

Recenzja spełnia wymogi formalne

Przewodniczący Rady Dyscypliny
Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport

dr hab. inż. Marcin Staniek, prof. PŚ

Radom 31.08.2023

dr hab. inż. Andrzej Krzyszkowski prof. UTH
Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny w Radomiu
Wydział Transportu, Elektrotechniki i Informatyki
26-600 Radom ul. Malczewskiego 29

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. inż. Mariusza Wala nt.

„Zastosowanie wybranych algorytmów sztucznej inteligencji do poprawy efektywności procesów transportu i zbiórki odpadów komunalnych”

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Piotr Nowakowski prof. Politechniki Śląskiej

1. Podstawa opracowania recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr. inż. Mariusza Wala pt. „Zastosowanie wybranych algorytmów sztucznej inteligencji do poprawy efektywności procesów transportu i zbiórki odpadów komunalnych”. Recenzja została opracowana na zlecenie pana dr. hab. inż. Marcina Stańka, prof. PŚ. Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport (pismo nr RDILGT.512.6.2023 z dnia 30.06.2023 roku) zgodnie z Uchwałą nr 47/2023 Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport z dnia 29 czerwca 2023 roku.

2. Uwagi ogólne

Dysertacja pana mgr. inż. Mariusza Wala zatytułowana „Zastosowanie wybranych algorytmów sztucznej inteligencji do poprawy efektywności procesów transportu i zbiórki odpadów komunalnych” zawiera istotne rozważania z obszaru transportu i ekologii. Problem transportu i zbiórki odpadów komunalnych autor potraktował systemowo przedstawiając różne uwarunkowania elementów składowych całego procesu zapewniając pracy spójność.

Przeprowadził analizy w istotnych i możliwych obszarach podjętego zagadnienia badawczego w taki sposób aby osiągnąć założony cel.

3. Struktura formalna oraz przedmiot i zakres pracy

Recenzowana rozprawa doktorska została opracowana na Wydziale Transportu Politechniki Śląskiej i składa się z siedmiu rozdziałów w tym wstępu, wniosków oraz spisu literatury, spisu rysunków, spisu tablic, a także streszczenia umieszczonego na początku pracy wraz z opisem stosowanych najważniejszych skrótów i ich wyjaśnieniem. Całość pracy to 134 strony. Literatura to 176 pozycji dobranych tematycznie i istotnych dla tematu rozprawy, w tym 11 pozycji współautorem jest autor pracy, a 17 – promotor pracy.

Rozdział 1 to wstęp, w którym autor pokazał światowy wzrost gospodarczy i jego wpływ na wzrost odpadów komunalnych, zobrazował to na rysunkach-wykresach 1.1 i 1.2 samodzielnie opracowanych na podstawie danych literaturowych, oraz zobrazował sytuację w Polsce na samodzielnie wykonanym rysunku-wykresie 1.3 w oparciu o dane GUS. Opierając się na wstępnych danych zbudował dwa modele gospodarki: model o obiegu zamkniętym i model liniowy, pokazując zróżnicowanie w zbiorce odpadów komunalnych i doborze środka transportu dla każdego z tych modeli.

Rozdział 2 to charakterystyka koncepcji zbiórki, transportu i zagospodarowania odpadów w obiegu zamkniętym. Autor bardzo trafnie rozpoczął analizę od holistyki, która nie jest niczym innym jak „optymalnie” korzystnymi dla społeczeństwa rozwiązaniami techniczno-organizacyjnymi. Pojęcie to jest niekiedy niemożliwe do matematycznego modelowania gdyż samo w sobie zawiera wiele pojęć technicznie budzących niejednoznaczności jak np.: stan zdrowotny i stan psychiczny człowieka, zadowolenie, emocje, odległe następstwa i wiele innych. Autor poprawnie zauważył to jako „zmiany środowiska”, które należy realizować poprzez „konieczność racjonalizacji w procesie zbiórki, transportu, a także sposobach postępowania z zebranymi odpadami”. Takie podejście wskazuje, że główny obszar naukowo-tematyczny pracy to transport. W pracy opisano rozwiązania technologiczne linii mechaniczno-ręcznej i automatycznej, procesy unieszkodliwiania, recyklingu i odzysku energetycznego z uwzględnieniem procesów transportowych uwarunkowanych rodzajami odpadów. Przy doborze środków transportu autor dokonał przeglądu europejskich norm emisji zanieczyszczeń dla różnych silników, oraz poziomów hałasu dla różnych środków transportu. Słusznym wydaje

