Warszawa, 10 sierpnia 2026

dr hab. inż. Krzysztof Siwek, profesor uczelni
Instytut Elektrotechniki Teoretycznej
i Systemów Informacyjno-Pomiarowych
Wydział Elektryczny
Politechnika Warszawska,
email: krzysztof siwek@pw.edu.pl

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr inż. Ewy Żesławskiej

pt. *„Inteligentne harmonogramowanie zadań lotniczych dla floty UAV z wykorzystaniem technologii algebraiczno-logicznego meta-modelowania w warunkach dynamicznych ograniczeń operacyjnych"*

(zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscyplin: Nauki fizyczne, Matematyka, Informatyka techniczna i telekomunikacja, Inżynieria materiałowa na Wydziale Nauk Ścisłych i Technicznych Uniwersytetu Rzeszowskiego z dnia 10 lipca 2026)

1. Ocena doboru tematyki rozprawy

Recenzowana rozprawa pani mgr inż. Ewy Żesławskiej podejmuje problem harmonogramowania zadań logistycznych realizowanych przez flotę bezzałogowych statków powietrznych w warunkach dynamicznie zmieniającej się dostępności przestrzeni powietrznej, w szczególności w obszarze okołolotniskowym. Tematyka ta jest dziś jednym z bardziej aktywnych kierunków badawczych na styku informatyki technicznej, badań operacyjnych i inżynierii systemów lotniczych, co Doktorantka trafnie osadza we wprowadzeniu, odwołując się do rozwoju koncepcji Free Route Airspace promowanej przez EUROCONTROL oraz do rosnącego znaczenia zastosowań transportowych UAV, od dostaw ostatniej mili po transport medyczny i wsparcie działań kryzysowych. Wybór problemu nie jest więc czysto akademickim ćwiczeniem formalnym, lecz odpowiada na realną i narastającą potrzebę integracji ruchu bezzałogowego z systemami zarządzania ruchem lotniczym, w tym z koncepcją korytarzy powietrznych i U-space.

Silną stroną doboru tematyki jest sposób, w jaki autorka lokalizuje lukę badawczą. Przegląd literatury w rozdziale pierwszym, uporządkowany w formie zestawienia tabelarycznego obejmującego kilkanaście reprezentatywnych prac z lat 2021 do 2025 dotyczących problemu PDSTSP oraz pokrewnych wariantów VRPD, FSTSP i TSPD, prowadzi do konkretnego wniosku: większość istniejących podejść koncentruje się na planowaniu statycznym lub półdynamicznym, niepewność modelowana jest zwykle w sposób parametryczny lub scenariuszowy, a dominujące metody obliczeniowe, heurystyczne i dokładne, nie modelują jawnie procesu decyzyjnego jako ewoluującego systemu stanów. Zidentyfikowana w ten sposób luka, brak jednolitego formalizmu łączącego modelowanie zasobów, slotów czasowych, korytarzy powietrznych, okien czasowych oraz zakłóceń

w ramach jednego procesu decyzyjnego, jest sformułowana precyzyjnie i stanowi przekonujące uzasadnienie podjęcia tematu.

Istotną wartością dodaną jest także decyzja o osadzeniu nowego problemu w ramach istniejącej, rozwijanej od lat technologii algebraiczno-logicznego meta-modelowania, wywodzącej się z prac Bubnickiego oraz Dudek-Dyduch i kontynuowanej przez zespół rzeszowski, którego Doktorantka jest współautorką. Taki wybór nie jest tworzeniem formalizmu od podstaw, lecz naturalnym rozszerzeniem sprawdzonego aparatu pojęciowego na nową klasę zagadnień, co samo w sobie stanowi wartościowy kierunek badawczy, ponieważ pozwala ocenić uniwersalność i granice stosowalności technologii ALMM. Na plus należy też zapisać zakorzenienie problemu w danych operacyjnych, w tym w rzeczywistych danych PANSA dotyczących dostępności przestrzeni powietrznej dla lotniska Jasionka oraz w faktycznie przeprowadzonych lotach testowych, co odróżnia tę pracę od wielu rozpraw poświęconych harmonogramowaniu UAV, ograniczających się wyłącznie do eksperymentów symulacyjnych. Sumarycznie, dobór tematyki oceniam jako trafny, aktualny i dobrze umotywowany zarówno naukowo, jak i aplikacyjnie.

