

prof. dr hab. inż. Andrzej Szarata  
Katedra Systemów Transportowych  
Wydział Inżynierii Lądowej  
Politechnika Krakowska

Kraków, dnia 11 kwietnia 2022 r.

*Recenzja*  
pracy doktorskiej  
mgr inż. Macieja Kaczorka

p.t.: „Modelowanie wielokryterialnego wspomaganie decyzji w planowaniu rozwoju infrastruktury transportowej z uwzględnieniem aspektów zagospodarowania przestrzennego”

(Promotor: prof. dr hab. inż. Marianna Jacyna)

Podstawą opracowania recenzji jest pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Lądowa i Transport na Politechnice Warszawskiej, dr hab. inż. Konrada Lewczuka, prof. uczelni, z dnia 22 lutego 2022 roku.

Recenzowana praca liczy 222 strony i została podzielona na 9 rozdziałów, zestawienie rysunków, tabel oraz dwa załączniki. Praca zawiera streszczenie pracy w języku polskim i angielskim.

## 1. Ocena poszczególnych części rozprawy

Wstęp rozpoczyna się od ogólnej charakterystyki systemu transportowego i wskazuje na miejsce procesu planowania w rozwoju infrastruktury. Ponadto syntetycznie scharakteryzowano zawartość merytoryczną całej dysertacji.

**Rozdział 1** zawiera charakterystykę pojęć stosownych w dysertacji i precyzyjnie definiuje obszar tematyczny. Ma to bardzo duże znaczenie, ponieważ w tej materii panuje spora różnorodność interpretacyjna, która mogłaby utrudnić odbiór przedstawianych treści. Jest to bardzo dobrze zestawiony materiał i z całą pewnością może być traktowany jako kompendium wiedzy z zakresu planowania systemów transportowych. Autor skupia się nie

tylko na założeniach, ale precyzyjnie odnosi się do pełnej treści procedury inwestycyjnej uwzględniającej analizę kosztów i korzyści, analizę ryzyk i wrażliwości. Całości obrazu dopełnia trafny dobór źródeł bibliograficznych oraz prawidłowa interpretacja i syntezyzacja omawianych treści. Obszerna dyskusja zagadnień związanych z dylematami inwestycyjnymi poparta jest rozbudowanym odniesieniem do narzędzi optymalizacyjnych oraz przedstawieniem metod wspomaganie decyzji. W rozdziale znalazło się również miejsce na krótką charakterystykę modeli transportowych powiązanych z zagospodarowaniem przestrzennym (modele LUTI, s. 33) i szkoda trochę, że Autor nie wspomniał już w tym miejscu o klasycznym ujęciu czterostadiowym, stanowiącym podstawę w pracach analitycznych prowadzonych w warunkach krajowych. Podczas charakterystyki AKK wspomniano, że podejście to ma wiele słabości i wymaga przyjmowania założeń. Niestety każde podejście ma taką słabość, również metody wielokryterialne. Zabrakło w tym miejscu wyraźnego wskazania celowości zastosowania ujęcia rozmytego (można to było wprowadzić jako podsumowanie rozdziału). Jednakże zdaniem Recenzenta, rozdział ten stanowi bardzo dobry materiał merytoryczny i świadczy o ogromnej wiedzy Autora i swobodzie w poruszaniu się w trudnych obszarach procesu kształtowania systemu transportowego.

**Rozdział 2** zawiera przyjęte tezy, cel i zakres pracy. Pokazuje on kierunek badań i analiz. Autor wskazał główne elementy, które będzie chciał w ramach swojej pracy poddać szczegółowej analizie. Uważam, że postawiona teza stanowi dobrze nakreślone wyzwanie badawcze, wskazując na aplikowalność narzędzi i niewątpliwą oryginalność podejścia. Na uwagę zasługuje użyteczność zamierzenia naukowego i wskazanie nie tylko miejsca prowadzonych analiz w procedurze planistycznej, ale i beneficjentów opracowanej metodyki. Wysoko należy ocenić świadomość Autora w odniesieniu do słabości istniejącej ścieżki postępowania w planowaniu infrastruktury transportowej i możliwości jej poprawy przy wykorzystaniu opracowanej procedury. **Wydaje się, że w tym miejscu zabrakło dyskusji na temat roli ujęcia międzygałęziowego i podkreślenia konieczności jego stosowania.** Nie należy jednak traktować tej uwagi jako uchybienia, a raczej jako element do dyskusji podczas obrony. Całość rozdziału dopełnia czytelny schemat prowadzonych badań i krótkie podsumowanie zawartości dysertacji.

