

dr hab. inż. Mariusz ZIEJA, prof. ITWL  
Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych  
tel.: [REDACTED]  
e-mail: mariusz.zieja@itwl.pl

Warszawa, 10.03.2026

## **Recenzja**

### **rozprawy doktorskiej mgr inż. Arkadiusza ŻURKA, pt. „Metoda oceny odporności systemu automatycznej identyfikacji danych z wykorzystaniem dronów”**

#### **1. Podstawa opracowania**

Recenzję wykonano na podstawie uchwały Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Wrocławskiej nr 221/12/RDND07/2024-2028 z dnia 07.10.2025 w sprawie wyznaczenia recenzentów rozprawy doktorskiej mgr. Arkadiusza ŻURKA, pt. „Metoda oceny odporności systemu automatycznej identyfikacji danych z wykorzystaniem dronów”, w dyscyplinie: inżynieria mechaniczna oraz pisma Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Wrocławskiej – prof. dr. hab. inż. Zbigniewa GRONOSTAJSKIEGO nr W10/RDND07/172/2025 z dnia 08.10.2025.

Przekazana do recenzji rozprawa została opublikowana przez Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej w 2025 roku.

Promotorem rozprawy doktorskiej jest dr hab. Agnieszka TUBIS, prof. PWr.

#### **2. Ocena doboru tematu rozprawy**

Autor rozprawy podejmuje aktualny i istotny problem związany z funkcjonowaniem systemów automatycznej identyfikacji wspieranych przez bezałogowe statki powietrzne. Głównym celem pracy jest opracowanie metody oceny odporności systemów UAV-AutoID z uwzględnieniem specyficznych warunków ich działania w środowisku przemysłowym. Szczególna uwaga została poświęcona zastosowaniom w przestrzeniach magazynowych o zróżnicowanej infrastrukturze technicznej oraz organizacyjnej, co stanowi istotny kontekst praktyczny prowadzonych rozważań.



Dynamiczny rozwój technologii bezzałogowych statków powietrznych oraz systemów automatycznej identyfikacji powoduje ich coraz szersze zastosowanie w przemyśle, w szczególności w obszarze logistyki i gospodarki magazynowej. Systemy UAV-AutoID stanowią nowoczesne narzędzie wspierające procesy inwentaryzacji magazynowej, umożliwiając automatyzację pomiarów oraz zwiększenie efektywności i dokładności pozyskiwania danych w porównaniu z tradycyjnymi metodami inwentaryzacji. Wraz z rosnącym znaczeniem tych rozwiązań pojawia się jednak potrzeba prowadzenia badań nad ich niezawodnością, bezpieczeństwem oraz zdolnością do funkcjonowania w złożonych i zmiennych warunkach środowiska przemysłowego.

Szczególnym wyzwaniem jest zapewnienie odporności systemów UAV-AutoID na zakłócenia występujące podczas realizacji misji w przestrzeniach magazynowych. Obiekty te charakteryzują się dużą zmiennością warunków operacyjnych, wynikającą m.in. z ograniczeń przestrzennych, zróżnicowanych warunków oświetleniowych, obecności przeszkód fizycznych czy zakłóceń elektromagnetycznych. Dodatkowo w wielu przypadkach systemy te funkcjonują w przestrzeniach zamkniętych, w których dostęp do systemów nawigacji satelitarnej jest ograniczony lub niemożliwy. Czynniki te powodują, że realizacja autonomicznych misji przez drony w środowisku magazynowym wiąże się z występowaniem różnego rodzaju zagrożeń oraz zdarzeń niepożądanych, które mogą wpływać na skuteczność i bezpieczeństwo procesu inwentaryzacji.

Istotnym problemem badawczym jest także fakt, że systemy UAV-AutoID coraz częściej oferowane są w modelu usługowym, co oznacza ich wykorzystanie w różnych obiektach magazynowych o odmiennych uwarunkowaniach technicznych i organizacyjnych. Zmienność środowiska eksploatacyjnego powoduje konieczność opracowania narzędzi analitycznych umożliwiających kompleksową ocenę odporności tych systemów z uwzględnieniem zarówno aspektów technicznych, procesowych, jak i środowiskowych.