2. Hipoteza badawcza i szczegółowe cele (zadania) badawcze

Celem głównym rozprawy jest opracowanie modelu oraz metod harmonogramowania zadań logistycznych dla floty UAV działającej w warunkach dynamicznie zmieniającej się dostępności przestrzeni powietrznej, przy wykorzystaniu technologii ALMM jako aparatu formalnego. Teza rozprawy głosi, że zastosowanie tej technologii umożliwia konstrukcję modeli harmonogramowania, które zapewniają wyznaczanie dopuszczalnych i efektywnych rozwiązań w warunkach dynamicznie zmieniających się ograniczeń przestrzeni powietrznej oraz występowania zakłóceń operacyjnych, bez konieczności każdorazowej rekonstrukcji modelu decyzyjnego.

Zastosowanie technologii algebraiczno-logicznego meta-modelowania umożliwia konstrukcję modeli harmonogramowania zadań dla flot UAV, które zapewniają wyznaczanie dopuszczalnych i efektywnych rozwiązań w warunkach dynamicznie zmieniających się ograniczeń przestrzeni powietrznej oraz występowania zakłóceń operacyjnych, bez konieczności każdorazowej rekonstrukcji modelu decyzyjnego.

Jest to teza sformułowana poprawnie z punktu widzenia konstrukcji rozprawy technologicznej, aczkolwiek ma charakter w większym stopniu jakościowy niż ściśle testowalny ilościowo. Nie jest to wada dyskwalifikująca, tego rodzaju formułowanie tez jest typowe dla prac z zakresu metod formalnych i inżynierii systemów decyzyjnych, warto jednak zauważyć, że silniejsza, bardziej sfalsyfikowalna wersja tezy mogłaby na przykład precyzować oczekiwany rząd wielkości czasu rekonfiguracji względem pełnego przeliczenia harmonogramu, co zresztą praca później w praktyce demonstruje liczbowo.

Cel główny został rozłożony na cztery cele szczegółowe:

1. opracowanie formalnego modelu harmonogramowania uwzględniającego dynamiczną dostępność korytarzy powietrznych,

2. opracowanie metod wyznaczania trajektorii decyzji w warunkach zakłóceń z uwzględnieniem adaptacyjnej reoptymalizacji,

3. integrację metod optymalizacyjnych z modelem algebraiczno-logicznym w celu wyznaczania rozwiązań dopuszczalnych i efektywnych, oraz

4. przeprowadzenie badań symulacyjnych i weryfikacji modelu w warunkach zbliżonych do rzeczywistych.

W dalszej części tego samego podrozdziału autorka rozwija te cele w pięć zadań badawczych i implementacyjnych, dodając do wymienionej trójki zadań modelowo-algorytmicznych osobne zadanie implementacji środowiska obliczeniowego.

Ta dwupoziomowa struktura, cele szczegółowe i wynikające z nich zadania, jest chwilami redundantna, ale nie budzi wątpliwości merytorycznych, ponieważ każde z zadań daje się jednoznacznie przypisać do konkretnego rozdziału pracy: zadanie pierwsze realizowane jest w rozdziale czwartym poprzez kaskadę modeli ALMM, ALMM-TS, ALMM-CS, ALMM-TW i ALMM-D, zadanie drugie w podrozdziale 5.7 poświęconym algorytmom dynamicznego harmonogramowania, zadanie trzecie w pozostałej części rozdziału piątego, a zadania czwarte i piąte w rozdziale szóstym, obejmującym środowisko badawcze oraz właściwą walidację eksperymentalną. Ta spójność między deklarowanym planem badań a faktyczną strukturą rozprawy jest mocną stroną pracy i ułatwia ocenę stopnia realizacji celów.

Oceniam cele szczegółowe jako sformułowane jasno, w sposób umożliwiający ich weryfikację, oraz jako adekwatne względem zakresu tematycznego zapowiedzianego w tytule. Jedyną uwagą krytyczną w tym miejscu jest brak w warstwie celów jakiegokolwiek elementu ilościowego, na przykład oczekiwanej skali instancji problemowych, względem których model ma być zwalidowany, co utrudnia later w rozdziale szóstym jednoznaczną ocenę, czy uzyskana skala eksperymentów, floty liczące od czterech do dziewięciu UAV oraz strumienie od kilkunastu do czterdziestu pięciu zadań, w pełni odpowiada ambicji sformułowanej w celu głównym, mówiącym ogólnie o systemach o rosnącej złożoności operacyjnej.