**Rozdział 3** składa się z krótkiego przeglądu metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji. Autor omówił proces WWD oraz skupił się na przedstawieniu założeń najczęściej stosowanych metod. Następnie uargumentował wybór tej, którą uważa za najbardziej pasującą do postawionych wyzwań badawczych. Przedstawiane metody są właściwie opisane, dobrze scharakteryzowane oraz opatrzone komentarzem autorskim. W rozdziale tym przedstawiono również założenia logiki rozmytej i podstawy procesu wnioskowania rozmytego, jako narzędzia stanowiącego fundament w prowadzonej narracji naukowej.

**Rozdział 4** ma kluczowe znaczenie dla całej pracy, ponieważ skupia się na wyborze kryteriów stanowiących główny element proponowanej procedury. Autor odwołując się do wcześniejszych rozdziałów, wskazuje na główne kryteria pozwalające na ocenę trafności danej inwestycji grupując je w trzy zbiory: gospodarcze, środowiskowe i społeczne. Jest to ogromne wyzwanie, ponieważ liczba możliwych kryteriów jest bardzo wysoka (co wynika ze złożoności

problematyki oceny wariantów inwestycyjnych), lecz Autor bardzo dobrze syntetyzuje problem wskazując na jego kluczowe aspekty. Wydaje się, że finalny zbiór kryteriów jest bardzo dobrze dobrany i ma charakter kompleksowy. W tym rozdziale zbędnym jest rys. 4.2, nie do końca pasujący do treści (zwłaszcza, że odnosi się wyłącznie do układu dróg). Bardzo dobrze opisano zagadnienie dostępności transportowej i sam wybór wskaźnika WMDT (międzygałęziowej dostępności transportowej). Jest to dobra miara dostępności syntetyzująca wszystkie aspekty funkcjonowania systemu transportowego w obszarach. Sam charakter wskaźnika uwzględnia międzygałęziowość systemu i trochę szkoda, że Autor temu zagadnieniu nie poświęcił więcej miejsca. **Proszę o rozwinięcie roli ujęcia międzygałęziowego w ocenie systemu transportowego w odniesieniu do proponowanej przez Autora metodyki.**

Kryterium popytu na transport zostało wyznaczone przy wykorzystaniu modelu transportowego Polski (bardzo dobre posunięcie, ponieważ uwzględnia się konkurencyjne środki transportu!). **Wyjaśnienia wymaga jednostka oraz obszar, której ta wartość dotyczy – czy to jest łączna wartość potoku pasażerskiego wszystkimi środkami transportu? Czy ona dotyczy korytarza (pojedynczy odcinek), czy może obszaru (jako suma potoków)?** Kryteria jakości infrastruktury i ingerencji w przyrodę początkowo wzbudzały wątpliwości, lecz po zastanowieniu można jedynie potwierdzić prawidłowość ich zdefiniowania i parametryzacji. Jest to jeden w wielu elementów rozprawy, które są bardzo dobrze przemyślane i trafnie dobrane. Pojawiające się w pierwszym odruchu wątpliwości wynikają z oryginalnego podejścia do problematyki i niespotykanego do tej pory ujęcia zagadnienia. Świadczy to o bardzo dobrym rozpoznaniu obszaru tematycznego i świetnej intuicji naukowej Autora. Kryterium „wpływ na klimat” w swojej istocie dotyczy emisji dwutlenku węgla, a sposób jego wyznaczenia (wykorzystujący model transportowy) jest prawidłowy. Podobna uwaga dotyczy hałasu, gdzie skupiono się nie na bezwzględnej wartości natężenia, a na mierze o charakterze przestrzennym, wyznaczającym liczbę zabudowań będących w ekspozycji hałasowej. Bardzo dobry pomysł!

