

Wrocław, 19 września 2025 r.

Streszczenie

Tytuł rozprawy: **Metoda oceny odporności systemu automatycznej identyfikacji danych z wykorzystaniem dronów**

Author: **mgr Arkadiusz Żurek**

Promotor: **dr hab. Agnieszka Tubis**

Katedra Eksploatacji Systemów Technicznych, Wydział Mechaniczny, Politechnika Wrocławska

Rozprawa doktorska przedstawia opracowanie metody oceny odporności systemów automatycznej identyfikacji danych (AutoID) z wykorzystaniem bezzałogowych statków powietrznych (UAV). Dynamiczny rozwój koncepcji Przemysłu 4.0, cyfryzacja procesów logistycznych oraz integracja technologii cyber-fizycznych powodują, że współczesne systemy magazynowe i produkcyjne stają się coraz bardziej złożone i wymagające. W tym kontekście szczególnego znaczenia nabierają rozwiązania UAV–AutoID, łączące mobilność i elastyczność platform bezzałogowych z technologiami AutoID, takimi jak RFID, kody kreskowe, kody QR oraz systemy wizyjne. Umożliwiają one automatyzację procesów inwentaryzacyjnych, monitorowanie przestrzeni magazynowej oraz wspieranie bezpieczeństwa operacyjnego. Rosnące znaczenie tych systemów wiąże się jednak z koniecznością analizy ich odporności na zakłócenia techniczne, organizacyjne i środowiskowe, które mogą ograniczać ich skuteczność i niezawodność.

Głównym celem rozprawy było opracowanie metody oceny odporności systemów UAV–AutoID, z uwzględnieniem specyficznych warunków ich funkcjonowania w środowisku przemysłowym, zwłaszcza w magazynach o zróżnicowanej infrastrukturze technicznej i organizacyjnej. Celem użytecznym pracy było dostarczenie przedsiębiorstwom praktycznego narzędzia umożliwiającego lepsze planowanie i realizację procesów AutoID z wykorzystaniem dronów – poprzez ograniczenie ryzyka występowania zdarzeń niepożądanych, zwiększenie niezawodności systemu oraz obniżenie kosztów związanych z tradycyjnymi formami inwentaryzacji.

Proponowana metoda, nazwana M-UAV, opiera się na podejściu systemowym integrującym ocenę odporności elementów technicznych, procesowych i środowiskowych. Procedura obejmuje pięć etapów: identyfikację elementów systemu UAV–AutoID, określenie warunków operacyjnych, rejestrację parametrów misji, ocenę odporności oraz opracowanie rekomendacji techniczno-organizacyjnych. Nowatorstwo metody polega na uwzględnieniu zmienności środowiska, które w przypadku inwentaryzacji magazynowej opartej na usługach odgrywa kluczową rolę w kształtowaniu poziomu efektywności i bezpieczeństwa całego systemu. Umożliwia to

nie tylko identyfikację podatnych elementów systemu, lecz także opracowanie rozwiązań zwiększających jego elastyczność i zdolność adaptacji.

Metoda została zweryfikowana w rzeczywistym środowisku przemysłowym, we współpracy z firmą NeuroSpace. Badania empiryczne objęły trzy różne studia przypadków: nowoczesne centrum dystrybucyjne klasy A, magazyn blokowy klasy B oraz magazyn wspierający produkcję. Analiza umożliwiła porównanie efektywności systemów UAV–AutoID w odmiennych warunkach pracy, identyfikację kluczowych źródeł zakłóceń oraz praktyczną ocenę odporności. Wyniki badań pozwoliły na sformułowanie rekomendacji dotyczących zarówno projektowania i rozwoju systemów technicznych, jak i kształtowania procedur organizacyjnych oraz praktyk zarządzania ryzykiem w operacjach magazynowych.

W rozprawie szeroko omówiono zagadnienia teoretyczne dotyczące UAV, technologii AutoID, koncepcji odporności i metod jej oceny, a także globalnych trendów technologicznych w zakresie UAV wraz z prognozami rozwoju do roku 2030. Na podstawie analizy literatury i badań przemysłowych zidentyfikowano luki badawcze, które zostały wypełnione poprzez opracowaną metodę M-UAV.

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. Opracowana metoda może stanowić praktyczne narzędzie wspierające przedsiębiorstwa w automatyzacji procesów inwentaryzacji magazynowej, zwiększaniu efektywności operacyjnej, poprawie jakości danych oraz niezawodności systemów. Ponadto wzmacnia odporność techniczną i organizacyjną systemów UAV–AutoID, wspierając transformację cyfrową i automatyzację procesów logistycznych we współczesnych środowiskach przemysłowych.