Przeprowadzone przez Doktoranta studia literatury wskazują, że dotychczasowe metody oceny niezawodności i odporności systemów technicznych nie uwzględniają w wystarczającym stopniu specyfiki funkcjonowania systemów UAV-AutoID w środowisku magazynowym, szczególnie w kontekście zmiennych warunków operacyjnych oraz współzależności pomiędzy elementami systemu



technicznego i procesowego. Powstaje zatem luka badawcza związana z brakiem kompleksowych metod oceny odporności tych systemów w warunkach ich rzeczywistej eksploatacji.

Podjęcie tematu rozprawy jest również uzasadnione potrzebami praktyki gospodarczej. Rozwój rozwiązań opartych na koncepcji Przemysłu 4.0 oraz postępująca automatyzacja procesów logistycznych generują zapotrzebowanie na narzędzia umożliwiające ocenę ryzyka oraz doskonalenie funkcjonowania nowoczesnych systemów technicznych wspierających procesy magazynowe. Opracowanie metody oceny odporności systemów UAV-AutoID może przyczynić się do zwiększenia bezpieczeństwa ich eksploatacji, poprawy niezawodności realizowanych operacji oraz lepszego zarządzania procesem autonomicznej inwentaryzacji magazynowej.

**W związku z powyższym, uważam że podjęcie przez Doktoranta badań nad opracowaniem metody oceny odporności systemów UAV-AutoID, uwzględniającej podejście systemowe oraz zmienność warunków eksploatacyjnych, w rozprawie doktorskiej o charakterze wdrożeniowym należy uznać za w pełni uzasadnione zarówno z punktu widzenia naukowego, jak i aplikacyjnego. Sformułowanie tematu rozprawy doktorskiej uważam za właściwe, ponieważ proponowane podejście wpisuje się w obszar badań inżynierii produkcji i eksploatacji systemów technicznych, odpowiadając jednocześnie na aktualne wyzwania związane z automatyzacją i cyfryzacją procesów logistycznych.**

### **3. Ocena struktury pracy**

Przedłożona do oceny rozprawa doktorska obejmuje:

- 168 stron maszynopisu (w tym stronę tytułową, spis treści, spis tabel oraz spis rysunków),
- dodatkowe 2 strony streszczenia w języku polskim,
- dodatkowe 2 strony streszczenia w języku angielskim,
- 14 ponumerowanych tabel,
- 42 ponumerowane rysunki,



- bibliografię liczącą 240 pozycji krajowych i zagranicznych (w tym 7 pozycji współautorskich Doktoranta).

Zasadnicza treść rozprawy zawarta jest w rozdziałach 1÷7. Przedstawiona do recenzji rozprawa składa się z następujących części ułożonych w sposób odpowiadający kolejnym etapom prac badawczych i wdrożeniowych:

- część wprowadzająca,
- część teoretyczna - rozdział 1, 2, 3, 4
- część metodyczna - rozdział 5,
- część koncepcyjna – rozdział 6,
- część wdrożeniowa - rozdział 7,
- część podsumowująca.

W części wprowadzającej rozprawy omówiono genezę problemu badawczego oraz scharakteryzowano zakres poszczególnych zagadnień stanowiących przedmiot dalszych rozważań.

Część teoretyczna rozprawy zawiera analizę rozpatrywanego zagadnienia na podstawie aktualnego stanu wiedzy przedstawionego w literaturze przedmiotu.

W części metodycznej rozprawy zaprezentowano identyfikację luki badawczej, cele oraz zakres prowadzonych badań, a także szczegółowo przedstawiono przyjętą metodykę wraz z rezultatami poszczególnych etapów procesu badawczego.

Część koncepcyjna i wdrożeniowa stanowią zasadniczą część rozprawy doktorskiej, która została zakończona podsumowaniem wysiłku badawczego podjętego przez Doktoranta, wnioskami wynikającymi z przeprowadzonych badań oraz propozycjami potencjalnych kierunków dalszych badań i prac wdrożeniowych.

