

Dr hab. inż. Mariusz Wasiak, prof. PW
Politechnika Warszawska
Wydział Transportu

Recenzja rozprawy doktorskiej
mgra inż. Jacka Kalety
p.t. Modele planowania dostaw autogazu do sieci stacji paliw

1. Uwagi wstępne

Podstawą do wykonania recenzji rozprawy jest pismo Dziekana Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej, Pana dr hab. inż. Andrzeja Szaraty, prof. PK z dn. 24 kwietnia 2017 roku.

Praca będąca przedmiotem recenzji obejmuje:

- 179 stron tekstu zasadniczego zawierającego 80 rysunków i 38 tabel,
- literaturę liczącą 145 pozycji krajowych i zagranicznych, w tym: 5 pozycji internetowych (o numerach od 139 do 145) oraz 6 publikacji współautorskich autora rozprawy,
- wykaz ważniejszych oznaczeń i skrótów, wykaz ważniejszych symboli, jak również spis treści, spis rysunków, spis tabel oraz załączniki.

Promotorem rozprawy jest Prof. dr hab. inż. Wiesław Starowicz.

2. Ocena doboru tematu oraz celu i zakresu rozprawy

Dobór **tematu** rozprawy jest właściwy, a realizacja tematu stanowi przykład poprawnie rozumianych badań stosowanych, choć samo matematyczne ujęcie problemu może pozostawiać pewien niedosyt. Poruszona w pracy problematyka planowania dostaw do stacji LPG w warunkach niepewności popytu i występowania innych czynników losowych jest niezwykle ważna i aktualna. Zagadnienie to jest również wielowątkowe, interdyscyplinarne i złożone.

W pracy przedstawiono autorskie modele planowania dostaw autogazu do stacji paliw zlokalizowanych na danym obszarze oraz zaproponowano procedurę kalibracji tych modeli. Ponadto dla badanego systemu dystrybucji, zidentyfikowano najlepsze wartości parametrów opracowanych modeli. Co cenne metodyka zaproponowana przez mgra inż. Jacka Kaletę została zaimplementowana, jako system informatyczny wspomagający planowanie dystrybucji autogazu w wybranym przedsiębiorstwie. Jak wykazano opracowane modele i system informatyczny pozwalają uzyskać oszczędności w badanym przedsiębiorstwie. Dowiedziono tym samym możliwości stosowania w praktyce metodyki stanowiącej przedmiot recenzowanej pracy. Przyjęte przez Doktoranta postępowanie uważam za właściwe.

Złożoność podjętego w pracy zagadnienia sprawia, że w praktyce do jego rozwiązania stosowane są różne podejścia. Część z nich to niesformalizowane podejścia intuicyjne, których jakość zwykle nie jest wysoka. Inne, sformalizowane podejścia optymalizacyjne, ze względu na złożoność obliczeniową problemu trasowania, pomijając występującą tu losowość, mogą być stosowane wyłącznie do rozwiązywania tych problemów o rozmiarach wielokrotnie mniejszych niż wynika to z potrzeb praktyki. W konsekwencji najlepsze jest tu stosowanie metod heurystycznych, jednak założenia przyjęte przy opracowaniu tych metod

oraz jakość uzyskiwanych rozwiązań sprawiają, że dla wielu praktycznych problemów istnieje potrzeba opracowania nowych metod. Lukę tę dla problemu planowania dostaw autogazu do stacji paliw trafnie zidentyfikował Doktorant.

Stąd też pozytywnie oceniam wybór tematu dokonany przez Doktoranta.

Cel rozprawy przedstawiony w rozdziale 1 został sformułowany następująco „zbudowanie modelu planowania tras pojazdów realizujących dostawy autogazu do sieci stacji paliw w warunkach silnie zmiennego popytu w strategii zarządzania zapasami przez dostawcę (VIM), który pozwala w sposób ekonomicznie efektywny planować dostawy i obniżać koszty”. Cel ten został sformułowany poprawnie i stanowi właściwe nawiązanie do tematu pracy. Z celu rozprawy wynika jej układ i struktura. Odnosząc się do oceny tej części rozprawy uważam, że jej układ i struktura są poprawne i wystarczające dla rozpraw doktorskich, dla osiągnięcia celu rozprawy oraz udowodnienia tez rozprawy doktorskiej.