się również uwzględnienie przy kosztach w zbiorce odpadów „czynnika ludzkiego” jako świadomości społecznej trudnej do wyznaczenia, ale możliwej do realizacji poprzez wymuszenia ekonomiczne – opłaty. Najistotniejsze naukowo dla rozdziału 2 to literaturowa analiza wykorzystania algorytmów sztucznej inteligencji w wspomaganiu zbiórki i transporcie odpadów. W celu doboru narzędzia badawczego poddano dyskusji efektywność, czynniki ekonomiczne takie jak: koszty pracownicze, koszty użytkowania pojazdów i kontenerów, koszty operacyjne, wielokrotność optymalizacji trasy wybierając do obliczeń najczęściej stosowane w pokrewnych tematycznie zagadnieniach wskaźniki pomiarowe i algorytmy SI. Po przeprowadzonej analizie literaturowej słusznym wydaje się wybór przez autora algorytmu mrówkowego i algorytmu przeszukiwania tabu ze względu na najwyższe procentowo wyniki skrócenia czasów i długości trasy. Porównywane rezultaty pozostałych algorytmów przedstawione w tabeli 2.4. nie wykazywały tak dużej poprawy wyników. Temat podjęty przez autora jest zagadnieniem dość rzadko podejmowanym w literaturze naukowej zarówno krajowej jak i zagranicznej, co wykazano w tabeli 2.5. Autor wykonał własne obszerne badania porównawcze i analityczne charakteryzując ich zakres, cel i obszar badawczy. Wykaz zrealizowanych badań własnych został przedstawiony w tablicy 2.6. Wszystkie tablice w rozdziale 2 zostały opracowane przez doktoranta, który można przyjąć, że systemowo i pioniersko potraktował ten problem badawczy.

Rozdział 3 to określenie celu badawczego, który w oparciu o przedstawioną analizę zagadnienia został „ukierunkowany na opracowanie modelu zbiórki i transportu odpadów z gospodarstw domowych z wykorzystaniem kilku wskaźników i mierników uwzględniających czynniki związane z ekonomią i ochroną środowiska”. W aspekcie użytkowym doktorant postawił sobie za zadanie „zbadanie efektów przeprowadzonych optymalizacji w warunkach rzeczywistych” co nadaje pracy charakter aplikacyjny, a zatem realnie użytecznej społecznie, dającej wymierne korzyści. Poszukiwanie optymalnych rozwiązań pozostawia często wiele wątpliwości, ale dzięki użytkowemu aplikacyjnemu charakterowi broni się naukowo samoczynnie – wynik, a raczej rezultat aplikacyjny potwierdza słuszność metody. W celu naukowego rozwiązania problemu wynikającego zarówno z przeglądu literatury jak również z posiadanej wiedzy technicznej i doświadczenia w tym obszarze tematycznym doktorant sformułował tezę: „Zastosowanie algorytmów sztucznej inteligencji wpływa w sposób wymierny na poprawę efektywności procesów transportowych i zbiórki odpadów komunalnych”. Teza jest sformułowana poprawnie – daje możliwość rozwiązania istotnego

społecznie i naukowo zagadnienia metodami i sposobami nie kwestionowanymi naukowo. Zakres pracy podporządkowany tezie i celom nie budzi zastrzeżeń.

Rozdział 4 to zbiór przeanalizowanych istotnych dla podjętego zagadnienia aktów prawnych, analizy zbiórki, transportu i sposobów zagospodarowania odpadów, charakterystyka etapów procesów zbiorczo-transportowych odpadów. Opis parametrów uwzględnionych w analizowanych procesach.

Rozdział 5 to określenie ram parametrów i czynników techniczno-organizacyjnych dla badanego problemu badawczego w celu stworzenia schematu realizacji postawionego zadania badawczego. Zakres badań został ograniczony do wybranych przez autora wskaźników i mierników niezbędnych do oceny efektów zmian techniczno-organizacyjnych podczas zbiórki i transportu odpadów. Wykorzystanie algorytmów sztucznej inteligencji zwiększyło możliwości uwzględnienia oceny kompleksowej efektywności całego procesu. Omówienie zaproponowanego modelu sieci transportu i rezultatów przedstawiono w pkt. 4 recenzji. Przedstawiony problem marszrutyzacji związany z odbiorem odpadów jest rozwiązaniem budzącym w wielu przypadkach naukowo duże dyskusje ze względu na wprowadzenie wagi w kryteriach optymalizacji. Dobrze, że autor go przedstawił, ponieważ jest to narzędzie bardzo przydatne i wygodne dla decydentów ze względu na możliwość ustalania wag – ułatwia ono sprzedaż komponentów naukowych i ich wdrażanie.

