzwierciedlają czasu powrotu środka transportu do magazynu wysyłkowego po dostarczeniu ładunku i zakończeniu operacji rozładunkowych. Ten aspekt procesu transportowego nie jest również uwzględniony w wymiarze kosztowym – patrz kryterium pn. koszt globalny ani w wymiarze odległościowym – patrz kryterium pn. sumaryczny dystans tras. Zwracam na to uwagę z dwóch powodów. Po pierwsze, każde zadanie transportowe kończy się zwyczajowo uwolnieniem alokowanych zasobów, w tym przypadku z chwilą powrotu do magazynu, z którego nastąpi rozpoczęcie kolejnych zadań. Dopiero wówczas środek transportu może być dysponowany do kolejnego zlecenia. Po drugie, trasa powrotna jest eksponowana w części eksperymentalnej pracy, dla analizowanych przypadków zadania 1 i 2 (rozdz. 5). Nie jest natomiast odzwierciedlona w obliczeniu wartości wspomnianych kryteriów.

Podsumowując, uważam, że zarówno struktura MPDP, jak i postać samego modelu matematycznego analizowanego problemu decyzyjnego wskazują, że mówimy o problemie planowania tras z uwzględnieniem: okien czasowych, zróżnicowanej floty pojazdów, niejednorodności ładunków, łączenia zleceń oraz predykcji zleceń transportowych, co czyni go modelem łączonym z zakresu planowania tras – VRP i problemu przydziału – AP. Dodam również, że w przypadku, gdy Autorka uznałaby, że model ma w pełni dotyczyć problemu kompozycji taboru, jak to sugerują eksperymenty obliczeniowe, do zestawu kryteriów konieczne byłoby wprowadzenie zmiennej odpowiedzialnej za typ pojazdu przydzielanego do zlecenia.

2.2.4. Charakterystyka rozdziału 4

Rozdział czwarty zatytułowany *Metoda wspomaganie doboru pojazdów do zadań transportowych* zawarty jest na 20 stronach (s. 94-113) i został podzielony na 4 podrozdziały obejmujące: założenia metodyczne w zakresie wspomaganie doboru pojazdów do zadań, neuronowe prognozowanie popytu, charakterystykę narzędzia FlexSim oraz implementację opracowanej metody wspomaganie decyzji.

Pierwszy podrozdział, tj. 4.1, jest charakterystyką głównych etapów rozwiązywania sformułowanego problemu decyzyjnego. Autorka wyodrębniła 4 kluczowe etapy metody, w tym: 1) pozyskanie danych wejściowych, 2) modelowanie matematyczne doboru pojazdów do zadań, 3) modelowanie symulacyjne oraz 4) weryfikacja metody i analiza otrzymanych wyników.

W podrozdz. 4.2 Autorka skupiła się na neuronowym modelowaniu prognozy popytu. Jako algorytm uczenia wskazała perceptron wielowarstwowy – MLP, a jako algorytmy uczące wskazała metody: gradientów sprzężonych, najszybszego spadku i BFGS.

Podrozdz. 4.3 i 4.4 zostały poświęcone odpowiednio charakterystyce środowiska symulacyjnego – FlexSim, a następnie przedstawiono najważniejsze kroki związane z implementacją metody w środowisku FlexSim, w szczególności w zakresie podstawowej parametryzacji struktury systemu i dostępnych zasobów.