Rozprawa doktorska została podzielona na **osiem rozdziałów**.

W rozdziale pierwszym Doktorant scharakteryzował obszar badawczy. Przedstawiona tu została geneza pojęcia tematu, ogólna charakterystyka przede wszystkim zagranicznych badań dotyczących podjętego tematu oraz cel i zakres rozprawy, jak również jej tezy naukowe. Rozdział pierwszy stanowi dobrą podstawę do dalszych rozważań zawartych w pracy, choć zawarty w nim przegląd literatury sprawia wrażenie, że ośrodki krajowe nie zajmują się zagadnieniem planowania tras pojazdów i problemami pokrewnymi.

Kolejny, drugi rozdział zawiera szczegółową charakterystykę problemu badawczego. Opisano w nim m.in. istniejące uwarunkowania planowania dostaw autogazu w pewnej sieci stacji paliw, zwracając przy tym szczególną uwagę na występujące w praktyce problemy realizacji tych planów. Znaczna część opisanych problemów wynika ze zmienności popytu oraz z braku możliwości przewidzenia, z odpowiednim wyprzedzeniem, stanów zbiorników u klientów w chwili fizycznej realizacji do nich dostaw. Powoduje to potrzebę dynamicznego planowania tras przewozu. W rozdziale drugim zostały również określone oczekiwane funkcjonalności narzędzia do planowania dostaw autogazu, jednak podany tam wskaźnik efektywności, w mojej opinii, Doktorant zdefiniował niestandardowo. Mianowicie przyjęto tu iloraz przebiegu pojazdu do ilości dostarczonego ładunku. W konsekwencji pisanie tu o potrzebie uzyskania wysokiej efektywności liczonej za pomocą tego wskaźnika może być niepoprawnie interpretowane, bowiem, im wartość tego wskaźnika jest mniejsza tym efektywność mierzona za jego pomocą jest większa. Ponadto zważywszy na fakt, że w dalszej części pracy nie odniesiono się do problemu planowania pracy kierowców, czy też w opracowanych modelach uwzględniono wyłącznie jedną rozlewnię, wydaje się, że zidentyfikowane tu oczekiwane funkcjonalności systemu planowania rozwózki autogazu zostały sformułowane zbyt ambitnie – nie wszystkie zostały zrealizowane w ramach recenzowanej pracy.

Kolejny, trzeci rozdział dotyczy analizy stanu wiedzy w zakresie klasycznych ujęć modelu komiwojażera (TSP), modelu wielu komiwojażerów (mTSP), modelu wyznaczania tras pojazdów (VRP) oraz modelu planowania tras przepływu zapasów (IRP), jak również złożoności obliczeniowej i modyfikacji tych modeli optymalizacyjnych. W rozdziale tym Doktorant odniósł się również do możliwości i zakresu zastosowania tych modeli do rozważanego w dysertacji problemu. Analizując treść tego rozdziału zauważyłem, że w podrozdziale 3.5, który dotyczy problemu wyznaczania tras przepływu zapasów (IRP) jest wiele nieścisłości. Na przykład w interpretacji zmiennych zamiast y_0^t oraz y_i^t powinno być y_0^{kt} oraz y_i^{kt} . Ponadto wyjaśniony został tu symbol x_{ij}^t zaś w sformułowaniu matematycznym używany jest symbol x_{ij}^{kt} . Dodatkowo z zależności (3.53) wynika, że zmienna x_{i0}^{kt} może przyjąć wartość równą np.

