

R e c e n z j a
pracy doktorskiej
mgr inż. Mariusza IZDEBSKIEGO

**p.t.: „Modelowanie przydziału pojazdów do zadań w przedsiębiorstwach
usług komunalnych”**

(Promotor: prof. dr hab. inż. Marianna Jacyna)

Podstawą opracowania recenzji jest pismo Pana Dziekana Wydziału Transportu Politechniki Warszawskiej, prof. dr hab. inż. Wojciecha Wawrzyńskiego z dnia 2 kwietnia 2015 r.

Recenzowana praca liczy 239 stron, w tym 276 rysunków oraz 34 tablice. Została podzielona na 8 rozdziałów oraz posiada sześć załączników.

1. Ocena poszczególnych części rozprawy

Wprowadzenie (rozdział 1) rozpoczyna się od ogólnej charakterystyki procesu modelowania, charakteryzując i porządkując kwestie ujęcia systemowego i modelowania matematycznego. Następnie Autor definiuje problem zbiórki odpadów komunalnych, sytuując go w zagadnieniu przydziału środków do zadań. Problem przydziału został w rozdziale szeroko omówiony na podstawie przeglądu literatury krajowej i zagranicznej, jednak sam przegląd pozostawia pewien niedosyt, ponieważ skupia się w zasadzie na wielu aspektach pobocznych (np. w transporcie lotniczym, czy harmonogramach pracy), nie konsumowanych w dalszej części pracy. Daje to bardzo dobry pogląd na poruszaną problematykę badawczą, lecz pozostawia niezbyt precyzyjnie nakreślony stan badań nad tematyką samej dysertacji. W rozdziale przedstawiono jasno sformułowane uzasadnienie wyboru narzędzi w dysertacji (algorytmy genetyczne, mrówkowe i ich połączenie), wskazując, że nie jest to powszechnie stosowana metoda i może być traktowana jako wypełnienie tzw. luki badawczej.

Zarówno teza badawcza jak i cel rozprawy zostały trafnie i czytelnie sformułowane. Odczuwa się natomiast brak zarysowania tezy inżynierskiej (praktycznej) pracy.

W rozdziale 2 Doktorant przedstawia charakterystykę problematyki przydziału, wiążąc opis werbalny z trafnym ujęciem formalnym. Daje tym samym dowód, że w oparciu

o znajomość bardzo wielu źródeł literaturowych, swobodnie porusza się w problematyce procesów technologicznych, ujmując to w ramy porządkujących klasyfikacji. Doktorant podkreślił różnice pomiędzy klasycznym ujęciem problemu przydziału, a specyfiką podjętej w ramach dysertacji problematyką, tj. brak zdefiniowanych zadań, czy nieznaną liczbę pojazdów realizujących zadanie (wyznaczanych w metodzie przydziału). Bardzo interesująca jest część dotycząca różnych metod heurystycznych wykorzystywanych do rozwiązywania problemów optymalizacyjnych (algorytmy genetyczne, symulowanego wyżarzania, przeszukiwania tabu), pokazująca tło poruszanej problematyki, lecz na zakończenie podrozdziału 2.2 powinna się pojawić konkluzja, które metody i sposoby będą dalej wykorzystywane w analizach. W obszernym i kompetentnym przeglądzie przykładów różnych podejść, Doktorant trafnie wydobyl ich istotę, wskazując na różnorodność ujęcia, w tym stosowanych metod i narzędzi analizy oraz kryteriów optymalizacji. Tym samym Doktorant wykazał, że posiada bardzo dobre rozpoznanie światowego stanu badań w przedmiocie swojej dysertacji.

W rozdziale 3 Doktorant przedstawia metodę przydziału pojazdów do zadań w przedsiębiorstwie komunalnym. W pierwszej części można dostrzec bardzo obszerny i szczegółowy opis problemu przydziału wraz z przyjętymi założeniami i ograniczeniami związanymi z budowanym modelem. Zasadniczą częścią rozdziału jest jednak matematyczny opis modelowanych procesów, definiujący jego formalną stronę. W założeniach ogólnych Doktorant przedstawia charakterystyki elementów struktury systemu (punktowe i liniowe) i definiuje w sensie matematycznym przyjęte parametry. Zastrzeżenie może budzić brak wyjaśnień dotyczących kwestii samych założeń: np. dlaczego czas załadunku nie zależy od podstawionego pojazdu czy uproszczenie polegające na przyjęciu stałej prędkości jazdy (tutaj pojawia się pytanie o pominięcie wpływu warunków ruchu i charakterystyk przekrojów ulicznych decydujących o czasie jazdy). Ponadto wydaje się, że sformułowanie „*czas jazdy w punktach załadunkowych*” jest nieprecyzyjne i nie bardzo wiadomo jak je należy rozumieć. W czasie oczekiwania na wyładunek nie uwzględniono ewentualnej kolejki oczekującej, co może mieć znaczenie w okresach przeciążenia. Podobna uwaga dotyczy uwzględnienia czasu pracy kierowcy – nie wyjaśniono, czy przyjęty czas pracy wynika wyłącznie z procesu załadunku i czy uwzględnia się specyfikę pracy oraz wymogi prawne z tym związane. Pojawia się również pytanie dlaczego w procesie modelowania przyjęto wyłącznie kierowcę, a nie uwzględniono osób z obsługi pojazdu. Wymienione kwestie nie świadczą o błędnym podejściu, a jedynie wskazują na zbyt skrótowe przedstawienie poruszanej problematyki i niezbyt precyzyjne zdefiniowanie warunków brzegowych.