**Rozprawa została napisana w sposób poprawny pod względem językowym i spełnia obowiązujące standardy edytorskie stawiane rozprawom doktorskim. Układ pracy jest przejrzysty, jednak struktura treści obejmująca podział na część teoretyczną (83 strony), koncepcyjną (22 strony) i aplikacyjną (26 stron) jest zaburzona pod względem objętościowym. Tytuły poszczególnych rozdziałów odpowiadają ich rzeczywistej zawartości. Terminologia naukowa zastosowana w pracy jest właściwa, a pojęcia używane zostały prawidłowo zdefiniowane. Materiały ilustracyjne oraz tabele w sposób adekwatny ilustrują rozważania Doktoranta dotyczące odporności systemu automatycznej identyfikacji danych z wykorzystaniem dronów.**



Pod względem redakcyjnym rozprawa została przygotowana starannie. Choć występują w niej nieliczne błędy redakcyjne i stylistyczne, nie wpływają one istotnie na wartość merytoryczną pracy.

#### 4. Analiza zakresu rozprawy doktorskiej

W recenzowanej rozprawie Autor podejmuje problem opracowania praktycznego narzędzia wspomagającego planowanie i realizację procesów automatycznej identyfikacji danych z wykorzystaniem bezzałogowych statków powietrznych, ukierunkowanego na ograniczenie ryzyka zdarzeń niepożądanych, zwiększenie niezawodności systemu oraz redukcję kosztów tradycyjnych metod inwentaryzacji.

**We wstępie** (3 strony) Doktorant w sposób syntetyczny przedstawił genezę problemu badawczego oraz dokonał charakterystyki zakresu zagadnień stanowiących przedmiot dalszych rozważań w pracy. Rozdział kończy się przedstawieniem zakresu rozprawy doktorskiej w formie logicznie uporządkowanego układu poszczególnych etapów badawczych.

**Rozdział pierwszy** (49 stron) dotyczy aktualnej i istotnej problematyki związanej z wykorzystaniem bezzałogowych statków powietrznych (UAV) w systemach Logistyki 4.0, ponieważ zawiera analizę zastosowania dronów w systemach antropotechnicznych w oparciu o najnowszą literaturę przedmiotu publikowaną na poziomie międzynarodowym. Autor trafnie wskazuje na rosnące znaczenie tej technologii w kontekście czwartej rewolucji przemysłowej, podkreślając jej rolę w integracji automatyzacji z interakcjami człowiek–maszyna. Zasadnie zauważono również, że dynamiczny rozwój UAV wynika z postępu w takich dziedzinach, jak nawigacja autonomiczna, sztuczna inteligencja, technologie czujników oraz systemy komunikacyjne.

Na pozytywną ocenę zasługuje szerokie ujęcie obszarów zastosowania dronów, obejmujące zarówno procesy logistyczne i przemysłowe, jak i monitoring infrastruktury krytycznej, rolnictwo precyzyjne, działania ratownicze oraz zastosowania militarne. Świadczy to o dobrej orientacji Autora w aktualnych trendach technologicznych oraz o umiejętności osadzenia analizowanej problematyki w szerszym kontekście aplikacyjnym.

**Rozdział drugi** (13 stron) dotyczy zastosowania bezzałogowych statków powietrznych (UAV) w nowoczesnych systemach magazynowych i stanowi istotny element uzasadnienia podjętej przez Autora problematyki badawczej. Autor trafnie wskazuje na rosnącą rolę technologii UAV w automatyzacji procesów logistycznych, podkreślając ich wpływ na zwiększenie efektywności operacyjnej oraz redukcję kosztów. Słusznie zwrócono uwagę na szerokie spektrum zastosowań, obejmujące magazyny wysokiego składowania, centra dystrybucyjne oraz zakłady przemysłowe.

Na szczególne uznanie zasługuje opis funkcjonalności dronów w procesach inwentaryzacyjnych, w tym wykorzystania technologii skanowania kodów kreskowych i tagów RFID, co rzeczywiście przyczynia się do ograniczenia błędów ludzkich oraz przyspieszenia przetwarzania danych. Autor właściwie akcentuje również znaczenie UAV w monitorowaniu przestrzeni magazynowej, wskazując na ich rolę w optymalizacji układu magazynu oraz identyfikacji nieprawidłowości operacyjnych. Dodatkowym atutem jest uwzględnienie aspektu bezpieczeństwa pracy, co podnosi wartość praktyczną omawianych rozwiązań.

**Rozdział trzeci** (14 stron) stanowi rozbudowaną i wieloaspektową analizę trendów rozwojowych w branży bezzałogowych statków powietrznych (UAV). Autor podejmuje próbę syntetycznego ujęcia kluczowych kierunków transformacji technologicznej, wskazując zarówno na czynniki napędzające rozwój tej branży, jak i potencjalne bariery jej upowszechnienia. Na szczególne uznanie zasługuje szerokie spojrzenie na problematykę, obejmujące perspektywę technologiczną, ekonomiczną, energetyczną oraz regulacyjną.

