

RECENZJA

pracy doktorskiej mgr. Jacka Kalety
pt. *Modele planowania dostaw autogazu do sieci stacji paliw.*

Podstawa opracowania recenzji: pismo Dziekana Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej, nr L000.520-530/2017, z dnia 24.04.2017r. o powołaniu na recenzenta w przewodzie doktorskim mgr. Jacka Kalety.

1. OGÓLNA OCENA ROZPRAWY

1.1. Syntetyczna charakterystyka recenzowanej rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska składa się z:

- ośmiu zasadniczych rozdziałów,
- wstępu w języku polskim,
- wykazu oznaczeń i skrótów stosowanych w pracy,
- spisu bibliograficznego zawierającego 143 pozycje (w tym 5 stron internetowych), z czego 28% tj. 38 pozycji, stanowią publikacje polskojęzyczne (w tym 3 współautorskie Doktoranta), zaś pozostałe 72%, tj. 100 pozycji, są publikacjami anglojęzycznymi (w tym 3 współautorskie Doktoranta),
- spisu tabel (38 pozycji) i rysunków (80 pozycji),
- siedmiu załączników.

Całość pracy zawarta jest na 207 stronach formatu A4, w tym załączniki dołączone są na dziewięciu nieponumerowanych stronach.

Promotorem rozprawy doktorskiej mgr. Jacka Kalety jest prof. dr hab. inż. Wiesław Starowicz; w rozprawie nie występuje promotor pomocniczy.

1.2. Ocena doboru tematyki

Recenzowana rozprawa dotyczy problematyki planowania tras przewozu autogazu pomiędzy zbiorem magazynów (rozlewni gazu) a zbiorem stacji paliw, rozlokowanych na terenie kraju. Zagadnienie traktowane jest jako połączenie znanych w literaturze dwóch kategorii problemów decyzyjnych, tj. planowania tras przejazdu (ang. *VRP*) oraz planowania tras przepływu zapasu (ang. *IRP*). O ile oba problemy decyzyjne znane są w literaturze od kilku dekad, o tyle pojawiło się wiele ich odmian pozwalających na uwzględnienie specyficznych warunków realizacji funkcji transportowych. W ostatnim czasie powstało szereg prac przeglądowych w zakresie obu problemów decyzyjnych, co dowodzi, że problematyka nadal jest aktualna.

Tematyka rozprawy doktorskiej mgr. Jacka Kalety jest również istotna z praktycznego punktu widzenia. Ważność zagadnienia stanowi pochodną działań podejmowanych przez właścicieli i zarządy

firm transportowych - szerzej logistycznych, w których realizowane procesy stanowią główny lub pomocniczy obszar działania, generując gros kosztów operacyjnych.

1.3. Ocena sformułowania problemu badawczego, celu rozprawy, tez i metodyki badawczej

Problem badawczy sformułowany w rozprawie polega, według jej Autora, na „uzupełnieniu luki badawczej w obszarze powtarzającej się dystrybucji jednorodnego produktu (...) przy użyciu jednorodnej floty pojazdów do wielu odbiorców w danym horyzoncie planowania i w sytuacji silnie zmiennego popytu” (s. 24). Dla tak określonego problemu Autor sformułował cel pracy i dwie tezy badawcze. Za cel rozprawy uznał „zbudowanie modelu planowania tras pojazdów realizujących dostawy autogazu do sieci stacji paliw w warunkach silnie zmiennego popytu w strategii zarządzania zapasami przez dostawcę (VMI), który pozwala w sposób ekonomicznie efektywny planować dostawy i obniżać koszty” (s. 25). Dwie tezy, których potwierdzenie ma pozwolić na ocenę stopnia realizacji celu rozprawy, Autor sformułował jako:

- „Teza 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.
- Teza 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.”.

Choć obie tezy można uznać za sformułowane właściwie, należy zwrócić uwagę na wysoką korelację występującą pomiędzy zwiększaniem efektywności realizacji procesów przewozowych w ramach tezy 1 i zmniejszaniem pracy przewozowej zawartej w tezie 2. Moim zdaniem w ramach tezy 2 można było skoncentrować się na osiągnięciu wysokiego poziomu dostępności produktu przy jednoczesnym zachowaniu prawdziwości tezy 1.

Dla realizacji postawionego celu rozprawy autor zastosował spójną i dostosowaną do specyfiki i złożoności problemu metodykę badawczą. Jej kluczowymi elementami są: identyfikacja specyfiki procesu planistycznego, ocena aktualnego stanu wiedzy i wyodrębnienie luki badawczej, opracowanie zestawu modeli planistycznych klasy VMI, eksperymentalna weryfikacji modeli oparta na analizie wrażliwości, kalibracja modeli, oraz opracowanie narzędzia komputerowego bazującego na opracowanym zestawie modeli i parametrów sterujących.

Reasumując, problem badawczy podjęty przez mgr. Jacka Kaletę w przedmiotowej rozprawie jest w pełni uzasadniony zarówno z naukowego, jak i użytecznego punktu widzenia. Cel rozprawy został sformułowany właściwie, co daje podstawy do rzetelnego naukowego zweryfikowania poprawności postawionych tez. Z metodycznego punktu widzenia praca jest dziełem kompletnym.

2. OCENA TREŚCI ROZPRAWY

2.1. Ogólna charakterystyka rozprawy

Rozprawa doktorska mgr. Jacka Kalety charakteryzuje się logiczną i spójną konstrukcją, co wskazuje na naukową dojrzałość jej Autora.

