Recenzja spełnia wymagania formalne

Przewodniczący Rady Dyscypliny
Inżynieria Lądowa i Transport
dr hab. inż. Marcin Staniek, prof. PŚ

Poznań, 10.08.2021

prof. dr hab. Agnieszka Merkisz-Guranowska

Politechnika Poznańska
Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu
Instytut Transportu
ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Katarzyny Turoń

pt. **„MODEL KSZTAŁTOWANIA I WDRAŻANIA SYSTEMU CAR-SHARINGU Z WYKORZYSTANIEM WIELOKRYTERIALNEGO WSPOMAGANIA DECYZJI"**

(podstawa opracowania: pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Śląskiej z dnia 7.07.2021 r., do którego dołączono egzemplarz rozprawy doktorskiej)

1. WYBÓR TEMATU I GENEZA PRACY

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska mgr inż. Katarzyny Turoń poświęcona jest zagadnieniom wdrażania w miastach i szerzej w aglomeracjach miejskich usług z obszaru tzw. współdzielonej mobilności (*shared mobility*). W opracowaniu przedstawiono stan rozwoju rynku oraz koncepcję kształtowania i wdrażania na wybranym obszarze usług krótkoterminowego wynajmu pojazdów (*car sharing*).

Wprowadzaniu nowych usług w systemach miejskich zawsze towarzyszy niepewność i ryzyko niepowodzenia przedsięwzięcia, stąd też wybór wariantu wdrożenia usługi musi opierać się na przemyślanych decyzjach, uwzględniających wiele aspektów takich jak przychody z wynajmu, parametry techniczne systemu, nakłady początkowe, koszty operacyjne, jakość i dostępność oferowanej usługi, oddziaływania środowiskowe czy kompatybilność z innymi usługami transportowymi. Właściwy wybór wariantu wdrożenia usługi ułatwia posługiwanie się odpowiednimi narzędziami wspomagania decyzji, których wykorzystanie zmniejsza ryzyko gospodarcze i zwiększa szanse powodzenia przedsięwzięcia pozwalając na uniknięcie problemów związanych z niedopasowaniem usługi do potrzeb użytkowników oraz do istniejących elementów systemu transportowego.

W tym kontekście, zagadnienia poruszane w rozprawie wpisują się w aktualne problemy badawcze, a opracowanie narzędzia wielokryterialnego wspomagania decyzji jest odpowiedzią na rzeczywiste potrzeby rynkowe związane z rozwojem zrównoważonej mobilności w miastach.

Biuro Dziekana
wpłynęło dnia 30.08.2021
nr RDILT/194 zał. —

2. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA ROZPRAWY

Dysertacja dotyczy zagadnień wielokryterialnej oceny doboru wariantów wdrożenia usług *car sharingu* na obszarach aglomeracji miejskich.

Oceniana rozprawa zawiera 200 stron. Została podzielona na dziewięć rozdziałów, w tym wstęp oraz podsumowanie. Zawiera ponadto wykaz skrótów i oznaczeń użytych w pracy, spisy literatury, tabel i rysunków, załączniki oraz streszczenie polskie i angielskie.

W pierwszym rozdziale pracy przedstawiono tło i genezę poruszanych zagadnień, nakreślono obszar problemowy oraz usystematyzowano podstawowe pojęcia używane w rozprawie. Poruszono zagadnienia dotyczące zrównoważonego rozwoju transportu oraz rozwoju usług współdzielenia w ramach tzw. nowej mobilności. Kolejny rozdział poświęcono szczegółowemu omówieniu *car sharingu*, przedstawiono cechy charakterystyczne, zalety oraz zarys historyczny rozwoju tego typu usług w Europie, Azji i Ameryce północnej oraz aktualny stan rynku w Polsce i na świecie. Ważną część rozdziału stanowi szczegółowo omówiony schemat usługi z punktu widzenia użytkownika oraz systematyka modeli usług *car sharingu* wraz z charakterystyką rodzaju floty i opłat za korzystanie z usług.