W **rozdziale 5** Autor przedstawia własny model wspomaganie decyzji w planowaniu rozwoju transportu. Jest to kluczowy z punktu widzenia rozprawy rozdział, przedstawiający strukturę modelu, jego formalny zapis oraz przyjęte parametry. Całość zagadnienia jest przedstawiona czytelnie i nie budzi wątpliwości. W pracach bazujących na wnioskowaniu rozmytym największym wyzwaniem jest zdefiniowanie zmiennych lingwistycznych i ich parametryzacja. Po raz kolejny Autor przedstawia to zagadnienie w sposób jasny i zrozumiały dla czytelnika. Nie budzą wątpliwości przyjęte zmienne i wartości graniczne dla każdej z nich. **Oczekiwany natomiast jest komentarz dotyczący wyboru kształtu funkcji przynależności – dlaczego akurat Autor zdecydował się na funkcję trójkątną oraz czy były prowadzone analizy wrażliwości dotyczące poszczególnych parametrów tych funkcji?** Jest to tyle istotne pytanie, że Autor samodzielnie przyjął wartości minimalne, średnie i maksymalne dla każdej zmiennej lingwistycznej, podczas gdy definiując kryteria podawał wartości minimalne i maksymalne. Niektóre funkcje przynależności mają kształt nieregularny (rys. 5.7) a niektóre symetryczny (5.11). Nie jest to błąd, ale można oczekiwać szerszej dyskusji na temat doboru tych kształtów.

**Rozdział 6** zawiera opis autorskiej procedury wspomagającej planowanie systemu transportowego. Autor w sposób wyczerpujący przedstawia założenia swojej metody i szczegółowo zapoznaje czytelnika z niezbędnymi etapami oraz kolejnością postępowania, tworząc autorski algorytm. Dużo uwagi poświęca przygotowaniu danych, co powszechnie jest traktowane w sposób uproszczony, a w rzeczywistości ma istotny wpływ na wyniki prowadzonych analiz. Całość rozdziału pokazuje ogromną wiedzę Autora z zakresu oceny wpływu inwestycji infrastrukturalnych i jego świadomość jako projektanta. Mnogość wątków i perfekcyjne ich uszeregowanie upewnia czytelnika, że proponowana metoda uwzględnia zagadnienie w sposób holistyczny, jakże odmienny od syntetycznej analizy AKK. W tym właśnie tkwi siła prowadzonych analiz i ich oryginalność. Uważam, że opiniowana rozprawa doktorska stanowi istotny krok w dyskusji dotyczącej metodyki oceniania inwestycji i może być traktowana jako przyczynek do postulowanych przez środowisko zmian w dotychczasowym podejściu do tematu.

**Rozdział 7** dotyczy praktycznego wdrożenia metody i jej aplikacji dla wybranych inwestycji. Krótki opis środowiska Matlab pokazuje narzędzie i jest to bardzo dobrze przygotowany materiał. Nawet dla czytelnika niezaznajomionego z wnioskowaniem rozmytym nie powinien stanowić trudności w zrozumieniu istoty działania. Bardzo dobrze dobrane schematy, rzeczowe opisy i świetne podsumowania poszczególnych elementów stanowią mocną stronę tej pracy. Omawiając poszczególne zmienne lingwistyczne, Autor przedstawia je w formie okien dialogowych i komentuje. **Proszę o rozwinięcie / wyjaśnienie stwierdzenia pojawiającego się kilkakrotnie (np. na s. 132), że: ...przyjęto funkcje trójkątne, co pozostaje bez wpływu na wyniki modelowania...** . Jest to dość odważne stwierdzenie, niepoparte uzasadnieniem. Przyjęty układ reguł wnioskujących został zaproponowany prawidłowo i nie budzi żadnych wątpliwości. W efekcie Autor uzyskał bardzo dobre narzędzie wspomagające proces decyzyjny. Wnioskowanie rozmyte nie jest narzędziem dającym się jednoznacznie definiować. Siłą jego jest właśnie rozmytość, symulująca proces decyzyjny towarzyszący człowiekowi i jako taki nie oczekuje jednego, jedynie słusznego rozwiązania. Uwzględniając to Autor opracował bardzo dobre narzędzie i niewątpliwie jest to nowatorskie zastosowanie tej metody heurystycznej do rozwiązywania praktycznych problemów związanych z oceną inwestycji infrastrukturalnych. Pokazują to zwłaszcza wyniki działającego układu wnioskującego dla każdego z obszarów kryterialnych. Kształt uzyskanych powierzchni odzwierciedla relacje między zmiennymi lingwistycznymi połączonymi regułami wnioskującymi. Wyniki stoją w zgodzie z intuicyjnym oczekiwaniem i nie wprowadzają niepotrzebnych wątpliwości – to właśnie jest siła wnioskowania rozmytego. Trochę zabrakło podsumowania tego rozdziału i odniesienia się do osiągniętych rezultatów.