W pierwszym rozdziale rozprawy Autor przedstawił genezę podjęcia tematu, dokonał syntetycznego przeglądu literatury związanego z planowaniem tras pojazdów, aby na tej podstawie sformułować cel i wspomagające go tezy badawcze. Rozdział drugi przybliży specyfikę planowania i realizacji dostaw autogazu do sieci stacji paliw na przykładzie przedsiębiorstwa transportowego. Na tej podstawie Autor zdefiniował kluczowe wymagania jakie powinna spełniać opracowana procedura obliczeniowa postulowana w celu pracy. W rozdziale trzecim omówiono klasyczne modele w aspekcie problematyki planowania dostaw autogazu do sieci stacji paliw. Krytycznej ocenie poddano możliwości ich stosowania w odniesieniu do sformułowanego problemu badawczego. W czwartym rozdziale dokonano klasyfikacji klasycznych metod rozwiązywania problemów, których modele omówiono w poprzednim rozdziale. Przedstawiono również istotę autorskiej propozycji rozwiązania analizowanego problemu. W rozdziale piątym Autor przedstawił własne modele planowania dostaw autogazu i ocenił możliwość ich praktycznego zastosowania w wybranych rejonach systemu dystrybucji autogazu. Rozdział szósty jest prezentacją praktycznego zastosowania metodyki. Autor przeprowadził ekspe-

rymenty obliczeniowe z wykorzystaniem autorskich modeli planistycznych, a w rezultacie analizę porównawczą uzyskanych wyników. Przeprowadził również weryfikację opracowanych modeli. W rozdziale siódmym zaprezentowano zaawansowane narzędzie do planowania dostaw autogazu, zbudowane na bazie opracowanych modeli. Na jego podstawie zostały porównane wyniki zastosowania programu w badanym przedsiębiorstwie transportowym z wynikami uzyskiwanymi przed jego wdrożeniem. W rozdziale ósmym Autor podsumował prace badawcze, przedstawił rekomendacje końcowe i kierunki dalszych badań.

Pewnym zaskoczeniem jest brak klasycznego streszczenia pracy, które zostało zastąpione wstępem. Niemniej, ten element pracy w pełni ujmuje zarówno tło problematyki planowania tras, a jego treść zachęca czytelnika do zapoznania się z jej zawartością. Ma to kluczowe znaczenie w popularyzacji wyników badań naukowych.

Literatura wykorzystana w rozprawie została starannie wyselekcjonowana i zawiera znaczące prace w zakresie VRP oraz IRP. Autor posłużył się właściwymi pozycjami literaturowymi, pochodzącymi głównie z ostatnich lat i opublikowanymi w cenionych czasopismach naukowych.

2.2. Dyskusja merytorycznej zawartości rozdziałów rozprawy

2.2.1. Rozdział 1

Pierwszy rozdział, zatytułowany „*Wprowadzenie do problematyki planowania dostaw*”, zawarty jest na 16 stronach (s. 13-28) i został podzielony na 4 podrozdziały. Jest on poświęcony przede wszystkim: genezie podjęcia tematu, przeglądowi literatury i analizie stanu zagadnienia, sformułowaniu celu i zakresu pracy oraz też badawczych rozprawy.

Geneza podjęcia tematyki została sformułowana w sposób precyzyjny. Stanowi ona próbę połączenie korzyści wynikających z obszaru zarządzania dostawami, w szczególności sterowanego przez dostawcę (ang. *VMI*), z zapotrzebowaniem wynikającym z praktyki w zakresie współpracy specjalistycznej firmy transportowej realizującej usługi transportu materiałów niebezpiecznych - autogazu. Z uwagi na skalę wspomnianej działalności transportowej oraz sygnalizowane problemy natury organizacyjnej, implementacja koncepcji *VMI* jest w pełni uzasadniona.

Prowadząc w tym rozdziale wstępną analizę stanu zagadnienia, Autor wyprowadził kluczową konkluzję, iż „*w literaturze można znaleźć wiele pozycji dotyczących problematyki IRP w warunkach stałego popytu. Rzadziej prezentowane są modele uwzględniające popyt stochastycznie zmienny*”. Co więcej, z uwagi na złożoność obliczeniową, problemy IRP rozwiązywane są przede wszystkim metodami przybliżonymi, co przy dużej skali działalności transportowej nie gwarantuje radykalnej redukcji czasu obliczeniowego. W takim przypadku podjęcie się zadania opracowania nowych modeli planistycznych oraz opracowanie efektywnych hybrydowych metod obliczeniowych stanowiło znaczące wyzwanie zarówno badawcze, jak i utylitarne.

2.2.2. Rozdział 2

Rozdział drugi zatytułowany „*Charakterystyka uwarunkowań planowania dostaw na przykładzie przedsiębiorstwa dostarczającego autogaz do ogólnokrajowej sieci stacji paliw*” zawarty jest na 19 stronach (s. 29-47) i został podzielony na 4 podrozdziały.

Rozdział ten w całym układzie rozprawy jest istotny z punktu widzenia zrozumienia skali i dynamiki sprzedaży autogazu na rynku paliwowym, a także zidentyfikowania źródeł, wielkości i częstotliwości występowania zakłóceń związanych z dystrybucją autogazu do stacji paliw. Dodatkowo, w rozdziale przeanalizowano specyfikę procesu decyzyjnego związanego z planowaniem wielkości i częstotliwości dostaw do poszczególnych stacji. Na tej podstawie Autor zdefiniował podstawowy zbiór wymagań, jakie musi spełniać model planowania dostaw autogazu i metoda rozwiązania takiego problemu. Takie sformułowanie wymagań uważam za właściwe, a co więcej, stanowi ono wyznaczenie ram do przeprowadzenia w kolejnym rozdziale szczegółowego przeglądu modeli planistycznych mogących znaleźć zastosowanie w zdefiniowanych warunkach działania.

2.2.3. Rozdział 3

Rozdział trzeci zatytułowany „*Przegląd klasycznych modeli decyzyjnych wyznaczania tras pojazdów w aspekcie planowania dostaw autogazu do sieci stacji paliw*”; zawarty jest na 20 stronach (s. 48-67) i został podzielony na 5 podrozdziałów.

Jest to rozdział, który należy traktować przede wszystkim jako element rozprawy o charakterze przeglądowym o dużym ładunku sformalizowania, poprzez który Autor dokonuje szczegółowej analizy 4 typów modeli planistycznych (komiwojażera - *TSP*, wielu komiwojażerów - *mTSP*, marszrutyzacji - *VRP* i przepływu zapasów - *IRP*). Stopień szczegółowości tej analizy jest w pełni uzasadniony - jest on finalnie podporządkowany próbie dopasowania wspomnianych modeli do specyfiki dystrybucji autogazu i wymagań z tym związanych. W tym rozumieniu procedura dopasowania modeli do specyfiki dystrybucji autogazu na skalę ogólnokrajową jest elementem autorskim. Cennym jest również syntetyczna prezentacja wszystkich odmian i modyfikacji analizowanych modeli planistycznych.

