



Wrocław, 16.06.2023 r.

dr hab. Agnieszka Tubis, prof. uczelni  
Politechnika Wroclawska  
Wydział Mechaniczny  
Katedra Eksploatacji Systemów Technicznych  
Wyb. Wyspiańskiego 27  
50-370 Wrocław

### RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Teresy Siedleckiej - Wójcikowskiej  
pt.: „Metoda oceny efektywności wybranych elementów łańcuchów dostaw wspieranych  
przez technologię identyfikacji radiowej RFID”

Podstawa formalna recenzji:

Pismo nr WTBD.521.DR.63.2023 Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport, dr hab. inż. Konrada Lewczuka, prof. uczelni z dnia 23 maja 2023 r.

#### 1. Charakterystyka pracy

Rozprawa doktorska mgr. inż. Teresy Siedleckiej – Wójcikowskiej pt.: „Metoda oceny efektywności wybranych elementów łańcuchów dostaw wspieranych przez technologię identyfikacji radiowej RFID” została wydana w Politechnice Warszawskiej w Warszawie w 2023r. Promotorem pracy jest dr hab. inż. Konrad Lewczuk, prof. uczelni, a promotorem pomocniczym dr Michał Bańka.

Praca zawiera 178 stron maszynopisu. Składa się z 9 rozdziałów, streszczenia w języku polskim i angielskim, spisu bibliografii, który obejmuje 202 pozycje źródłowe, oraz spisu 24 rysunków i 39 tabel.

## 2. Zakres tematyczny pracy

Tematyka rozprawy doktorskiej dotyczy oceny efektywności wdrożenia technologii identyfikacji radiowej RFID w operacjach obsługi logistycznej przepływów materiałowych w obiektach stanowiących ogniwa współpracujące w łańcuchach dostaw. Efektywność ta jest definiowana przez Doktorantkę jako stopień realizacji zadań związanych z obsługą magazynową ładunków wyrażony głównie kosztami ich realizacji w odniesieniu do wielkości zrealizowanych zadań. Wielkość realizacji zadań wynika z obciążenia nakładanego na łańcuch, zaś koszty są funkcją stosowanych technologii. Warto też podkreślić, iż w swoich analizach Doktorantka koncentruje się przede wszystkim na aspektach dotyczących zaangażowania zasobów (ludzi i urządzeń) w operacjach obsługowych realizowanych w procesie magazynowania.

Omawiana problematyka ma istotne znaczenie zarówno poznawcze, jak i utylitarne.

Podjęta tematyka wiąże się z procesem decyzyjnym dotyczącym oceny efektywności wdrożenia wybranych wariantów technologii identyfikacji radiowej RFID, jako rozwiązania wspomagającego przepływy towarowe w systemach logistyki wewnętrznej oraz wzdłuż łańcuchów dostaw. Efektywność ta może być szacowana przed rozpoczęciem inwestycji, jeszcze w fazie projektowej, ale także może być przedmiotem oceny po realizacji określonego procesu w ramach monitoringu lub audytu logistycznego. Efektywność wdrażania radiowej identyfikacji danych jest istotnym zagadnieniem we współczesnych systemach logistycznych obsługujących przepływy towarowe. Mimo, iż systemy RFID są znaną technologią identyfikacji ładunków, jednak ze względu na koszty jej wdrożenia i stosowania, nadal wiele sektorów nie zdecydowało się na jej pełne zastosowanie w obsłudze funkcjonujących sieci logistycznych. Pandemia COVID-19 oraz wojna w Ukrainie wprowadziły jednak trwałe zmiany w sposobie zarządzania międzynarodowymi łańcuchami dostaw i wymusiły stosowanie nowych technologii i narzędzi zwiększających przejrzystość realizacji procesów logistycznych. Dodatkowo czynnikiem napędzającym rozwój zastosowań RFID jest rozwój Przemysłu 4.0, a zwłaszcza związanych z nim koncepcji Big-data oraz Internetu Rzeczy. Z tego też względu coraz więcej przedsiębiorstw staje obecnie w obliczu decyzji związanych z wdrożeniem nowego systemu identyfikacji swoich produktów, a menedżerowie potrzebują narzędzi, które pozwolą im ocenić efektywność wdrażanej technologii. Z tego też względu treści przedstawione w rozprawie doktorskiej są odpowiedzią na aktualne potrzeby praktyki gospodarczej, a jednocześnie podążają za problemami badawczymi, które są przedmiotem analiz podejmowanych przez środowisko naukowe.