W **rozdziale 8** przedstawiono weryfikację metody wielokryterialnego wspomagania decyzji, choć w istocie jest to aplikacja modelu (**można postawić pytanie, jak weryfikować wyniki modelu rozmytego?**). Uważam, że wybór inwestycji został dokonany wzorowo – uwzględniono różne typy inwestycji, zróżnicowano je geograficznie i przyjęto różny zasięg terytorialny. Tabelańcześnie zestawiono podstawowe informacje oraz dokonano parametryzacji każdej z nich opisując wartości przyjętych kryteriów. Całość dopełniają schematy lokalizujące

te inwestycje i wskazujące na ich zasięg. Przyznawanie punktów za poszczególne kryteria (np. w tab. 8.3 i 8.4) jest dość niejasne – nie wiadomo dlaczego spełnienie warunku raz ma wartość 0, a w drugim przypadku 1. Ponadto powtarza się problem interpretacyjny kryteriów: dla jakiego obszaru wpływu są poszczególne wartości kryteriów szacowane? Wskaźnik WMDT jest dla województwa, a pozostałe? Nie umniejsza to jednak wysokiej oceny procesu aplikacji autorskiego modelu dla konkretnych inwestycji. Uzyskany końcowy ranking oceny preferencji decydenta jest jak najbardziej zbieżny z oczekiwaniami. Najniższe miejsce przypadło przebudowie drogi krajowej DK7 na odcinku Kraków – Myślenice – to jest bardzo aktualna sprawa w Małopolsce i budzi szereg kontrowersji. Jest społecznie nieakceptowalna i niski globalny wskaźnik oddaje nie tylko nastroje społeczne, ale i jej relatywnie niewielkie znaczenie transportowe. Najlepiej zaś wypadła inwestycja w budowę drogi S12 i znowu potwierdza się nie tylko jej znaczenie dla mieszkańców, ale i oczekiwana ważna rola w systemie dróg krajowych.

**Rozdział 9** to podsumowanie i wnioski z prowadzonych prac. Autor zdecydował się na przedstawienie wniosków w formie punktów – uważam, że jest to bardzo dobry wybór, ponieważ pozwala na syntetyzowanie wyników i uwypuklenie najistotniejszych aspektów pracy. Trafnie podsumowano nie tylko narzędzie, ale i końcowy ranking ocen. W pełni zgadzam się z podsumowaniem oraz z nakreślonymi dalszymi zamierzeniami naukowymi. Autor podjął się ogromnego wyzwania i właśnie ta część pokazuje, że jest świadom przeszkód i słabości oraz koniecznych dalszych działań prowadzonych do udoskonalenia narzędzia.

**Bibliografia** w liczbie 245 pozycji została starannie dobrana i zestawiona, jest w pełni reprezentatywna dla podejmowanej problematyki, stanowiąc wartość samą w sobie. Zebrane źródła są różnorodne: głównie są to referaty i artykuły, lecz także pozycje monograficzne, ustawy i rozporządzenia. W sumie jest to bardzo przydatny zbiór dla każdego badacza zajmującego się analizą efektywności funkcjonalnej inwestycji infrastrukturalnych.

Częste i liczne cytowania dowodzą, że Doktorant zapoznał się z zestawionymi źródłami i z pożytkiem je wykorzystał.

## **2. Uwagi szczegółowe:**

Po raz kolejny chciałbym podkreślić, iż praca jest wykonana bardzo starannie, a uwagi i wątpliwości zostały umieszczone w ocenie merytorycznej poszczególnych rozdziałów. Narzuca się jedynie kilka mniej istotnych uwag szczegółowych:

1. Przyjmowane wartości dla poszczególnych kryteriów (chodzi o granicę górną) sprawiają wrażenie dość przypadkowych – np. wpływ na klimat (s. 76), zgodnie z analizą możliwego rozrzutu wartości, przyjmuje maksymalnie 9040 [kgCo<sub>2</sub>/km] i tak zostało to przyjęte w przedziale (wzór 4.7). natomiast kryterium „ingerencja w zabudowę” wg Autora (s. 80) ...*rzadko przekracza 2...* we wzorze 4.0 ma górną granicę 20 ha/km. Podobne uwagi dotyczą innych kryteriów.
2. S. 82 – co oznacza intensywność ruchu? Jak to jest definiowane?