Z uwagi na wielokrotnie podkreślaną przez Autora rozprawę zmienność popytu w dystrybucji paliw oraz konieczność podejmowania operacyjnych decyzji w dynamicznie zmieniających się warunkach można odczuć pewien niedosyt braku szerszego odniesienia do modeli typu *dynamic vehicle routing problem* - *DVRP* oraz *stochastic vehicle routing problem* - *SVRP*. Szczegółową analizę obu kategorii problemów prowadzą w swoich pracach zespoły głównie związane z kanadyjskim ośrodkiem CIRRELT, odpowiednio Pillac *et al.*¹ oraz Gendreau *et al.*². O takim podejściu Autor wzmiankuje w dalszej części rozprawy (rozdz. 4, s. 90) powołując się na pracę Coelho *et al.*³, jednak rezultat szerszej analizy literatury w tym zakresie pozwoliłby na porównanie z dorobkiem Autora rozprawy.

2.2.4. Rozdział 4

Czwarty rozdział nosi tytuł „*Metody rozwiązywania problemów wyznaczania tras pojazdów i metody pomocnicze wykorzystywane w dysertacji*” i mieści się na 23 stronach (s. 68-90); został podzielony na 7 podrozdziałów.

Rozdział w całości poświęcony jest, zgodnie z tytułem, metodom rozwiązywania problemów wyznaczania tras pojazdów i dowodzi umiejętności precyzyjnej kwalifikacji tych metod. Osobiście uważam, że opis wielu klasycznych metod został przedstawiony zbyt szczegółowo, co czyni tę część rozdziału zbyt rozbudowaną.

Oprócz klasyfikacji typowych metod w zastosowaniu do rozwiązywania problemów planowania tras pojazdów Autor zaprezentował również własne propozycje metody poszukiwania rozwiązań odpornych na zmiany i uwzględniających dynamicznie zmieniające się stany systemu dystrybucji paliw. Propozycja ta stanowi połączenie optymalizacji z technikami symulacji, przy czym model optymalizacyjny ma posłużyć wyznaczeniu rozwiązania optymalnego, a symulacja pozwala na zweryfikowanie wykonalności wcześniej uzyskanego rozwiązania. Zwracam uwagę, że o ile koncepcja ta spójna jest ze schematem przedstawionym na rys. 4.7 (s. 87), o tyle jej późniejsze zastosowanie do osiągnięcia „rozwiązania kroczącego *VRP*” (rys. 4.8, s. 88) oraz „rozwiązania kroczącego *IRP*” (rys. 4.9, s. 89) pozbawione jest elementu sprzężenia i możliwości korekty rozwiązań.

2.2.5. Rozdział 5

Rozdział piąty zatytułowano „*Opracowanie modeli planowania dostaw autogazu do ogólnopolskiej sieci stacji paliw przez przedsiębiorstwo transportowe*”; obejmuje 17 stron (s. 91-107) i został podzielony na 5 zasadniczych podrozdziałów. Jest to bezdyskusyjnie autorski element rozprawy, poświęcony sformalizowaniu zasad budowy modelu matematycznego dla problemu planowania tras przewozu autogazu dla ogólnopolskiej sieci stacji paliw. Uważam, że rozdział ten dowodzi biegłości Autora rozprawy w posługiwaniu się warsztatem badawczym w postaci modelowania matematycznego problemów planowania tras.

Jednocześnie zwracam uwagę na następujące kwestie:

- Zastanawiające jest, jaka będzie praktyczna interpretacja jednostki wynikającej ze sformułowanej funkcji celu (zależność 5.1, s. 93), jeśli jest ona iloczynem dwóch składowych kosztowych, tj. f_i - kosztu w każdym z trzech przypadków kryteriów cząstkowych (omówienie - s. 92) oraz s_i - kosztu jednostkowego (s. 94, w. 22d)⁴.

¹ Pillac V., Gendreau M., Guéret C., Medaglia A.L., *A Review of Dynamic Vehicle Routing Problems*. CIRCLET - 2011-62. Montreal-Quebec, October 2001, Report on: www.cirrelt.ca

² Gendreau M., Laporte G., Séguin R., *Stochastic vehicle routing*, European Journal of Operational Research, Vol.88 (1), 1996, 3-12.

³ Coelho L.C., Cordeau J.-F., Laporte G., *Heuristics for dynamic and stochastic inventory-routing*. Computers & Operations Research. Vol. 52A, 2014, 55-67

⁴ numer strony (s. 94), numer wiersza (w. 22), kierunek liczenia wierszy (*d* - od dołu, *g* - od góry)

- W jaki sposób parametr λ , sterujący preferencją dodawania kolejnych stacji, uwzględniony jest w sposób formalny w opracowanych modelach matematycznych (M1-M4)? Brak precyzyjnego wyjaśnienia tego elementu metodyki wpływa na nieczytelność obliczeń omawianych w rozdz. 6 rozprawy, a co więcej jest to jeden z kluczowych elementów, na podstawie którego prowadzona jest weryfikacja opracowanych modeli (por. podrozdz. 6.4).
- Zgodnie z opisem przedstawionym dla modelu M2 (podrozdz. 5.2.2), wielkość dostawy do i -tej stacji paliw, opisana zależnością (5.28), powinna zostać określona identycznie jak dla modelu M1 (rozdz. 5.2.1), tj.: $q_i = 0,85C_i - I_i + \mu_i$; taką uwagę wydaje się potwierdzać zapis przedstawiony w algorytmie przebiegu symulacji - rys. 5.2, s. 99.
- Zgodnie z istotą modeli M3.1-M3.3 wielkość dostawy do i -tej stacji paliw powinna wynikać z wielokrotności horyzontu planistycznego, tj. $p=1, 2, 3$, a zatem wielkość dostaw w tych modelach, opisana zależnością (5.29) zamiast $q_i = 0,85C_i - I_i + (1+p)\mu_i$ powinna być sformułowana w postaci: $q_i = 0,85C_i - I_i + p\mu_i$. Skorygowany zapis byłby wówczas zgodny z opisem algorytmu zastosowania modeli M3.1-M3.3, tj. rys. 5.3, s. 102.
- Algorytm przebiegu symulacji dla M1, M2 oraz M3.1-M3.3, zaprezentowany odpowiednio na rys. 5.1-5.3 charakteryzuje się nieciągłością jego przebiegu. Przy pierwszej bramce logicznej, w której oceniana jest prawdziwość warunku $d_i > C_i - I_i$, jego negacja powoduje zatrzymanie dalszego przebiegu algorytmu.
- Wielkość d_i^r zastosowaną w zależnościach (5.41-5.42) zamiast określać rzeczywistą sprzedaż dla i -tej stacji w okresie t (do momentu realizacji dostawy) należałoby nazwać sprzedaż prognozowaną.