W pierwszej kolejności należy pozytywnie ocenić trafność identyfikacji głównych trendów, takich jak postępująca powszechność UAV, rozwój autonomiczności systemów, rosnące znaczenie technologii wodorowych oraz ekspansja zastosowań w sektorze MRO. Autor w przekonujący sposób argumentuje, że spadek kosztów produkcji oraz rozwój globalnych łańcuchów dostaw będą sprzyjały upowszechnieniu dronów, a integracja z technologiami sztucznej inteligencji, IoT czy sieciami 5G umożliwi ich coraz bardziej zaawansowane zastosowania. Na uwagę zasługuje także podkreślenie roli predykcyjnego utrzymania ruchu oraz potencjału UAV w inspekcjach infrastruktury, co świadczy o dobrej orientacji Autora w aktualnych kierunkach badań i wdrożeń.



Wartościowym elementem jest również uwzględnienie aspektów energetycznych, w szczególności roli wodoru jako alternatywnego źródła zasilania. Autor słusznie wskazuje na przewagi ogniwi paliwowych w kontekście zwiększonego zasięgu i czasu lotu, a także na ich znaczenie dla realizacji założeń zrównoważonego rozwoju. Równie istotne jest dostrzeżenie barier regulacyjnych oraz wyzwań etycznych, które mogą ograniczać tempo wdrażania UAV – ten fragment analizy nadaje pracy większą dojrzałość i równowagę, unikając jednostronnie optymistycznej narracji.

**Rozdział czwarty** (7 stron) stanowi rozbudowane i dobrze ustrukturyzowane wprowadzenie do problematyki odporności systemów UAV–AutoID w ujęciu teoretycznym. Autor podejmuje ambitne zadanie osadzenia własnych rozważań w szerokim kontekście literaturowym, obejmującym zarówno klasyczne koncepcje niezawodności i bezpieczeństwa, jak i współczesne podejścia rozwijane w ramach „resilience engineering”. Na szczególne uznanie zasługuje świadome i konsekwentne budowanie ram teoretycznych pracy, co stanowi solidną podstawę dla dalszych analiz.

Pozytywnie należy ocenić trafne wskazanie różnic pomiędzy tradycyjnym podejściem do niezawodności a koncepcją odporności, a także podkreślenie znaczenia zdolności takich jak reagowanie, monitorowanie, przewidywanie i uczenie się. Autor wykazuje się dobrą znajomością kluczowych pozycji literaturowych (m.in. Hollnagel, Leveson, Woods), a także umiejętnie odnosi te koncepcje do specyfiki systemów UAV–AutoID. Szczególnie wartościowe jest zaakcentowanie systemowego charakteru odporności oraz konieczności uwzględnienia czynników technicznych, organizacyjnych i środowiskowych, co odpowiada współczesnym trendom w inżynierii systemów złożonych.

**W rozdziale 5** (8 stron) Doktorant prawidłowo zidentyfikował lukę badawczą w obszarze oceny odporności systemów UAV–AutoID. Autor trafnie wskazuje, że dotychczasowe podejścia nie uwzględniają w sposób kompleksowy specyfiki tych systemów, co stanowi uzasadnienie dla podjęcia dalszych badań. Na szczególne uznanie zasługuje wyraźne wyodrębnienie kluczowych wymiarów tej luki, obejmujących zarówno podejście systemowe, jak i uwarunkowania środowiskowe oraz operacyjne.



Pozytywnie należy ocenić podkreślenie konieczności integracji aspektów inżynierskich, procesowych oraz wpływu otoczenia. Takie ujęcie jest zgodne z aktualnymi trendami w analizie systemów złożonych i wskazuje na dojrzałe podejście Autora do problematyki odporności. Równie trafne jest zwrócenie uwagi na specyfikę obiektów magazynowych, w szczególności realizację misji w przestrzeniach zamkniętych, co wprowadza dodatkowe ograniczenia i wyzwania operacyjne dla systemów UAV–AutoID.