Rozprawa doktorska składa się z 9 rozdziałów, a przyjęty układ pracy jest logiczny i zasadny z punktu widzenia przeprowadzanego wnioskowania badawczego. W rozdziale 1 dokonano identyfikacji problemu badawczego, który dotyczył zastosowania technologii RFID w systemach logistycznych oraz problematyki decyzji menedżerskich związanych z kształtowaniem globalnej i lokalnej efektywności łańcuchów dostaw. Na tej podstawie w rozdziale 2 Doktorantka określiła cel podstawowy i cele szczegółowe dla przyjętego przez siebie kierunku badań, jak również sformułowała tezę pracy. Za cel rozprawy przyjęto *opracowanie metody oceny efektywności wybranych elementów łańcuchów dostaw wykorzystujących technologię identyfikacji radiowej (RFID) jako alternatywę dla systemu identyfikacji strumieni materiałów opartego na kodach kreskowych*. Doktorantka przyjęła przy tym tezę badawczą, iż *wykorzystanie modelowania matematycznego oraz modelu symulacyjnego pozwala na opracowanie metody oceny efektywności wybranych elementów łańcuchów dostaw wykorzystujących technologię identyfikacji radiowej RFID, a zastosowanie wielokryterialnej metody oceny AHP z wykorzystaniem szerokiego spektrum wskaźników umożliwia rozszerzenie metody na łańcuch dostaw*.

Opracowana przez Doktorantkę metoda oceny efektywności funkcjonowania obiektów w łańcuchu dostaw, które wspierane są przez technologię identyfikacji radiowej RFID wymagało przeprowadzenia studiów literatury w 2 obszarach badawczych: (1) zastosowania technologii RFID w łańcuchach dostaw oraz (2) zastosowania metod i narzędzi oceny efektywności w łańcuchach dostaw. Przegląd publikacji z tego obszaru został omówiony w rozdziale 3 i 4, których celem było przybliżenie analizowanego zagadnienia badawczego oraz potwierdzenie zidentyfikowanej luki badawczej. W rozdziale 3 omówiono główne obszary zastosowań RFID w łańcuchach dostaw, w tym nowe zastosowania obejmujące rozwiązania z zakresu Przemysłu 4.0 takie jak Internet Rzeczy i *blockchain*. Omówiono potencjał zastosowania technologii RFID w tych rozwiązaniach i wskazano na rosnący trend w tym obszarze. W celu analizy danych historycznych pod kątem wyboru właściwej metody oraz narzędzi do oceny efektywności łańcucha dostaw opisano relacje zależności efektywności łańcucha dostaw w znanych wcześniejszych wdrożeniach RFID. W rozdziale 4 omówiono metody i narzędzia badania efektywności, w tym wielowymiarowe metody pomiarowe przeznaczone dla badania łańcuchów dostaw i mierniki oceny procesów logistycznych. Przedstawiono elementy oceny efektywności procesów logistycznych na przykładzie obiektów magazynowych oraz omówiono zasady wykorzystania symulacji do szacowania parametrów procesów logistycznych koniecznych do wyznaczania ich wydajności.

W rozdziale 5 przedstawiono założenia do budowy modelu wdrożenia RFID w obiekcie magazynowym. Zidentyfikowano procesy logistyczne w obiektach magazynowych oraz przeanalizowano podejścia do wdrożenia RFID od znakowania produktów, znakowania urządzeń i pracowników do znakowania lokacji i adresów. Dalej przeprowadzono szacowanie wydajności procesów w obiektach magazynowych za pomocą pracochłonności oraz ustalono strukturę kosztów realizacji tych procesów. Przeprowadzone analizy stanowiły podstawę do budowy modelu matematycznego dla metody oceny efektywności w kolejnym rozdziale.