Trzeci rozdział zawiera przegląd literatury odnoszący się do badań naukowych. Autorka wskazała siedem obszarów badawczych związanych z usługami współdzielenia pojazdów. Następnie dla najważniejszych z punktu widzenia rozprawy obszarów, tj. analizy rynku usług oraz modelowania i optymalizacji systemów przedstawiono kluczowe wnioski z badań. Przegląd literatury umożliwił wskazanie luki badawczej. Autorka zauważyła, że niewiele prac odnosi się do zastosowania metod wielokryterialnego wspomagania decyzji (WWD) na etapie planowania i wdrażania usług *car sharingu*, poza tym autorzy skupiają się na optymalizacji istniejących na rynku systemów, a nie aspektów ich wdrażania. Dodatkowo, w pracach uwzględniana jest zwykle niewielka liczba kryteriów mimo wieloaspektowości kształtowania tego typu systemów i różnorodnych odziaływań otoczenia wpływających na korzystanie z usług krótkoterminowego wynajmu pojazdów.

Czwarty rozdział stanowi teoretyczne wprowadzenie do modelowania matematycznego i zawiera podział modeli matematycznych stosowanych do optymalizacji i symulacji systemów transportowych oraz schemat procesu modelowania. Kolejny rozdział poświęcono metodom wielokryterialnego wspomagania decyzji. Autorka przedstawiła elementy problemu decyzyjnego, klasyfikację metod oraz omówiła wybrane metody WWD oparte na relacjach przewyższania, funkcji użyteczności oraz miarach agregatowych.

Szósty rozdział zawiera uzasadnienie podjęcia tematu, opis problemu badawczego, cel i tezę pracy. Założono, że zastosowanie wybranych metod wielokryterialnych umożliwia wspomaganie decyzji i wybór rozwiązań podczas procesu kształtowania i wdrażania systemu *car sharing*.

W kolejnym siódmym rozdziale przedstawiona została autorska koncepcja modelu kształtowania i wdrażania systemów usług *car sharing* na terenie obszaru metropolitalnego. Podstawę narzędzia stanowi algorytm postępowania obejmujący następujące etapy:

- wykonanie analizy środowiska decyzyjnego wraz z utworzeniem modelu usług wynajmu krótkoterminowego,

- strukturyzacja problemu decyzyjnego,
- identyfikacja wariantów decyzyjnych i ustalenie kryteriów oceny wariantów,
- wybór metody wielokryterialnego wspomagania decyzji,
- wykonanie eksperymentów obliczeniowych wraz z analizą wyników.

W rozdziale zebrano informacje na temat alternatywnych cech systemów wynajmu krótkoterminowego umożliwiających opracowanie różnych scenariuszy implementacji usług oraz usystematyzowano kryteria związane z kształtowaniem i wdrażaniem usług ujęte w literaturze przedmiotu. Autorka wskazała założenia dla wariantów decyzyjnych (scenariuszy kształtowania usług *car sharingu*) wynikające z analizy innych systemów i przeglądu literatury do których należały m.in. minimalna liczby pojazdów w zależności od powierzchni obszaru, wielkość obszaru w systemie strefowym, minimalna odległości użytkownika od pojazdu czy długość podróży.

Na podstawie charakterystyki kryteriów Autorka zaproponowała sześć głównych grup kryteriów odnoszących się do średniego kosztu usługi *car sharingu*, standardu usługi, poziomu ochrony środowiska w mieście, poziomu dostępności miejskiego systemu transportowego dla systemów *car sharingu*, kosztów innych usług transportowych oraz kosztów inwestycyjnych systemu. W ramach kryteriów głównych wyróżniono 23 subkryteria.

Następnie Autorka dokonała wyboru metod obliczeniowych służących wielokryterialnemu wspomaganiu decyzji. Z uwagi na potrzebę stworzenia rankingu analizowanych scenariuszy, zaproponowano wykorzystanie metod bazujących na szeregowaniu wariantów. Na podstawie oceny dopasowania metod WWD do potrzeb analizowanego problemu obejmującej 16 aspektów doboru metody Autorka zasugerowała wybór metod TOPSIS, AHP i ELECTRE III oraz wskazała oprogramowanie umożliwiające zastosowanie metod w praktyce.