Cennym uzupełnieniem jest wskazanie zmienności środowiska operacyjnego, charakterystycznej dla procesów inwentaryzacyjnych realizowanych w modelu outsourcingowym. Autor słusznie zauważa, że tego typu warunki wymagają elastycznych i adaptacyjnych metod oceny odporności, zdolnych do uwzględnienia różnorodnych scenariuszy operacyjnych.

**Problem badawczy nakreślony przez Doktoranta uważam za trafny i aktualny w świetle światowej literatury przedmiotu.**

Na podstawie zidentyfikowanej luki badawczej Autor określił główny cel rozprawy doktorskiej polegający na opracowaniu metody oceny odporności systemu UAV-AutoID w oparciu o podejście systemowe (obejmujące aspekty procesowe i inżynierskie) i uwzględniającej zmienne warunki eksploatacyjne w trakcie realizacji misji.

Przygotowana rozprawa była realizowana w ramach programu ministerialnego „Doktorat wdrożeniowy”, co nakłada na nią dodatkowe wymagania dotyczące implementacyjnego charakteru uzyskanych rezultatów. Zatem, Doktorant określił również cel użyteczny pracy polegający na podniesieniu skuteczności i bezpieczeństwa procesów inwentaryzacji w magazynach zamkniętych poprzez wdrożenie metody oceny odporności systemu UAV-AutoID, co pozwoli na: ograniczenie ryzyka wystąpienia zdarzeń niepożądanych, zwiększenie niezawodności i dostępności systemu podczas misji oraz optymalizację kosztów i czasu realizacji inwentaryzacji.

Autor trafnie podkreśla aplikacyjny charakter pracy, wskazując na konieczność formułowania problemów badawczych w ścisłym powiązaniu z realnymi wyzwaniami przemysłowymi. Takie podejście należy ocenić bardzo pozytywnie, gdyż odpowiada ono współczesnym wymaganiom stawianym pracom o profilu wdrożeniowym i inżynierskim.



Na szczególne uznanie zasługuje spójność zaproponowanego zestawu pytań badawczych. Obejmują one pełne spektrum procesu badawczego – od identyfikacji czynników wpływających na odporność systemów UAV–AutoID (RQ1), poprzez klasyfikację zakłóceń (RQ2), aż po opracowanie systemu pomiaru (RQ3) i jego praktyczne zastosowanie (RQ4). Taka struktura odzwierciedla logiczną sekwencję działań badawczych i wskazuje na dojrzałe podejście Autora do projektowania procesu badawczego.

Mając na uwadze osiągnięcie celów pracy Doktorant zaprezentował uporządkowaną i logicznie spójną koncepcję procesu badawczego, prowadzącego do opracowania metody M-UAV. Autor w sposób przejrzysty opisuje kolejne etapy badań, podkreślając ich sekwencyjny oraz komplementarny charakter. Na szczególne uznanie zasługuje powiązanie każdego etapu z konkretnym rezultatem, co świadczy o dojrzałym podejściu do planowania badań oraz orientacji na osiągnięcie wymiernych efektów naukowych i aplikacyjnych.

Pozytywnie należy ocenić przyjęcie podejścia łączącego analizę literatury, badania empiryczne oraz modelowanie teoretyczne. Taka triangulacja metod zwiększa wiarygodność uzyskanych wyników oraz wpisuje się w dobre praktyki badań inżynierskich. Równie trafne jest podkreślenie iteracyjnego charakteru procesu badawczego, w którym kolejne etapy stanowią zarówno rozwinięcie wcześniejszych ustaleń, jak i podstawę do dalszych analiz oraz wniosków wdrożeniowych.

**Cel pracy zdefiniowany przez Doktoranta uważam za właściwy, a zaproponowana koncepcja prac badawczych w mojej ocenie wyczerpuje tematykę rozprawy doktorskiej o charakterze wdrożeniowym.**

**W rozdziale szóstym** (22 strony) Doktorant przedstawił autorską metodę oceny odporności dla systemów UAV-AutoID pracujących w zmiennych warunkach eksploatacyjnych. Autor w sposób uporządkowany przedstawił strukturę metody, wskazując jej główne komponenty oraz logikę działania. Na szczególne uznanie zasługuje wyraźne zdefiniowanie pięcioetapowego trybu oceny ex post, co świadczy o dojrzałym podejściu do projektowania narzędzia analitycznego.