2.2.6. Rozdział 6

Rozdział szósty nosi tytuł „Eksperymenty obliczeniowe i symulacyjne”, mieści się na 62 stronach (s. 108-169) i obejmuje 6 podrozdziałów. Zawartość rozdziału stanowi cenną wartość eksperymentalną, pozwalającą na praktyczną weryfikację przydatności opracowanych modeli (M1-M4) analizowanego problemu. Zaprezentowany zbiór eksperymentów obliczeniowych dowodzi zarówno ogromu wysiłku badawczego włożonego przez Autora rozprawy, złożoności programu badawczego, ale również biegłości w posługiwaniu się różnorodnymi narzędziami obliczeniowymi.

W zakresie szczegółowych zapisów zawartych w rozdziale zwracam uwagę na następujące kwestie:

- W podrozdz. 6.1 zostały zdefiniowane wskaźniki efektywności, którymi Autor posługuje się dla oceny proponowanych rozwiązań. O ile ich praktyczne znaczenie dla oceny efektywności procesów transportowych jest bezdyskusyjne, o tyle w rozprawie zabrakło ich formalizacji. Zapis matematyczny pozwoliłby jednoznacznie określić, czy wskaźniki są uogólnione dla całego taboru i sieci stacji paliw, czy indywidualne dla pojedynczych pojazdów i poszczególnych stacji paliw. Znacząco ułatwiłoby to późniejszą interpretację uzyskanych wartości.
- W podrozdz. 6.2 przyjęto założenie, iż eksperymenty obliczeniowe przeprowadzono dla zbioru 50 stacji paliw. Czy przyjęcie takiego założenia w kontekście zaopatrywania łącznie 1200 stacji paliw nie jest zbyt dużym uproszczeniem z punktu widzenia czasu prowadzenia obliczeń?
- Wielkość dostawy q_i do i -tej stacji, właściwa dla M1 i wyznaczona na podstawie zależności (5.24), sugeruje jej zmienną wartość, zależną od: pojemności zbiorników na stacji, bieżącego poziomu zapasu i popytu. Interpretacja kluczowych wielkości dla analizowanego problemu IRV (dla stacji nr 26) przedstawionych na rys. 6.16, s. 132, dowodzi: 1) stałej wielkości dostawy (12 dostaw w okresie 1 miesiąca, tj. 08.2014r., po 12 tys. dm³ każda) - niezależnej od wspomnianych wielkości, 2) ujemnej wielkości popytu w całym okresie analitycznym. Wbrew wyjaśnieniom przedstawionym na s. 133, zobrazowanie wielkości popytu w dziedzinie liczb ujemnych nie wpływa korzystnie na interpretację przedstawionych zależności - efekt zmniejszania zapasu na skutek występowania popytu jest przecież wynikiem zastosowania zależności (5.24).
- Niezrozumiała jest konkluzja podsumowująca wynik zastosowania sześciu opracowanych modeli: „Z punktu widzenia wyeliminowania braków na stacji oznaczonej indeksem "26" najskuteczniejszy okazał się model M4. Jednakże ogółem liczba i poziom braków dla modelu M4 okazała się największa spośród wszystkich prezentowanych modeli ...” (s. 140, w. 3-5g). Oba stwierdzenia pozostają w sprzeczności, a dodatkowo porównanie i próba interpretacji uzyskanych wyników np. dla modelu M4, zaprezentowanych na rys. 6.21 (pn. „braki i nadwyżki”) i rys. 6.23, nie wyjaśnia tych wątpliwości. Występowanie braków - zarówno ich lokalizacja na osi czasu, jak i skala tego zjawiska nie są ekwiwalentne.

- Należy zgodzić się z wnioskiem nr 7 (s. 142), będącym komentarzem do przeprowadzonych obliczeń, iż „największą wartość średniej wielkości dostaw na stacje (wskaźnik efektywności β) uzyskano w przypadku stosowania modelu M3.1 i wyniosła ona 6 803 l. Najmniejsza wartość wystąpiła w przypadku stosowania modelu M4 i wyniosła ona 5 730 l. Obserwacja ta jest nieco zaskakująca, gdyż bazując na wiedzy eksperckiej planistów należy oczekiwać największych średnich wielkości dostaw na stacje w przypadku najbardziej efektywnych ekonomicznie modeli”. Uważam jednak, że próba wyjaśnienia tego zjawiska byłaby możliwa w sytuacji jednoznacznej definicji obu interpretowanych wskaźników (β oraz κ), a tym samym wyjaśnienia sposobu ustalenia obu porównywanych wielkości.
- Weryfikacja opracowanych modeli M1-M4, przedstawiona w podrozdz. 6.4, co do zasady jest bezdyskusyjnie właściwym krokiem, dającym podstawę do uznania wiarygodności zaproponowanych mechanizmów obliczeniowych. Dyskusyjne są jednak dwie kwestie: 1) Dlaczego weryfikacja modeli następuje po przeprowadzeniu eksperymentów obliczeniowych, na podstawie których sformułowano pierwsze wnioski o ich przydatności (rozdz. 6.3, s. 142 w. 3d - s. 143 w. 19g)? 2) Czy brak możliwości osiągnięcia rozwiązania, jaki ma miejsce w przypadku niektórych modeli (M3.1 i M3.2), nie powinien być przesłanką do przebudowy algorytmu obliczeniowego w zakresie całej grupy modeli M3?
- Rekomendacje i wnioski przedstawione w podrozdz. 6.6, tj. „... zastosowanie jednego z opracowanych modeli M1-M4 może prowadzić do istotnego zwiększenia efektywności ekonomicznej poprzez obniżenie kosztów transportu” są niezwykle cenne w kategoriach poznawczych, jednak zalecam ostrożność w dwóch aspektach o fundamentalnym znaczeniu dla realizacji celu rozprawy. 1) Formułowanie takiego wniosku jest słuszne jedynie w obrębie opracowanych modeli. W sensie utylitarnym, taki wniosek można uznać za prawdziwy wyłącznie po przeanalizowaniu faktycznie poniesionych kosztów dystrybucji autogazu w okresach VIII.2014r. - II.2015r. i rejonach dystrybucji. Możliwe jest bowiem, że porównanie rezultatów osiąganych dzięki zastosowaniu niektórych (lub wszystkich sześciu) modeli w stosunku do rozwiązań opracowanych według dotychczasowych procedur nie potwierdza takiego stwierdzenia. 2) Uzyskane rezultaty wskazują na silną wrażliwość modeli na szereg parametrów sterujących - nawet w obrębie pojedynczego modelu, co sprawia, że faktyczny czas podejmowania decyzji (Autor słusznie poświęca temu zagadnieniu wiele miejsca w swojej rozprawie), wynikać będzie nie tylko z czasu obliczeń, ale również czasochłonnej kalibracji modelu, co istotnie i w sposób negatywny wpłynie na rekomendację wdrożeniową jednego z opracowanych modeli. Obserwację tą Autor rozprawy potwierdza w podrozdz. 7.3 (s. 180, w. 6-9g), wskazując, że planista dokonuje wyboru jednego z modeli ze zbioru {M1, M2, ..., M4}.

