

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr. inż. Mariusza Drabeckiego

zatytułowanej:

*Quality-based Multi-criteria Optimisation Approach
in Dispatch of Services of General Interest*

1. Problem badawczy i jego znaczenie

W rozprawie rozważa się problem optymalnego wykorzystania zasobów w obszarze usług świadczonych w interesie ogólnym. Według terminologii przyjętej przez Komisję Europejską usługi świadczone w interesie ogólnym to usługi służące dobru ogółu, które podlegają szczególnym zobowiązaniom z tytułu świadczenia usług publicznych. Przykłady tego typu usług obejmują m.in.: transport publiczny, usługi pocztowe i opiekę zdrowotną. Badania prowadzone przez doktoranta były ukierunkowane na poszukiwanie ogólnego sformułowania modelu użytecznego wspomagającego podejmowanie decyzji dotyczących dystrybucji różnego typu usług zaliczanych do wspomnianej kategorii. Sformułowanie modelu użytecznego jest zasadniczym etapem budowy systemu wspomagania decyzji metodami badań operacyjnych. Mimo, że badania operacyjne są nauką interdyscyplinarną, modelowanie sytuacji decyzyjnych najczęściej klasyfikuje się w dyscyplinie informatyka i telekomunikacja, głównie ze względu na szerokie zastosowanie metod obliczeniowych w procesie poszukiwania optymalnych lub suboptymalnych decyzji. Równocześnie szybko rosnące możliwości obliczeniowe współczesnych komputerów pozwalają rozwiązywać zadania optymalizacyjne wynikające z modeli matematycznych, które stanowią coraz dokładniejszy opis rzeczywistej sytuacji decyzyjnej, co prowadzi do poprawy jakości podejmowanych decyzji. Te możliwości zostały z dobrym skutkiem wykorzystane w rozprawie poprzez wprowadzenie wielokryterialnej oceny rozdziału usług, uwzględniającej nie tylko aspekt kosztów, ale również dostosowanie usług do zdefiniowanych potrzeb usługobiorcy.

Niniejsza rozprawa dotyczy opracowania i analizy modeli rozdziału usług, które mogą być świadczone w sposób zróżnicowany (na przykład za pomocą różnych zasobów), co wpływa na jakość świadczonej usługi. Wstępna analiza wybranych usług świadczonych w interesie ogólnym wykazała, że poza kryterium kosztowym w praktyce często istotne są inne aspekty wykonania usługi, jak na przykład przewiezienie pacjenta bezpośrednio do specjalistycznego szpitala zamiast do najbliższej placówki medycznej. Okazało się, że wielu sytuacjach jakość świadczonej usługi staje się równie ważna lub ważniejsza niż sam koszt jej wykonania. Ambitnym celem dalszych badań stało się opracowanie ogólnego modelu optymalizacyjnego, który można zastosować niezależnie od charakteru świadczonych usług. Model taki o nazwie *Dispatch Optimisation problem with Quality-based criteria* (SDOQ) został zaproponowany w rozprawie a następnie zweryfikowany za pomocą eksperymentów obliczeniowych. Pierwsza grupa eksperymentów została przeprowadzona na danych generowanych

losowo. Druga grupa eksperymentów obejmowała analizę przypadku dla dwóch odmiennych typów usług: dostarczania energii elektrycznej oraz świadczenia usług w zakresie ratownictwa medycznego. Opracowany model jest modelem wielokryterialnym a zatem eksperymenty polegają głównie na porównaniu jakości rozwiązań otrzymanych za pomocą analizowanego modelu oraz podejścia z jednym tylko kryterium kosztowym. Oceny dokonano za pomocą analizy statystycznej pięciu miar związanych z wartościami kryteriów w porównaniu do poziomu rezerwacji, średnią wartością funkcji użyteczności oraz czasem obliczeń.

Zastosowane podejście jest poprawne metodologicznie a uzyskane wyniki stanowią wkład w rozwój badań operacyjnych. Przytoczone przykłady ilustrujące zastosowania analizowanego modelu potwierdzają potencjalne znaczenie praktyczne prezentowanych wyników.

2. Wkład autora

W rozdziale 1.3 sformułowano podstawową tezę rozprawy w postaci: uwzględnienie kryteriów jakościowych w uogólnionym problemie optymalizacji rozdziału usług świadczonych w interesie ogólnym podnosi jakość rozdziału pozwalając na otrzymanie rozwiązań lepiej dopasowanych do potrzeb usługobiorców. Aby wykazać postawioną tezę sformułowano 5 celów szczegółowych obejmujących opracowanie uogólnionego modelu optymalizacyjnego rozważanego problemu, analizę wybranych metod agregacji do rozwiązywania problemu wielokryterialnego, porównanie rezultatów otrzymanych w wyniku zastosowania proponowanego podejścia ze standardowym podejściem jednokryterialnym, analizę zastosowań problemu wielokryterialnego w zakresie świadczenia usług związanych z dostawą energii elektrycznej oraz w zakresie usług ratownictwa medycznego.