W odniesieniu do rozważań przedstawionych w rozdziale 4 pragnę zwrócić uwagę na aspekty metodyczne. Pierwszy z nich dotyczy prognozowania; jest to jeden z kluczowych elementów pracy, głównie z powodu przyjętych przez Autorkę założeń, tj. realizacji doboru pojazdów do zadań dla przyszłych zleceń. Jednakże, Autorka dokonując wyboru algorytmów neuronowych nie przedstawiła mechanizmu ich wyboru, trudno jest zatem ocenić poprawność założeń jakie były podstawą takiej decyzji. Dodatkowo, o ile w rozdz. 3 został wprowadzony wysoki poziom formalizacji MPDP, o tyle aspekt modelowania neuronowego został sprowadzony wyłącznie do warstwy aplikacyjnej – instruktażu korzystania z aplikacji. Zabieg staje się niewytłumaczalny, a czytelnik staje się zagubiony przechodząc od wysokiego poziomu formalizacji przyjętego dla MPDP do poziomu okien użytkownika w aplikacji dedykowanej do prognozowania i bazującej na rekordach historycznych zleceń transportowych. Drugi aspekt metodyczny związany jest z prezentacją środowiska symulacyjnego, która została sprowadzona do omówienia podstawowych funkcjonalności narzędzia FlexSim w ogólnym znaczeniu, mniej w perspektywie opracowanej metody. Obie te uwagi dają podstawę, aby stwierdzić, że choć rozdział 4 intencjonalnie jest elementem metodycznym – tak wskazuje jego tytuł; to warstwa aplikacyjna tego rozdziału powinna być ulokowana w rozdziale kolejnym. W mojej opinii zdecydowanie bardziej metodycznym podejściem na tym etapie rozważań, tj. na styku pomiędzy modelem matematycznym a uruchomieniem eksperymentów symulacyjnych z jego wykorzystaniem, byłoby

zaprezentowanie pseudokodu, który wskazywałby zarówno zestaw niezbędnych danych wejściowych, logikę prowadzenia symulacji, tj. budowy tras, przydziału pojazdów do tych tras, oraz algorytmikę wyznaczania kluczowych wartości dla pojedynczej trasy. Taki zabieg byłby zdecydowanie korzystniejszy i wyrazisty metodycznie, jednocześnie przy znaczącym skróceniu objętości rozdziału.

2.2.5. Charakterystyka rozdziału 5

Rozdział piąty zatytułowany *Weryfikacja metody doboru pojazdów do zadań transportowych na danych rzeczywistych* zawarty jest na 20 stronach (s. 114-133) i został podzielony na 5 podrozdziałów, obejmujących: charakterystykę przedmiotu badań, weryfikację metody doboru pojazdów do zadań transportowych przeprowadzoną dla dwóch przykładowych zadań oraz podsumowanie weryfikacji metody.

W podrozdz. 5.1 została przedstawiona charakterystyka przedsiębiorstwa, na bazie którego przeprowadzono eksperymenty weryfikacyjne. Zaprezentowany opis wskazuje, że pomimo koncentracji na branży meblarskiej dystrybucja tego typu wyrobów odbywa się z wykorzystaniem klasycznych paletowych ładunków. Dodatkowo, można zauważyć, że do weryfikacji metody wykorzystano 2 zbiory testowe, charakteryzujące się odmiennymi założeniami wstępnymi, tj.:

- zbiór 1 (zadanie 1), w którym łączna masa ładunków wynosi 800 kg, wysyłki realizowane są z jednego magazynu, w którym dostępnych jest 10 pojazdów jednego typu;
- zbiór 2 (zadanie 2), w którym dystrybucji podlega blisko 4 000 kg ładunku wysyłanego z 4 różnych lokalizacji, przy czym w każdej z nich dostępnych jest po 5 pojazdów 3 różnych typów.

W podrozdziałach 5.3 i 5.4 analizowane są wyniki uzyskane przy zastosowaniu obu wspomnianych zbiorów danych. Podrozdział 5.5 podsumowuje uzyskane wyniki.

W odniesieniu do rozdziału 5 zwracam uwagę na następujące niespójności:

- Przy ogólnej charakterystyce zadania transportowego 2, s. 118 tab. 11, Autorka przedstawiła dwa wymiary jednostkowego kosztu realizacji poszczególnych zadań, tj. koszt zmienny zależny od odległości i koszt stały, związany z czasem pracy kierowcy. W modelu matematycznym nie ma takiego rozróżnienia, bowiem zastosowany element kosztowy $k(m, s)$ odnosi się wyłącznie do jednostkowej stawki zależnej od odległości. Jak zatem obie te składowe są uwzględniane w kalkulacjach zgodnie z przyjętym modelem matematycznym?
- Prezentując założenia dotyczące parametryzacji modelu dla zadania 1, por. s. 120, Autorka stwierdza, że „W przypadku zastosowania jednego typu pojazdu (8 tonowe) model określił parametry: (...)”. Zakładam, że doszło do przejęzyczenia, gdyż parametry są wielkościami narzucanymi przez analityka, a wynikiem działania modelu są rezultaty obliczeniowe lub wartości funkcji kryterium; z pewnością jednak nie parametry.
- W prezentacji wyników zastosowania metody do zadania 1 niezrozumiałe jest wykorzystanie pojazdów o ładowności 8 t. Po pierwsze, w tab. 13 mowa jest o dostępności pojazdów 3-krotnie większych, po drugie, model nie zakłada konieczności realizacji zadania w okresie nie dłuższym niż wartość progowa. A zatem zmniejszanie ładowności dostępnych pojazdów powoduje nie tylko zwiększenie kosztów realizacji wszystkich zleceń, ale oddala termin realizacji ostatniego zadania w zbiorze z uwagi na zbyt mały potencjał alokowany do ich obsługi. Takie przesunięcie w czasie powoduje, że kolejne zlecenia również będą znacząco odraczane. Z tego powodu koniecznym byłoby wykonanie analiz symulacyjnych w dłuższym horyzoncie czasu dla zobrazowania wzajemnych interakcji ze zleceniami planowanymi do realizacji w dłuższym horyzoncie czasu.
- Lektura kolejnych rozważań eksperymentalnych i interpretacji uzyskanych wyników sugeruje wyraźnie, że Autorka domyślnie rozwiązuje problem kompozycji taboru, w którym poszukiwana jest odpowiedź na pytanie jakie typy pojazdów powinny być zlokalizowane w każdym magazynie wysyłkowym i ile powinno być dostępnych pojazdów każdego typu. Niestety taki tok rozumowania nie jest jednoznacznie wskazany we wszystkich poprzednich elementach pracy.
- W związku z ostatnim komentarzem, pod rozwagę Autorki zgłaszam również niejednoznaczność w posługiwaniu się pojęciem *współczynnika wykorzystania przestrzeni ładunkowej*. Budując model matematyczny zostały sformułowane dwa kryteria o takim brzmieniu, patrz zależności (88)-(89), przy czym jedno odnosi się do wymiaru pojemności, a drugie do masy ładunku, tj. do ładowności (potocznie tonażu). W prowadzonych eksperymentach Autorka posługuje się pojęciem współczynnika wykorzystania przestrzeni ładunkowej, jednak nie precyzuje w jakim wymiarze. Sądząc po zakresie wartości (0,1-0,5) jest to raczej wskaźnik wykorzystania pojemności, a jego zastosowanie wydawałoby się racjonalne w przypadku branży meblarskiej. Uznając jednak za wiążące informacje przedstawione w podrozdz. 5.1, iż analizowany asortyment meblarski jest umieszczany

w kartonach, a następnie na standardowych pji, należy przypuszczać, że krytycznym wskaźnikiem wykorzystania przestrzeni ładunkowej będzie wskaźnik dotyczący masy wyrobów i ładowności pojazdów. Podejrzewam, że relatywnie niski wskaźnik wykorzystania pojemności wynika z wyczerpania potencjału ładowności. Niestety zweryfikowanie tego przypuszczenia nie jest możliwe w oparciu o dostępne informacje.

