



Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Michała Urbaniaka

pt.: **Model organizacji ruchu na sieci kolejowej z uwzględnieniem rekuperacji energii**

Promotor: dr hab. inż. Ewa Kardas-Cinal, prof. PW

1. Informacje ogólne

Recenzja opracowana została na zlecenie Rady Wydziału Transportu Politechniki Warszawskiej (pismo z dnia 27.07.2018 r.) na podstawie dostarczonej rozprawy doktorskiej pod wyżej wymienionym tytułem.

2. Ogólna charakterystyka pracy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska Pana mgr inż. **Michała Urbaniaka** liczy 130 stron zwartego opracowania wraz ze spisem literatury w liczbie 116 pozycji w tym 6 pozycji współautorskich doktoranta.

Rozprawa podzielona jest na 7 rozdziałów w tym wstęp, teza, analiza wyników i wnioski oraz bibliografia. W pracy zamieszczone są streszczenia w języku polskim i angielskim. Integralną część pracy stanowią załączniki zamieszczone na końcu rozprawy.

Praca ma charakter teoretyczno-symulacyjny i związana jest z problematyką planowania służbowego rozkładu jazdy, a w szczególności wpływem zmian wprowadzanych do niego na możliwości energetycznej kooperacji pociągów.

Rozprawa napisana w większości jest poprawnym, precyzyjnym językiem. Układ pracy przejrzysty, podział treści rozprawy na rozdziały i podrozdziały poprawny. Terminologia i pojęcia stosowane w pracy nie budzą większych zastrzeżeń. Materiały ilustracyjne oraz tabele z wynikami badań zamieszczone w pracy, przeważnie w sposób właściwy przedstawiają studia Doktoranta, które dotyczą optymalizacji służbowego rozkładu jazdy na sieci kolejowej w aspekcie minimalizacji zużycia energii.

3. Ocena podjętego tematu

Transport jest działalnością mającą na celu pokonywanie przestrzeni i ma też istotny wpływ na sprawne i efektywne funkcjonowanie każdego działu gospodarki narodowej, stanowi również czynnik intensyfikujący rozwój miast i regionów. Jednym z istotnych rodzajów transportu jest transport szynowy. Szczególnym jego przypadkiem jest transport kolejowy. Na liniach kolejowych ruch jest trasowany. Umożliwia to kontrolę nad ruchem pojazdów i możliwość optymalizowania rozkładów jazdy również pod względem energetycznym.

Autor podjął się bardzo nietatwego, ale ważnego zadania związanego z możliwością zmniejszania zużycia energii przez wykorzystanie kooperacji między pojazdami hamującymi i ruszającymi. Na podstawie analizy wyników badań i wniosków sformułowanych w pracy można zdefiniować wskazówki dotyczące doboru czasów przyjazdu i odjazdu pojazdów w aspekcie maksymalizacji odzysku energii hamującego pociągu, a także wytyczne dla projektantów rozkładów jazdy (minimalizacja zużycia energii na etapie projektowania).

Biorąc pod uwagę powyższe stwierdzenia uważam, że wybór tematu rozprawy jest aktualny i istotny dla poprawy wykorzystania energii potrzebnej do napędu pojazdów szynowych, co może przekładać się na zmniejszenie wykorzystania nieodnawialnych źródeł energii.

4. Analiza treści rozprawy

W przedstawionej do recenzji rozprawie, Autor podjął się zadania związanego z modelowaniem organizacji ruchu na sieci kolejowej z uwzględnieniem rekuperacji energii. W związku z powyższym, ogólny cel pracy jaki zdefiniował Autor jest następujący: opracowanie metody modyfikacji kolejowego służbowego rozkładu jazdy (poprzez określenia rzeczywistego czasu przyjazdu pociągu na stację lub przystanek w jego dopuszczalnym zakresie z wykorzystaniem rezerwy technicznej) w celu podniesienia efektywności wykorzystania rekuperowanej energii oraz wyznaczenie ilości możliwej do zaoszczędzenia energii po wprowadzeniu zmian w rozkładzie jazdy na przykładowym odcinku sieci kolejowej. Na podstawie zdefiniowanego celu ogólnego Autor zdefiniował cele szczegółowe, które są rozszerzeniem i uszczegółowieniem ogólnego celu pracy. Cele te zostały poprawnie sformułowane i wytyczają kolejne kroki realizacji pracy.