W rozdziale 6 przedstawiono model decyzyjny oceny efektywności wdrożenia RFID w obiekcie logistycznym jakim jest magazyn. Przedmiotem rozważań był stopień wdrożenia technologii RFID oraz parametry i zmienne, które zostały wykorzystane do budowania modelu. Przygotowany model pozwolił na odwzorowanie procesu magazynowego, struktury przepływu materiałów w operacjach magazynowych, wykorzystywanych zasobów pracy, wybranych charakterystyk pracy technologii RFID oraz wynikających z tego kosztów oraz wydajności procesu. Omówiono wybrane wskaźniki oceny efektywności realizacji procesów magazynowych, miary wydajności i jakości oraz miary efektywności pracy obiektu logistycznego. Przedstawiony model stanowił podstawę do stworzenia procedury metody oceny efektywności obiektu logistycznego z wdrożoną technologią RFID.

W rozdziale 7 przedstawiono algorytm metody oceny efektywności oraz przykład liczbowy zastosowania proponowanego podejścia dla różnych wariantów wdrożenia RFID w obiekcie testowym, a także omówiono implikacje dla łańcucha dostaw. Do realizacji oceny przeanalizowano dane wejściowe: dane o procesach logistycznych, parametry RFID, dane o strukturze łańcucha dostaw, ustalono również obszar czynników trudnomierzalnych celem dokonania weryfikacji metody w kolejnym rozdziale.

W rozdziale 8 dokonano weryfikacji metody oceny efektywności elementów łańcucha dostaw z uwzględnieniem wdrożeń technologii RFID w wybranym obiekcie magazynowym. Do badań wybrano magazyn dystrybutora produktów elektronicznych zaopatrujący sieci sklepów detalicznych. Dzięki temu analizą objęto kompletny proces magazynowy obejmujący wszystkie wymagane etapy operacji obsługowych. Do weryfikacji został wykorzystany model symulacyjny opracowany w programie FlexSim. Model umożliwił odwzorowanie podstawowych charakterystyk urządzeń transportowych i wymiarów przestrzennych magazynu. W symulacjach analizie poddano trzy opcje identyfikacji ładunków w badanym obiekcie magazynowym: bez RFID, wdrożenie RFID we wcześniejszym etapie łańcucha dostaw oraz inicjowanie wdrożenia RFID dopiero w badanym obiekcie. Omówiono koszty realizacji procesów logistycznych dla wybranego obiektu oraz opisano scenariusze

wykorzystania RFID: kosztów pracochłonności oraz kosztów obsługi błędów przez kolejny obiekt logistyczny.

Do przeprowadzenia wielokryterialnej oceny wdrożenia z wykorzystaniem metody AHP sformułowano kryteria oceny: całkowity koszt realizacji procesów; jakość informacji o dostępnych produktach dla klienta finalnego; elastyczność łańcucha dostaw (z punktu widzenia rekonfiguracji łańcucha dostaw i zmiany partnerów); postrzeganie rynkowe produktu i firmy; poziom integracji łańcucha dostaw. Postępowanie przeprowadzone z wykorzystaniem metody oceny wielokryterialnej AHP pozwoliło określić ranking opcji.

Na końcu, w rozdziale 9, Doktorantka podsumowała całość uzyskanych wyników w ramach zrealizowanych dotychczas prac badawczych (z uwzględnieniem efektów teoretycznych i praktycznych) oraz wskazała możliwe kierunki przyszłych badań.

### **3. Wartość naukowa pracy**

Osiągnięcie głównego celu naukowego pracy oraz potwierdzenie sformułowanej tezy badawczej wymagało zrealizowania szeregu celów szczegółowych, związanych z:

- analizą czynników determinujących efektywność obiektów logistycznych w łańcuchu dostaw;
- opracowaniem metody oceny efektywności wybranych elementów łańcuchów dostaw oraz zastosowań technologii identyfikacji radiowej RFID;
- matematycznym sformułowaniem problemu oceny efektywności wybranych elementów łańcuchów dostaw z wykorzystaniem technologii RFID;
- opracowaniem algorytmu metody oceny efektywności wybranych elementów łańcuchów dostaw z zastosowaniem technologii identyfikacji radiowej RFID;
- weryfikacją metody na podstawie danych rzeczywistych;
- rozszerzeniem oceny na łańcuch dostaw z wykorzystaniem oceny wielokryterialnej AHP.

