Gdynia, dn. 30 maja 2015 r.

Dr hab. inż. Janusz Łacny
Profesor WSG
Wyższa Szkoła Gospodarki w Bydgoszczy
ul. Garbary 2
85-229 Bydgoszcz

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Macieja Bieńczaka

na temat

„Planowanie zrównoważonego rozwoju transportu w obszarach jednostek terytorialnych"

napisanej pod kierunkiem dr hab. inż. Jerzego Kwaśnikowskiego

Uwagi ogólne o przedmiocie, celu, treści pracy i osiągnięciach Doktoranta

Mgr inż. Maciej Bieńczak podjął się rozwiązania zagadnienia bardzo aktualnego, ciekawego i niezwykle ważnego, zarówno z punktu widzenia teoretycznego jak i praktycznego, a mianowicie kwestii funkcjonowania regionalnego publicznego transportu zbiorowego osób, a w szczególności metod jego modelowania i optymalizacji. Na bazie dotychczas stosowanych rozwiązań Doktorant zaproponował nowatorskie podejście do rozważanego zagadnienia, przedstawiając swoją własną metodę projektowania optymalnego, z punktu widzenia zadanych kryteriów optymalizacji, systemu publicznego transportu zbiorowego osób działającego na obszarze jednostki samorządu terytorialnego, opartą na matematyczno – informatycznych podstawach. Mgr inż. M. Bieńczak opracował implementację komputerową zaproponowanej metody projektowania takiego systemu oraz uwzględnił potrzebę przeprowadzenia weryfikacji poziomu skuteczności prezentowanego narzędzia. Uniwersalność zaproponowanego podejścia umożliwia wykorzystywanie go do projektowania publicznego transportu zbiorowego zarówno w małych jak i dużych jednostkach samorządu terytorialnego, a więc zarówno w gminach i powiatach, jak i związkach tych jednostek oraz województwach.

Proponowana metoda wykorzystuje algorytmy dokładnej oraz przybliżonej optymalizacji dyskretnej. Dzięki dodatkowym modułom zawartym w stworzonym na jej potrzeby oprogramowaniu umożliwia ona, w szczególności, walidację założeń do procedury

optymalizacyjnej, np. spójności struktury optymalizowanej sieci (układu linii, konfiguracji rejonów transportowych), zastosowanie heurystycznego podejścia do wyboru ostatecznego rozwiązania należącego do zbioru rozwiązań dopuszczalnych oraz wizualizację uzyskiwanych rozwiązań przy użyciu Google Application Programming Interface.

Zaproponowana przez Doktoranta metoda, uwzględniająca potrzebę harmonijnego funkcjonowania różnych operatorów i instytucji reprezentujących różne gałęzie transportu, a więc dysponujących różnymi środkami transportowymi (duże i małe autobusy, szynobusy, pociągi itd.), realizowana jest w czterech etapach. Etap I obejmuje pozyskanie informacji dotyczących rozpatrywanej jednostki samorządu terytorialnego (regionu), a w szczególności: wyników badań i analiz natężenia ruchu pasażerskiego oraz struktury i parametrów funkcjonowania regionalnego transportu zbiorowego (umożliwi to podział badanej jednostki samorządowej na rejony transportowe, oszacowanie średnich czasów przejazdów itp.), wyników badań procesów demograficznych, gospodarczych i społecznych stymulujących aktualny i przyszły ruch pasażerski w regionie, oceny dostępności operatorów transportowych działających w regionie i ich potencjału przewozowego, aktów prawnych oraz dokumentów formalnych dotyczących planów i strategii rozwoju regionu, sposobu finansowania regionalnego publicznego transportu zbiorowego itd.