- Odnosząc się do wyniku eksperymentu zrealizowanego w ramach zad. 2, na rys. 40 została przedstawiona zróżnicowana liczebność zaangażowanych pojazdów przy zakładanej strukturze typów pojazdów, tj. 8, 20 i 24 t. Oznacza to, że w eksperymentach zastosowano różne kombinacje taborowe, ale szczegółów tej kompozycji (ile pojazdów jakiego typu) nie ujawniono. Trudno jest zatem precyzyjnie interpretować uzyskane wyniki.
- W podsumowaniu części eksperymentalnej, podrozdz. 5.5, Autorka stwierdziła, że (...) z punktu widzenia każdego kryterium racjonalna liczba pojazdów do realizacji zadania transportowego była inna. Jest to potwierdzenie, iż na dobór pojazdów do zadań wpływa wiele czynników i nie ma „najlepszej” liczby pojazdów, która będzie najbardziej korzystna z punktu widzenia oceny tych i innych parametrów/kryteriów. Przeprowadzona weryfikacja symulacji potwierdza, iż opracowana metoda, a w tym model symulacyjny, w pożądanym sposób przeprowadza dobór pojazdów do zadań transportowych i wskazuje racjonalne rozwiązanie. Mając na uwadze przyjęte różne kryteria, można stwierdzić, iż opracowana metoda w sposób racjonalny dobiera pojazdy do zadań transportowych (...). Takie rozumowanie przeczy założeniom stawianym przy formułowaniu celu; wówczas bowiem aspekt wielokryterialności problemu doboru był uznawany przez Autorkę za naturalną cechę tego problemu. Dodatkowo, autorka wskazała, że istnieją przynajmniej dwa sposoby radzenia sobie z wielokryterialnością w problemach przydziału; ja dodałem trzeci, bardziej szeroko stosowany, tj. poszukiwanie kompromisu celów (kryteriów oceny). Dlaczego żadne z tych podejść nie zostało zastosowane?

Podsumowując rozdział 5 należy stwierdzić, że z jednej strony rzuca on inne światło na rozważany problem decyzyjny, tj. problem kompozycji taboru, z drugiej jednak zawiera liczne niedopowiedzenia, które nie przysparzają rozprawie walorów typowych dla spójnego opracowania metodycznego.

2.2.6. Charakterystyka rozdziału podsumowania

Rozdział ostatni, nienumerowany, zatytułowany *Podsumowanie i wnioski*, zawarty jest na 4 stronach (s. 134-137) i nie został podzielony na podrozdziały. Autorka dokonała podsumowania cech opracowanej metody oraz odniosła się do postawionej tezy oraz zakładanego celu dysertacji. W odniesieniu do podsumowania poniżej przedstawiłem swoje uwagi i dyskusję opinii zaprezentowanych w tej części przez Autorkę pracy:

- Nie zgadzam się z tokiem rozumowania wskazującym, iż (...) *implementacja opracowanej metody możliwa była poprzez opracowanie modelu matematycznego, modelu sieci neuronowej w programie komputerowym Statistica i modelu symulacyjnego w programie komputerowym FlexSim, który posłużył również do weryfikacji opracowanej metody. Taki schemat realizacji pracy był konieczny ze względu na brak narzędzi symulacyjnych wykorzystujących zdefiniowany model matematyczny oraz potrzebę weryfikacji otrzymanych wyników na podstawie danych rzeczywistych. To było podstawą do stwierdzenia, iż otrzymane wyniki badań symulacyjnych są zgodne z założeniami teoretycznymi, co tym samym potwierdziło poprawność opracowanej metody (...)*. Po pierwsze, istnieją narzędzia symulacyjne, jak na przykład ExtendSim, w pełni otwarte na modelowanie analizowanych procesów, w których kwestia zbudowania modelu symulacyjnego zgodnego z przyjętym modelem matematycznym nie jest limitowana ograniczeniami narzędziowymi. Zatem twierdzenie, że taki tok postępowania wynika z ograniczeń narzędziowych (brak zgodności narzędzia z modelem) nie znajduje uzasadnienia. Po drugie, trudno zgodzić się również z logiką, że otrzymane wyniki symulacyjne są zgodne z założeniami teoretycznymi. W tym zakresie odnoszę się do uwagi poczynionej względem podsumowania eksperymentów, por. pkt. 2.2.5 opinii. Wówczas podjąłem dyskusję o braku odniesienia do aspektu wielokryterialności, który w opinii Autorki był jednym z naturalnych czynników towarzyszących analizowanemu problemowi.
- Podejmując dyskusję cech użytecznych opracowanej metody, zwracam uwagę, że porównanie jedynie czasu trwania obliczeń z wykorzystaniem opracowanej metody vs. manualne układanie planu, jest zbyt upraszczające. Brakuje bowiem w dysertacji odniesienia do wartości kryteriów, które powinny stanowić fundament walidacji. Taką ocenę wyobraziłbym sobie 2-etapowo. W etapie 1 dokonujemy weryfikacji i walidacji modelu symulacyjnego. W tym celu należałoby pominąć fazę prognozyki neuronowej i dokonać symulacji procesów dla wybranego okresu historycznego (dane