Na podstawie przedstawionych celów Autor sformułował następującą tezę: „Możliwe jest zwiększenie efektywności rekuperacji energii w kolejowej sieci trakcyjnej dzięki energetycznej kooperacji pociągów poprzez modyfikację kolejowego służbowego rozkładu jazdy w zakresie rzeczywistych czasów przyjazdów pociągów bez ponoszenia dodatkowych kosztów związanych z rozbudową infrastruktury transportu szynowego”. Uważam, że teza pracy jest poprawna, ale autor nie podał kryteriów przyjęcia lub odrzucenia tezy, co utrudnia ocenę efektów pracy Doktoranta.

Pierwszy rozdział pracy jest wprowadzeniem do problematyki i zagadnień poruszanych w pracy. Autor w sposób jasny i precyzyjny wskazał obszar badań oraz zagadnienia, które są istotne dla rozwiązania postawionego problemu badawczego.

W rozdziale drugim dokonano wprowadzenia do zagadnień związanych zasadami organizacji ruchu kolejowego i strategii odzyskiwania energii. Zagadnienia dotyczące organizacji ruchu kolejowego obejmują wiele składowych. Są nimi: planowanie przebiegu tras, konstrukcja rozkładów jazdy w postaci wykresów ruchu, przydział krawędzi peronowych na posterunkach ruchu, planowanie obiegów taboru, a także planowanie prac zespołów obsługujących pociągi. Każdy z tych procesów ma istotny wpływ na czas przejazdu, parametry przejazdu wpływające na bezpieczeństwo i komfort jazdy. Rozdział ten zawiera również podstawowe informacje dotyczące strategii odzyskiwania energii. Autor opisał następujące metody rekuperacji energii: Magazynowanie w zasobnikach energii, Zwrot energii do sieci krajowej oraz Energetyczną kooperację między pojazdami.

W podsumowaniu tego rozdziału Autor stwierdza, że idealną gałęzią transportu szynowego do pełnego wykorzystania możliwości jakie daje stosowanie hamowania odzyskowego jest system metra oraz SKM, gdzie prędkości są wyższe niż te występujące w sieci tramwajowej.

W rozdziale trzecim przedstawiono cel, tezę pracy, problem badawczy przesłanki naukowo badawcze dotyczące analizowanego obszaru wiedzy. Na podstawie analizy stanu wiedzy opisanego w rozdziale drugim oraz przesłanek naukowo badawczych sformułowano tezę pracy, cel ogólny i cele szczegółowe. Na uwagę w tym rozdziale zasługują precyzyjne sformułowane zadania badawcze pozwalające osiągnąć zdefiniowany cel pracy.

Rozdział czwarty jest pierwszym rozdziałem merytorycznym związanym z celem pracy, w którym opisano metodę badawczą, zastosowaną do realizacji zadań. W ramach tego rozdziału Autor przedstawił model przejazdu teoretycznego opracowany na podstawie modelu dynamiki pojazdu szynowego uwzględniającego charakterystyki rozruchu i hamowania oraz występujące opory ruchu, w szczególności związane z profilem podłużnym rzeczywistych linii kolejowych oraz model wykorzystania energii z rekuperacji uwzględniający przyjęte założenia dotyczące możliwości sterowania czasem przyjazdu na stację lub przystanek. Bardzo istotnym elementem tej części pracy jest zaplanowanie badań symulacyjnych i pozyskanie informacji potrzebnych do rozwiązania problemu.

W rozdziale piątym doktorant przedstawił autorską propozycję modelu energetycznej kooperacji pociągów. Głównymi składowymi tej metody są: optymalizacja efektywności energetycznej kooperacji pociągów (zdefiniowana funkcja celu, uwzględniająca dwie funkcje cząstkowe (bilans energii i energię możliwą do odzyskania) oraz Implementację komputerową zawierającą trzy moduły (Moduł analizy rozkładu jazdy – ARJ, Moduł przejazdu teoretycznego – MPT, Moduł optymalizacji przejazdu teoretycznego – OPT).

W rozdziale szóstym Autor opisał zastosowanie opracowanej metody na przykładzie linii kolejowej nr 250 GDAŃSK GŁÓWNY – RUMIA. Podsumował wyniki badań uzyskane podczas realizacji symulacji. Wykazał, że uzyskane przez Niego wyniki są nowatorskie i mogą być wykorzystane jako punkt wyjściowy do dalszych badań. W rozdziale tym Doktorant zawarł również krytyczne uwagi dotyczące otrzymanych wyników.

Ostatni rozdział zawiera wnioski wynikające z przeprowadzonych badań oraz kierunki dalszych badań.