2, jednak nigdzie nie zostało to wyjaśnione. Używana jest tu również nigdzie nie wyjaśniona zmienna Q_k (w założeniach podano jedynie, że Q oznacza ładowność dowolnego pojazdu – zatem po co tu indeks k ?). Sprawia to, że zacytowany w pracy model bez merytorycznej poprawy nie może być brany pod uwagę. W modelach opisanych we wcześniejszych podrozdziałach nieścisłości są mniejsze. Brak jest tam jednak jasności co do granic sumowania w zależności (3.5), zaś w zależnościach (3.6) i (3.7) kolejność odniesień do poszczególnych indeksów jest błędna (pod względem matematycznym oraz informatycznym). Tym nie mniej **rozdział trzeci stanowi odpowiednie uzasadnienie dla opracowania autorskich modeli w celu rozwiązania podjętego w dysertacji problemu badawczego.**

W rozdziale czwartym zawarta została charakterystyka wybranych metod rozwiązywania problemów trasowania oraz innych metod wykorzystanych przez Doktoranta. Zamieszczone tu informacje są zwięzłe, przy czym nie zawsze wyczerpują dany problem, jednak wynika to z mnogości opracowanych dotychczas metod oraz z ograniczonej (obecnie już zbyt obszernej) objętości dysertacji. Doktorant w tej części pracy opisał pokrótce zarówno metody dokładne, jak i metody przybliżone oraz odniósł je – moim zdaniem zbyt wcześnie – do zastosowanej przez siebie koncepcji rozwiązania opisanych w kolejnym rozdziale autorskich modeli.

Piąty rozdział rozpoczyna część pracy zawierającą główne oryginalne propozycje opracowane przez Doktoranta dla rozwiązania problemu dystrybucji autogazu. Scharakteryzowany tu został autorski model optymalizacyjny oraz 6 autorskich modeli symulacyjnych generowania rozwiązań początkowych dla problemu optymalizacji tras (poprawa tych rozwiązań jest realizowana z zastosowaniem algorytmów opisanych w literaturze). Rozdział ten rozpoczęto od sformułowania zadania optymalizacyjnego dystrybucji autogazu do stacji paliw z jednej rozlewni, z uwzględnieniem kar za wyczerpanie zapasów. Niestety nie wszystkie parametry użyte w sformułowaniu zostały wcześniej wymienione wśród zmiennych decyzyjnych, czy też danych – dotyczy to symbolu s_i , η , których znaczenie podano dopiero wraz z interpretacją ograniczeń. Ponadto jest tu kilka nieścisłości merytorycznych:

- 1) nie jest prawdą, że w grafie zdefiniowanym na str. 91 jest n wierzchołków (jest ich $n + 1$),
- 2) zbiór A nie może posiadać interpretacji bezpośredniego połączenia jak to napisano na str. 91 – jest to bowiem zbiór takich połączeń,
- 3) nie jest prawdą, że macierz C o elementach c_{ij} można zdefiniować na zbiorze $V = \{0, \dots, n\}$,
- 4) rozważanych jest K a nie k autocystern (s. 91),
- 5) skoro wszystkie autocysterny mają jednakową pojemność równą Q (s. 91) to, z jakich powodów w ograniczeniach modelu używane jest oznaczenie Q^k (wzór (3.15)),
- 6) wymienione wśród danych parametry c_{ij} oraz t_{ij} nie zostały użyte ani w kryterium oceny (5.1), ani w żadnym z ograniczeń (5.2)–(5.22), zatem w jakim celu je tu zdefiniowano?

W kolejnych podrozdziałach rozdziału 5 opisane zostały autorskie modele symulacyjne, które wykorzystano do rozwiązania sformułowanego zadania optymalizacyjnego dla określonych założeń upraszczających. Kolejne z opracowanych modeli maksymalizują wykorzystanie potencjału przewozowego poszczególnych pojazdów oraz minimalizują ryzyko wyczerpania zapasów poprzez dodawanie do wstępnie zdefiniowanych tras nieobowiązkowych stacji paliw: dla których poziom zapasu jest najmniejszy (model M1), do których można najwięcej dostarczyć surowca (model M2), w których w kolejnym dniu może zabraknąć autogazu (model M3.1), w których w dwóch kolejnych dniach może zabraknąć autogazu (model M3.2), w których w trzech kolejnych dniach może zabraknąć autogazu (model M3.3) oraz które mają największy priorytet obsługi ze względu na średnie zużycie autogazu i odchylenie standardowe tego zużycia (model M4). **Koncepcje opracowanych algorytmów oceniam wysoko, zwłaszcza ostatniego z nich, w którym zaproponowane zostało sterowanie dystrybucją autogazu ze względu na bieżące zużycie oraz bieżący stan autocystern.** Doktorant nie

