

Wrocław, 10.11.2017 r.

Prof. dr hab. inż. Tomasz Nowakowski
Politechnika Wrocławska
Wydział Mechaniczny
Katedra Eksploatacji Systemów Logistycznych,
Systemów Transportowych i Układów Hydraulicznych
Wyb. Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Krzysztofa Krawca
pt.: „Metoda wyboru linii publicznego transportu zbiorowego do obsługi
przez autobusy elektryczne”

Podstawa formalna recenzji: pismo Pana Dziekana Wydziału Transportu Politechniki Śląskiej
dr hab. inż. Piotra Fołęgi, doc. w Pol. Śl. z dnia 19.10.2017 r. (RT0/64/2017/2018).

1. Charakterystyka pracy

Rozprawa doktorska mgr. inż. Krzysztofa Krawca pt.: „Metoda wyboru linii publicznego transportu zbiorowego do obsługi przez autobusy elektryczne” została wydana na Wydziale Transportu Politechniki Śląskiej w 2017 r. Promotorem pracy jest prof. dr hab. inż. Sylwester Markusik, a promotorem pomocniczym – dr inż. Aleksander Sobota.

Praca zawiera 142 strony maszynopisu, w tym bibliografię – 136 pozycji, wykaz najważniejszych skrótów i oznaczeń, definicje najważniejszych pojęć stosowanych w pracy oraz streszczenie w języku polskim i angielskim.

2. Tematyka pracy

Tematyka rozprawy doktorskiej koncentruje się na bardzo aktualnym i szeroko obecnie badanym problemie wdrażania w transporcie samochodowym niskoemisyjnych technologii napędu pojazdu. Można przyjąć, że na poziomie technologicznym, informacje o „śmierci” silnika spalinowego są moeno przesadzone. Natomiast skończył się monopol na stosowanie wyłącznie silników spalinowych, w tym silników Diesla. Powszechnie korzysta się z zasilania gazem CNG, LNG lub LPG. W zakresie napędu elektrycznego konkurują dwie

konceptje: zasilanie z akumulatorów lub zasilanie z ogniw paliwowych wodorowych. Ograniczeniem napędu akumulatorowego jest relatywnie mały zasięg pojazdu oraz długi czas ładowania (tankowania). Z tego względu za realne zastosowanie samochodów elektrycznych uważa się obszar komunikacji miejskiej: publicznej – autobusy lub indywidualnej – car sharing.

Dobrym przykładem zainteresowania tematyką był I Kongres :”Pojazd elektryczny – kierunki rozwoju, technologiczne możliwości dla producentów i poddostawców”, który odbył się na Politechnice Wrocławskiej 21 września 2017 r. Tematyka konferencji obejmowała następujące zagadnienia: warunki i modele rozwoju elektromobilności, możliwości techniczne i technologiczne dla producentów pojazdów elektrycznych i dostawców, przykłady działań z zakresu elektromobilności.

Doktorant, po przeprowadzeniu kompetentnego przeglądu literatury zagadnienia, zwrócił uwagę na lukę badawczą dotyczącą organizacji procesu eksploatacji autobusu elektrycznego związana ze strategią wdrażania pojazdów do użytkowania. Rzeczywiście, przy założeniu, że technologie zasilania pojazdu i ładowania akumulatorów są ustalone, problemem o charakterze naukowym staje się wybór linii komunikacyjnych nadających się do obsługi przez pojazdy elektryczne i ustalenie optymalnej / racjonalnej kolejności ich modernizowania.

Celem rozprawy doktorskiej było opracowanie metody hierarchizacji linii publicznego transportu zbiorowego na obszarach miejskich przeznaczonych do obsługi przez autobusy elektryczne przy uwzględnieniu właściwości zasilania bateryjnego. Wobec powyższego sformułowano tezę, że analiza wielokryterialna czynników wpływających na wybór linii publicznego transportu zbiorowego przeznaczonych do obsługi przez autobusy elektryczne umożliwi ich hierarchizację w wybranej sieci transportowej.

Tak postawiony problem spełnia, moim zdaniem, wymagania stawiane rozprawom doktorskim, a udowodnienie tezy i zrealizowanie celu może stanowić podstawę do wnioskowania o nadania stopnia doktora nauk technicznych w dyscyplinie „transport”.