Zaproponowany model należy do klasy wielokryterialnych problemów rozdziału zasobów w czasie. Kryteria minimalizowane traktowane są jako kryteria kosztowe, natomiast kryteria maksymalizowane odpowiadają kryteriom jakościowym. Wartości zmiennych decyzyjnych określają ilość usługi świadczonej przez usługodawcę odbiorcy w wybranym przedziale czasu. Model ten jest bardzo ogólny zatem istotnym wkładem autora jest wykazanie możliwości jego zastosowania do optymalizacji rozdziału różnorodnych usług. Omówieniu tego zagadnienia poświęcono dwa rozdziały rozprawy, w których przedstawiono studium przypadku dla systemu dystrybucji energii elektrycznej oraz dla systemu ratownictwa medycznego. Wykazano tym samym, że możliwa jest adaptacja modelu do specyfiki świadczonych usług oraz pozyskanie danych pozwalających na skuteczne wykorzystanie modelu do wspomagania decyzji w praktycznych zastosowaniach.

Wcześniej przeprowadzono analizę efektywności samego modelu za pomocą eksperymentów obliczeniowych na danych generowanych losowo. Eksperymenty miały na celu zbadanie możliwości poprawy rozwiązań z punktu widzenia kryteriów jakościowych dzięki zastosowaniu podejścia wielokryterialnego. Porównano wyniki otrzymane przy zastosowaniu trzech różnych modeli: problemu z jednym kryterium, problemu otrzymanego przez zastosowanie skalaryzacji problemu wielokryterialnego metodą punktu odniesienia gwarantującego znalezienie rozwiązań Pareto-optymalnych oraz problemu sformułowanego w sposób gwarantujący znalezienie rozwiązań Pareto-optymalnych i równocześnie sprawiedliwych. W ramach eksperymentu rozważano trzy grupy instancji wyróżnione ze względu na liczbę dostawców (od 13 do 120) i odbiorców (od 10 do 100). W każdej grupie wygenerowano losowo po 2000 instancji. Rozwiązania porównywano na podstawie pięciu miar, które zdefiniowano jako: liczba kryteriów przyjmujących wartości nie gorsze niż poziom rezerwacji, liczba kryteriów, których wartość była gorsza od poziomu rezerwacji o co najmniej 10%, największe (dodatnie) procentowe odchylenie między wartością kryterium z poziomem rezerwacji

łącznie dla kryteriów kosztowych i jakościowych, średnia wartość funkcji użyteczności oraz czas obliczeń. W rozwiązaniach otrzymanych za pomocą modeli wielokryterialnych statystycznie więcej kryteriów jakościowych osiągało wartości lepsze od poziomu rezerwacji. Wynik ten był bardziej wyraźny dla dużych instancji. Niekiedy poprawa kryteriów jakościowych powodowała pogorszenie w aspekcie kosztów (w sensie liczby kryteriów przyjmujących wartości gorsze od poziomu rezerwacji). Problem jednokryterialny okazał się jednak znacznie bardziej efektywny pod względem czasu obliczeń. Znaczące wydłużenie czasu obliczeń zaobserwowano szczególnie dla modelu gwarantującego znalezienie rozwiązań sprawiedliwych. Obliczenia okazały się na tyle złożone, że możliwość zastosowania tego modelu w praktyce jest na razie mało prawdopodobna. Ponadto zaobserwowano, że poprawa rozwiązań w stosunku do problemu nie dającego gwarancji znalezienia rozwiązania sprawiedliwego była niewielka. Zdecydowano zatem, że problem o krótszym czasie obliczeń będzie wykorzystany w studiach przypadku mających na celu potwierdzenie użyteczności modelu do zastosowań praktycznych.

Niektóre wyniki cząstkowe prezentowane w rozprawie były wcześniej publikowane, głównie w materiałach konferencyjnych. Uogólnienie i analizę tych wyników przedstawione w rozprawie również uważam za wartościowe osiągnięcie Autora.

3. Poprawność

Przyjęta w rozprawie metodyka badań, polegająca na opracowaniu uogólnionego modelu wielokryterialnej optymalizacji problemu dystrybucji usług świadczonych w interesie ogólnym a następnie wykazaniu jego efektywności na podstawie eksperymentów obliczeniowych oraz studium przypadku jest właściwa dla badań operacyjnych. Przedstawione modele są poprawne a plan eksperymentów i analiza wyników nie budzą zastrzeżeń.