5. Merytoryczna ocena pracy

Autor rozprawy skoncentrował się na zagadnieniach związanych z modelowaniem i optymalizacją organizacji ruchu pociągów pasażerskich w aspekcie obniżenia zużycia energii. Ma to szczególne znaczenie dla przewoźnika, a także dla pasażerów i środowiska naturalnego. Zagadnienia te nie są łatwe, wymagają dużej wiedzy teoretycznej i praktycznej, dlatego uważam, że Autor podjął się niełatwego zadania związanego z opisem ruchu par pojazdów szynowych i optymalizacji służbowego rozkładu jazdy bez ingerencji w rozkład jazdy dla pasażerów.

Najważniejszym elementem pracy jest autorska propozycja modelu energetycznej kooperacji pociągów. Rozwiązanie problemu obejmuje trzy zasadnicze etapy tzn. badania rozpoznawcze, badania identyfikacyjne oraz

badania zasadnicze. W tym celu Autor dokonał szerokiego przeglądu literatury przedmiotu z zakresu organizacji ruchu kolejowego modelowania oraz strategii odzyskiwania energii podczas hamowania pociągu. W wyniku przeprowadzonej analizy literatury, Doktorant stwierdził, że w dotychczasowych opracowaniach przedstawiane są badania dotyczące modelowania przejazdu pociągów, ale brak jest prac związanych z kooperacją energetyczną dwóch pojazdów. W związku z tym zaproponował własną metodę, która wypełni lukę w opisywanych w rozprawie rozważaniach.

W zaproponowanej w ramach pracy metodzie, wykorzystano zasady eksperymentu symulacyjnego. Doktorant zaproponował przeprowadzenie badań symulacyjnych wykorzystując oprogramowanie OFFICE oraz MATLAB z nakładką Simulink, które stosowane jest do przeprowadzania obliczeń i symulacji komputerowych modeli przy pomocy interfejsu graficznego z użyciem tzw. bloków. W tym celu zaprojektował aplikację komputerową zawierającą trzy moduły: Analizy Rozkładu Jazdy – ARJ (umożliwiający wyszukiwanie par pociągów i stacji lub przystanków, na których możliwa jest energetyczna kooperacja pojazdów bez istotnych ingerencji w rozkład jazdy, a jedynie przez odpowiednie sterowanie czasem przyjazdu w zakresie dopuszczalnym przez rozkład jazdy), Model Przejazdu Teoretycznego – MPT (symulacje przejazdu teoretycznego pociągów przeprowadzono na podstawie modelu dynamiki pojazdu szynowego uwzględniającego charakterystyki rozruchu i hamowania oraz występujące opory ruchu, w szczególności związane z profilem podłużnym rzeczywistych linii kolejowych. Opracował także model wykorzystywania energii odzyskanej z hamowania rekuperacyjnego uwzględniający przyjęte w pracy założenia dotyczące możliwości sterowania czasem przyjazdu na stację lub przystanek), Optymalizacji Przejazdu Teoretycznego – OPT (do optymalizacji symulowanych przejazdów zaproponowano funkcję celu uwzględniającą dwie funkcje cząstkowe (bilans energii i energię możliwą do odzyskania) oraz ich wagi. W celu rozwiązania zagadnienia optymalizacyjnego w środowisku MATLAB posłużono się modulem wykorzystującym algorytm świetlika, który jest stosunkowo nową metaheurystyką rojową zaprezentowaną w 2008 roku dedykowaną dla zagadnień optymalizacji ciągłej z ograniczeniami, gdzie rozważany jest problem minimalizacji funkcji kosztu $F(x)$ oraz – dla porównania otrzymywanych wyników – wbudowaną funkcją optymalizacyjną pakietu matlab „fmincon”). Ponieważ analiza przejazdów rzeczywistych jest trudna Autor wykonał badania modelowe. Moim zdaniem jest to najbardziej właściwe podejście, ponieważ prowadzenie badań w rzeczywistych warunkach byłoby czasochłonne i kosztowne.

Autor w syntetyczny sposób podsumował wyniki swoich badań. Nie Przeprowadził jednak dyskusji nad możliwościami wykorzystania wyników swoich badań oraz poszerzenia ich zakresu. Uważam, że w rozprawie doktorskiej pana Michała Urbaniaka brakuje rozdziału dotyczącego walidacji otrzymanych wyników badań symulacyjnych. Informacje z badań walidacyjnych pozwoliłyby stwierdzić jednoznacznie, czy przeprowadzone eksperymenty symulacyjne odzwierciedlają z dostateczną dokładnością warunki panujące na sieci kolejowej.