2.2.7. Rozdział 7

Rozdział siódmy zatytułowany „Praktyczne zastosowanie opracowanego modelu w wybranym przedsiębiorstwie transportowym”, mieści się na 16 stronach (s. 170-185) i obejmuje cztery podstawowe podrozdziały.

Zawartość rozdziału stanowi w głównej mierze charakterystykę narzędzia wspomagającego prace planistyczne w zakresie trasowania przewozu autogazu, o nazwie SPS. Z przedstawionego opisu oraz zawartych zrzutów ekranowych (rys. 7.2 - rys. 7.20) można jednoznacznie wnioskować, że narzędzie ma charakter zaawansowanego i profesjonalnie przygotowanego systemu komputerowego o charakterze bazodanowym. Ostatni z podrozdziałów (7.4) jest poświęcony przykładowemu zastosowaniu tego narzędzia. Jest to, obok prezentacji architektury rozwiązania, najbardziej wartościowy element tego rozdziału, prezentujący praktyczne zalety narzędzia.

Nie umniejszając pozytywnym cechom narzędzia SPS należy zwrócić uwagę na kilka kwestii o charakterze porządkowym i stanowiącym podstawę do dyskusji, a w szczególności:

- Prezentacja narzędzia w podrozdz. 7.2 ma zdecydowanie podręcznikowy charakter i jako taka w pracy o charakterze dysertacji naukowej mogłaby zostać zminimalizowana do omówienia architektury przedstawionej w podrozdz. 7.1.
- W części poświęconej zasadom działania opracowanego narzędzia SPS (podrozdz. 7.3) zabrakło podstawowej analizy czasu prowadzenia doboru jednego z sześciu modeli oraz jego kalibracji. Ma to istotny wpływ na całkowity czas prac planistycznych, moim zdaniem znacznie większy niż sam czas układania tras.
- Zabrakło wytycznych do precyzyjnego ustalenia granic czasowych, dla których ma odbywać się kalibracja modeli. Można zatem sformułować dwa pytania: 1) Czy przedział ten zawsze określany

jest przez pierwszy i ostatni dzień miesiąca? 2) Jaki wpływ na rezultaty będzie miało przyjęcie innego interwału?

- O ile ocena efektywności wdrożenia narzędzia SPS (implementacji modeli M1-M4), przedstawiona w podrozdz. 7.4, nie budzi żadnych wątpliwości co do rzeczywistych korzyści wdrożeniowych, o tyle ciekawym porównaniem byłoby odniesienie wyników prowadzonych testów dla okresów: 2014.08 i 2014.10 oraz 2015.02. W przypadku dwóch pierwszych okresów możliwe byłoby wnioskowanie o efektywności narzędzia w stosunku do dotychczasowych procedur - dla identycznego przedziału czasowego, w drugim zaś ocena skuteczności kalibracji narzędzia (w tym modeli) w porównaniu do warunków laboratoryjnych (prowadzenia eksperymentów przedstawionych wcześniej).
- Autor wskazując możliwości zastosowania opracowanego narzędzia planistycznego SPS nie określa całkowitego czasu realizacji prac planistycznych, wynikających zarówno z: konieczności wyboru właściwego modelu planistycznego (M1-M4), kalibracji modelu oraz zaplanowania rozwózki autogazu do sieci o rzeczywistych rozmiarach, tj. ponad 1200 stacji.

2.2.8. Rozdział 8

Rozdział ósmy zatytułowany „Wnioski końcowe i kierunki dalszych badań”, mieści się na 4 stronach (s. 186-189) i obejmuje 4 podstawowe podrozdziały.

Pomimo swojej relatywnie niewielkiej objętości rozdział ten zawiera kluczowe elementy podsumowania rozprawy. Autor przedstawił konkluzje uprawniające do przyjęcia stwierdzenia, że zarówno cel pracy został osiągnięty, jak również obie postawione tezy badawcze zostały zweryfikowane.

Autor dokonał również podsumowania najważniejszych naukowych i aplikacyjnych osiągnięć rozprawy. W mojej opinii walor naukowy i oryginalność zaproponowanego rozwiązania obejmuje: 1) budowę zbioru alternatywnych modeli planistycznych w zakresie trasowania pojazdów i przy jednoczesnym zarządzaniu zapasem jednorodnego produktu (autogazu) o silnie zróżnicowanym popycie, 2) opracowanie heurystycznych dwufazowych algorytmów rozwiązania modeli planistycznych. W dziedzinie aplikacyjnej osiągnięciem o fundamentalnym znaczeniu jest przeprowadzenie pełnego wdrożenia opracowanych mechanizmów do praktyki transportowej i logistycznej, a tym samym potwierdzenie ich (modeli i metod rozwiązania) efektywności.