Pozytywnie należy ocenić koncepcję tzw. „domu odporności” opartego na czterech filarach: absorpcji, adaptacji, odtworzenia i bezpieczeństwa. Takie ujęcie porządkuje analizę i umożliwia wielowymiarową ocenę funkcjonowania systemu

UAV–AutoID. Istotnym atutem jest przypisanie każdemu filarowi konkretnych mierników oraz reguł kalkulacji, co zwiększa operacyjność i praktyczną użyteczność zaproponowanej metody.

Wartościowym elementem jest również wprowadzenie czteropoziomowej macierzy referencyjnej, umożliwiającej ocenę stopnia dojrzałości odporności systemu. Rozwiązanie to sprzyja standaryzacji wyników oraz ich porównywalności w różnych warunkach eksploatacyjnych. Uzupełnienie metody o analizę ryzyka ex post z wykorzystaniem wskaźnika RPN oraz zmiennych lingwistycznych należy uznać za trafne, gdyż pozwala na hierarchizację działań korygujących i lepsze zarządzanie ryzykiem.

Na uwagę zasługuje także kompleksowy charakter metody, integrującej aspekty techniczne, organizacyjne i środowiskowe. Autor słusznie podkreśla, że takie podejście umożliwia nie tylko identyfikację incydentów, ale również analizę ich przyczyn. Zdefiniowanie szerokiej bazy wiedzy pomiarowej, obejmującej m.in. parametry operacyjne, jakość odczytów, stabilność komunikacji czy interakcje z innymi systemami, stanowi istotny wkład w budowę narzędzia o wysokiej wartości aplikacyjnej. Szczególnie cenne jest wskazanie możliwości porównywania wyników między lokalizacjami oraz analizy trendów w czasie.

**Rozdział siódmy** (26 stron) stanowi w mojej opinii najważniejszą część rozprawy doktorskiej, ponieważ Autor prezentuje wyniki badań empirycznych przeprowadzonych w zróżnicowanych środowiskach eksploatacyjnych, co należy ocenić bardzo pozytywnie, gdyż znacząco zwiększa wiarygodność oraz wartość aplikacyjną zaproponowanej metody. Dobór przypadków badawczych – obejmujących różne typy magazynów i odmienne uwarunkowania operacyjne – pozwala na wieloaspektową ocenę funkcjonowania systemu UAV–AutoID.

Na szczególne uznanie zasługuje szczegółowa charakterystyka poszczególnych przypadków badawczych. Autor trafnie identyfikuje kluczowe czynniki wpływające na odporność systemu w każdym z analizowanych środowisk, rozróżniając aspekty techniczne, środowiskowe oraz organizacyjno-informacyjne. W centrum dystrybucyjnym właściwie wskazano na znaczenie skali operacji oraz wpływ zakłóceń środowiskowych, w magazynie blokowym – na jakość oznaczeń i trudne warunki fizyczne, natomiast w magazynie przyprodukcyjnym – na czynniki

organizacyjne i informacyjne. Taka analiza świadczy o wysokim poziomie dojrzałości badawczej oraz umiejętności interpretacji wyników w kontekście praktycznym.

Pozytywnie należy ocenić również wykorzystanie analizy ryzyka (w tym wskaźnika RPN) do identyfikacji kluczowych zagrożeń oraz formułowania rekomendacji. Wnioski końcowe zostały przedstawione w sposób uporządkowany i jednoznacznie wskazują na potwierdzenie przyjętych założeń metody M-UAV, w tym jej systemowego charakteru oraz uniwersalności. Szczególnie istotne jest podkreślenie wpływu warunków środowiskowych i organizacyjnych na odporność systemu, co stanowi ważny wkład w rozwój wiedzy w tym obszarze.

Istotnym atutem pracy jest także informacja o rozszerzeniu badań na większą liczbę przypadków (ponad 20 lokalizacji), co wzmacnia wiarygodność uzyskanych rezultatów i pozwala na ich uogólnienie. Autor słusznie wskazuje, że uzyskane wyniki potwierdzają zarówno poprawność metodyczną opracowanego podejścia, jak i jego użyteczność przemysłową.