stanowią: zbiór zleceń do wykonania, strukturę i wielkość taboru, oraz wytyczone przez specjalistów trasy pojazdów z dobranymi pojazdami). Uzyskany wynik mógłby posłużyć do walidacji modelu symulacyjnego i jego ewentualnej kalibracji. Efektem takiej symulacji powinien być komplet wartości 6 kryteriów oceny. W etapie 2 należałoby przyjąć jedynie zbiór zleceń do wykonania, a wielkość i strukturę taboru oraz wytyczenie tras potraktować jak klasyczne zmienne decyzyjne na podstawie których należałoby wykonać serię symulacji. Efektem tego etapu byłyby ponownie wartości 6 kryteriów dla docelowego rozwiązania. Dopiero takie wyniki dałyby podstawę do wnioskowania o poprawności i zasadności opracowanej metody. Odnoszenie się do wyników prognostycznych bez punktu referencyjnego nie daje podstaw ilościowych takiej weryfikacji.

- Nie mam przekonania, że postawiona teza, iż (...) *metoda modelowania matematycznego wykorzystująca sieci neuronowe do wyznaczenia prognoz popytu umożliwi racjonalny dobór pojazdów do przyszłych zadań transportowych, w którym jednocześnie wyznaczane są trasy jazdy pojazdów (...)* została potwierdzona. O ile prawdziwe jest twierdzenie, co potwierdza literatura, że racjonalny dobór pojazdów możliwy jest poprzez dokładne planowanie tras pojazdów, o tyle wskazywanie zastosowania sieci neuronowych do racjonalnego prognozowania przyszłych zadań transportowych nie zostało w pracy jednoznacznie udowodnione. Uważam, że brak walidacji metody dla danych historycznych nie daje wiarygodnych podstaw do wnioskowania o poprawności decyzji bazujących na prognozach.

3. OCENA STRONY REDAKCYJNEJ ROZPRAWY

3.1. Poprawność edycyjna

Rozprawę doktorską mgr inż. Katarzyny Józwiak pod względem edycyjnym można uznać za pracę przygotowaną starannie, w większości zgodnie z powszechnie stosowanymi regułami edytorskimi. Dzięki temu lektura rozprawy nie przysparzała problemów, które mogłyby istotnie zakłócać zapoznanie się z dorobkiem Autorki. W dalszej części przedstawiłem jednak zestaw uwag natury stylistycznej lub gramatycznej, tj.:

- zamiast "(...) wytwarzają 50 proc. Polskiego PKB (...)", s. 15 w. 19g⁷, powinno być: wytwarzają 50 proc. polskiego PKB; zamiast "(...) przewożą 85 proc. Polskiego eksportu (...)", s. 15 w. 20g, powinno być: przewożą 85 proc. eksportowanego z Polski;
- zamiast "(...) najczęściej jednoosobowych tzw. Mikroprzedsiębiorstw (...)", s. 18, w. 7g, powinno być: najczęściej jednoosobowych tzw. mikroprzedsiębiorstw;
- zamiast "(...) ze względu na szeroką pojętą efektywność (...)", s. 22 w. 2-3d, powinno być: ze względu na szeroko pojętą efektywność;
- zamiast "(...) inne definicja określa (...)", s. 27 w. 9d, powinno być: inna definicja określa;
- zamiast "(...) wpływają m. in. Dostępne trasy (...)", s. 30 w. 14d, powinno być: wpływają m. in. dostępne trasy;
- zamiast "(...) ograniczony innym czasem np. czasem pracy kierowcy czy okna czasowe odbiorców", s. 35 w. 10-11g, powinno być: ograniczony innym czasem np. czasem pracy kierowcy czy oknem czasowym odbiorców;
- zamiast "*Bachauling*", rys. 7 s. 37, powinno być: backhauled lub backhauling;
- zamiast "*Pick and Delivery*", rys. 7 s. 37, powinno być: Pickup and Delivery;
- zamiast "*VPRPDP*", s. 37 w. 3d, powinno być VRPDP;
- w zadaniu "*Rozwiązanie takie, jak AutoMapa (...)*", s. 38 w. 7-9g, brakuje orzeczenia;
- zamiast "(...) implementacją tzw. Kolejki priorytetowej (...)", s. 41 w. 8g, powinno być: implementacją tzw. kolejki priorytetowej;
- zamiast "(...) przedstawiono, iż algorytm Dijkstra symetryczny uzyskuje (...)" s. 41 w. 8-9d, powinno być: symetryczny algorytm Dijkstra uzyskuje;
- zamiast "(...) a tym samym znalezienia najlepszej rozwiązania (...)" s. 41 w. 8d, powinno być:

⁷ licząc od góry strony

- znalezienia najlepszego rozwiązania;
- co oznacza pojęcie "całkowite programy matematyczne", s. 41 w. 4d, czy chodzi o całkowito-liczbowe programowanie matematyczne?
 - zamiast "*Winner take all*", s. 47 w. 5g, powinno być: Winner takes all;
 - zamiast "*Winner take more*" s. 47 w. 6g, powinno być: Winner takes more;
 - zamiast "(...) przez *j-te wykonawcę (...)*" s. 55 w 3d, powinno być: przez *j-tego* wykonawcę;
 - zamiast „*celem (...) jest minimalizacja czasu realizacji wszystkich liczby zadań n przez liczbę wykonawców m (...)*”, s. 57 w. 7-8d, powinno być: realizacji liczby wszystkich zadań *n* przez liczbę wykonawców *m*, lub realizacji *n*-zadań przez *m*-wykonawców;
 - zamiast „*(...) odnalezienie takiego zbioru, dla których największa suma k będzie minimalizowany (...)*”, s. 58 w. 6d, powinno być: odnalezienie takiego zbioru, dla którego największa suma *k* będzie minimalizowana;
 - zamiast „*(...) natomiast mogą wystąpić inne ograniczenie tj. ograniczenia czasowe, budżetowe czy (...)*”, s. 61 w. 13-14d, powinno być: mogą wystąpić inne ograniczenia;
 - zamiast „*(...) należy stworzyć odpowiednia strukturę organizacyjną (...)*”, s. 74 w. 10g, powinno być: należy stworzyć odpowiednią strukturę organizacyjną;
 - zamiast „*(...) Ze względu na potrzebę rozróżnienia różnych typów wierzchołków (...)*”, s. 77 w. 3g, powinno być: ze względu na potrzebę rozróżnienia typów wierzchołków;
 - zamiast „*(...) Druga z nich dotyczy wyniku z uwzględnienia problemu (...)*”, s. 86 w. 11d, powinno być: druga z nich wynika z uwzględnienia;
 - zamiast „*(...) zadane zostało odwzorowanie x_2 , które (...)*”, s. 86 w. 9-10d, powinno być: zadanie zostało odwzorowane w postaci x_2 , które (...);
 - zamiast „*(...) maksymalny koszt wykonania pojedynczego zadania zadań.*”, s. 88 w. 2d, powinno być: maksymalny koszt wykonania pojedynczego zadania;
 - zamiast „*(...) na nieprzekroczenie czasu rozpoczęcia odbiorcy (...)*”, s. 91 w. 10d, powinno być: na nieprzekroczenie czasu rozpoczęcia pracy odbiorcy;
 - zamiast „*(...) realizowane zlecenia, która są największe (...)*”, s. 107 w. 7g, powinno być: zlecenia, które są największe;
 - zamiast „*(...) Tabela 8 przedstawiona przykładowe zestawienie (...)*”, s. 110 w. 4g, powinno być: Tabela 8 przedstawia przykładowe zestawienie;
 - zamiast „*(...) w 1-szej kolejności zlecenia realizowane największe (...)*”, s. 120 w. 3g, powinno być: w 1-szej kolejności realizowane są największe zlecenia;
 - zamiast „*(...) Z punktu widzenia pokonanego dystansu, suma przejechanych kilometrów jest na takim samym poziomie (...)*”, s. 125 w. 4-5d; powinno być: z punktu widzenia przebytego dystansu rozwiązania są na podobnym poziomie.
- Wśród innych usterek natury edycyjnej zwracam uwagę na:
- brak kropek na końcu zdania (np. s. 12 w. 8),
 - wielokrotne znaki spacji (liczne przypadki w całej pracy),
 - ujednolicenie nazewnictwa obiektów graficznych znajdujących się w pracy – zamiast pojęć „rysunek” (np. Rys. 1, s. 15) i „wykres” (np. Wyk. 1 i Wyk. 2, s. 17; Wyk. 3, s. 18 itd.) proponuję wprowadzenie jednego określenia – rysunek;
 - brak legendy do rys. 29 (brakuje oznaczenia wszystkich zastosowanych kolorów);
 - brak powtórzenia numeracji i opisu tablic, których objętość wykracza poza jedną stronę, np. tab. 10 s. 117 i jej kontynuacja na s. 118;
 - problemy z zarządzaniem przestrzenią, co przejawia się niewykorzystanym miejscem głównie na końcu stron (np. s. 44, 53, 112, 122, 127).