Ważnym elementem podsumowania pracy jest również bogaty zbiór propozycji dalszych kierunków badań i doskonalenia już osiągniętego rozwiązania. Wszystkie proponowane kierunki badawcze są ciekawe i warte podjęcia w najbliższym czasie. Sugeruję rozważenie również:

- połączenia analizowanych dotąd problemów z ustaleniem kompozycji taboru (zróżnicowaną flotą pojazdów), który będzie miał wpływ zarówno na poziom kosztów jak również stopień dopasowania do popytu;
- rozwinięcia zagadnienia „rozszerzenia obszaru badań - próba rozwiązania sieciowego poprzez agregację wybranych rejonów z rejonami sąsiednimi” do postaci problemu ukształtowania optymalnej sieci dystrybucji autogazu, w której zarówno lokalizacja rozlewni, jak również ukształtowanie przydziału stacji paliw do rozlewni stanowiłby dodatkowy problem badawczy;
- alternatywnego zastosowania metody znanej w literaturze jako połączenie symulacji i optymalizacji, zwane optymalizacją symulacyjną (ang. *simulation optimisation*)^{5,6,7}, które pozwoli na uzyskanie rozwiązania bliskiego optymalnemu w oparciu o model symulacyjny.

⁵ Andradottir S., *Discrete optimization in simulation: A method and applications*. W: Swain J.J., Gainsman D. (Eds.), *Proceedings of the 1992 Winter Simulation Conference*, SCS, San Diego, CA, 1992, 483–486.

⁶ Evans G.W., Stuckman B., Mollaghasemi M., *Multicriteria optimization of simulation models*. W: Nelson B.L., Kelton W.D., Clark G.M. (Eds.), *Proceedings of the 1991 Winter Simulation Conference*, SCS, San Diego, CA, 1991, 894–899.

⁷ Stuckman B., Evans G., Mollaghasemi M., *Comparison of global search methods for design optimization using simulation*. W: Nelson B.L., Kelton W.D., Clark G.M. (Eds.), *Proceedings of the 1991 Winter Simulation Conference*, SCS, San Diego, CA, 1991, 937–943.

3. OCENA STRONY REDAKCYJNEJ

3.1. Poprawność stylistyczna

Pod względem stylistycznym recenzowana rozprawa została w ogólności przygotowana w sposób zgodny z obowiązującymi zasadami. W całej pracy zauważyć można jedynie kilka sformułowań zakłócających odbiór treści rozprawy jako dzieła naukowego. Do usterek tej natury zaliczyć można następujące przypadki:

- „... łączna ilość wszystkich możliwych tras ...”, s. 16, w. 9g⁸, zamiast: łączna liczba wszystkich możliwych tras,
- „... jedną z nich jest zakaz używania telefonów komórkowych ani żadnych innych urządzeń ...”, s. 31, w. 2-3d, zamiast: jedną z nich jest zakaz używania telefonów komórkowych oraz innych urządzeń,
- „Jedną przyczyn ...”, s. 36, w. 1g, zamiast: jedną z przyczyn,
- „Na uwagę zasługuje rozwiązanie zaproponowane przez Millera, Tuckera i Zemlina polegało na ...”, s. 55, w. 11-12d, zamiast: na uwagę zasługuje rozwiązanie zaproponowane przez Millera, Tuckera i Zemlina, które polegało na ...,
- „... możliwe jest przy wykorzystanie modeli VRP ...”, s. 56, w. 14g, zamiast: możliwe jest przy wykorzystaniu modeli VRP,
- „... jest podobnie jak problem komiwojażera zagadnieniem NP-trudnym, to jest nie istnieją algorytmy dokładne ...”, s. 56, w. 10-11d, zamiast: jest podobnie jak problem komiwojażera zagadnieniem NP-trudnym, czyli nie posiadającym algorytmu dokładnego,
- „... do tych stacji, na których może zabraknąć produktu w kolejnym dniu tak, aby nie trzeba było ich już jutro obsługiwać.”, s. 100, w. 18-20g, zamiast: do tych stacji, na których może zabraknąć produktu w kolejnym dniu,
- niezrozumiałe jest określenie „... maksymalna ilość stacji przypisanych do jednej stacji ...”, s. 104, w. 12-13d,
- „Po każdej iteracji jest powiększany zbiór ST^{dod} jest powiększany ...”, s. 105, w. 9d, zamiast: po każdej iteracji zbiór ST^{dod} jest powiększany,
- „... liczbę zaopatrywanych stacji w trasie - φ ...”, s. 108, w. 21g (i na kolejnych stronach), zamiast: liczbę zaopatrywanych stacji na trasie,
- „... Przeprowadzono obserwacje z okresu na okres przyjętych wskaźników efektywności (KPI).”, s. 109, w. 8-9d, zamiast: przeprowadzono obserwacje przyjętych wskaźników efektywności (KPI) w kolejnych okresach,
- „... Obszar najniższych kosztów dostarczonej tony autogazu na stacje κ dla ...”, s. 155, w. 3d (oraz: s. 157, w. 4d, s. 158, w. 4-5d), zamiast: obszar najniższych kosztów dostarczonej tony autogazu na stacje - wskaźnik κ , dla ...,
- „Zaobserwowano identyczne wyniki wartości kosztu dostarczonej tony autogazu na stacje ...”, s. 162, w. 2d, zamiast: zaobserwowano identyczny koszt dostarczonej tony autogazu na stacje ...,
- „... dla wybranego całego miesiąca ...”, s. 163, w. 6g, zamiast: dla wybranego miesiąca.