Rozprawa o objętości 195 stron jest napisana w języku angielskim, zasadniczo poprawnym. Drobne uwagi przekazałam bezpośrednio doktorantowi. Rozprawa składa się z 7 rozdziałów, bibliografii, oraz dwóch dodatków zawierających definicje relacji dwuargumentowej wraz z własnościami oraz rozważane modele matematyczne. Układ treści oraz strona redakcyjna rozprawy nie budzą istotnych zastrzeżeń. Moim zdaniem można było zrezygnować z dodatku A, który jest bardzo krótki i wprowadza podstawowe definicje, które można było umieścić w tekście rozprawy. Również odwołanie do literatury jest tu zaskakujące – definicje te można znaleźć w podręcznikach algebry.

Mam kilka uwag dyskusyjnych, związanych przede wszystkim z przyjętymi założeniami.

Teza rozprawy postawiona w rozdziale pierwszym wydaje się nie wymagać dowodu. W pracy wykazano raczej, że dostępne są narzędzia pozwalające skutecznie uwzględnić kryteria jakościowe zarówno na poziomie modelu, jak i metod rozwiązywania sformułowanych zadań optymalizacyjnych. Szczegółowe cele badawcze znacznie lepiej wyjaśniają na czym polega cel i zakres podjętych prac.

Koncepcja usług świadczonych w interesie ogólnym wydaje się oczywista w społeczeństwach o wysokim poziomie rozwoju, który charakteryzuje wszystkie kraje Unii Europejskiej. Pewnym niedopowiedzeniem jest zakres świadczonych usług, co może znacząco wpływać na kształtowanie założeń w problemie optymalizacyjnym. Ponadto, w pracy przyjmuje się założenie, że pewne aspekty jakościowe mogą być ważniejsze dla usługobiorcy niż aspekty kosztowe. Założenie to wydaje się utopijne, zwłaszcza w sferze dystrybucji energii, gdy obliczu szybko i nieustannie rosnących cen energii (w tym energii elektrycznej) powszechnym problemem staje się poniesienie kosztów zakupu

gwarantujących zaspokojenie podstawowych potrzeb. Nieco bardziej przekonujący jest przypadek działania służb ratownictwa medycznego, gdzie udzielenie właściwej pomocy, mimo lokalnego wzrostu kosztu (np. transportu) powoduje globalne zmniejszenie kosztu leczenia czy też kosztów społecznych w przypadku nieudzielenia właściwej pomocy we właściwym czasie.

Kolejne uwagi są związane ze sformułowaniem modeli oraz interpretacją wyników zatem proszę o ustosunkowanie się do nich podczas obrony.

Na stronie 33 przedstawiono problem (2.5), będący pochodną problemu (2.4). Niestety nie objaśniono oznaczeń $(d_{i,k}, t_k)$, co sprawia, że rozważanie jest niezrozumiałe. Oznaczenia d oraz t pojawiają się na stronie 51, ale z trzema indeksami. Sformułowanie wymaga bardziej szczegółowego objaśnienia.

W modelu SAOQ (s. 36) dopuszczalność rozwiązania jest gwarantowana przez ogólnie sformułowane ograniczenie $x \in Q$. Natomiast w modelu DSOQ występuje tylko wyraźne ograniczenie zapewniające, że każdy odbiorca (*customer*) otrzyma dokładnie jedną jednostkę zasobu (*resource/supplier*), natomiast nie występuje w sposób jawny ograniczenie na dostępną ilość zasobu. Podany przykład (karetka pogotowia) sugeruje, że liczba zasobów użytych w jednostce czasu jest ograniczona, zatem $\sum_{i=1}^{|P_k|} y_i^j$ również powinno być ograniczone. Proszę o wyjaśnienie, dlaczego to ograniczenie jest zbędne.

W tabelicy 4.1. na stronie 56 w kolumnie *Multi-criteria eq.* w wierszu *Min value* pojawia się wartość zero. Jak należy interpretować tę wartość? Czy oznacza to, że w najgorszym przypadku żadne kryterium nie osiągnęło poziomu rezerwacji? Wydaje się to niespójne z danymi prezentowanymi na rys. 4.1. Mimo, że w tablicach podano wartości kilku miar statystycznych, dyskusja ogranicza się tylko do wartości średniej, co pozostawia pewien niedosyt.

We wzorze (4.4) na s. 59, w liczniku pojawia się wartość $f_i(x)$ objaśniona poniżej a w mianowniku wartość f_i , która nie została objaśniona. Czy chodzi o tę samą wartość $f_i(x)$, czy np. o najlepszą wartość znaną przez wszystkie trzy algorytmy czy poziom rezerwacji r_i , podobnie, jak dla kryteriów maksymalizowanych? Rozwianie tych wątpliwości ma istotne znaczenie z punktu widzenia interpretacji wyników eksperymentów obliczeniowych.