3. S. 94 – Autor wspomina tam o badań prowadzonych wśród ekspertów – jakie to były badania, kiedy prowadzone, jaka liczebność itp.
4. S. 101, rys. 5.5 – brakuje linii na rysunku (podobna uwaga dotyczy rys. 5.11).
5. S. 145 – za mała czcionka na schematach będących wynikiem działania układu wnioskującego (rys. 7.26-7.29).

### **3. Ocena redakcji pracy**

Układ całości pracy jest logiczny i czytelny. Bardzo dobrze prezentuje myśli Autora i sprawnie prowadzi czytelnika przez prezentowany tok postępowania. Uporządkowanie treści w obrębie rozdziałów i podrozdziałów na ogół jest trafne, poza nielicznymi mniej znaczącymi wyjątkami. Kilukrotnie dostrzeżono, iż wybór kryteriów czy metod jest zbyt skrótowy jak na oczekiwania ich pełnego przedstawienia.

Praca jest bardzo dobrze zredagowana i dopracowana stylistycznie. Nie dostrzeżono błędów literowych, czy pomieszanych numerów rozdziałów, rysunków i wzorów. Z uwagi na złożoność prowadzonych analiz oraz ich niewątpliwą oryginalność, język rozprawy jest miejscami - ze względu na używanie specjalistycznej terminologii - zawiły, ale nie można tak skomplikowanych treści przedstawić prościej.

### **4. Ogólna ocena pracy**

Na podkreślenie zasługuje sam fakt podjęcia bardzo trudnej i bardzo wąskiej problematyki oraz rozległość i precyzja wykorzystywanych wielu źródeł, z którymi Doktorant nie tylko wnikliwie zapoznał się, ale wykazał że rozumie ich istotę i trafnie je syntetyzuje. Doktorant rozwiązał problem o wysokiej złożoności posługując się metodami heurystycznymi, w efekcie wykazał się sprawnością i biegłością nie tylko w pracach obliczeniowych, ale i we właściwej interpretacji uzyskanych wyników. Ujawnił tym samym swoje wysokie kompetencje naukowe, w szczególności umiejętność analizy i syntezy różnych zbiorów danych i oceny ich przydatności.

Podjęty problem jest bardzo ważny z użytecznego punktu widzenia i stanowi pionierską analizę, która do tej pory nie była wykonana. Prowadzone badania wymagały nie tylko pozyskania bardzo rozbudowanej bazy danych, ale i umiejętnego doboru zmiennych i realizacji uporządkowanej struktury badawczej. Rozwiązując ten problem Doktorant wykazał dojrzałość badawczą wynikającą ze sprawnego posługiwania się narzędziami modelowania podróży, analizy GIS i wnioskowania rozmytego.

Recenzowana praca doktorska pomimo zgłoszonych uwag, głównie o charakterze wątpliwości bądź usterek (zapewne znaczna część z nich jest dyskusyjna), jest ambitnie zamierzoną i w pełni poprawnie zrealizowaną dysertacją. Nieliczne uwagi szczegółowe mają

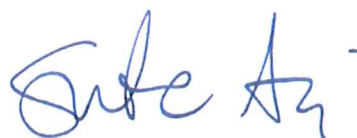
głównie charakter redakcyjny i mogą być wykorzystane w poprawie jakości, w tym czytelności zamierzonych publikacji obejmujących poszczególne fragmenty dysertacji.

## **6. Wniosek końcowy i jego uzasadnienie**

Uzasadnieniem wysokiej oceny pracy są następujące jej walory:

- umiejętność sformułowania problemu naukowego dotyczącego złożonego obiektu badań i poprawna jego strukturalizacja;
- zaprezentowane przez jej Autora bardzo wysokie kompetencje merytoryczne i dojrzałość badawcza;
- istotny wkład w rozwój metod modelowania procesu decyzyjnego;
- wielka swoboda i nadzwyczajna sprawność w posługiwaniu się stosowanymi metodami;
- doprowadzenie do efektywnego rozwiązania postawionego zadania;
- doskonała orientacja w stanie badań i umiejętność ich syntetycznego przedstawienia;

Wykazane uwagi krytyczne w żadnym stopniu nie osłabiają wysokiej oceny pracy. W podsumowaniu wniosku wyrażam opinię, że recenzowana rozprawa spełnia wymagania stawiane stosownymi przepisami pracom doktorskim i wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Macieja Kaczorka do publicznej obrony pracy doktorskiej w dyscyplinie Inżynieria Lądowa i Transport.



*prof. dr hab. inż. Andrzej Szarata*