3.2. Poprawność edycyjna

Rozprawa doktorska mgr. Jacka Kalety została przygotowana starannie, co znacząco ułatwia odbiór przekazywanych treści. W swojej znaczącej objętości nie jest jednak wolna od błędów edycyjnych. Zwracam uwagę na następujące przypadki:

- „... tzw. tabu serach ...”, s. 21, w. 11g, zamiast: tabu search,
- „... musza zostać ...”, s. 27, w. 13d, zamiast: muszę zostać,
- „... podczas uruchamianiu ...”, s. 29, w. 10g, zamiast: podczas uruchamiania,
- „... 16.7% ...”, s. 30, w. 6d, zamiast: 16,7%,
- „Warunki (x.xx) ...”, s. 59, w. 7-10d (i dalej), zamiast: warunek (x.xx) ...,
- „musza”, s. 62, w. 15d, zamiast: muszę,
- „co wynika trudności ...”, s. 81, w. 14-15g, zamiast: co wynika z trudności,
- „znaleźć w pracy”, s. 82, w. 7g, zamiast: znaleźć w pracy,
- „Dysponując lista stacji”, s. 83, w. 9d, zamiast: dysponując listą stacji,

⁸ numer strony (s. 16), numer wiersza (w. 9), kierunek liczenia wierszy (d - od dołu, g - od góry)

- „... skomplikowanym I nawet dla ...”. s. 89, w. 2d, zamiast: skomplikowanym nawet dla,
- „... na ocenę efektywności algorytm rozwiązywania IRP”, s. 90, w. 2-3g, zamiast: na ocenę efektywności algorytmu rozwiązywania IRP,
- „... charakterystykami jaki należy porównać ...”, s. 90, w. 19g, zamiast: charakterystykami jakie należy porównać,
- „... dostaw autogazu sieci stacji paliw ...”, s. 91, w. 8-9g, zamiast: dostaw autogazu do sieci stacji paliw,
- „Model problem wyznaczania tras ...”, s. 92, w. 12d, zamiast: model problemu wyznaczania tras,
- „... jest liniową kombinacją trzech kryteriów cząstkowych wraz jednostkowymi ...”, s. 94, w. 22-23d, zamiast: jest liniową kombinacją trzech kryteriów cząstkowych wraz z jednostkowymi,
- „... prze dostawach autogazu ...”, s. 100, w. 16g, zamiast: przy dostawach autogazu,
- „... (KPI). przeprowadzając eksperymenty ...”, s. 109, w. 8d, zamiast: ... (KPI), przeprowadzając eksperymenty,
- „... dostawy autogazu na do sieci stacji paliw ...”, s. 112, w. 11d, zamiast: dostawy autogazu do sieci stacji paliw,
- „... plany mogą ulec dalszym ...”, s. 113, w. 8d, zamiast: plany mogą ulec dalszym ...,
- „... poprzez zmniejszenie ...”, s. 115, w. 23d, zamiast: poprzez zmniejszenie,
- „Na podstawie rysunku 4.21 D ...”, s. 115, w. 7d, zamiast: na podstawie rysunku 6.7 D,
- „... Wyniki szczegółowe stosowania modelu ...”, s. 134-138, rys. 6.17-6.21, zamiast: szczegółowe wyniki zastosowania modelu,
- niezręcznie jest umieszczenie w zestawieniu poszczególnych dni analizowanego okresu (08.2014r.) dnia 32-go, dotyczy to rys. 6.22 i 6.23,
- „-0,17%”, s. 141, w. 6d, zamiast: 0,17%,
- „-0,50%”, s. 141, w. 1d, zamiast: 0,50%,
- „... uzyskano dla M1.”, s. 152, w. 1g, zamiast: uzyskano dla M1,
- „... dla modeli M1 ...”, s. 155, w. 3d, zamiast: dla modelu M2 ...,
- „... modelu M1 ...”, s. 157, w. 3d, zamiast: modelu M3.2 ...,
- w rozdz. 6.4.3 przyjęto oznaczenia trzech kluczowych parametrów prowadzonej analizy wrażliwości, tj. P^{IRP} , $L1$ oraz $L2$, natomiast w tablicy 6.22, s. 160 (oraz tab. 6.29, s. 168), przyjmując postać (tak należy się domyślać): T_{IRP} , $LocLen$ oraz $addLen$,
- na rys. 6.37, s. 161 (oraz rys. 6.38, s. 162), dla wskaźnika κ przyjęto jednostkę [km/t], zamiast [PLN/t],
- „... między 0.1 a 0.3.”, s. 165, w. 4d, zamiast: między 0,1 a 0,3.,
- „... 1.5%, ...”, s. 167, w. 9d, zamiast: wzrósł o 1,5%, oraz kolejne strony, na których w zapisie ułamka dziesiętnego zastosowano znak (.) zamiast (,),
- „... z punktu widzenia zarządzania zapasami na stacjach Ω zaobserwowano, że wolumen dostarczonego autogazu do sieci stacji w ciągu w obu przypadkach był bardzo zbliżony ...”, s. 169, w. 3-5g, zamiast: z punktu widzenia zarządzania zapasami na stacjach zaobserwowano, że wolumen dostarczonego autogazu do sieci stacji, określany wskaźnikiem Ω , w obu przypadkach był bardzo zbliżony ...,
- „... nawet jeśli koszt autogazu dostarczonego na stacje dla firmy transportowej wzrósłby z 98,50 [km/t] do 99,99 [km/t] ...”, s. 169, w. 14-15g, zamiast: nawet jeśli koszt transportu autogazu wzrósłby z 98,50 [PLN/t] do 99,99 [PLN/t],
- „Schemat architektury wielowarstwowej system planowania dostaw ...”, s.171, w. 3g, zamiast: schemat architektury wielowarstwowej systemu planowania dostaw,
- „Przykładowy pliku importera ...”, s. 173, w. 3g, zamiast: przykładowy plik importera ...,
- „Formatki używane są w kliencie klasycznym i służą ...”, s. 174, w. 6g, zamiast: formaty danych używane są w klasycznym narzędziu (typu klient) i służą ...,
- „... oraz dodawania danych. raporty służą ...”, s. 174, w. 7g, zamiast: (...) oraz dodawania danych. Raporty służą ...