Rozprawa doktorska mgr. Arkadiusza ZURKA zakończona jest rozdziałem (4 strony) zawierającym podsumowanie przeprowadzonych badań wraz z oceną stopnia realizacji założonych celów badawczych i wdrożeniowych oraz wnioskami wynikającymi z przeprowadzonych w pracy rozważań. Rozdział zakończono zdefiniowaniem kierunków dalszych działań naukowych w obszarze badawczym związanym z tematyką rozprawy doktorskiej.

Ostatnim elementem pracy jest bibliografia licząca 240 pozycji, w przeważającej większości obejmująca publikacje anglojęzyczne. Na uwagę zasługuje siedem współautorskich publikacji Doktoranta.

**Dobór literatury uważam za niezwykle aktualny i poprawny pod względem zakresu poruszanej tematyki.**

## **5. Ocena merytoryczna rozprawy**

Uważam, że zasadniczym i najważniejszym osiągnięciem mgr. Arkadiusza ŻURKA jest opracowanie i empiryczna weryfikacja metody oceny odporności systemu automatycznej identyfikacji danych z wykorzystaniem dronów .

**W aspekcie naukowym** do najważniejszych osiągnięć Doktoranta zawartych w dysertacji zaliczam:



- przegląd literatury przedmiotu w zakresie istniejących systemów UAV oraz ich zastosowania zarówno w przemyśle, jak i badaniach naukowych, w szczególności w systemach magazynowych,
- przegląd literatury przedmiotu w zakresie ryzyka związanego z funkcjonowaniem systemów UAV,
- przegląd literatury i raportów branżowych identyfikujący krytyczne trendy dotyczące rozwoju systemów UAV w kolejnych pięciu latach,
- opracowanie metody M-UAV w oparciu o podejście systemowe, uwzględniające aspekty procesowe i inżynierskie, oceniającej odporność systemów UAV-AutoID pracujących w zmiennych warunkach środowiskowych,
- weryfikację przyjętych założeń w metodzie M-UAV na podstawie testów realizowanych w licznych obiektach magazynowych obsługujących przepływy towarowe w Europie.

**W aspekcie użytecznym** do najważniejszych osiągnięć Doktoranta zawartych w dysertacji zaliczam opracowanie:

- algorytmu postępowania oceniającego odporność systemów UAV-AutoID w postaci 5-etapowej procedury postępowania,
- systemu wskaźników i mierników oceniających odporność systemu UAV-AutoID na występujące zakłócenia,
- założeń dla przygotowywanej macierzy wartości referencyjnych, pozwalającej zakwalifikować uzyskane wartości pomiaru do odpowiedniego poziomu odporności.

Dokonując oceny układu rozprawy, należy podkreślić, że jej ogólna forma i zakres wynikają z realizacji celów rozprawy o charakterze wdrożeniowym. Podjęte przez Doktoranta problemy badawcze zostały sformułowane poprawnie, tak pod względem obszaru merytorycznego, jak i głębi prowadzonych rozważań. Z punktu widzenia postawionych celów oraz zdefiniowanych problemów badawczych przyjęta koncepcja badań jest właściwie uzasadniona, a zastosowane narzędzia i metody badawcze są do niej adekwatne.

**Uważam, że zarówno konstrukcja dysertacji o charakterze wdrożeniowym mgr. Arkadiusza ŻURKA jak i sposób opracowania materiału empirycznego, a także forma przeprowadzonej analizy i przyjęta metodyka**

**badan pozwalają stwierdzić, że cele rozprawy zostały osiągnięte, a postawiony problem badawczy rozwiązany w sposób właściwy.**

Stwierdzam, że zarówno materiał badawczy, jak i literaturowy został przez Autora rozprawy wykorzystany poprawnie. Doktorant wykazała się głęboką wiedzą teoretyczną i bogatym doświadczeniem w obszarze projektowania systemów logistycznych i produkcyjnych w ramach koncepcji Przemysłu 4.0, umiejętnością analitycznego ujęcia rozpatrywanego problemu oraz jego rozwiązania. Omówiona konstrukcja rozprawy oraz sposób opracowania materiału empirycznego, a także forma przeprowadzonej analizy oraz przyjęta metodyka badań koncepcyjnych i eksperymentalnych są właściwe dla tego rodzaju „doktoratów wdrożeniowych”.