Rozdział 6 to opis doboru i wykorzystania metod oraz sposobów przeprowadzenia badań i analiz. Wskazano wybrane wskaźniki w obszarach przestrzennych, na których analizowano różne konfiguracje tras wskazywanych rezultatami przyjętych algorytmów. Obszar badań obejmował gminę wiejską i dwie gminy miejskie o łącznej powierzchni 203 km², oraz łącznym zaludnieniu 146 tys. mieszkańców. Średnio rocznie na tym obszarze w latach 2019–2021 zbierano ok. 57 tys. ton odpadów. Autor przeprowadził analizy odnośnie rodzaju odpadów jak i sposobów ich gromadzenia, co jest niezbędne przy doborze środków transportu do ich przewozu oraz określenia częstotliwości zbiórek. Przedstawiono parametry techniczne różnych typów pojazdów wykorzystywanych przy zbiórce i scharakteryzowano ich przeznaczenie z uwzględnieniem zróżnicowanego sposobu gromadzenia odpadów. Do optymalizacji tras w badanym obszarze doktorant wybrał 18 tras w tym 7 tras zbiórki odpadów wielkogabarytowych i 11 tras zbiórki tworzyw sztucznych. Autorskie wizualizacje tras przedstawiono w postaci zrzutu z ekranu. Pojazdy dokonujące zbiórki były monitorowane w czasie rzeczywistym z możliwością wglądu do parametrów takich jak czas i długość trasy.

Charakterystyki tras wybranych do optymalizacji opisano w tabeli 6.4. Funkcja celu została ukierunkowana na czas realizacji i długość trasy, dlatego też zgodnie z analizą różnych algorytmów heurystycznych tabela 2.4 rozdział 2 wybrano algorytm poszukiwania tabu i algorytm mrówkowy charakteryzujący się 69% zwiększeniem liczby odwiedzanych punktów – poz. lit. [90]. Wyniki badań czasu i długości tras przed optymalizacją są pokazane w zestawieniach tabela od 6.7. do 6.14. Do opracowania statystycznego wyników doktorant wybrał 74 trasy zbiórki odpadów tworzyw sztucznych realizowane z określoną częstością i 60 tras zbiórki odpadów wielkogabarytowych. Analizie poddano: zużycie paliwa długość trasy, koszty osobowe, mierniki masy zebranych odpadów w [kg/km] i [kg/godz.]. Zestawienia statystyczne dla tras zbiórki objęły: średnią arytmetyczną, medianę, wartości minimalne i maksymalne, odchylenie standardowe i błąd standardowy. Zestawienia wyników jak i przedstawione zależności mierników nie dają podstaw do podważania otrzymanych rezultatów i wniosków. Wyniki optymalizacji tras od 1 do 18 z wykorzystaniem algorytmów przeszukiwania tabu i mrówkowego, oraz według realizacji z listy przedstawiają zestawienia parametrów realizacji trasy na rysunkach od 6.17, do 6.34. We wszystkich zestawieniach czasy realizacji trasy ZO i długości tras ZO są po zastosowaniu algorytmu przeszukiwania tabu i algorytmu mrówkowego, krótsze od realizowanych wg listy. Okazało się również, że zasadnym było zastosowanie algorytmu mrówkowego który na 18 trasach okazał się efektywniejszy w 7 przypadkach, a w 5 zbieżny z rezultatami algorytmu przeszukiwania tabu. Obliczana w systemie zbierania odpadów funkcja celu zakładająca minimalizację kosztów i czasu przejazdu przy liczbie obsłużonych punktów dla i-tego pojazdu, dla nowego i początkowego rozwiązania pomiędzy (j-1)-tym a j-tym wierzchołkiem trasy (kolejnymi punktami zbiórki odpadów) umożliwiła przygotowanie sekwencji przejazdu pojazdów zbierających odpady i wydruk lokalizacji punktów na mapach cyfrowych, a zatem zastosowanie jej w warunkach rzeczywistych i weryfikację otrzymanych wyników. Wyniki porównawcze z nowymi rezultatami po wprowadzeniu zmian w trasach ZO uwzględniającymi uzyskane obliczenia przedstawiono na rysunkach od 6.39 do 6.42 tj. 8 porównań, w których 2 krotnie udało się uzyskać rezultat optymalny zgodny z rezultatem obliczeniowym (rys.6.39.b i rys 6.40.b), a w pozostałych przypadkach rezultaty poprawiające realizację według listy zmniejszając czasy przejazdu i zmniejszając długości tras przejazdu. Nie optymistycznym okazał się jednak rysunek 6.43 pokazujący wzrost cen oleju napędowego z 4,03 do 7,19 zł w okresie 3 lat oraz kolejne rysunki 6.44 i 6.45 pokazujące kilkukrotny wzrosty kosztów transportu, kosztów osobowych i całkowitych. Jak widać w sytuacjach zagrożeń (wojna w Ukrainie) uwarunkowania polityczne mają znacznie większy wpływ na czynniki