4. Wiedza kandydata

Wiedza kandydata obejmuje zarówno zagadnienia z zakresu badań operacyjnych, w szczególności metod optymalizacji wielokryterialnej, projektowanie systemów wspomaganie decyzji, szczegółowe problemy modelowania dystrybucji energii elektrycznej czy ratownictwa medycznego, jak i ramowe założenia polityki Unii Europejskiej w zakresie usług świadczonych w interesie ogólnym.

Rozdział pierwszy rozprawy stanowi wprowadzenie do rozważanej tematyki. Wyjaśniono w nim pojęcie i charakter usług świadczonych w interesie ogólnym oraz zasady świadczenia tych usług. Przedstawiono charakterystykę i klasyfikację systemów wspomaganie decyzji oraz omówiono pojęcie jakości w odniesieniu do jakości usług świadczonych w interesie ogólnym jak również przedstawiono dyskusję wielokryterialnego podejścia do rozdziału usług świadczonych w interesie ogólnym. Rozdział jest napisany bardzo syntetycznie, ale zawiera uporządkowane informacje odpowiednio ilustrujące genezę i motywację podjętych badań. Cytowana literatura świadczy o dobrej orientacji doktoranta w aktualnym stanie wiedzy we wszystkich prezentowanych obszarach. W przejrzysty sposób przedstawiono organizację pracy oraz cele badawcze.

Osobny rozdział poświęcono omówieniu metod optymalizacji wielokryterialnej skupiając się na metodach wykorzystanych w pracy. Ten rozdział mógłby być rozszerzony o prezentację alternatywnych klas metod optymalizacji wielokryterialnej (interaktywne, eksperymentalne, metaheurystyczne).

Kolejnym obszarem kompetencji doktoranta zaprezentowanym w rozprawie jest generowanie i dystrybucja energii elektrycznej. Podstawowe aspekty handlu energią elektryczną w systemie peer-to-peer przedstawiono w rozdziale 5. W tym zakresie doktorant opublikował współautorską pracę zawierającą koncepcje prezentowane w rozprawie.

Podobnie założenia związane z organizacją, działaniem i przewidywaniem usług ratownictwa medycznego omówiono w rozdziale 6. Na tej podstawie sformułowano problem optymalizacyjny bazujący na ogólnym modelu optymalizacji wielokryterialnej przedstawionym w rozdziale 4.

Bibliografia, zawierająca 256 pozycji obejmuje zagadnienia dotyczące teorii systemów wspomagania decyzji, metod optymalizacji wielokryterialnej, projektowania systemów generowania i dystrybucji energii elektrycznej w szczególności w systemach peer-to-peer, zasad organizacji służb ratownictwa medycznego oraz wytycznych Unii Europejskiej w zakresie świadczenia usług w interesie ogólnym. Jest to bogata bibliografia, wykorzystana w rozprawie w sposób bardzo dojrzały, świadczący o dobrej znajomości aktualnego stanu wiedzy w analizowanych obszarach. Sposób prezentacji podstaw teoretycznych zagadnień rozważanych w rozprawie potwierdza umiejętność korzystania ze źródeł literaturowych. W odniesieniu do bibliografii mam dwie uwagi. Pierwsza dotyczy uporządkowania pozycji w spisie literatury według kolejności cytowania. Jest to poprawne, jednak z punktu widzenia czytelnika, a zwłaszcza recenzenta wygodniejsze jest uporządkowanie alfabetyczne. Biorąc pod uwagę wykorzystanie rozłącznych zbiorów publikacji w różnych fragmentach pracy można było rozważyć umieszczenie spisu literatury na końcu każdego rozdziału. Ponadto uważam, że w naukach ścisłych i technicznych bardzo wygodny dla czytelnika jest tzw. system harwardzki, w którym źródła podawane są w nawiasach zawierających *nazwisko autora, rok wydania i ewentualnie stronę* cytowanej publikacji. Traktuję te uwagi raczej jako wskazówkę na przyszłość, gdyż zarówno układ listy, jak i przywołanie źródeł są redakcyjnie poprawne.

5. Podsumowanie

Biorąc pod uwagę opinie zaprezentowane w poprzednich punktach stwierdzam, że rozprawa zawiera oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, pozwala stwierdzić, że kandydat posiada ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie Informatyka techniczna i telekomunikacja oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej i w związku z tym spełnia wymagania zdefiniowane przez art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (z późniejszymi zmianami), a zatem wnoszę o jej dopuszczenie do publicznej obrony.



Podpis