W rozdziale 4, Doktorant podzielił problem na dwa etapy, dla których wyznaczył cztery fazy realizacji: przygotowawczą, optymalizacyjną, generowania zadań i generowania przydziałów. W dysertacji odwołano się do załącznika xls, którego jednak nie dołączono do pracy. Opracowana metoda przydziału została przedstawiona w postaci schematu, który w czytelny sposób pozwala na poznanie istoty podejścia. W fazie optymalizacyjnej przedstawia się proponowane podejście, wskazując na nowatorskie rozwiązanie problemu poprzez zastosowanie algorytmu hybrydowego. Można odnieść wrażenie, że znacznie lepiej dla czytelnika byłoby wyjaśnić na czym polega hybrydowe podejście, a werbalny opis zalet pozwoliłby na lepsze zrozumienie idei Doktoranta. Natomiast sam opis sposobu działania

algorytmu uważam za wzorowy: bardzo czytelny i jasny w przekazie, wyraźnie pokazuje ogromną wiedzę Doktoranta i swobodę w przekazywaniu swoich myśli (jest to duża zaleta pracy). Na uwagę zasługuje również przyjęty sposób omawiania i przedstawiania zbudowanych algorytmów – niesłychanie złożony problem udało się przedstawić syntetycznie w postaci schematów precyzyjnie definiując zmienne oraz przyporządkowane im zależności matematyczne dla każdego z 18 opracowanych algorytmów. Na zakończenie Doktorant zbadał efektywność algorytmów poprzez określenie ich złożoności obliczeniowej. W rozdziale tym zabrakło nieco podsumowania, pozwalającego na wyciągnięcie wniosków z poruszanych kwestii i wskazaniu dalszych działań.

Rozdział 5 dysertacji dotyczy opracowanego przez Doktoranta autorskiego programu **TransMar**, którego celem jest wspomaganie podejmowania decyzji w zakresie przydziału środków transportu do zadań w przedsiębiorstwach komunalnych. Program został opracowany w języku C# i umożliwia wyznaczanie tras jazdy pojazdów, definiowania tras załadunkowych, optymalizację wielkości pojazdów oraz analizę kosztów zużycia paliwa (w tym wynagrodzeń kierowców). Program bazuje na osiągnięciach Doktoranta, opisanych we wcześniejszych rozdziałach i zawiera cztery moduły: moduł danych wejściowych, moduł optymalizacyjny wyznaczający zadania, moduł optymalizacyjny wyznaczający przydział pojazdów oraz moduł wyjściowy, przedstawiający w formie graficznej i tabelarycznej wyniki algorytmu. W rozdziale w sposób czytelny i przejrzysty przedstawiono strukturę programu oraz sposób jego działania.

Rozdział 6 w swej istocie nie jest weryfikacją metody, lecz raczej jej aplikacją połączoną z testowaniem algorytmu i odnosi się do procedury wyznaczania zadań. Dotyczy ona wskazania minimalnej trasy zadaniowej, która jest dzielona na poszczególne zadania (zdefiniowane wcześniej w rozdziale 4). Doktorant przyjął liczbę prób, iteracji czy wielkości mrowiska (niestety bez wyjaśnienia dlaczego takie wartości) i dla nich przedstawił szczegółowe wyniki analiz w postaci wykresów zbieżności. Szkoda, że Doktorant nie przyjął jednej skali wyrażającej średnią długość trasy – wykresy byłyby łatwiejsze w porównaniu. Rozdział ten jest dość skomplikowany i można oczekiwać nieco głębszego opisu testowanych wariantów. Np. dla algorytmu mrówkowego (tabl. 6.2), minimalna trasa wynosiła ~6,7 km, podczas gdy na rysunku 6.1 jest to kilkanaście km. Mnogość testowanych ustawień algorytmu i bardzo zróżnicowane wyniki, bez szczegółowych wyjaśnień przyczyniają się do trudności interpretacyjnych, które można było wyjaśnić w podsumowaniu do rozdziału. Pewien niedosyt można odczuć, porównując wyniki zastosowanych algorytmów (rys. 6.48) – wynika z niego, że algorytm hybrydowy osiągnął nieco słabszy wynik w porównaniu do algorytmu mrówkowego. Wydaje się, że kwestia ta powinna być szeroko skomentowana, zwłaszcza w świetle przyjętych celów pracy, gdzie wyraźnie podkreślano rolę modelu hybrydowego.