3. Wartość naukowa pracy

Treść pracy została podzielona na 6 rozdziałów merytorycznych dotyczących: omówienia znaczenia autobusów elektrycznych w publicznym transporcie zbiorowym, wskazania na istniejącą lukę badawczą w kontekście innych badań dotyczących podjętego problemu naukowego, sformułowania celu i tezy badawczej, scharakteryzowania obszaru badań w zakresie modeli matematycznych systemów transportu zbiorowego, przedstawienia

własnej metody oceny systemu transportowego oraz zastosowania i weryfikacji opracowanego modelu.

W kontekście realizacji głównego celu naukowego pracy, za najważniejszą, z punktu widzenia oceny osiągnięć naukowych doktoranta, część pracy uważam rozdział 6.2. „Model hierarchizacji linii”. Wejściami do modelu są: sieć transportu publicznego, zadany rozkład jazdy, stan akumulatora pojazdu.

Sieć transportowa została poprawnie zamodelowana z wykorzystaniem grafu skierowanego, w którym zbiór wierzchołków grafu odpowiada zbiorowi przystanków autobusowych. Istotną nowością w opisie przystanku jest wprowadzenie przez doktoranta parametru wtp_d definiującego wyposażenie techniczne d -tego przystanku (przystanek nie wyposażony w infrastrukturę doładowującą akumulatory trakcyjne, przystanek wyposażony w instalację szybkiego ładowania, przystanek wyposażony w instalację wolnego ładowania). W opisie łuków grafu – odcinków międzyprzystankowych, poza podstawowym parametrem jakim jest długość łuku, dodano parametr określający długość podjazdów na danym odcinku oraz współczynnik komunikacyjnej strefy prędkości. Moim zdaniem taki opis nie jest wystarczający, co omówiono w rozdziale 4 recenzji.

Modelując rozkład jazdy założono, że każdej linii przyporządkowana jest godzina rozpoczęcia jej obsługi; godzina odjazdu z pierwszego przystanku. Znane są więc czasy przejazdu odcinków międzyprzystankowych i godziny odjazdów z kolejnych przystanków linii.

Model stanu akumulatora opisuje dostępną pojemność akumulatora pojazdu. Założono liniową zależność zużycia energii w funkcji przebiegu oraz przyjęto 10% rezerwę pojemności akumulatora zabezpieczająca przed unieruchomieniem na odcinku międzyprzystankowym. Uwzględniono dwie szybkości ładowania akumulatorów: w technologii szybkiego i wolnego ładowania. Pozwala to na oszacowanie całkowitego zasięgu autobusu obsługującego daną linię transportową.

Dla potrzeb zdefiniowania hierarchii linii określono ograniczenia dotyczące: zasięgu autobusu, minimalnego poziomu naładowania akumulatora, dostępności infrastruktury doładowującej, minimalnego czasu ładowania.

Stopień przydatności linii komunikacyjnej do obsługiwanego autobusem elektrycznym określono poprzez obliczenie funkcji kryterialnej (wzór 30) wyrażającej ważoną sumę unormowanych wskaźników (zmiennych decyzyjnych) charakteryzujących: profil pionowy linii, liczbę zatrzymań technicznych w ciągu trasy linii, dostępnego czasu ładowania na przystankach wyposażonych w instalacje wolnego lub (nie i – str. 83) szybkiego ładowania –

tw. wskaźnik ładowania na linii, typów obszarów w ciągu trasy linii (przynależności poszczególnych łuków w ciągu danej linii do komunikacyjnych stref prędkości oraz liczby planowanych i nieplanowanych zatrzymań autobusu).

Autorska metoda obliczania miary hierarchii linii została syntetycznie pokazana na rys. 6.6. Przedstawiony sposób postępowania jest poprawny i wykazuje umiejętności doktoranta w zakresie twórczego budowania procedur decyzyjnych i dogłębną znajomość analizowanego systemu transportowego.