ustrzegł się tu jednak pewnych nieścisłości. Mianowicie wielkość średniego popytu i -tej stacji jest tu oznaczana, inaczej niż w zadaniu optymalizacyjnym, symbolem μ_i (np. zależność (5.23)) lub symbolem d_i (rys. 5.1). Ponadto definicja parametru λ podana na str. 98 nie odpowiada jego opisowi. Nie jest tu również zrozumiały zapis, że zbiór ST^{dod} należy do zbioru pustego (s. 105).

Rozdział 6 zawiera szczegółowy opis przeprowadzonych eksperymentów obliczeniowych zarówno dla modeli zaczerpniętych z literatury, jak i autorskich. W pierwszej jego części badano wpływ zmienności popytu na efektywność dystrybucji autogazu dla trzech kolejnych dni. Następnie rozszerzając te badania o pojemności stosowanych autocystern porównano wskaźniki efektywności uzyskane za pomocą metod dokładnych i przybliżonych. W kolejnej części tego rozdziału porównano opracowaną przez Doktoranta koncepcję połączenia optymalizacji i symulacji dla metody VRP oraz IRP. Biorąc pod uwagę fakt, że opisane tu wyniki badań dla modelu VRP uzyskane dla dnia 1 znacznie odbiegają od wyników dla dni kolejnych ciekawym mogłoby tu być wydłużenie horyzontu oraz pominięcie w analizach porównawczych np. pierwszego okresu. Następnie opisano wyniki eksperymentów wykonanych za pomocą autorskich modeli M1–M4. Eksperymenty te pozwoliły porównać jakość tych modeli pod względem zdefiniowanych wskaźników efektywności. Nie umożliwiło to jednak jednoznacznego wskazania, który z opracowanych modeli jest najlepszy. W konsekwencji w dalszej części rozdziału zawarto badania wrażliwości opracowanych modeli (błędnie nazwane tu ich weryfikacją) na wartości wprowadzonych w nich parametrów. Badania te pozwoliły określić dla poszczególnych miesięcy i rejonów obsługi najlepsze wartości parametrów opracowanych modeli. Jednocześnie Doktorant wykazał, że w przypadku wdrożenia któregośkolwiek z opracowanych modeli uzasadnione jest wcześniejsze przeprowadzenie jego kalibracji przy uwzględnieniu danych rzeczywistych. Choć w części eksperymentalnej brakuje mi porównania wyników uzyskanych z modeli z danymi historycznymi w zakresie używanych przez Doktoranta wskaźników efektywności, to chciałbym podkreślić dużą wartość tej części pracy. Pozostaje jednak pytanie, czemu w przypadku określonych wartości parametrów kalibracyjnych dla niektórych rejonów dystrybucji oraz miesięcy nie udało się uzyskać rozwiązań za pomocą opracowanych algorytmów?

Wdrożenie opracowanych narzędzi w badanym przedsiębiorstwie zostało opisane w rozdziale 7. Jak wynika z jego treści Doktorant na wysokim poziomie opracował kompleksowe narzędzie do planowania dostaw autogazu w badanym przedsiębiorstwie. Choć nie wszystkie elementy uwzględnione w tym narzędziu (czasy rozładunków, czasy otwarcia rozlewni) zostały uwzględnione w samych modelach M1–M4 to dla praktycznego planowania procesu dystrybucji są one konieczne. Należy podkreślić, że opracowany system informatyczny pozwala na planowanie półautomatyczne (wyłącznie optymalizacja kolejności rozładunków) lub automatyczne (dobór obsługiwanych stacji wg modeli M1–M4 i optymalizacja kolejności rozładunków). Co istotne badania wykonane przed i po wdrożeniu opracowanych przez Doktoranta algorytmów jednoznacznie wykazały uzyskany dzięki opracowanym narzędziom wzrost efektywności procesów dystrybucji realizowanych w badanym przedsiębiorstwie oraz w innej firmie, w której również je wdrożono.