Rozdział 7 to aplikacja procedury do wyznaczania przydziału (trasy elementarnej wyznaczającej trasę jazdy poszczególnych pojazdów), bazujący na wskazanej w poprzednim rozdziale minimalnej trasie przejazdu. Ponownie dokonano bardzo szczegółowej analizy wpływu parametrów wejściowych na zbieżność algorytmów. Porównując testowane algorytmy wykazano, iż najkrótsza trasa została wygenerowana przez algorytm genetyczny i hybrydowy. Wydaje się, że tytuł podrozdziału 7.2 nie jest weryfikacją *sensu stricto*. Weryfikacja, to sprawdzenie, działanie zmierzające do rozstrzygnięcia prawdziwości danej

tezy. W tym rozdziale nastąpiła raczej aplikacja opracowanego modelu, ponieważ nie porównano uzyskanych wyników z bazą empiryczną (która w zasadzie dla analizowanego problemu nie jest możliwa do pozyskania).

W rozdziale 8 Doktorant dokonał w sposób zwięzły i generalnie trafny podsumowania efektów pracy wraz z wnioskami. Również wskazane dalsze kierunki prac badawczych są właściwie sformułowane i wskazują na dużą świadomość naukową Doktoranta. Można jedynie zasugerować konieczność pogłębienia problemu parametryzacji kryteriów uwzględniających interesy podmiotów zewnętrznych.

Bibliografia w liczbie 161 pozycji została starannie dobrana i zestawiona, jest w pełni reprezentatywna dla podejmowanej problematyki, stanowiąc wartość samą w sobie. Zebrane źródła są różnorodne: głównie są to referaty i artykuły, lecz także pozycje monograficzne, leksykony i ustawy. W sumie jest to bardzo przydatny zbiór dla każdego badacza zajmującego się optymalizacją systemów transportowych, w szczególności zagadnieniami przydziału.

Wśród tych 161 pozycji jest 7 publikacji Doktoranta, w tym 1 samodzielny, a wśród współautorskich - 6 z Promotorem. Ponad 60% wszystkich źródeł to publikacje angielskojęzyczne. Częste i liczne cytowania dowodzą, że Doktorant zapoznał się z większością zestawionych źródeł i z pożytkiem je wykorzystał.

2. Uwagi szczegółowe:

Dostrzeżono niewielką liczbę błędów literowych i interpunkcyjnych.

Odnosi się wrażenie, że angielski tytuł nie do końca oddaje treść pracy – w anglojęzycznych publikacjach stosuje się pojęcie „*waste management*” oraz „*vehicle routing / scheduling*”, co wydaje się, znacznie lepiej oddałoby poruszone treści (we wprowadzeniu Autor sam klasyfikuje poruszany problem do „*vehicle scheduling problems*”).

s. 46 – trzykrotnie powtórzono przyjęte oznaczenia (stosując zróżnicowane nazewnictwo dla tych samych symboli),

s. 71 – błędny przypis do wzoru (wzór 3.142 to to kryterium, a nie ograniczenie). Powinno być 3.141.

s. 71 – we wzorze 3.145 zgubiono symbol t (dla czasu jazdy t_j),

s. 116 – zaproponowany układ schematów przyjętych algorytmów jest nieczytelny – opis przenika się ze schematami w niewłaściwej kolejności, przez co utrudniona jest orientacja w rozdziale.

s. 186 – przedstawione wyniki są chyba zawyżone dziesięciokrotnie – z treści rozdziału 7 wynika (ostatni akapit na s. 185) iż trasy mają ok. 37 km długości.

s. 217 – załączniki 3 i 4 w zasadzie są zbędne i nic nie wnoszą do pracy

s. 221 – załącznik 5 – przyjęty układ wykresów i odwołań do tekstu powodują dużą trudność w interpretacji wyników. Wydaje się, że bardziej wartościowym byłby werbalny opis wyników, bez konieczności odwoływania do tak licznych przypadków.