gospodarcze i społeczne od przyzwoitych naukowych opracowań optymalizujących efektywność, koszty, jak również inne parametry techniczno-organizacyjne w tym przypadku w transporcie. Pociesającym natomiast jest fakt, że na kolejnym rysunku 6.46 doktorant jednoznacznie wykazał wzrost wskaźnika efektywności ekonomicznej zbiórki odpadów z wartości 6,37 do wartości 7,51 przy zastosowaniu optymalizacji wykorzystującej algorytm przeszukiwania tabu i do wartości 7,42 przy zastosowaniu optymalizacji wykorzystującej algorytm mrówkowy, co potwierdza słuszność ich wyboru i zastosowania. Natomiast w aspekcie ekologicznym bardzo nieznacznie ilościowo, ale istotnie wskaźnikowo zmniejszył się miernik (ok. 15%) emisji CO₂ na trasach ZO przy wykorzystaniu niezmiennych środków transportu, co zostało udokumentowane wyliczeniami przedstawionymi w zestawieniu w tablicy 6.24. i na rysunkach 6.50. i 6.51. Analogiczne wyniki uzyskał doktorant w obliczeniach miernika emisji NO_x i pyłów zawieszonych PM. Wszystkie analizy, obliczenia, oraz tabele i rysunki wykonane zostały przez doktoranta, a zatem uzyskane rezultaty są jego autorskim wkładem w tym badawczym obszarze.

Rozdział 7 to wnioski. Doktorant przedstawił ich 6 – są one potwierdzeniem zasadności celu, przyjętej metody tzn. zaproponowanego modelu sieci transportowej i algorytmów sztucznej inteligencji realizujących postawione zadanie. Cztery z nich to wskaźniki i mierniki, które jednoznacznie potwierdziły słuszność przyjętych założeń. Tak więc wartości wskaźników i mierników udowodniły postawioną tezę, że zastosowanie algorytmów sztucznej inteligencji wpływa w sposób wymierny na poprawę efektywności procesów transportu i zbiórki odpadów komunalnych. Wyniki zostały zweryfikowane w warunkach rzeczywistych i potwierdziły ich wiarygodność, zatem wnioski to nie tylko wynik teoretycznych analiz i badań, ale również rezultaty aplikacyjne – sprawdzone i wdrożone.

4. Ocena rozprawy

Doktorant zamodelował sieć transportową w postaci grafu skierowanego, w którym dowolny pojazd może rozpocząć zbiórkę z dowolnie określonej bazy i zakończyć w dowolnie określonej bazie, a przejazd odbywa się przez punkty będące węzłami sieci. Dla tak zadanych parametrów optymalizacji drogi przejazdu, czasy przejazdu mogą być rezultatem różnych tras. Kolejne problemy to niemożliwy do przewidzenia czas załadunku, tu doktorant wprowadził okno czasów. Następny problem to zmiana liczby punktów węzłowych podczas wyznaczonej