We wnioskach Doktorant zawarł szereg teoretycznych i utylitarnych aspektów rozprawy doktorskiej. Podał również główne kierunki dalszych badań. Ponadto przytoczył fakty, które stanowią dowody postawionych w rozprawie tez.

Oceniając zakres pracy należy podkreślić, że jest on w pełni podporządkowany realizacji podjętego tematu. Tym samym, mimo pewnych potknięć, stanowi dobry przykład prezentacji wyników przeprowadzonych badań stosowanych.

3. Ocena tezy naukowej i jej oryginalności

W pracy sformułowane zostały dwie następujące tezy naukowe:

1. „Budowa i zastosowanie algorytmów do planowania tras i dostaw w oparciu o klasyczne modele VRP i IRP z wykorzystaniem heurystycznych metod optymalizacyjnych może pozwolić na istotne zwiększenie efektywności realizowanych procesów przewozowych w przedsiębiorstwie transportowym wykonującym dostawy autogazu do ogólnokrajowej sieci stacji paliw”.
2. „Wykorzystanie w praktyce modelu dopasowanego do zmiennego popytu umożliwi istotne zmniejszenie pracy przewozowej niezbędnej do zrealizowania dostaw przy zapewnieniu wysokiego poziomu dostępności autogazu na stacjach”.

Obie przytoczone tezy są oryginalne oraz, pomijając podane niżej uwagi, zostały sformułowane poprawnie i dowiedzione.

Pierwsza teza badawcza oznacza, że będą opracowane metody heurystyczne optymalizacyjne. Powstaje pytanie czy chodzi tu o metody heurystyczne czy o metody optymalizacyjne, czy też o jedno i drugie. Ponadto sądzę, że ograniczenie rozwiązywanego problemu do ogólnokrajowej sieci stacji paliw, które pewnie wynika z rozwiązywanego w pracy praktycznego problemu nie jest konieczne. Należy przypuszczać, że opracowane narzędzia pozwolą uzyskać podobne efekty także w przypadku np. regionalnej sieci stacji paliw, czy też sieci innych punktów odbioru autogazu. Jednocześnie uważam, że odniesienie się tu do zagadnienia dystrybucji autogazu, ze względu na specyficzne cechy tego ładunku, zmienność popytu i ograniczone pojemności zbiorników stosowanych do jego przechowywania, jest potrzebne i stanowi o oryginalności tej rozprawy.

Odnosząc się do oceny tez należy podkreślić, że podjęty problem badawczy jest niezwykle złożony i wieloaspektowy, stąd zastosowanie do jego rozwiązania metod heurystycznych jest nieuniknione. Złożoność problemu dystrybucji autogazu wynika przede wszystkim z dużej liczby punktów dystrybucji, które trzeba obsłużyć w określone dni, przy czym chwile ich obsługi nie są znane a wynikają m.in. ze zmiennego popytu. Współcześnie plany dystrybucji autogazu w znacznej części opracowywane są metodami eksperckimi, które wspomagane są przeważnie komercyjnymi implementacjami algorytmów problemu VRP. W recenzowanej pracy skupiono się na sformułowaniu deterministycznego zadania optymalizacyjnego dystrybucji autogazu oraz na opracowaniu sześciu algorytmów symulacyjnych jego rozwiązania różniących się heurystycznymi algorytmami dodawania nieobowiązkowych stacji paliw do zaplanowanych wstępnie tras pojazdów. Stąd o oryginalności tej stanowi zastosowanie do rozwiązania podjętego problemu oryginalnych metod heurystycznych dodawania stacji paliw do planu rozwózki autogazu, jak również uwzględnienie w opracowanych modelach zmienności popytu.