3. Ocena treści rozprawy, aktualność i jakość omówienia zagadnień

Rozprawa liczy sto siedemdziesiąt osiem stron, siedem rozdziałów, czterdzieści jeden rysunków, trzydzieści siedem tabel, sześć algorytmów oraz dziewięćdziesiąt osiem pozycji bibliograficznych.

Rozprawa napisana jest poprawnym językiem bez błędów orograficznych, interpunkcyjnych lub językowych. Widoczna jest staranność i wysoka dbałość o stronę językową.

Struktura treści jest logiczna i typowa dla prac z zakresu metod formalnych: rozdział drugi wprowadza aparat pojęciowy technologii ALMM, rozdział trzeci charakteryzuje warstwę problemową, rozdział czwarty zawiera właściwą formalizację matematyczną, rozdział piąty opisuje metody i algorytmy rozwiązywania, a rozdział szósty prezentuje wyniki eksperymentalne. Taki układ pozwala czytelnikowi przejść od ogólnego paradygmatu, poprzez opis rzeczywistych uwarunkowań operacyjnych, do konkretnego, sprawdzalnego rozwiązania.

Pod względem aktualności literatury rozprawa wypada bardzo dobrze. Blisko połowa cytowanych pozycji pochodzi z lat 2023 do 2026, w tym kilkanaście prac opublikowanych w renomowa-

nych czasopismach takich jak Expert Systems with Applications, Computer Networks czy Future Generation Computer Systems, których numery wydań wskazują na bieżący rok 2026. Świadczy to o tym, że przegląd literatury był aktualizowany do samego końca prac nad rozprawą, a nie sporządzony raz na wczesnym etapie i pozostawiony bez rewizji. Klasyfikacja analizowanych metod na heurystyki i metaheurystyki, podejścia programowania z ograniczeniami i programowania całkowitoliczbowego oraz metody odporne i stochastyczne jest przeprowadzona kompetentnie i pozwala precyzyjnie umiejscowić wkład własny na tle stanu wiedzy.

Warstwa formalna, rozdziały drugi i czwarty, jest prowadzona z dużą starannością matematyczną. Model bazowy, definiowany jako szóstka złożona ze zbioru decyzji, przestrzeni stanów, stanu początkowego, funkcji przejścia oraz zbiorów stanów niedopuszczalnych i docelowych, jest rozszerzany w sposób kaskadowy o kolejne klasy ograniczeń: dostępność czasową UAV w modelu ALMM-TS, współdzielenie korytarzy powietrznych w modelu ALMM-CS, okna czasowe zadań w modelu ALMM-TW, oraz zakłócenia dynamiczne w modelu ALMM-D. Każde rozszerzenie jest wprowadzane poprzez jawne zawężenie zbioru decyzji dopuszczalnych względem modelu poprzedniego, co autorka zapisuje w formie łańcucha inkluzji zbiorów decyzji dopuszczalnych kolejnych wariantów modelu. Taka konstrukcja jest elegancka i spójna wewnętrznie, definicje są konsekwentnie stosowane w kolejnych rozdziałach, a notacja, mimo znacznej liczby symboli, pozostaje czytelna dzięki systematycznemu stosowaniu tych samych oznaczeń w całej pracy.

Rozdział piąty, poświęcony metodom rozwiązywania, przedstawia zestaw sześciu algorytmów, w tym heurystykę redukcji przestrzeni decyzji opartą na porządkowaniu zadań według szacowanego czasu realizacji w duchu klasycznej heurystyki LPT, algorytm konstrukcyjno-iteracyjny harmonogramowania z uwzględnieniem korytarzy powietrznych, algorytm przydziału do slotów czasowych, generator trajektorii lotu oraz dwa algorytmy obsługi zakłóceń i dynamicznej realokacji. Autorka uczciwie zaznacza zachłanny, niegwarantujący globalnej optymalności charakter tych procedur, co jest podejściem metodologicznie poprawnym, ponieważ nie zawyża się tu nieuzasadnionych oczekiwań co do jakości uzyskiwanych rozwiązań.