W celu weryfikacji opracowanej metodyki doktorant: zdefiniował (na podstawie analizy literatury zagadnienia) zbiór charakterystyk linii transportu zbiorowego oraz przeprowadził logicznie uzasadnioną eliminację zbędnych zmiennych opisujących linię systemu transportowego (rozdz. 6.1); przeprowadził badania ankietowe w celu wyznaczenia wag wskaźników użytych do obliczenia funkcji kryterialnej (rozdz. 6.3); zamodelował sieć komunikacyjną PKM Jaworzno i przeprowadził obliczenia miary hierarchii dla rzeczywistych linii; porównał wyniki obliczeń z decyzjami przydziału dwóch autobusów elektrycznych (Solaris Urbino Electric 12, Yutong E12LF) do zadań przewozowych w PKM Jaworzno.

Z przeprowadzonej analizy porównawczej wynika, że opracowana metodyka postępowania prowadzi do decyzji zgodnych z praktyką eksploatacji autobusów elektrycznych.

Wobec powyższego za najważniejszy dorobek naukowy doktoranta uważam:

- opracowanie własnego modelu systemu transportu zbiorowego uwzględniającego specyfikę eksploatacji autobusu elektrycznego,
- opracowanie i zweryfikowanie własnej metody hierarchizacji linii komunikacyjnej,
- przeprowadzenie badań rzeczywistego systemu transportu zbiorowego i oszacowanie charakterystyk obsługiwanych linii komunikacyjnych.

Należy również podkreślić bardzo obszerną i konsekwentnie przeprowadzoną analizę zagadnień poruszanych w rozprawie, dotyczących aktualnej wiedzy o możliwościach eksploataowania autobusów elektrycznych.

4. Uwagi krytyczne

Ocena pracy wymaga przedyskutowania:

- celowości formułowania tezy rozprawy doktorskiej,
- poprawności korzystania z metod ankietowych do pozyskiwania informacji badawczych,
- struktury podziału treści rozprawy.

Mam wątpliwości czy w pracach doktorskich o charakterze koncepcyjno-badawczym celowe jest formułowanie tezy rozprawy. Wydaje mi się, że wystarczające jest określenie celu naukowego i udowodnienie, że cel główny i ewentualnie cele cząstkowe pracy zostały osiągnięte. W tej rozprawie, czy można tezę zanegować, tzn. wykazać, że zastosowanie metody wielokryterialnej czynników wpływających na wybór linii publicznego transportu zbiorowego przeznaczonych do obsługi przez autobusy elektryczne **nie** umożliwi ich hierarchizacji w wybranej sieci transportowej. W sumie, w rozprawie chodzi o udowodnienie poprawności opracowanej metody wyboru (co jest celem pracy), a nie wykazanie przydatności metody wielokryterialnej.

Zastosowana metoda wyboru charakterystyk linii publicznego transportu zbiorowego daje wyniki subiektywne. Wyróżniono pięć zbiorów charakterystyk: związanych z trasą linii, związanych z rozkładem jazdy, technicznych dotyczących pojazdu i systemu zasilania stacji ładowania, ekonomicznych dotyczących procesu użytkowania i kosztów inwestycyjnych oraz operacyjnych. Podział pomiędzy te zbiory nie jest zupełny i jednoznaczny, np. punktualność kursowania linii nie należy do zbioru charakterystyk linii ani zbioru związanego z rozkładem jazdy.

Brakuje mi próby obiektywizacji takiej analizy np. na podstawie teorii ruchu pojazdu samochodowego lub przy wykorzystaniu podstaw ekonomiki transportu. Przy konsekwentnym stosowaniu podejścia systemowego doktorant zauważyłby brak charakterystyk otoczenia systemu eksploatacji, szczególnie brak kryterium klimatycznego (w analizie literatury zagadnienia doktorant cytuje informacje o wpływie temperatury otoczenia na pojemność akumulatorów – można sobie wyobrazić, że linia nadaje się do „elektryfikacji” tylko w lecie).

Cechą pozytywnie wyróżniającą autobusy elektryczne jest zdolność do odzyskiwania energii w procesie hamowania. Warto więc, poza parametrem linii – długością podjazdów - uwzględnić długość zjazdów oraz stopień napełnienia; można sobie wyobrazić hipotetyczną sytuację oddawania energii do sieci (pusty podjazd – pełny zjazd).