Podsumowując, sformułowane w pracy tezy wraz z odniesieniem się w nich do zagadnienia dystrybucji autogazu przy uwzględnieniu zmienności popytu uważam za oryginalne.

4. Ocena rozwiązania zagadnienia i metod stosowanych do jego rozwiązania

Doktorant do rozwiązania zagadnienia planowania dystrybucji autogazu w wybranym obszarze w warunkach niepewności popytu zastosował aparat pojęciowy teorii modelowania oraz wybrane aplikacje komputerowe i język programowania. Na potrzeby rozwiązania podjętego problemu opracował metodykę planowania dystrybucji autogazu, przy czym sformułował

odpowiednie zadanie optymalizacyjne oraz – ze względu na jego złożoność obliczeniową – opracował sześć metod heurystycznych włączania dodatkowych punktów odbioru autogazu do istniejących tras przewozu. Następnie opracował odpowiednie algorytmy obliczeniowe i je zaimplementował, integrując przy tym autorskie modele heurystyczne z modelami poprawy tras VRPcrossover oraz VRPexchange oraz z innymi modelami.

Zarówno zamieszczona w recenzowanej pracy metodologia, jak i opisana na przykładzie wybranego przedsiębiorstwa jej implementacja, mimo kilku nieścisłości, pozwalają sformułować wniosek, że podjęte zagadnienie zostało rozwiązane na odpowiednim poziomie. Podejście Doktoranta wyróżnia umiejętność opracowania wydajnych algorytmów heurystycznych oraz ich zaimplementowania w zaawansowanym narzędziu planistycznym celem racjonalizacji procesów dystrybucyjnych w czasie bliskim rzeczywistemu.

Doktorant, wprowadzając uproszczenia umożliwiające rozwiązanie sformułowanego w rozprawie zadania optymalizacyjnego, dał dowód umiejętności opracowania efektywnych metod obliczeniowych. Natomiast opracowana numeryczna implementacja metodyki została zastosowana w praktyce.

5. Ocena samodzielności rozwiązania zagadnienia

Samodzielność rozwiązania zagadnienia przez Doktoranta nie budzi zastrzeżeń. Doktorant na podstawie analizy potrzeb przedsiębiorstwa oraz stanu wiedzy, zidentyfikował problem badawczy i opracował metodykę jego rozwiązania, w tym sformułował oraz zaimplementował oryginalne modele przydziału obsługiwanych punktów do tras przewozu. Modele te, jak również ich połączenie z istniejącymi algorytmami poprawy tras, stanowią o oryginalności opracowanej metodyki.

Wszystkie opisane w rozprawie osiągnięcia, w tym: model optymalizacyjny, modele symulacyjne M1–M4, parametryzacja modeli M1–M4 oraz ich implementacja w systemie wspomagającym planowanie dystrybucji autogazu, zostały przedstawione jako autorskie.

Przyjęte przez Doktoranta podejście, łączące w jednej metodyce m.in. znane algorytmy poprawy tras z autorskimi algorytmami generowania wstępnych rozwiązań, jak również zastosowanie tej metodyki w praktyce, świadczą o tym, że Doktorant posiada umiejętność samodzielnego rozwiązywania rzeczywistych problemów badawczych.

6. Ocena stopnia wiedzy w zakresie dyscypliny naukowej, której dotyczy rozprawa i innych związanych dyscyplin podstawowych

Przeprowadzona przez Doktoranta analiza całości problematyki badawczej podjętej w rozprawie, przedłożona metodyka oraz umiejętności w zakresie formułowania i rozwiązywania problemów, jak również korzystania z nowoczesnej techniki komputerowej, pozwalają na stwierdzenie o dobrym opanowaniu wiedzy z dziedziny nauk technicznych.

Uważam, że zastosowany aparat modelowania oraz umiejętność systemowej analizy problemów badawczych zasługują na ocenę pozytywną. Podkreślenia wymaga również umiejętność, jaką Doktorant wykazał się w zakresie integracji wiedzy dotyczącej technologii i organizacji transportu autogazu oraz modelowania i optymalizacji. Ponadto systemowe podejście oraz zaimplementowana komputerowo metodologia stanowią właściwe postępowanie ze względu na przyjęte w rozprawie tezy.