Praca Pana mgr inż. Michała Urbaniaka jest na wysokim poziomie merytorycznym i naukowym, posiada również duży zasób wiedzy praktycznej oraz cechuje się profesjonalizmem w podejściu do zagadnień związanych z transportem szynowym. Warsztat naukowy przedstawiony w rozprawie świadczy o dużej dojrzałości naukowej

doktoranta, wiedzy oraz interdyscyplinarnego podejścia do rozwiązywanych zagadnień. Potrafi bardzo dobrze rozwiązywać skomplikowane zagadnienia związane z modelowaniem i optymalizacją przejazdów w transporcie szynowym, które cechuje wiele różnych warstw problemów, między innymi: technicznym, środowiskowym itp., które w swej naturze nie są łatwe i wymagają wszechstronnej wiedzy oraz naukowego przygotowania do ich rozwiązywania.

Uważam zatem, że badania opisane w rozprawie dotyczące modelowania oraz optymalizacji organizacji ruchu kolejowego z uwzględnieniem rekuperacji energii są autorską propozycją mgr inż. Michała Urbaniaka.

6. Elementy dyskusyjne i uwagi szczegółowe

Podczas czytania i analizy treści rozprawy zauważyłem szereg potknięć edytorskich, terminologicznych i merytorycznych, które wymagają komentarza i ustosunkowania się Autora pracy. Do najważniejszych należą:

1. W rozdziale trzecim Autor sformułował tezę, uważam, że teza pracy jest poprawna, ale autor nie podał kryteriów przyjęcia lub odrzucenia tezy.
2. Przyjmując, że siła oporu ruchu ma zwrot przeciwny do zwrotu wektora prędkości, jej zwrot podczas całego przejazdu pociągu jest niezmienny, dlatego dyskusyjna zmiana znaku oporów ruchu w algorytmie na rys. 11. Uważam, że zależność powinna zostać zapisana $-F_H = -F - W$. Oczywiście w sensie matematycznym zapis jest poprawny, ale dla ułatwienia analizy równań ruchu lepiej przyjąć jeden układ odniesienia.
3. Na str. 77 autor proponuje najwcześniejszy i najpóźniejszy czas przyjazdu na stację zależne od czasu wymiany pasażerów. Uważam, że nie mając informacji o liczbie pasażerów trzeba przyjąć najwcześniejszy czas przyjazdu, ponieważ w przeciwnym przypadku może dojść do zakłóceń (opóźnień) w rozkładzie jazdy.
4. Uważam, że zastosowanie znaku minus przy E_o (str. 85, 90 i następne) jest nieuzasadnione, ponieważ ten znak został już uwzględniony podczas formułowania funkcji celu.
5. W związku z faktem, że funkcję z celu przyjęto energię przy każdej jej wartości w tekście i na rysunkach powinny być jednostki (kWh).
6. W algorytmie na str. 46 Rys. 11 Autor wyznacza siłę hamującą z zależności $F_H = F + W$, natomiast w schemacie blokowym na Rys. 22 występuje odejmowanie tzn. $F_H = F - W$. Oznacza to, że zaproponowany układ jest niezgodny z algorytmem przyjętym na Rys. 11.
7. Na Rys. 18 (str. 58) Autor opisał blok „Rozkład jazdy”. Jaki rozkład jazdy Autor ma na myśli?
8. Na Rys 54-56 i Rys 61-63 brakuje informacji o odcinku, dla którego wykonano symulacje, utrudnia to analizę wyników symulacji.
9. Autor powtarza w pracy te same treści np.: Rys 54-56 i Rys 61-63 są takie same, dodatkowo Rys. 54 i 55 to takie same informacje tylko w innej skali (mnożenie przez stałą wartość napięcia w sieci trakcyjnej). Kolejny przykład redundancji informacji na rysunkach to przedstawianie przebiegów osobno dla dwóch pojazdów a później nakładanie tych samych danych na jeden wykres.
10. Dyskusyjne jest zapisywanie danych, w krokach pośrednich do formatu xls. Dlaczego nie wykorzystano formatu pakietu Matlab, moim zdaniem takie rozwiązanie przyspieszyłoby obliczenia.