W tym kontekście, za najważniejsze z punktu widzenia oceny osiągnięć naukowych Doktorantki, uważam rozdziały 6 - 8 zawierające opis modelu matematycznego oraz procedurę metody oceny efektywności elementów łańcucha dostaw z wdrożoną technologią RFID, jak również opis wyników weryfikacji metody na przykładzie wybranego obiektu magazynowego odwzorowanego w modelu symulacyjnym (50 stron).

Istotą proponowanej podejścia jest założenie, że wyniki uzyskane w drodze postępowania ocenającego wykorzystującego opracowany model matematyczny, który

odzworowuje efekty wdrożenia technologii RFID w obiekcie logistycznym, mogą zostać przeniesione na poziom całego łańcucha dostaw. Za istotne osiągnięcie Doktorantki uważam w związku z tym opracowanie modelu matematycznego, który w ocenie efektywności uwzględnia przede wszystkim takie czynniki jak: wydajność, jakość pracy (oceniana przez wskaźnik liczby błędów) oraz koszty realizacji procesu logistycznego. Jednocześnie model ten umożliwia ocenę różnych wariantów realizacji operacji logistycznych, które zakładają wdrożenie RFID na różnych poziomach i w różnych obszarach działalności danego obiektu logistycznego. Na podstawie opracowanego modelu matematycznego Doktorantka sformułowała procedurę postępowania dla metody oceny efektywności, która zakłada możliwość wnioskowania na temat oceny całego łańcucha dostaw poprzez badanie jego poszczególnych elementów.

Istotną wartość pracy stanowi również przedstawiona w rozdziale 8 implementacja metody do oceny wdrożenia technologii RFID w logistycznej obsłudze ładunków w wybranych magazynie dystrybucyjnym. Doktorantka przeprowadziła badania symulacyjne dotyczące trzech wariantów wdrożeniowych, dla których oszacowano koszty i wydajność ich funkcjonowania w ocenianym procesie logistycznym. Na uwagę w tym przypadku zasługuje również przeprowadzona wielokryterialna analiza wdrożenia RFID w testowanym łańcuchu dostaw, w której wykorzystano metodę oceny AHP. W analizie tej oceniono 5 scenariuszy wykorzystania technologii RFID w testowanym łańcuchu dostaw, które były oceniane według 5 kryteriów.

Można więc stwierdzić, iż przeprowadzona dyskusja uzyskanych wyników z badań symulacyjnych oraz sformułowane wnioski końcowe potwierdziły tezę badawczą postawioną przez Doktorantkę, a mianowicie że *wykorzystanie modelowania matematycznego oraz modelu symulacyjnego pozwala na opracowanie metody oceny efektywności wybranych elementów łańcuchów dostaw wykorzystujących technologię identyfikacji radiowej RFID, a zastosowanie wielokryterialnej metody oceny AHP z wykorzystaniem szerokiego spektrum wskaźników umożliwia rozszerzenie metody na łańcuch dostaw*. Jednocześnie przedstawione wnioskowanie uzasadnia praktyczne możliwości wykorzystania proponowanej metody w:

- procesach oceny efektywności zastosowania technologii identyfikacji radiowej RFID w fazie projektowej w ramach analizy zasadności inwestycyjnej;
- procesach monitorowanie efektywności stosowania technologii identyfikacji radiowej RFID w ramach controllingu logistycznego lub ocenie przeprowadzanej w ramach audytu logistycznego.

Wobec powyższego za najważniejszy dorobek naukowy Doktorantki uważam:

- sformułowanie matematycznego modelu oceny efektywności wybranych elementów łańcuchów dostaw wspieranych przez technologię identyfikacji radiowej RFID;
- opracowanie własnej metody oceny efektywności wybranych elementów łańcuchów dostaw oraz zastosowań technologii identyfikacji radiowej RFID;
- pozytywne zweryfikowania poprawności opracowanej metody w oparciu o model symulacyjny opracowany na podstawie danych rzeczywistych.