Przytoczne fakty pozwalają sformułować również wniosek, że Doktorant nabył umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

7. Ocena umiejętności przedstawiania wyników

Rozprawa ogólnie napisana jest poprawnym językiem, zaś materiał ilustracyjny został dobrany właściwie, choć nie zawsze jest w pełni czytelny. Całość pracy stanowi spójny wywód podporządkowany jej tematowi.

Doktorant nie ustrzegł się pewnych błędów językowych i edytorskich, które choć utrudniają percepcję niektórych fragmentów pracy, to nie zmniejszają naukowej wartości rozprawy jako całości. Do błędów tych zaliczam następujące zwroty: „zbiór łuków reprezentujących odległości” (s. 10), „graf skierowany reprezentujący model” (s. 10), „zapas na rozlewni” (np. s. 10), „zoptymalizowanie i zracjonalizowanie” (s. 11), „stosowane do jego zastosowania” (s. 29), „optymalizacji dodatkowych parametrów” (s. 49) – parametry tam podane nie podlegają optymalizacji, „należy do (...) należących” (s. 76), „**3-optymalne rozwiązania są znacznie lepsze niż 3-optymalne**” (s. 77), „jedną stację” (s. 88), „poszukiwanie rozwiązywania” (s. 88), „realizowanej przez dostawach” (s. 100), „zwiększenie z horyzontu planowania z” (s. 115 i 116), „mniej skuteczne” (s. 118), „**stopień użycia floty**” (s. 120), „**najbardziej optymalnej**” (s. 166), „w ciągu w obu” (s. 169), czy też „**Pożądanie jest również ...**” (np. s. 188). Ponadto personifikowane są tabele i rysunki oraz występują pewne błędy w podziale tekstu na strony (np. s. 33/34, s. 72/73, s. 93/94). Dodatkowo dwie zależności zostały oznaczone tym samym numerem (3.18). Cała praca powinna być napisana w czasie przeszłym, zaś przed skrótem itp. nie powinno być przecinka.

Merytoryczną analizę i ocenę modeli przytoczonych z literatury oraz autorskich utrudniają potknięcia w zakresie spójności oznaczeń i interpretacji symboli, co zostało opisane w drugim punkcie recenzji. Ponadto symbole używane w zależnościach matematycznych powinny być napisane, tak jak w opisie ich interpretacji, pochyłą czcionką (np. s. 93 i 94).

W pracy brak jest streszczenia, co w pewnym stopniu utrudnia szybkie ogólne zapoznanie się z jej zawartością.

Ze względu na rozmiar czcionki algorytmy zamieszczone w rozdziale 5 oraz niektóre rysunki i tabele zawarte w rozdziale 6, jak również załączniki są mało czytelne.

W pracy brak jest strony 146. Po stronie 145 została wydrukowana strona 143 z identyczną treścią jak strona 145.

Spis literatury nie jest kompletny. Brak np. pozycji ujętej w przypisie 45.

Występujące w pracy pojęcia, na ogół, są prawidłowo zdefiniowane oraz konsekwentnie stosowane.

8. Uwagi krytyczne

Ze względu na wspomniane poprzednim punkcie recenzji potknięcia edytorskie pewne elementy pracy nie są w pełni zrozumiałe. Proszę o ustosunkowanie się Doktoranta podczas publicznej obrony do następujących zagadnień:

- 1) We wstępie użyto zwrotu „zoptymalizowanie i zracjonalizowanie” (s. 11). Ponadto w pierwszej tezie pracy użyto sformułowania „heurystycznych metod optymalizacyj-

nych” – podobna myśl jest zawarta również na stronie 107. Mam zatem pytanie czym różni się system zoptymalizowany od zracjonalizowanego oraz od zoptymalizowanego i zracjonalizowanego. Proszę też o wyjaśnienie co to są metody heurystyczne, a co to są metody optymalizacyjne.