3. Ocena redakcji pracy

Układ całości pracy jest logiczny, czytelny i cechuje się wysoką gęstością merytoryczną, a wywód prowadzony jest konsekwentnie. Jediną uwagę można mieć do częstych powtórzeń nakreślonych problemów i wyjaśnień. Z jednej strony jest to bardzo pomocne, zwłaszcza wobec wysokiego poziomu złożoności pracy, z drugiej jednak strony powoduje u czytelnika wrażenie, że „już to było”.

Uporządkowanie treści w obrębie rozdziałów i podrozdziałów jest trafne, poza nielicznymi mniej znaczącymi wyjątkami. Kilukrotnie dostrzeżono, iż opis metod jest zbyt skrótowy jak na oczekiwania ich pełnego przedstawienia, lecz wobec znacznej obszerności dysertacji, w zasadzie nie stanowi to istotnego uchybienia (wydaje się, że metody powinny być przedstawione z równoczesną fizykalną interpretacją pojęć, dla konkretnego obiektu i dla wybranej aplikacji).

Praca jest bardzo dobrze zredagowana. Jednakże język rozprawy jest miejscami - ze względu na używanie specjalistycznej terminologii – hermetyczny, trudny w odbiorze, choć nigdy nie pozbawiony precyzji. Dostrzeżono nieliczne usterki edycyjne (tzw. literówki).

4. Ogólna ocena pracy

Na podkreślenie zasługuje sam fakt podjęcia bardzo trudnej i bardzo wąskiej problematyki oraz rozległość i precyzja wykorzystywanych wielu źródeł, z którymi Doktorant nie tylko wnikliwie zapoznał się, ale wykazał że rozumie ich istotę i trafnie je syntetyzuje. Doktorant rozwiązał problem o wielkiej złożoności posługując się pogłębionym opisem formalnym jako zadanie optymalizacji oraz wykazał się sprawnością i biegłością w posługiwaniu się metodami heurystycznymi i ogromną wiedzą z zakresu programowania. Ujawnił tym samym swoje wysokie kompetencje naukowe, w szczególności umiejętność kojarzenia metod heurystycznych z algorytmicznymi.

Podjęty problem jest bardzo ważny zarówno z naukowego jak i z inżynierskiego punktu widzenia. Rozwiązując go Doktorant wykazał dojrzałość badawczą wynikającą ze sprawnego posługiwania się zastosowaną metodą oraz posiadał wystarczającą znajomość procesów obsługowych.

Recenzowana praca doktorska pomimo zgłoszonych uwag, głównie o charakterze wątpliwości bądź usterek (zapewne znaczna część z nich jest dyskusyjna), jest ambitnie zamierzoną i w pełni poprawnie zrealizowaną dysertacją. Uwagi szczegółowe mają głównie charakter redakcyjny, mogą być wykorzystane w poprawie jakości, w tym czytelności zamierzonych publikacji obejmujących poszczególne fragmenty dysertacji.

5. Wniosek końcowy i jego uzasadnienie

Uzasadnieniem wysokiej oceny pracy są następujące jej walory:

- umiejętność sformułowania problemu naukowego dotyczącego złożonego obiektu badań i poprawna jego strukturalizacja;

- zaprezentowane przez jej Autora bardzo wysokie kompetencje merytoryczne i dojrzałość badawcza;
- wkład w rozwój metody przydziału pojazdów do zadań w przedsiębiorstwach komunalnych metod heurystycznych, w tym własnego oprogramowania komputerowego;
- wielka swoboda i nadzwyczajna sprawność w posługiwaniu się zastosowaną metodą;
- doprowadzenie do efektywnego rozwiązania postawionego zadania;
- doskonała orientacja w stanie badań i umiejętność ich syntetycznego przedstawienia;
- umiejętne wykorzystanie bardzo wielu źródeł, z twórczym rozwinięciem niektórych prac;
- umiejętność zastosowania metody dostosowanej do charakteru obiektu badań oraz nowoczesnych narzędzi i technik prowadzących do rozwiązania problemu;
- wielki trud badawczy, wykraczający poza zwyczajową pracochłonność prac doktorskich;
- inspirujące wartości rozprawy dla innych, dalszych tego typu badań.

Wykazane uwagi w żadnym stopniu nie osłabiają wysokiej oceny pracy. W podsumowaniu wniosku wyrażam opinię, że recenzowana rozprawa spełnia wymagania stawiane stosownymi przepisami pracom doktorskim i wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Mariusza Izdebskiego do publicznej obrony pracy doktorskiej w dyscyplinie „Transport”. Ponadto, wobec bardzo wysokiej merytorycznej wartości pracy, chciałbym złożyć wniosek o wyróżnienie dysertacji przez Radę Wydziału.