Etap II dotyczy kompleksowego badania empirycznego ruchu pasażerskiego w analizowanej jednostce samorządu terytorialnego (regionie), z uwzględnieniem zachowań komunikacyjnych osób w badanym obszarze, czyli ruchu pojazdów i pasażerów, zarówno wewnątrzregionalnego, a więc generowanego przez mieszkańców badanego regionu, jak i absorbowanego spoza tego regionu. Podstawową metodę badawczą stosowaną na tym etapie stanowią badania ankietowe prowadzone, o ile to możliwe, na reprezentatywnej próbie kierowców, pasażerów i mieszkańców regionu, poprzez wykorzystanie wywiadów bezpośrednich, telefonicznych i internetowych. Niezwykle istotna jest wiarygodność rezultatów uzyskanych w dwóch pierwszych etapach prezentowanej metody, bowiem to głównie ona determinuje jakość całego procesu optymalizacyjnego.

Na etapie III ma miejsce przetwarzanie zgromadzonych danych i dostosowywanie ich do postaci użytecznej dla proponowanej procedury optymalizacyjnej. W szczególności, na tym etapie musi zostać zdefiniowany spójny, ważony, na ogół rzadki, graf skierowany odwzorowujący sieć komunikacyjną badanego regionu. Jego wierzchołki reprezentują rejony transportowe badanego regionu lub intermodalne punkty przesiadkowe, a krawędzie - połączenia bezpośrednie między parami wierzchołków, z wagami odzwierciedlającymi średnie czasy przejazdu środka transportu lub czasy przesiadek, czyli zamian jednego środka na drugi. Na tym etapie następuje też uwzględnienie warunków ograniczających dla procesu optymalizacyjnego, takich jak: pojemności dostępnych środków transportu i minimalne poziomy ich wykorzystania oraz warunki brzegowe, określające potrzebę uruchomienia lub konieczność likwidacji każdego połączenia.

Etap IV obejmuje właściwą procedurę optymalizacji systemu publicznego transportu zbiorowego osób działającego w analizowanym regionie, czyli zdefiniowanie optymalnej struktury sieci połączeń komunikacyjnych oraz określenie minimalnej liczby przejazdów wzdłuż każdej krawędzi grafu opisującego tę sieć w zakładanym przedziale czasowym (np. doba). Tak zoptymalizowany system ma zapewniać pasażerom publicznego transportu zbiorowego możliwie najkrótsze, w sensie średnim, czasy przejazdu, przy uwzględnieniu

przyjętych warunków ograniczających. Ponieważ jest to zagadnienie bardzo złożone, Doktorant zaproponował kilkustopniową procedurę optymalizacyjną. Najpierw poszukiwany jest graf, który odzwierciedla strukturę sieci połączeń komunikacyjnych zapewniającej najkrótsze czasy przejazdów pomiędzy zdefiniowanymi wcześniej rejonami transportowymi (uwzględnienie oczekiwań pasażerów). Procedura poszukiwawcza oparta jest na zagadnieniu znajdowania najkrótszych ścieżek między wszystkimi parami wierzchołków badanego grafu. Następnie, na bazie macierzy najkrótszych ścieżek, identyfikowane są wszystkie mosty grafu, czyli zbiór krawędzi, których usunięcie spowoduje jego niespójność, co w języku pasażerów oznacza identyfikację takich połączeń bezpośrednich, bez których nie istnieje możliwość realizacji przejazdu między zadaną parą rejonów transportowych. Dalej, tak określone krawędzie uwzględniane są we wszystkich możliwych ścieżkach grafu, w których mogą one funkcjonować jako ich elementy składowe. Następuje więc powrót do grafu pierwotnego i eliminowanie z niego krawędzi najmniej potrzebnych do zapewnienia jego spójności, a więc takich połączeń, które nie są niezbędne do skomunikowania wszystkich par wierzchołków, co oznacza, że ruch pasażerski można przenieść z nich na inne połączenia, oczywiście bez naruszenia ograniczeń w procesie optymalizacji, np. pojemności wykorzystywanych środków transportu. Proces optymalizacji kończy się, gdy dalsza eliminacja krawędzi grafu jest już niemożliwa lub zbędna.