- 2) Ze względu na rysunek 3.1 oraz pierwszy akapit rozdziału 3.2 proszę o zajęcie stanowiska czy zagadnienie TSP z oknami czasowymi należy do klasy problemów TSP, czy też do klasy problemów VRP?
- 3) Czy sformułowanie problemu VRP określone równaniami (3.21)–(3.27) nie jest tożsame ze sformułowaniem problemu TSP określonym równaniami (3.12)–(3.18)?
- 4) Zgodnie z wykazem symboli autocysterny mają jednakową pojemność, a koszt przejazdu każdej cysterny danym łukiem może być inny. Z czego to może wynikać i czy uzasadnione jest uwzględnianie tych dwóch rozwiązań w jednym modelu?
- 5) Proszę o podanie fizycznej interpretacji dla sytuacji, w której zmienna x_{ij}^{kt} używana np. w rozdziale 3.5 przyjmuje wartość równą 0, 1 oraz 2.
- 6) Jak nazywa się krawędź w grafie skierowanym oraz czy ujścia potoku ruchu, zwane też celami, często są nazywane spływami (s. 83) – które z tych określeń według doktoranta jest najlepsze i ew. w jakiej sytuacji?
- 7) Jaki jest poziom obsługi z zapasu w przypadku pominięcia odchylenia standardowego popytu oraz w przypadku jego uwzględnienia ze współczynnikiem 1,0?
- 8) Jak jest ogólnie definiowana efektywność oraz czy przyjęte w pracy wskaźniki efektywności są spójne z tą definicją?
- 9) Jak doktorant rozumie pojęcie weryfikacja modelu oraz pojęcie walidacja modelu oraz czy działania te zostały zrealizowane w ramach pracy doktorskiej?
- 10) Czy można wskazać powody braku możliwości uzyskania rozwiązań za pomocą opracowanych algorytmów dla niektórych rejonów dystrybucji oraz miesięcy w przypadku określonych wartości parametrów kalibracyjnych?
- 11) W opracowanych modelach przyjęto podejście, że maksymalizowane jest wypełnienie pojazdów poprzez dołączanie do tras realizowanych w danym dniu klientów, których można równie dobrze obsłużyć w kolejnych dniach (1 lub nawet 3). Czy nie może okazać się lepszym rozwiązaniem pozostawienie danego klienta do obsługi w kolejnym dniu, w sytuacji, gdy przesunięcie go na dzień bieżący zwiększy przebieg pojazdu znacznie bardziej niż jego obsłużenie w dniu kolejnym? Badaniem tego problemu z uwzględnieniem stochastycznego podejścia zajmuje się cytowany przez Doktoranta Prof. Moshe Dror.

9. Ocena końcowa rozprawy

Rozprawa została napisana ze znajomością przedmiotu i nowoczesnych metod rozwiązywania zagadnień oraz zawiera wiele oryginalnych myśli i rozwiązań stanowiących własny dorobek naukowy Doktoranta.

Tezy pracy zostały udokumentowane i potwierdzone wynikami praktycznymi.

Przedłożona metodologia planowania dystrybucji autogazu wraz z jej autorską implementacją komputerową stanowią istotne osiągnięcie Doktoranta w obszarze metod modelowania i narzędzi planowania dystrybucji autogazu w wybranych obszarach. Opisana w rozprawie metodyka może być stosowana w praktyce.

Ponadto mgr inż. Jacek Kaleta posiada wiedzę teoretyczną, zdolności koncepcyjne i umiejętności niezbędne do samodzielnego rozwiązywania naukowych problemów badawczych.

Reasumując stwierdzam, że rozprawa spełnia warunki przewidziane w Ustawie z dnia 14 marca 2003 o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, wraz z jej późn. zmianami (Dz. U. 2003, Nr 65, poz. 595). Stawiam zatem wniosek o przyjęcie opracowania przedstawionego do recenzji – jako rozprawy na stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie transport i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Warszawa, dn. 24.06.2017 r.



dr hab. inż. Mariusz Wasiak, prof. PW