## **6. Uwagi szczegółowe**

Zawartość merytoryczną rozprawy oceniam pozytywnie. Mimo pozytywnej oceny podczas czytania rozprawy nasunęły mi się pewne wątpliwości:

1. Na stronie 131 na potrzeby oceny odporności opracowano macierz wartości referencyjnych dla wskaźników należących do czterech zdefiniowanych obszarów, którą przedstawiono w tabeli 7.3. W opracowaniu macierzy brali udział eksperci ze strony NeuroSpace, zarówno z grona inżynierów odpowiedzialnych za projektowanie i obsługę systemu UAV-AutoID, jak i menedżerów odpowiedzialnych za obsługę klienta i organizację procesu inwentaryzacji. Przedstawione wartości referencyjne są określone dla badanego systemu UAV-AutoID i są obowiązujące dla wszystkich prowadzonych testów, które zostały przedstawione w tym rozdziale. Proszę o wyjaśnienie jaki algorytm lub metodę zastosowano podczas określania wartości referencyjnych w tabeli 7.3.
2. Do opisanego częstotliwości i skutków występowania zdarzeń niepożądanych Doktorant rekomenduje wykorzystanie zmiennych lingwistycznych zgodnie ze schematem przedstawionym w tabeli 6.4. Wartości przypisane poszczególnym zmiennym lingwistycznym zostały zdefiniowane na podstawie badań własnych Doktoranta w analizowanym systemie UAV-AutoID. Proszę o przedstawienie metodyki badań własnych mających za celu przypisanie wartości liczbowej zmiennej lingwistycznej.



3. Doktorant do oceny bezpieczeństwa wykorzystuje wskaźnik niebezpiecznych incydentów (W\_NI). Incydent w prawie lotniczym to zdarzenie związane z eksploatacją statku powietrznego, które ma wpływ lub mogłoby mieć wpływ na bezpieczeństwo lotów. W przypadku incydentu, który może być kwalifikowany jako poważny, wskazują okoliczności, że wystąpiło duże prawdopodobieństwo zaistnienia wypadku. W takim przypadku, badanie incydentu odbywa się od momentu wejścia na pokład statku powietrznego jakiegokolwiek osoby z zamiarem odbycia lotu aż do opuszczenia pokładu przez te osoby, lub, w przypadku bezzałogowego statku powietrznego, od momentu, gdy statek powietrzny jest gotowy do ruchu w celu wykonania lotu aż do czasu jego zatrzymania na koniec lotu i wyłączenia głównego układu napędowego. W wielu krajach (w tym w Polsce) wprowadzono osobną klasyfikację dla bezzałogowych statków powietrznych: utrata kontroli nad UAV, zderzenie lub kolizja z przeszkodą, nieuprawnione wejście w strefę zakazaną, uszkodzenie mienia lub zagrożenie dla ludzi. W celu wyjaśnienia wszelkich wątpliwości proszę Doktoranta o przedstawienie taksonomii zdarzeń lotniczych przyjętej na potrzeby niniejszej dysertacji w kontekście obowiązujących przepisów ULC.

Powyższe uwagi nie wpływają na moją pozytywną ocenę merytoryczną rozprawy, a jedynie utrudniają zrozumienie jej fragmentów.

## **7. Wniosek końcowy oceny rozprawy**

Przedstawioną do recenzji rozprawę doktorską oceniam pozytywnie, podkreślając jej satysfakcjonujący poziom merytoryczny, zarówno w zakresie podstaw teoretycznych, jak i części aplikacyjnej. Rezultaty pracy stanowią wkład w rozwój badań nad doskonaleniem systemów logistycznych i produkcyjnych w ramach koncepcji Przemysłu 4.0, integrujących nowoczesne technologie automatyzacji z inżynierią systemów technicznych

**Reasumując stwierdzam, że rozprawa przedstawiona do recenzji spełnia warunki przewidziane w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 roku – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2024 r., poz. 1571).**

**Stawiam wniosek o przyjęcie opracowania przedstawionego do recenzji jako rozprawy doktorskiej mgr. Arkadiusza ŻURKA w postępowaniu**



**o nadanie stopnia doktora w dziedzinie nauk – Nauki Inżynieryjno-Techniczne  
w dyscyplinie naukowej – Inżynieria Mechaniczna oraz dopuszczenie jej do  
publicznej obrony.**

KIEROWNIK ZAKŁADU  
INFORMATYCZNEGO WSPARCIA LOGISTYKI  
Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych

płk dr hab. inż. Mariusz ZIEJA, prof. ITWL