Weryfikację zaproponowanej metody przeprowadzono na bazie dużej jednostki samorządu terytorialnego, jakim jest województwo wielkopolskie. Tamtejszy system publicznego transportu zbiorowego opiera się na dwóch gałęziach transportu: drogowym (autobusy) i szynowym (pociągi). Ze względu na wielkość rozważanego regionu sieć komunikacyjną sprowadzono do grafu, w którym każdy wierzchołek odpowiada reprezentatywnemu punktowi jednej gminy. Zaproponowana w rozprawie metoda umożliwiła optymalizację sieci połączeń kolejowych oraz autobusowych publicznego transportu zbiorowego rozważanego województwa i wskazuje na potrzebę modyfikacji obecnie wykorzystywanego rozwiązania, polegającą na zmianie częstości kursowania środków transportu publicznego w ramach niektórych połączeń, skróceniu lub wydłużeniu niektórych tras, wprowadzeniu połączeń przyspieszonych lub zamiany gałęzi transportu obsługujących niektóre relacje (zarówno z transportu kolejowego na autobusowy jak i odwrotnie).

W rozprawie zbadano również wpływ zmian w macierzy ruchu na strukturę sieci i koszty funkcjonowania regionalnego publicznego transportu zbiorowego oraz na dwa elementy pokrywające te koszty, a mianowicie: przychody ze sprzedaży biletów i poziom dofinansowania przez urząd marszałkowski. Okazuje się, że nawet trzykrotna zmiana parametrów macierzy ruchu (od 50% do 150% ruchu bazowego) nie ma wpływu na strukturę sieci kolejowej, w przeciwieństwie do sieci autobusowej, gdzie wraz ze wzrostem lub maleniem ruchu występuje potrzeba uruchamiania lub likwidacji niektórych połączeń. W obu gałęziach transportu konieczne jest natomiast zwiększanie lub zmniejszanie liczby kursów poszczególnych linii w zakładanej jednostce czasu. Nieco zaskakująca jest liniowa zmienność kosztów całkowitych funkcjonowania tego systemu transportowego, w tym także przychodów ze sprzedaży biletów oraz poziomu dofinansowania, nawet przy trzykrotnej zmianie parametrów macierzy ruchu. Nieliniowa jest natomiast zależność tych kosztów od zmian wielkości parametru ograniczającego potrzebę uruchamiania linii, a więc minimalnego wykorzystania środka transportu (parametr „minTrafficForConnection" nie został w pracy

nigdzie zdefiniowany). Na zmianę tego parametru bardzo wrażliwa jest sieć połączeń autobusowych, rozrzedzająca się wraz z jego wzrostem.

Doktorant podjął również próbę przetestowania wpływu istotnej zmiany poziomu ruchu pasażerów (nawet ośmiokrotny wzrost) między wybraną parą rejonów transportowych rozważanej jednostki samorządu terytorialnego, ale trudno jest wyciągnąć z niej wnioski ogólne, bowiem jeden z dwóch wybranych do tego eksperymentu rejonów (Poznań) jest absolutnie kluczowy dla funkcjonowania publicznego transportu zbiorowego całego regionu.

Reasumując, celem zaproponowanej przez Doktoranta procedury optymalizacyjnej jest określenie minimalnej liczby środków transportu obsługujących publiczny transport zbiorowy w badanej jednostce samorządu terytorialnego, a więc wybór właściwego układu linii oraz minimalnej liczby kursów w ramach każdej z nich w zakładanym przedziale czasowym, które zapewnią pasażerom połączenia między poszczególnymi rejonami transportowymi w regionie przy możliwie krótkim czasie przejazdu. Warunki ograniczające zadają minimalny poziom wykorzystania używanego taboru uzasadniający jego eksploatację na poszczególnych liniach, co wiąże się z wielkością środków finansowych i rzeczowych dostępnych dla zapewnienia funkcjonowania publicznego transportu zbiorowego w danym regionie. W procesie optymalizacji brany jest pod uwagę czas realizacji połączeń między różnymi rejonami transportowymi badanego regionu, przy uwzględnieniu zaproponowanej przez Doktoranta heurystycznej metody wyboru linii połączeń publicznego transportu drogowego ze zbioru rozwiązań dopuszczalnych, co oznacza uwzględnienie punktu widzenia regionalnych operatorów transportowych oraz władz samorządowych.