Najmocniejszym elementem treściowym rozprawy jest jednak rozdział szósty. Walidacja eksperymentalna wykracza znacząco poza typowe dla tego typu prac symulacje numeryczne. Autorka zbudowała środowisko badawcze łączące symulację w Matlab i Simulink, odwzorowanie dynamiki lotu w środowisku X-Plane, stację naziemną Mission Planner, komunikację w protokole MAVLink przez UDP oraz warstwę Software-in-the-loop i Hardware-in-the-loop z wykorzystaniem mikrokomputerów Raspberry Pi 3B i dwóch modelowanych platform, wielowirnikowca oraz samolotu. Eksperymenty bazowe, przeprowadzone dla konfiguracji od czterech do dziewięciu UAV oraz strumieni od dwunastu do czterdziestu pięciu zadań, poprawnie odróżniają trajektorie dopuszczalne od niedopuszczalnych, a w scenariuszach z ograniczoną dostępnością korytarzy system trafnie identyfikuje sytuacje przeciążenia, na przykład przy czterdziestu pięciu zadaniach i sześciu korytarzach liczba zadań niezrealizowanych rośnie wyraźnie wraz ze wzrostem obciążenia, co jest zachowaniem poprawnym z punktu widzenia modelu, a nie artefaktem błędu implementacyjnego. Walidacja modelu dynamicznego ALMM-D obejmuje ponad dwadzieścia scenariuszy zróżnicowanych pod względem liczebności floty, liczby zadań i kombinacji awarii jednostek UAV, z systematycznym raportowaniem liczby trajektorii osiągających stany docelowe względem trajektorii prowadzących do stanów niedopuszczalnych. Szczególnie wartościowe jest to, że badania

nie kończą się na symulacji: autorka przeprowadziła rzeczywiste loty testowe na lotnisku polowym w Sędziszowie Małopolskim, zgodnie z obowiązującymi regulacjami Urzędu Lotnictwa Cywilnego i przy udziale licencjonowanych operatorów, weryfikując zgodność harmonogramu planowanego z rzeczywistym przebiegiem misji. Tego rodzaju domknięcie cyklu badawczego, od formalizmu matematycznego po loty rzeczywistych bezzałogowców, jest rzadko spotykane w rozprawach o tak silnie teoretycznym rdzeniu i zasługuje na wyraźne uznanie.

Chciałbym jednak wskazać kilka miejsc, w których treść rozprawy mogłaby być mocniejsza. Po pierwsze, analiza porównawcza z metodami literaturowymi w podrozdziale 6.6 jest przez samą autorkę uczciwie opisana jako analiza pozycyjna, jakościowo-porównawcza, a nie ścisły benchmark eksperymentalny, ponieważ zestawiane wyniki pochodzą z odrębnych prac, na odmiennych instancjach i sprzęcie. Ta uczciwość metodologiczna jest zaletą, jednak sama tabela zestawiająca zmianę makespanu, autorską miarę odporności oraz orientacyjne czasy obliczeń dla kilkunastu metod literaturowych i dla podejścia ALMM może przy pobieżnej lekturze sugerować silniejszą porównywalność, niż na to pozwala przyjęta metodologia. Po drugie, wprowadzony w podrozdziale 5.7 komponent predykcyjny zakłóceń, oznaczony jako funkcja odwzorowująca stan procesu na prognozę zakłócenia, pozostaje na poziomie deklaracji formalnej, nie został zaimplementowany ani poddany ocenie empirycznej w ramach przeprowadzonych eksperymentów, co zresztą sama autorka trafnie wskazuje w rozdziale siódmym jako kierunek dalszych badań. Po trzecie, skala instancji testowych, floty do dziewięciu jednostek i strumienie do czterdziestu pięciu zadań, jest wystarczająca do wykazania poprawności formalnej i jakościowej skuteczności podejścia, natomiast nie pozwala ocenić zachowania się metody przy znacznie większych flotach, jakie rozważa się na przykład w kontekście miejskiej mobilności lotniczej, a analiza złożoności obliczeniowej opracowanych algorytmów względem liczby zadań i liczby UAV nie została w pracy przedstawiona w sposób systematyczny, poza pojedynczą, zagregowaną wartością czasu obliczeń podaną w tabeli porównawczej.