Rozdział ósmy stanowi część aplikacyjną rozprawy, w której Autorka zastosowała opracowaną metodę dla obszaru Górnośląskiej-Zagłębiowskiej Metropolii w celu jej weryfikacji. Zaproponowała sześć wariantów wdrożenia *car sharingu*, które odnosiły się do trzech typów systemów, tj. bazowego, strefowego i swobodnego przy czym rozważano dla każdego typu systemu również usługi dodatkowe wcześniejszej rezerwacji pojazdu i podstawienia pojazdu do miejsca wskazanego przez użytkownika.

Warianty zostały ocenione z punktu widzenia opisanych wyżej sześciu grup kryteriów przy uwzględnieniu preferencji 4 grup interesariuszy, tj. użytkowników systemu, operatorów, Metropolii, jako potencjalnego inwestora, reprezentującej poszczególne władze gmin i Metropolii jako organu reprezentującego gminy wchodzące w jej skład, na terenie których system ma być wdrożony.

Do obliczeń wykorzystano trzy różne metody wielokryterialnego wspomagania decyzji. Przeprowadzone obliczenia umożliwiły utworzenie rankingu wariantów dla każdego typu interesariuszy według wskazanych preferencji. Wagi kryteriów (poziomy preferencji) zostały określone na podstawie przeprowadzonych badań eksperckich.

Według wszystkich trzech metod WWD i z punktu widzenia każdej z grup interesariuszy na pierwszym miejscu uplasował się wariant 6 zakładający system usług typu swobodnego (*free floating*) z dodatkowymi usługami w postaci wcześniejszej rezerwacji i usługi dostarczenia zarezerwowanego pojazdu bezpośrednio do klienta. Otrzymane wyniki

wskazują, że najważniejszymi cechami, którymi powinien charakteryzować się system wdrażany w analizowanej Metropolii powinny być wysoka dostępność obszarowa, jak największa elastyczność podczas rezerwacji i zwrotu pojazdu, a także występowanie usług dodatkowych (np. rezerwacji).

Następnie Autorka przeprowadziła analizę wrażliwości modelu polegającą na przeprowadzeniu symulacji obliczeniowych z uwzględnieniem zmodyfikowanych wartości wag w zakresie od -50% do +50%.

W podsumowaniu rozprawy opisano efekty przeprowadzonych badań i wskazano osiągnięcia Autorki w obszarze praktycznym i teoretycznym. Wskazano również kierunki dalszych prac.

3. OCENA ROZPRAWY

Celem naukowym rozprawy było opracowanie modelu kształtowania i wdrażania systemu *car sharingu* opartego o wnioskowanie wielokryterialne, pozwalającego na ocenę i wybór zbioru scenariuszy dla danego obszaru. Zidentyfikowane problemy badawcze odnosiły się do określenia zbioru kryteriów, które wpływają na wdrażanie i funkcjonowanie systemu, *car sharingu*, identyfikacji scenariuszy dla wyróżnionego zbioru kryteriów, doboru metody WWD dla procesów kształtowania systemu oraz zastosowania opracowanego modelu na przykładzie studium przypadku.

W części teoretycznej na uwagę zasługuje fakt, że Autorka dokonała systematyzacji typów i cech usług wynajmu krótkoterminowego. Zebrała dane statystyczne dotyczące rozwoju usług w Polsce i na świecie. W pracy zamieszczono także przegląd narzędzi wspomagania decyzji w systemach transportowych.

W wyniku przeprowadzonych prac badawczych Autorka dostarczyła praktyczne narzędzie służące wspomaganiu decyzji w wyborze scenariusza wdrażania usług *car sharingu*. Autorska i kompleksowa metodyka kształtowania i wdrażania usług krótkoterminowego wynajmu pojazdów dostosowana do potrzeb użytkowników, specyfiki danego obszaru miejskiego i oczekiwań interesariuszy stanowi największe osiągnięcie Autorki rozprawy. Metodyka zawiera algorytm postępowania przy planowaniu wprowadzenia systemu usług wynajmu krótkoterminowego. Wśród zalet zaproponowanej metody należy podkreślić:

- możliwość zastosowania modelu do dowolnego obszaru miejskiego,
- przygotowanie wzorca zawierającego alternatywne warianty elementów systemu (m.in. różne typy systemu, możliwe ograniczenia w usługach wynajmu, różne obszary zasięgu funkcjonowania, rodzaje opłat, typy floty i klasy pojazdów, sposoby rejestracji użytkowników)
- możliwość wszechstronnej oceny wariantów z uwagi na zaproponowanie wielu kryteriów szczegółowych z grupy kryteriów ekonomicznych, transportowych, prawnych, społecznych, środowiskowych i innych (w tym prawnych i demograficznych),
- klasyfikację wariantów z uwzględnieniem preferencji różnych interesariuszy systemu,
- możliwość zastosowania różnych metod WWD w zależności od preferencji decydentów.

Przedstawiona metoda oraz zbiór zebranych informacji umożliwia tworzenie dowolnych wariantów wdrażania usług *car sharingu* na wybranym obszarze. Dodatkową zaletą jest to, że Autorka zaproponowała w pracy takie warianty (w analizie case study), które umożliwiły wyeliminowanie zidentyfikowanych na podstawie przeglądu literatury problemów z utrzymaniem systemów *car sharingu* w innych miastach na świecie. Przedstawiony wzór scenariusza zawiera aspekty bazujące na światowych trendach w zakresie modeli funkcjonowania *car sharingu* oraz usług towarzyszących wynajmowi.

Weryfikacja metody na rzeczywistym przykładzie Górnośląskiej-Zagłębiowskiej Metropolii potwierdziła jej poprawność, a także przydatność opracowanego narzędzia wspomagania decyzji we wdrażaniu usług współdzielonej mobilności. Autorka przygotowała narzędzie pod potrzeby wdrażania usług *car sharingu*, ale metodę można wykorzystać, po odpowiednim dostosowaniu, również do analizy wariantów wdrażania innych usług współdzielonej mobilności np. rowerów czy skuterów.

Z punktu widzenia praktycznego, przedstawiona metoda stanowi instrukcję dla podmiotów chcących wdrożyć usługi na wybranym obszarze.

Praca wyróżnia się wysokim poziomem edytorskim i starannością prezentacji. Język pracy jest dojrzały, jednolity i poprawny, a całość jest logicznie uporządkowana. Zrozumiały algorytm postępowania, czytelne zobrazowanie przebiegu badań, prezentacja wyników i konsekwentnie wyciągnięte wnioski wspomagają śledzenie wywodu. Na przejrzystość struktury pracy wpływa również to, że jest właściwie zilustrowana graficznie.

Na podkreślenie zasługuje także bardzo duży, 70-procentowy udział pozycji zagranicznych w cytowanej bibliografii, na którą w sumie składają się 303 pozycje aktualnej i różnorodnej literatury.

Pod względem merytorycznym rozprawa nie budzi zastrzeżeń, chociaż niektóre propozycje Autorki wydają się nie do końca uzasadnione w treści rozprawy. Nie umniejszają one jednak wartości opracowanej metodyki i pozytywnego wrażenia po przeczytaniu pracy.

Niektóre ze wskazanych możliwych kryteriów związanych z kształtowaniem i wdrażaniem usług *car sharingu* wydają się zbyt szczegółowe i trudne do zastosowania w praktyce. Autorka wyróżniła np. takie kryteria jak prognozy pogody, pora roku czy uprawnienia do prowadzenia pojazdów mechanicznych. Nawet takie kryteria jak bezpośredniość połączeń w miejskim transporcie zbiorowym są trudne do skwantyfikowania nawet w ramach kryterium jakościowego. Autorka ostatecznie wybrała sześć grup kryteriów zredukowanych, które są trafnie dobrane i możliwe do kwantyfikacji. Wątpliwość moją budzi jedynie subkryterium w ramach kryterium zbiorczego poziomu ochrony środowiska w mieście dotyczące poziomu jakości powietrza na analizowanym obszarze. Autorka założyła, że im lepsza jakość powietrza mierzona indeksem jakości powietrza AQI, tym lepiej. Można jednak założyć, że im gorsza jakość powietrza na danym obszarze, tym bardziej powinno się rozwijać systemy współdzielonej mobilności i większe zachęty będą stosowały władze miast dla takich systemów. Punktacja dla tego kryterium szczegółowego może być zatem odwrotna.