Ocena zawartości rozprawy

Rozprawę zaliczyć należy do opracowań o rozsądnej objętości biorąc pod uwagę realia nauk technicznych. Zawiera ona łącznie 115 stron maszynopisu i składa się z czterech rozdziałów (ponumerowanych przez Doktoranta od 2 do 5) oraz wstępu i zakończenia, (potraktowanych przez Autora pracy odpowiednio jako rozdziały 1 i 6), a także załącznika 1, uzupełnionych streszczeniami w języku polskim i angielskim oraz spisami: literatury, rysunków oraz tabel. Praca ma poprawną, aczkolwiek niezbyt zrównoważoną strukturę, bowiem trzy główne rozdziały merytoryczne pracy (nie licząc wstępu i zakończenia) liczą po 10-11 stron, a czwarty aż 36 stron. Uwzględnienie 7-stronicowego wprowadzenia oraz 3-stronicowego zakończenia, zatytułowanego przez Autora jako „Podsumowanie i wnioski", niepotrzebnie (zdaniem recenzenta) potraktowanych przez Doktoranta jako rozdziały pracy, jeszcze bardziej pogłębia nierównowagę struktury recenzowanej rozprawy.

Bibliografia pracy obejmuje 134 pozycje, z czego zdecydowaną większość (ponad 100) stanowią publikacje naukowe w języku polskim albo angielskim, z liczebną przewagą tych drugich, pochodzących w większości z kilku ostatnich lat (niemal 40 przytoczonych publikacji pochodzi z lat 2007 -2015, a około 70 opublikowanych zostało w XXI w.). Ponadto Doktorant powołuje się na niemal 20 aktów prawnych i raportów, nie tylko krajowych (12 pozycji), ale także międzynarodowych (7 pozycji). Do tego dochodzi ponad 10 bardzo aktualnych, bo dostępnych w 2015 r., stron internetowych. Zakres cytowanych odwołań do literatury jest właściwy i odpowiada tematyce pracy.

We wprowadzeniu Doktorant definiuje pojęcie transportu i cytuje powszechnie wykorzystywane klasyfikacje tego pojęcia, a następnie skupia się na publicznym transporcie

zbiorowym pasażerów i planowaniu jego zrównoważonego rozwoju, szczególnie na obszarze jednostek samorządu terytorialnego. W ostatniej części tego wprowadzenia Autor określa cel i główną tezę badawczą oraz strukturę pracy.

W pierwszym rozdziale rozprawy, oznaczonym przez Autora jako rozdział nr 2, Doktorant określa istotę planowania regionalnego publicznego transportu zbiorowego pasażerów w jednostce samorządu terytorialnego w Polsce w świetle obowiązujących uregulowań legislacyjnych i omawia to zagadnienie na tle rozwiązań systemowych stosowanych w wybranych państwach Europy Zachodniej i Stanach Zjednoczonych Ameryki Północnej. W zakończeniu tego rozdziału Doktorant przedstawia kilka możliwych podejść do problemu opracowywania planów transportowych w jednostkach samorządowych, przechodząc od podejść najprostszych do coraz bardziej złożonych.