3.3. Poprawność fachowej terminologii i oznaczeń

Terminologia zastosowana w rozprawie jest dobrana właściwie i wskazuje na biegłe posługiwanie się przez Autora rozprawy nomenklaturą właściwą dla rozważanej problematyki. Do rzadkości należą sformułowania, które budzą wątpliwość, w tym:

- „... liczby kilometrów przejechanych przez pojazdy” (s. 12, w. 10-11d; s. 48, w. 9-10g; s. 90, w. 20g; s. 90, w. 6-7d. i dalej), zamiast - całkowitej długości tras, lub zminimalizowanie sumarycznego przebiegu pojazdów,
- „O liczbie załadowanych litrów ...”, s. 32, w. 6g, zamiast: o wielkości załadunku,
- „... możliwość optymalizacji dodatkowych parametrów (ładowność, odległość, okna czasowe)” (s. 49, rys. 3.1), zamiast - możliwość optymalizacji tras przy uwzględnieniu dodatkowych parametrów (ładowność, odległość, okna czasowe),
- „Robust VRP - krzepki (mało wrażliwy na zmiany popytu zewnętrznego) problem dostaw”, s. 60 - tab. 3.2, zamiast: robust VRP - odporny (...) problem planowania tras,
- „Modele dyskretnej symulacji zdarzeniowej (ang. DES - Discrete Event Simulation) ...”, s. 83, w. 17g, zamiast: modele symulacyjne dla zdarzeń dyskretnych lub modele symulacji dyskretnej,
- „... skrócenie długości dostaw, ...”, s. 90, w. 4-5g, zamiast: skrócenie czasu realizacji dostaw,
- zastosowano zbliżone oznaczenia dwóch różnych od siebie wielkości, tj. *macierz kosztów* $C=[c_{ij}]$ (s. 91, w. 11d) oraz *pojemność magazynową autogazu* C_{ij} (s. 91, w. 4d),
- zastosowano indeks *i* do oznaczenia dwóch różnych wielkości, tj. klienta (stacji paliw) w analizowanym grafie (s. 92, wiele przypadków) oraz kryterium cząstkowe (s. 92, 1d),
- „... wraz z jednostkowymi ekonomicznymi kosztami ...”, s. 94, w. 22d, zamiast: wraz z jednostkowymi kosztami,
- „... wystąpienie stock-out ...”, s. 94, w. 17d, 16d i dalej, zamiast: wystąpienie niedoboru lub wystąpienie braków,
- „... zjawisko gazu powracającego na rozlewnię ...”, s. 133, w. 8g (oraz s. 140, w. 6g; s. 142, w. 8d; s. 165, w. 4g), jest pojęciem kolokwialnym, zamiast którego można zastosować pojęcie: zjawiska zwrotu do rozlewni autogazu niedostarczonego do klientów,
- „... najbardziej optymalnej kombinacji ...”, s. 166, w. 7g, zamiast: optymalnej kombinacji.

3.4. Jakość rysunków, elementów graficznych i zestawień tabelarycznych

Rysunki, elementy graficzne oraz zestawienia tabelaryczne zamieszczone w rozprawie zostały przygotowane i opisane w sposób staranny i czytelny. Do nielicznych uwag w tym zakresie należą:

- zróżnicowany zakres zmienności osi rzędnej dla rysunków seryjnych, na których prezentowany jest wpływ wybranego czynnika na analizowane wskaźniki KPI, tj.: 1) „poprawa tras [%]” - rys. 6.15, rys. 6.17: skala (0; 80) vs. rys. 6.18: skala (0; 60) vs. rys. 6.21: skala (-20; 30); 2) „braki i nadwyżki” - rys. 6.15, rys. 6.17 - rys. 6.20: skala (-5; 15) vs. rys. 6.21: skala (-5; 1),
- nieuzasadnione zastosowanie wytłuszczonej czcionki (typu „bold”) wszystkich wartości liczbowych przedstawionych w zestawieniach tabelarycznych - np. tab. 6.9, s. 141; tab. 6.25, s. 163.

3.5. Sposób cytowania pozycji bibliograficznych

W rozprawie zastosowano zbiorczy zapis bibliograficzny zamieszczony w końcowej części pracy, natomiast poszczególne pozycje cytowane w pracy przedstawione są w postaci przypisów dolnych (według reguł APA), co znacząco ułatwia odbiór rozprawy. Ujednolicenia wymaga natomiast opis poszczególnych pozycji zamieszczanych w treści rozprawy. W jednej części rozprawy Autor stosuje inicjał imienia i nazwisko autora i rok wydania - np. s. 13: (W. Bell, 1983)*, (D. Hannon, 2005)*, w innym przypadku wyłącznie inicjał imienia i nazwisko - np. s. 17-22: Y.-B. Park *et al.**

Zapis pozycji bibliograficznych jest przejrzysty i przygotowany w oparciu o obowiązujące standardy. Zwracam jednak uwagę, że publikacje zawarte w czasopismach powinny mieć określony zakres stron, na których są umieszczone. Informacji tej zabrakło w pracach [1, 3-6, 8, 10, 18, 29, 50, 51, 58, 64, 65, 70, 74, 77, 91, 94, 137].

4. PODSUMOWANIE I WNIOSEK KOŃCOWY

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr. Jacka Kalety, pt. *Modele planowania dostaw autogazu do sieci stacji paliw* jest w mojej opinii oryginalnym i istotnym dla stanu wiedzy w zakresie planowania tras opracowaniem naukowym. Autor wykazał się zarówno bogatym warsztatem badawczym, ugruntowaną wiedzą teoretyczną z zakresu planowania tras, jak również zaplanowaniem i konsekwentną realizacją programu badawczego. Należy podkreślić że cel zasadniczy rozprawy został osiągnięty, a obie tezy badawcze zostały w sposób ilościowy i miarodajny zweryfikowane.

Uwagi zawarte w recenzji nie umniejszają poziomowi zaawansowania prac i dojrzałości badawczej Autora. Należy je traktować wyłącznie w charakterze dyskusji i komentarzy mogących mieć wpływ na ukształtowanie dalszej ścieżki naukowej i wdrożeniowej Autora rozprawy.

Reasumując, uważam, że rozprawa mgr. Jacka Kalety pt. *Modele planowania dostaw autogazu do sieci stacji paliw*, wykonana pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Wiesława Starowicza, ponadprzeciętnie spełnia warunki przewidziane w Ustawie z dnia 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, z późniejszymi zmianami (Dz.U. 2003, Nr 65, poz. 595). Na tej podstawie wnioskuję o przyjęcie dzieła mgr. Jacka Kalety przedstawionego do recenzji, jako rozprawy doktorskiej w dziedzinie nauk technicznych, w dyscyplinie Transport i dopuszczenie jej do publicznej obrony. Jednocześnie, uznając oryginalny charakter podjętych prac oraz jej utylitarny charakter poparty eksperymentalną weryfikacją, rekomenduję Komisji Doktorskiej wyróżnienie przedmiotowej rozprawy.