wstępnie trasy wynikający z osiągnięcia pełnej ładowności przez pojazd. Ponieważ w warunkach rzeczywistych na chwilę obecną nie da się uniknąć przedstawionych problemów uzyskiwanie optymalnych rezultatów wydawałoby się dyskusyjne do wykonania, ale doktorant wprowadza tu wskaźnik efektywności ekonomicznej transportu odpadów pojazdem {wzór (1) rozdział 5} co znacznie przybliża do rozwiązania problemu w aspekcie efektywności, która poprzez przyjęte i obliczone wskaźniki i mierniki jest wiarygodna. Lepszego modelu matematycznego sieci transportowej niż przedstawiony przez autora przy niejednoznacznych parametrach rzeczywistych w tych warunkach wydaje się, że trudno byłoby zaproponować. Doktorant uwzględniając wieloparametrowość modelu i niejednoznaczność parametrów takich jak np. okno czasowe, rozumiejąc fizyczny sens modelu matematycznego dokonał analizy algorytmów sztucznej inteligencji wybierając algorytm mrówkowy i algorytm przeszukiwania tabu. Wybór obu algorytmów został uzasadniony w rozdziale 5.2 poprzez analizę parametrów składowych tych algorytmów, oraz porównanie uzyskiwanej dokładności wyników wybranych algorytmów SI rozdział 2 tabela 2.4. Tu doktorant wykazał się dociekliwością i dojrzałością naukową, umiejętnością analizowania złożonych zagadnień technicznych i prawidłowym doбором narzędzia badawczego nie budzącego wątpliwości w zastosowaniu i w uzyskanych rezultatach – wybór algorytmów SI i ich zastosowanie. Autor sformułował czytelnie tezę i zakres pracy tak aby postawioną tezę udowodnić. Cel pracy został podzielony na badawczy – opracowanie modelu zbiórki i transportu odpadów, oraz cel użyteczny – zbadanie efektów przeprowadzonej optymalizacji, a zatem wdrożenie wyników, czyli efekt aplikacyjny. Teza została udowodniona, a cele zostały osiągnięte.

Tak postawiona i zrealizowana teza i cel pracy świadczą o trafności wyboru i oryginalności problemu badawczego podjętego w rozprawie. Problem badawczy należy uznać za istotny z punktu widzenia tematyki, potrzeb społecznych i dyscypliny naukowej, w której aplikuje.

5. Uwagi krytyczne

Autor w kilku miejscach podaje informacje odnośnie zasad wyboru pojazdów do zbiórki odpadów. Proszę o podanie uzasadnienia wyboru pojazdu do zbiórki odpadów w aspekcie całościowej analizy badań własnych doktoranta.

W pkt 6. strona 72 pracy autor podaje, że osoba zarządzająca flotą może dokonywać odczytu sygnału GPS i również ma wgląd do parametrów trasy m. in. czasu, długości trasy, itp.

Proszę o podanie „itp. Parametrów” i scharakteryzować na ile są one istotne dla podjętego przez doktoranta zagadnienia?

W rozdziale 6.4 strona 74. autor podaje „trasy były realizowane z określoną częstotliwością. Jaka to była częstotliwość i jak ona wpływa na wyniki statystyk w tabeli 6.5.? W pracy nie podano na ten temat żadnej informacji.

Rysunek 5.3 strona 62 zrzut z ekranu po prawej stronie słabo czytelny – poglądowo wystarczający.

Mapki będące zrzutem z ekranu poglądowo wystarczające, ale jakościowo wyraźnie słabsze od czytelnych, wyraźnych rysunków, zdjęć i schematów autorstwa doktoranta.

Rysunek 5.2 powinien być większy tak, aby czcionka opisująca operacje algorytmu była zbliżona wielkością do czcionki zastosowanej w treści pracy.

Spostrzeżenia

W większości tytuły podrozdziałów posiadają jednakowe odstępów przed treścią danego podrozdziału, którego dotyczą i taki sam odstęp tytułów podrozdziałów występuje po treści podrozdziału poprzedzającego – optycznie robi to wrażenie wytłuszczenia istotnej treści tak samo jak np. tezy na stronie 37. Taka zasada występuje obecnie w prawie wszystkich pracach ale budzi moje i wielu osób kontrowersje.

Analogiczna sytuacja dotyczy kończenia rozdziału tabelą strony 29, 35, 42, 69.

6. Konkluzja

Podsumowując można stwierdzić, że doktorant w sposób jednoznaczny określił problem badawczy potrafił samodzielnie sformułować zadanie naukowe, a następnie je rozwiązać i wdrożyć rezultaty. Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska zawiera metody oryginalne wypracowane przez autora dysertacji, które dotyczą aktualnych problemów w zakresie dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport i można je uznać za istotne w zakresie transportu. Prezentowane w rozprawie doktorskiej zagadnienia mają charakter aplikacyjny

i zostały wdrożone. Biorąc pod uwagę przedstawione w recenzji różnorodne aspekty rozprawy, ich aspekt naukowy umiejętności doktoranta do formułowania i identyfikacji problemu, opisu matematycznego i formalnego, a także formułowania wniosków można stwierdzić, że posiada on dojrzałość naukową do prowadzenia badań. Uważam, że

zaprezentowany przez doktoranta warsztat naukowy, przygotowana pod opieką promotora rozprawa stanowi w myśl ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. 2003 nr 65 poz. 595) oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, dlatego też wnoszę o dopuszczenie jej przez Radę Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Śląskiej do dalszego procedowania i publicznej obrony.

17 J