Rozdział następny stanowi krótkie omówienie podstawowych pojęć z teorii optymalizacji, a w szczególności tych, które zostały następnie wykorzystane w dalszej części rozprawy. W szczególności, Doktorant podaje za Słownikiem Języka Polskiego definicję pojęcia optymalizacja, ale szybko uzupełnia to matematycznym ujęciem zagadnienia, stosowanym w badaniach operacyjnych i omawia przykładową klasyfikację matematycznych modeli optymalizacyjnych, najbardziej skupiając się na modelach analitycznych. W zakończeniu rozdziału Autor bardzo ogólnie omawia etapy procesu optymalizacji oraz metod rozwiązywania modeli optymalizacyjnych.

Kolejny rozdział pracy stanowi najistotniejszą część teoretyczną rozprawy, bowiem tutaj Doktorant określa praktycznie wszystkie elementy swojej, nowatorskiej metody planowania systemu publicznego transportu zbiorowego pasażerów dla jednostki samorządu terytorialnego. W szczególności, przedstawia tam czteroetapową koncepcję procedury optymalizacyjnej, opartej na elementach teorii grafów, a w szczególności, wyznaczania macierzy najkrótszych ścieżek spójnych, ważonych, skierowanych grafów planarnych, uzupełnionej heurystyczną metodą maksymalizacji wykorzystania mostów grafu. Ta część pracy zasługuje na uznanie, bowiem pokazuje wiedzę i warsztat naukowy Doktoranta, pozwalający na rozwiązywanie poważnych problemów badawczych.

W ostatnim, z formalnego punktu widzenia, rozdziale pracy przeprowadzona została weryfikacja jakości zaproponowanej metody na przykładzie dużej jednostki samorządu terytorialnego, jaką niewątpliwie jest województwo wielkopolskie. Została ona poprzedzona przedstawieniem charakterystyki badanej jednostki w zakresie struktury demograficznej i sytuacji gospodarczej rozpatrywanego regionu oraz obecnego stanu tamtejszego systemu regionalnego publicznego transportu zbiorowego. Korzystając z wszelkich dostępnych danych Autor wykorzystał zaproponowane przez siebie narzędzie do optymalizacji sieci komunikacyjnej regionu, pokazując jego zalety zarówno poprzez wskazanie możliwości modyfikacji istniejącego rozwiązania, jak i konsekwencji ewentualnych zmian natężenia ruchu pasażerskiego w regionie.

W zakończeniu, zatytułowanym „Podsumowanie i wnioski", Doktorant podsumował najważniejsze osiągnięcia rozważań przedstawionych w recenzowanej dysertacji oraz przedstawił główne kierunki dalszych prac w zakresie optymalizacji regionalnego publicznego transportu zbiorowego.

Podsumowując, do podstawowych zalet recenzowanej pracy należy zaliczyć:

1. opracowanie nowatorskiej metody planowania struktury i częstości połączeń w nowoczesnej sieci publicznego transportu zbiorowego pasażerów funkcjonującego w obszarze jednostki samorządu terytorialnego,
2. wykorzystanie ogólnodostępnego, bezpłatnego oprogramowania komputerowego do realizacji przedstawionego procesu optymalizacyjnego,
3. zweryfikowanie skuteczności zaproponowanej metody na przykładzie województwa wielkopolskiego,
4. zaproponowanie kierunków dalszych prac nad doskonaleniem skuteczności przedstawionej procedury optymalizacyjnej.

W pracy można znaleźć pewne mankamenty oraz dopatrzeć się sporej liczby błędów lub usterek. Pewne uwagi krytyczne można mieć do języka pracy, który jest w zdecydowanej większości poprawny, jednak znajdują się w niej pewne drobne uchybienia, głównie o charakterze stylistycznym. Efektem tego jest, między innymi, zbyt słabe wyeksponowanie wszystkich szczegółów nowatorskich koncepcji Doktoranta zastosowanych w opisanym procesie optymalizacyjnym. Mówiąc krócej, zaproponowana metoda optymalizacyjna jest lepsza niż jej prezentacja w pracy.