Podobne wątpliwości budzą wyniki badania ankietowego przeprowadzonego wśród przewoźników dotyczącego wag zmiennych decyzyjnych – rys. 6.8. Uzyskane oceny są bardzo zróżnicowane np. opinia dotycząca ważności profili pionowego trasy zawiera się od 5 ocen „5”, przez 2 oceny „4”, 2 oceny „2” do 2 ocen „1”. Przyjmowanie wartości średniej z tych ocen do dalszego wnioskowania uważam za zbyt uproszczone, należy oszacować miary rozrzutu. Uwzględniając przedziału ufności poszczególnych wag, prawdopodobnie okazało

by się, że nie ma podstaw do ich różnicowania. Zresztą doświadczenia ankietowanych ekspertów w zakresie eksploatacji autobusów elektrycznych są znikome.

Treść pracy zawiera wszystkie niezbędne elementy wymagane dla tego typu prac naukowych. Zauważa się jednak pewne wymieszanie fragmentów dotyczących przeglądu literatury zagadnienia, podrozdziałów omawiających własny dorobek naukowy doktoranta (model systemu transportowego i metoda hierarchizacji linii) oraz wyników badań przeprowadzonych przez autora. Ten problem pokazano omawiając w rozdziale 3 recenzji wartość naukową pracy, podając odpowiednie numery podrozdziałów. Innym przykładem mogą być strony 85 – 87, na których ogólnym wskaźnikiem charakteryzującym łuki grafu przypisano konkretne wartości dopuszczalnej prędkości czy godzin użytkowania autobusu. Na tym etapie omawiania metody powinno się zapisać je w sposób ogólny.

5. Sposób napisania i zredagowania pracy.

Praca jest napisana poprawnym językiem naukowym. Edycja tekstu nie budzi zastrzeżeń. Rysunki i tabele są celowo dobrane, dobrze dopracowane graficznie. W tekście zauważono pewne błędy logiczne:

- powiązanie rysunków z tekstem (przykładem może być rys. 6.4: Zbiór wejść i wyjść modelu; jednym z wejść na rysunku jest „Lokalizacja punktów ładowania baterii”, podczas gdy w tekście na str. 70 napisano „... i stanu baterii autobusów elektrycznych.”);
- używanie sformułowań np. „zadanie optymalizacyjne” lub „zmiennie decyzyjne”, podczas gdy chodzi o obliczenie miary charakteryzującej przydatność danej linii do obsługiwaną przez autobus elektryczny lub oszacowanie wybranych wskaźników linii komunikacyjnej;
- nadmiernie skomplikowane indeksowanie elementów modelu systemu transportowego.

Praca zawiera także pewne fragmenty o charakterze podręcznikowym np. nie są potrzebne opisy techniczne technologii ładowania – ważne, że technologie różnią się czasem ładowania akumulatora. Pewne fragmenty można by przenieść do załącznika pracy np. str. 111 – 120 dokumentują wyniki badań, ale nie są potrzebne do zrozumienia istoty metody wyboru linii.

Dobrze dobrano bardzo bogatą i aktualną literaturę zagadnienia – 102 publikacje, 18 ustaw, rozporządzeń i innych aktów prawnych oraz 16 materiałów informacyjnych przedsiębiorstw komunikacji miejskiej. Wiele pozycji jest w języku angielskim. 7 cytowanych publikacji jest autorstwa lub współautorstwa doktoranta, opublikowanych w latach 2014 – 2017 (2018).

6. Podsumowanie

Mimo przedstawionych powyżej uwag krytycznych, które nie dotyczą zasadniczego dorobku doktoranta, uważam, że cel pracy ma charakter naukowy i został konsekwentnie zrealizowany. Rozprawa doktorska charakteryzuje się celowo dobraną i ważną, szczególnie do zastosowań w praktyce, tematyką. Wnosi istotne poszerzenie wiedzy z zakresu zarządzania eksploatacją środków transportu.

Podsumowując ocenę rozprawy doktorskiej stwierdzam, że:

- praca stanowi oryginalne rozwiązanie zagadnienia naukowego,
- doktorant wykazał się umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowo-badawczej,
- doktorant opanował ogólną wiedzę teoretyczną w zakresie modelowania i badania procesów eksploatacji.

Wobec powyższego uważam, że rozprawa doktorska mgr. inż. Krzysztofa Krawca pt.: "Metoda wyboru linii publicznego transportu zbiorowego do obsługi przez autobusy elektryczne" spełnia ustawowe wymagania stawiane rozprawom doktorskim oraz mieści się w dyscyplinie transport. Wnoszę, więc o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