Zastrzeżenie budzą również niektóre wartości kryteriów porównywanych scenariuszy, które mają wpływ na ostateczny ranking wariantów. Uwagi te mogą wynikać ze zbyt pobieżnego opisu wariantów analizowanego przypadku. Autorka założyła dla pierwszych trzech

transportu z otoczenia zewnętrznego nie pokrywają się ze środkami transportowymi wykorzystywanymi w systemie ujętymi w zbiorze elementów infrastruktury?

Przedstawione wyżej uwagi mają charakter dyskusyjny lub porządkowy i nie obniżają wartości merytorycznej rozprawy.

Osiągnięcia pracy:

Do najważniejszych osiągnięć pracy zaliczam:

- Zebranie i analizę danych źródłowych umożliwiających budowanie wariantów wdrażania usług *car sharingu* oraz określenie zbioru kryteriów jakie wpływają na funkcjonowanie systemu na terenie miasta/metropolii.
- Opracowanie autorskiej sformalizowanej wielokryterialnej metody oceny wariantów kształtowania i wdrażania usług *car sharingu* w celu dopasowania go do konkretnego obszaru działania i do często sprzecznych preferencji interesariuszy.
- Możliwość dostosowania opracowanej metody kształtowania i wdrażania usług *car sharingu* do potrzeb systemów transportowych różnej wielkości (pojedynczego miasta, konurbacji, megapolis czy obszarów metropolitalnych) oraz innych usług współdzielonej mobilności.

Niniejsza praca stanowi wkład w rozszerzenie wiedzy o optymalizacji procesów wyboru i podejmowania decyzji, mimo, że z oczywistych względów nie wyczerpuje całości zagadnień związanych ze wspomaganiem decyzji przy wyborze wariantu implementacji usług *car sharingu*. Stanowi próbę uzupełnienia prowadzonych dotychczas badań w tym zakresie o sformalizowane wielokryterialne narzędzia wyboru scenariuszy wdrażania usług. Autorka rozprawy wykazała się umiejętnością prowadzenia pracy naukowej przez znajomość metodyki, uzasadniania i doboru narzędzi naukowych.

4. PODSUMOWANIE I WNIOSEK KOŃCOWY

Na podstawie analizy przedstawionej do oceny rozprawy doktorskiej uważam, że:

- Autorka dokonała trafnego wyboru tematyki swoich badań, a jej zakres spełnia stawiane wymagania pracom promocyjnym, gdyż praca stanowi oryginalne rozwiązanie zagadnienia naukowego,
- dysertacja dobrze nawiązuje do aktualnej wiedzy i praktyki, wnosząc do nich nowe treści,
- cel pracy, w zakresie przyjętym przez Doktorantkę, został osiągnięty, gdyż zrealizowano wszystkie postawione zadania szczegółowe, a prezentowane wyniki są uzyskane w poprawnie przeprowadzonych studiach i eksperymentach własnych i mogą służyć do dalszych prac,
- formalny układ pracy jest prawidłowy,
- mgr inż. Katarzyna Turoń posiada wiedzę teoretyczną, zdolności koncepcyjne oraz umiejętności niezbędne do samodzielnego rozwiązywania naukowych problemów badawczych.

scenariuszy flotę pojazdów konwencjonalnych, a dla wariantów z usługami dodatkowymi flotę pojazdów hybrydowych, co bezpośrednio przekłada się na wynik w dwóch kryteriach (F_2 i k_2). Z kolei indeks jakości powietrza k_1 i występowanie buspasów (kryterium u_4) zostały inaczej określone dla scenariusza 3, mimo, że obszar funkcjonowania systemu jest taki sam dla scenariusza 3 i 6. Nie uzasadniono również dlaczego przyjęto różne wartości średniego kosztu 1 km korzystania z usług taksówek (kryterium ku_t) oraz różne średnie koszty przejazdu pojazdem indywidualnym (kryterium ku_{ppi}), który dla pierwszych trzech wariantów wynosi 0,84 PLN/km, dla wariantu 4 i 5 0,90 PLN/km, a dla wariantu 5 aż 1 PLN/km. Należy też zauważyć, że w wariantach zakładających usługę dodatkową związaną z możliwością dostarczenia zarezerwowanego pojazdu bezpośrednio do klienta, nie brano pod uwagę kosztu dostarczenia pojazdów, który ze względu na konieczność zatrudniania dodatkowych osób może okazać się istotny.