11. Podczas projektowania struktury programu Matlab Simulink Autor stosuje zamiennie bloki add, sum i netsum, zastosowanie tylko jednej z nich nie zmieniłoby wyników obliczeń, a ułatwiłoby analizę schematów.
12. Niezrozumiałe jest zastosowanie bloku netsum, ponieważ jest to blok z biblioteki sieci neuronowych, a tej metody analizy danych Autor nie używał w rozprawie.
13. W opisie autorskiej propozycji modelu energetycznej kooperacji pociągów Autor twierdzi, że wykorzystuje się energię pociągu hamującego przez pociąg przyspieszający, natomiast w trakcie analizy pisze „przejazd przy stałej prędkości”, dlatego zapytuję: jak Autor rozumie to zdanie?
14. Dlaczego Autor do niektórych zadań wykorzystuje nakładkę Simulink, a do innych skrypty programu Matlab.
15. W pracy występuje tzw. „tekst wiszący” poniżej wyjaśnienie ogólne problemu:
- przy numeracji cyfrowej wielorzędowej po tytule rozdziału 1 powinien od razu następować tytuł podrozdziału 1.1, a tuż po tytule podrozdziału 1.5 powinien być tytuł podrozdziału 1.5.1 itd.; między nimi nie powinno być żadnych tekstów (zwanymi wiszącymi),
 - teksty te to z reguły ogólne wprowadzenia do rozdziałów, omówienia czy streszczenia,
 - jeżeli tekst wiszący jest cennym i niezbędnym wprowadzeniem do tematu powinien mieć numer i tytuł,
 - jeżeli tekst ten zawiera same ogólniki lub omówienie dalszej części rozdziału powinien zostać usunięty przez Autora,
- w pracy Autora występuje taki tekst w rozdziałach: 1, 3, 4, 5, 5.1, 6.
16. Uważam, że numerowanie rysunków rozdziałami poprawiłoby czytelność pracy.
17. W załączniku 4 powtarzają się opisy bloków operacyjnych nakładki Simulink (np. Product).
18. W załączniku 4 występuje blok „1D Lookup Table: którego recenzent nie mógł znaleźć w rozprawie.
19. W załączniku 4 występuje blok „netsum”, który został błędnie opisany, ponieważ przed Rostek net nie jest związany ze słowem netto, tylko z angielskim słowem net (sieć) i występuje w toolbox’ie Neural Network (sieci neuronowe).
20. Na podstawie analizy treści rozprawy doktorskiej nasuwa się pytanie: Czy istnieje możliwość jednoczesnej kooperacji energetycznej większej liczby pojazdów?

5. Podsumowanie i konkluzja

Przedstawioną do recenzji pracę oceniam pozytywnie, została ona wykonana na bardzo dobrym poziomie merytorycznym. Zawarte w niej treści dotyczą złożonych problemów związanych z modelowaniem i optymalizacją organizacji transportu kolejowego. Doktorant bardzo dobrze orientuje się w problematyce związanej z zagadnieniami dotyczącymi modelowania teoretycznych przejazdów pociągów i optymalizacji parametrów służbowego rozkładu jazdy. Treści merytoryczne zawarte w pracy świadczą o dużej dojrzałości naukowej i wiedzy merytorycznej Doktoranta oraz o Jego umiejętnościach prowadzenia pracy naukowej złożonych zagadnień związanych z transportem kolejowym.

Zaprezentowane w rozprawie wyniki badań są oryginalnym dorobkiem naukowym Doktoranta, a rezultaty pracy mogą zostać bezpośrednio wykorzystane w praktyce. Kandydat potrafi poprawnie rozwiązać i zaprojektować warsztat badawczy, zinterpretować wyniki uzyskane z badań, a co najważniejsze, posiada też umiejętność krytycznej oceny własnych dokonań. Opisane w rozprawie badania i analizy są na wysokim poziomie, a ich wyniki rozszerzają wiedzę z zakresu modelowania organizacji ruchu na sieci kolejowej

Wskazane niedociągnięcia i uwagi nie umniejszają wartości merytorycznej pracy. Przewaga wartości poznawczych i merytorycznych nad niedociągnięciami pozwala na pozytywną ocenę recenzowanej pracy. Na taką ocenę pracy ma również wpływ to, że zagadnienia którymi zajmował się Doktorant, są zagadnieniami nietrywialnymi, trudnymi od strony teoretycznej i badawczej a wyniki mogą mieć zastosowanie praktyczne.

Biorąc pod uwagę wcześniejsze rozważania stwierdzam, że rozprawa doktorska pt.: „Model organizacji ruchu na sieci kolejowej z uwzględnieniem rekuperacji energii” mgr inż. Michała Urbaniaka spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim zawarte w Ustawie z dnia 14 marca 2003 roku o tytule naukowym i stopniach naukowych. W związku z tym proponuję Radzie Wydziału Transportu Politechniki Warszawskiej dopuszczenie jej do publicznej obrony w dyscyplinie Transport.