3.2. Zastosowanie fachowej terminologii i oznaczeń

Terminologia zastosowana w rozprawie jest dobrana właściwie i wskazuje na dobre posługiwanie się przez Autorkę rozprawy nomenklaturą stosowaną w rozważanej problematyce. Krytycznym elementem jest poruszany w sekcji poświęconej tematyce pracy, aspekt zdefiniowania i właściwego nazwania problemu decyzyjnego, jaki moim zdaniem jest problemem kompozycji taboru.

W sferze stosowania fachowej terminologii i specyficznych oznaczeń pragnę wskazać na jeden aspekt, tj. na konwencję zapisu wzorów matematycznych, w szczególności indeksowania. Jest to aspekt istotny, gdyż w pracy znajduje się ponad 90 ponumerowanych i prawie drugie tyle zaleźności nieponumerowanych. Zdecydowanie brakuje ujednolicenia tego aspektu edycyjnego. Autorka słusznie stosując

w oznaczeniach elementy indeksujące parametry lub zmienne korzysta albo z zapisu indeksów zawartych w nawiasach, albo z indeksów dolnych. Przykładowo, wskazując, że zmienna x , która odnosi się do przydziału i -zadania do j -pracownika zapisana jest w postaci $x(i, j)$ lub x_{ij} . Dla zachowania spójności pracy konieczne byłoby przyjęcie jednolitej konwencji zapisu.

3.3. Spis bibliograficzny i odwołania

W rozprawie zamieszczono zbiorczy spis bibliograficzny znajdujący się w końcowej części pracy; został on uporządkowany w kolejności alfabetycznej i obejmuje 208 pozycji. Spis został przygotowany właściwie, a jedynym drobnym niedomaganiem jest niejednorodność zapisu lokalizacji artykułów zaczerpniętych z czasopism. Sposób podawania takich elementów identyfikacji pracy jak: rok, wolumin, numer, zakres stron, jest stosowany w sposób zróżnicowany.

Spis bibliograficzny obejmuje szeroki zakres prac bezpośrednio lub pośrednio dotyczących tematyki przydziału pojazdów oraz planowania tras. Uznać należy, że zbiór ten zawiera istotne pozycje literaturowe z obu tych zakresów. W bibliografii znajduje się również kilka prac dotyczących połączenia problemów wielkości taboru lub kompozycji taboru z planowaniem tras, w tym [46, 52, 69, 117, 159], co daje zaczątek rozważaniom w zakresie problemu kompozycji taboru.

Bibliografię stanowią prace w większości anglojęzyczne, starsze niż 10 lat (68% pochodzi z okresu sprzed 2014 roku); dowodzi to skoncentrowania na fundamentalnej literaturze zagadnienia, a jak wskazuje w pkt. 1.2 opinii, w ostatnim okresie literatura obfituje w liczne nowe pozycje w tym zakresie. Odwołania do poszczególnych pozycji bibliograficznych zamieszczane w treści pracy zostały przygotowane właściwie, z jedną uwagą, że zabrakło odwołania do ponad 30 prac, w tym następujących pozycji: [2, 5, 11, 28, 38, 46, 52, 56, 65, 67, 69, 70, 77, 82, 90, 94, 95, 102, 105, 108, 117, 127, 133, 141, 148, 163, 164, 167, 189, 191, 194, 195, 201]. Ten aspekt umknął uwadze Autorki.