Autorka wyróżniła 4 grupy interesariuszy, wśród których Metropolia występuje dwukrotnie, raz jako potencjalny inwestor usług *car sharingu* (reprezentant poszczególnych władz gmin), i drugi raz jako organ reprezentujący gminy wchodzące w jej skład, na terenie których system ma być wdrożony. Jednak Metropolia jako inwestor nie zawsze będzie interesariuszem systemu – jeżeli Metropolia nie będzie sama organizowała własnego systemu *car sharingu*, to wtedy taki interesariusz nie występuje i należy pominąć go w rozważaniach.

Uwagi szczegółowe

- W rozdziale 2.5 dotyczącym opłat za korzystanie z usług w systemach *car sharingu* Autorka posługuje się zamiennie pojęciami opłata i koszt. Posługując się pojęciem kosztu należało zaznaczyć, że chodzi o koszt z punktu widzenia użytkownika usług (klienta) a nie przedsiębiorstwa świadczącego tego typu usługi czy np. organizatora usług, jeżeli jest nim inna organizacja.
- W formalnym opisie systemu *car sharingu* niektóre elementy się powtarzają np. (1) W dziedzinie zbioru elementów systemu wyróżniono elementy liniowe drogi i ulice, które zostały również ujęte w zewnętrznym otoczeniu systemu jako miejska sieć komunikacyjna – drogi i ulice; (2) w elementach zbioru otoczenia wyróżniono zewnętrzne usługi serwisowe, które zawierają się jednocześnie w podwykonawcach świadczących usługi dla operatora; (3) w zasadach logistycznych ujęto dostępność pojazdów w systemie na mapie aplikacji, a w zasadach związanych z obsługą klienta bieżące monitorowanie dostępności pojazdów w systemie.
- W formalnym opisie systemu Autorka posługuje się określeniem „zewnętrzne otoczenie" i „wewnętrzne otoczenie", otoczenie co do zasady jest zawsze „na zewnątrz" systemu. Środki finansowe czy środki transportu którymi dysponuje operator nie należą do otoczenia, ale są elementem systemu.
- W otoczeniu zewnętrznym wskazano wynajmowane lub dzierżawione środki transportowe – rozumiem, że chodzi tutaj o środki transportowe działających już na rynku operatorów usług *car sharingu* (w odróżnieniu od własnych środków transportu ujętych w otoczeniu wewnętrznym). To czy są wynajmowane czy dzierżawione nie ma znaczenia, mogą być również własnością operatorów i też będą należeć do otoczenia. Czy w tej sytuacji środki

Powyższe fakty świadczą o kompetencjach Doktorantki w zakresie prowadzenia badań naukowych oraz wskazują na Jej dużą wiedzę ogólną i umiejętności praktyczne w dyscyplinie naukowej *Inżynieria lądowa i transport*, w której mieszczą się zagadnienia objęte rozprawą.

Stwierdzam zatem, że praca mgr inż. Katarzyny Turoń pt. „Model kształtowania i wdrażania systemu car-sharing z wykorzystaniem wielokryterialnego wspomagania decyzji" (promotor: prof. dr hab. inż. Piotr Czech, promotor pomocniczy dr hab. inż. Grzegorz Sierpiński, prof. PŚ) spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim, w rozumieniu ustawy „O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki" z dnia 14 marca 2003 roku, ze zmianami z dnia 18 marca 2011 i późniejszymi, a Autorka może być dopuszczona do jej publicznej obrony.

Z uwagi na wysoki poziom naukowy i aplikacyjny aspekt rozprawy doktorskiej wnioskuję również o wyróżnienie pracy.

Agnieszka Merkisz-Guranowska