Z obowiązku recenzenckiego wskazać można następujące, stosunkowo drobne, ale niepotrzebne na tym poziomie, niedociągnięcia pracy:

1. str. 12, wiersz 7 od dołu: „Jednakże **ograniczone** fundusze powodują, że często **ogranicza** się ona do …";
2. str. 15, wiersze 8 i 9 od góry: „Na tej podstawie można **wyznaczyć ocenę jego funkcjonowania w postaci** danych wejściowych." i dalej: „Modele **takie** zbudowane są w **taki** sposób, że …";
3. str. 18, wiersz 18 od góry: „Ustawodawca stwierdza **ponadto**, że …", a chyba bardziej odpowiednie byłoby w tym miejscu użycie słowa *jedynie*;
4. str. 19, wiersz 5 od dołu: „Plan transportowy powinien … oraz **kooperować** z planami sąsiednich obszarów", a plany raczej nie mogą kooperować ze sobą;
5. str. 20, wiersz 16 od góry: wyrażenie „- ocenę podatności środków transportu," jest niezrozumiałe bez podania tego, o podatność na co ma być oceniana;
6. str. 22, wiersz 5 od góry: wyrażenie „- poprawa jakości bezpieczeństwa dróg," jest nielogiczne, bowiem można mówić o poprawie bezpieczeństwa lub o jakości dróg, ale nie o raczej dziwnej i sztucznej kombinacji tych określeń;
7. str. 22, wiersz 13 od dołu: „Na potrzeby **opracowania pracy** przeanalizowano …";
8. str. 40, wiersz 4 od góry: wyrażenie „… badania ankietowe pasażerów, kierowców oraz **mieszkańców gospodarstw domowych**" jest niezbyt fortunne;"
9. str. 41, wiersz 5 od góry: w wyrażeniu „- przyjąć pewne, **zadane wypełnienie** środków transportu (założenie II)," chyba powinna być mowa o *zadanym wypełnieniu minimalnym*;
10. str. 43, wiersz ostatni oraz str. 44 wiersz 4 od góry zawierają odpowiednio wyrażenia: „… bez możliwych **alternatyw** …" oraz „… przy wystąpieniu **alternatyw** …", a tymczasem słowo *alternatywa* oznacza jedną z dwóch wykluczających się możliwości, a zatem nie może ich być więcej niż jedna;

11. str. 56, wiersze 5 i 6 od góry: „**Przygotowane** w języku Java oprogramowanie przetwarza **przygotowane** pliki …";
12. str. 69, wiersz 14 od dołu: „- należy **rozpatrzyć** możliwość **rozpatrzenia** zastąpienia …" i dalej, w wierszach 6 i 7 od dołu: „… możliwość skorzystania z bezpośredniego **połączenia kolejowego realizowanego kolejowym** RPT";

Reasumując powyższe należy wyraźnie podkreślić, że sformułowane uwagi krytyczne nie mają decydującego wpływu na ogólną, pozytywną ocenę recenzowanej rozprawy doktorskiej.

Ocena końcowa

Biorąc pod uwagę wszystkie aspekty recenzowanej dysertacji można stwierdzić, że rozprawa doktorska mgr inż. Macieja Bieńczaka jest wartościowym studium potwierdzającym wiedzę i warsztat naukowy Doktoranta, pozwalający na rozwiązywanie problemów badawczych z zakresu transportu, szczególnie regionalnego publicznego transportu zbiorowego osób w szerokim kontekście, zarówno analitycznym jak i implementacyjnym. Praca spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim w ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki.

W związku z tym, wnoszę do Rady Wydziału Maszyn Roboczych i Transportu Politechniki Poznańskiej o przyjęcie pracy doktorskiej i dopuszczenie mgr inż. Macieja Bieńczaka do publicznej obrony.

dr hab. inż. Janusz Łacny
prof. WSG w Bydgoszczy