4. KLUCZOWE OSIĄGNIĘCIA ROZPRAWY

Po zapoznaniu się z dorobkiem Autorki zawartym w opiniowanej rozprawie i w obliczu przedstawionych uwag krytycznych, do najważniejszych osiągnięć rozprawy zaliczam:

- Kompleksowy i usystematyzowany przegląd stanu wiedzy w zakresie problemu przydziału pojazdów do zadań transportowych, rozbudowany o elementy przeglądu z zakresu problemu planowania tras pojazdów.
- Sformalizowanie i opracowanie wielokryterialnego modelu matematycznego problemu kompozycji taboru, pomijając aspekt braku właściwego nazwania rozważanego problemu decyzyjnego.
- Zastosowanie bogatego w różnorodnie techniki i narzędzia warsztatu badawczego, pozwalającego na wieloetapowe i wielowątkowe sformułowanie metody rozwiązania problemu decyzyjnego.
- Właściwie ustrukturyzowany i sklasyfikowany zestaw technik i narzędzi badawczych zastosowanych do realizacji przedmiotu badań.
- Opracowanie wieloetapowej metody badawczej łączącej szereg metod i technik ilościowych, w tym: mieszane programowanie matematyczne, sieci neuronowe i techniki symulacji.
- Komputerowa implementacja opracowanej metody i przeprowadzenie testów obliczeniowych z wykorzystaniem szerokiego spektrum narzędzi, w tym Statistica, FlexSim i arkusze kalkulacyjne.

5. PODSUMOWANIE I WNIOSEK KOŃCOWY

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Katarzyny Józwiak, pt. *Metoda wspomagania doboru pojazdów do zadań transportowych* jest, w oparciu o argumentację zawartą w recenzji, opracowaniem w znacznej części o charakterze naukowym. Autorka biegle posługuje się modelowaniem matematycznym do formalizacji modeli procesów i systemów transportowych. Należy podkreślić, że sformułowane na wstępie pracy zadania badawcze, nazywane przez Autorkę celami szczegółowymi, zostały w większości zrealizowane, a dzięki eksperymentalnej weryfikacji udowodniono również osiągnięcia.

nięcie znacznej części przyjętego głównego celu pracy. Oceniana praca, zgodnie z wymaganiami określonymi w Ustawie⁸ stanowi próbę oryginalnego rozwiązania problemu naukowego i dowodzi posługiwania się wiedzą teoretyczną w jej praktycznym zastosowaniu w dyscyplinie naukowej jaką jest Inżynieria lądowa, geodezja i transport.

Praca została przygotowana na dostatecznym poziomie merytorycznym i dobrym poziomie edycyjnym, a uwagi zawarte w recenzji powinny stanowić dla Autorki poradnik w doskonaleniu jakości i rozwijaniu warsztatu badawczego oraz kształtowaniu dalszej ścieżki naukowej.

Reasumując, uważam, że rozprawa mgr inż. Katarzyny Józwiak pt. *Metoda wspomaganie doboru pojazdów do zadań transportowych w minimalnym stopniu spełnia warunki przewidziane w Ustawie⁸ odpowiedniej dla przedmiotowego postępowania*. Wnoszę o przyjęcie dzieła mgr inż. Katarzyny Józwiak jako rozprawy doktorskiej w dziedzinie nauk inżyniersko-technicznych i dopuszczenie jej do publicznej obrony. Doktorantkę proszę o pisemne odniesienie się do wszystkich krytycznych uwag zawartych w opinii i ich zaadresowanie w swojej prezentacji, podczas obrony.



Piotr Sawicki
/dokument podpisany cyfrowo/

⁸ Ustawa z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, z późniejszymi zmianami, Dz.U. 2003, Nr 65, poz. 595.