Ostatecznie należy więc stwierdzić, iż sformułowany przez Doktorantkę główny cel pracy, którym jest *opracowanie metody oceny efektywności wybranych elementów łańcuchów dostaw wykorzystujących technologię identyfikacji radiowej (RFID) jako alternatywę dla systemu identyfikacji strumieni materiałów opartego na kodach kreskowych*, spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim, a jego zrealizowanie oraz potwierdzenie przyjętej tezy badawczej może stanowić podstawę do wnioskowania o nadanie stopnia doktora nauk technicznych w Dyscyplinie Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport.

#### **4. Sposób napisania i zredagowania pracy.**

Praca jest napisana poprawnym językiem naukowym. Pojawiają się w niej niestety błędy literowe i stylistyczne. Nie wpływa to jednak na merytoryczną stronę pracy.

Praca jest zredagowana starannie. Rysunki i tabele są celowo dobrane, dobrze dopracowane graficznie. Numeracja rysunków i tabel jest prowadzona w sposób ciągły – nie uwzględnia przypisania do poszczególnych rozdziałów. W pracy zamieszczono łącznie 24 rysunki oraz 39 tabel.

Bibliografia zawiera 202 przypisów źródłowych, zawierających zarówno pozycje stanowiące klasyczną bazę dla omawianych zagadnień, jak i najnowsze pozycje opublikowane w kraju i za granicą. Dobór wykorzystywanych źródeł oceniam pozytywnie – obejmują one artykuły, monografie oraz źródła internetowe. Doktorantka w dużej mierze bazowała na dorobku macierzystej jednostki naukowej, wykorzystując publikacje m.in. prof. Fijałkowskiego, prof. Jacyny, prof. Jacyny-Gołdy oraz prof. Lewczuka. Warto też zwrócić uwagę na fakt, że prowadzone badania były kontynuacją i uzupełnieniem badań prowadzonych przez B. Gładysza, z tego też względu w bibliografii przywołano aż 7 publikacji tego autora. Niestety wśród wykorzystanych w pracy źródeł nie uwzględniono żadnej pozycji, w których Doktorantka jest autorem lub współautorem.

## 5. Uwagi krytyczne

Mimo, że w ogólnej ocenie praca została przygotowana na wysokim poziomie merytorycznym, Autorka pracy nie ustrzegła się pewnych błędów i niejasności, które wymagają wyjaśnienia w trakcie obrony doktoratu. Wśród najważniejszych kwestii wymagających wyjaśnienia należy wskazać:

- 1) Na podstawie dokonanego przeglądu literatury brakuje mi wyraźnego sformułowania występującej obecnie luki badawczej, która zostanie wypełniona przez wyniki badań prezentowanych w rozprawie doktorskiej.
- 2) We wzorach (7) – (10) jest mowa o stopniu wykorzystania czasu pracy przez urządzenie lub pracownika, natomiast we wzorze (59) – (62) mamy już stopień efektywnego wykorzystania czasu pracy przez zasoby. Co Doktorantka ma na myśli formułując zapis „efektywnego wykorzystania” i jak należy oceniać tę efektywność na etapie pomiaru w systemie rzeczywistym?
- 3) We wszystkich zapisach matematycznych czas określany jest symbolem  $T$ . Jednak jego interpretacja w opisach zamieszczonych w różnych fragmentach rozprawy jest różna.
  - Na str. 102 „*Każde zadanie można opisać liczbą powtórzeń w określonym czasie  $T$  (przeważnie dobie)...*”. Taka interpretacja jest też w prezentowanych wzorach, w których czas dysponowany odnosimy do  $T$ , czyli doby.
  - Na str. 105 koszty magazynu odnoszone są do czasu  $T$ , czyli roku.

W związku z tym proszę o wyjaśnienie:

- Czy we wzorze (48), w którym mamy wyliczenie kosztów jednostkowych utrzymania systemu identyfikacji w  $h$ -tej technologii w czasie  $T$  odnosimy się do roku?
  - Czy we wzorach (59), (60) czas  $T$  odnosi się do doby, w której realizowane jest zadanie w procesie logistycznym?
  - Do jakiej jednostki czasu odwołujemy się we wzorach (63) – (64) oraz (73) – (77)?
- 4) Dlaczego stopień wykorzystania czasu pracy przez urządzenie zawiera się w zbiorze jednostronnie zamkniętym, czyli  $(0,1>$ , podczas gdy stopień wykorzystania czasu pracy przez pracownika zwiera się w zbiorze  $(0, 1)$ ? (str. 102-103) Warto też zwrócić uwagę na błędy opis obu tych parametrów na stronie 103: „*stopień wykorzystania czasu pracy*



*przez urządzenie u-tego typu racjonalizowany na potrzeby zwiększenia wydajności zwiększony), przy czym....” Powtórzony również w odniesieniu do pracownika.*

- 5) Dlaczego koszty obsługi błędu popełnionego we wcześniejszej części łańcucha dostaw są uwzględniane w całkowitym koszcie utrzymania systemu identyfikacji w obiekcie logistycznym i w jaki sposób są one w tym koszcie rozliczane (zapis na stronie 124)?
- 6) Co Doktorantka miała na myśli po pojęciem „szacowania w sposób ogólny liczby błędów odczytu, liczby uszkodzonych tagów, czasu dostępu do danych”? (str. 127)
- 7) Różnice w kosztach utrzymania urządzeń transportowych wynikają z faktu zróżnicowanej pracochłonności urządzenia 4 (mobilne stanowisko kontroli). Dlaczego w wariancie 3 symulacji pracochłonność tego urządzenia dla scenariusza 3 (RFID, jednostki tagowane w obiekcie) jest większa niż dla wariantu 1 (brak RFID)?
- 8) Brakuje omówienia wyników przeprowadzonego postępowania oceniającego z wykorzystaniem metody AHP. Brak ten jest szczególnie odczuwalny w odniesieniu do drugiego elementu sformułowanej tezy badawczej – „... *zastosowanie metody AHP wielokryterialnej oceny z wykorzystaniem szerokiego spektrum wskaźników umożliwia rozszerzenie metody na łańcuch dostaw*”. W przedstawionych wynikach nie potwierdzono (nie uzasadniono) zastosowania metody AHP jako narzędzia (rozwiązania) umożliwiającego rozszerzenie proponowanej metody oceny efektywności na cały analizowany łańcuch dostaw.

Oczywiście powyższe uwagi nie kwestionują omówionych wcześniej pozytywnych osiągnięć poznawczych i badawczych Doktorantki. Wskazują tylko na pewne luki w przedstawionym materiale badawczym i otwierają dyskusję do doskonalenia prezentowanych wyników.

## **6. Podsumowanie**

Podsumowując powyższe uwagi należy stwierdzić, że cel rozprawy oraz postawiona teza w pracy mają charakter naukowy. Cel główny został osiągnięty, poprzez realizację celów szczegółowych osiągniętych na kolejnych etapach badawczych przedstawionych w rozprawie. Rozprawa doktorska charakteryzuje się celowo dobraną, aktualną oraz ważną tematyką, szczególnie w aspekcie rozwoju łańcuchów dostaw w post-pandemicznej rzeczywistości oraz w obliczu wdrażanych rozwiązań Przemysłu 4.0. Uzyskane wyniki prac badawczych mogą być wykorzystywane przez przedsiębiorstwa, jako narzędzie wspierające procesy decyzyjne

menedżerów odpowiedzialnych za doskonalenia przepływów logistycznych wewnątrz przedsiębiorstwa, ale także w całych łańcuchach dostaw.

Podsumowując ocenę rozprawy doktorskiej stwierdzam, że:

- praca stanowi oryginalne rozwiązanie zagadnienia naukowego,
- Doktorantka wykazała się umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowo-badawczej,
- Doktorantka opanowała ogólną wiedzę teoretyczną w Dyscyplinie Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport.

Wobec powyższego uważam, że rozprawa doktorska mgr. inż. Teresy Siedleckiej – Wójcikowskiej pt.: „Metoda oceny efektywności wybranych elementów łańcuchów dostaw wspieranych przez technologię identyfikacji radiowej RFID” spełnia ustawowe wymagania stawiane rozprawom doktorskim oraz mieści się w Dyscyplinie Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport. Wnoszę, więc o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