4. Podsumowanie

Rozprawa Ewy Żesławskiej przedstawia spójny, dobrze umotywowany i rzetelnie zwalidowany wkład do problematyki harmonogramowania flot bezzałogowych statków powietrznych w warunkach dynamicznie zmieniającej się dostępności przestrzeni powietrznej. Mocnymi stronami pracy są: trafny i aktualny dobór tematyki osadzony w rzeczywistych uwarunkowaniach operacyjnych, rygorystyczna, kaskadowa formalizacja matematyczna łącząca kolejne klasy ograniczeń w jednolitym aparacie pojęciowym ALMM, oraz wyjątkowo dojrzała jak na rozprawę o silnie formalnym charakterze warstwa walidacyjna, obejmująca zarówno rozbudowane eksperymenty symulacyjne, jak i rzeczywiste loty testowe. Ograniczeniami pracy są natomiast deklaratywny, nieoceniony empirycznie charakter komponentu predykcji zakłóceń, jakościowy, a nie benchmarkowy sposób porównania z metodami literaturowymi, oraz umiarkowana skala instancji testowych, która nie pozwala jednoznacznie ocenić skalowalności zaproponowanych algorytmów do dużych flot. Żadne z tych ograniczeń nie podważa jednak zasadniczej wartości naukowej rozprawy, mają one charakter typowych kierunków dalszego rozwoju, zresztą w większości trafnie zidentyfikowanych przez samą autorkę w rozdziale siódmym.

5. Pytania i uwagi dyskusyjne

W tej części recenzji chciałbym postawić pytania oraz szerzej naświetlić pewne kwestie i uwagi dyskusyjne, nie umniejszające jednak w istotnym stopniu osiągnięć Autorki rozprawy.

- *Skalowalność zaproponowanych algorytmów.* Skoro badania eksperymentalne obejmowały floty do dziewięciu UAV i strumienie do czterdziestu pięciu zadań, jak w praktyce zachowuje się czas działania algorytmu konstrukcyjnego oraz procedur realokacji przy znacznie większej liczbie jednostek i zadań, rzędu na przykład kilkudziesięciu lub kilkuset, jakich należałoby oczekiwać w docelowych zastosowaniach typu miejska mobilność lotnicza lub warunki wojenne, oraz czy autorka dysponuje choćby wstępnym oszacowaniem złożoności obliczeniowej heurystyki redukcji przestrzeni decyzji w funkcji liczby zadań i liczby UAV.

- *Modułu predykcji zakłóceń.* Moduł ten wprowadzony został formalnie w podrozdziale 5.7 jako funkcja odwzorowująca stan i czas procesu na prognozowane zakłócenie. Skoro moduł ten nie został w rozprawie zaimplementowany ani przetestowany, jaką konkretną architekturę uczenia maszynowego i jakie dane treningowe autorka przewiduje w przyszłych pracach, oraz jak błędy takiej predykcji, zarówno fałszywie pozytywne, jak i fałszywie negatywne, wpłynęłyby na gwarancje dopuszczalności trajektorii oferowane przez model ALMM-D.

- *Porównanie w tabeli 6.37.* W tabeli porównawczej 6.37 zestawiającej trzynaście pozycji literaturowych, od metaheurystyk typu GRASP i VNS, przez programowanie z ograniczeniami i MILP, po podejścia typu robust i stochastic, z proponowanym podejściem ALMM, zawarte są rónie, nieprzystające do siebie wskaźniki.

  Autorka słusznie zastrzega, że zestawienie ma charakter pozycyjny, a nie benchmarkowy, co w pełni podzielam jako podejście metodologicznie właściwe, chciałbym jednak wskazać konkretny mechanizm, przez który ta uczciwie zadeklarowana niewspółmierność może mimo wszystko wpływać na odbiór wyników. Kolumna miary odporności zawiera w istocie co najmniej siedem różnych, strukturalnie niezależnych wielkości: procentowy wzrost wykorzystania UAV u Saleu i współautorów, procentową redukcję zużycia energii u Nguyena i Ha, procentową redukcję kosztu u Pina-Pardo i współautorów, procentową redukcję wariancji u Zhao i współautorów, procentową redukcję opóźnień w trzech odrębnych pracach o różnych zakresach liczbowych, procentową redukcję braków realizacji zadań u Yina i współautorów oraz procentową redukcję nierównomierności procesu u Wanga i współautorów, a obok nich autorską miarę stanową $\mathrm{ROB}_{\mathrm{ALMM}}$, zdefiniowaną jako stosunek liczby stanów docelowych do sumy stanów docelowych i niedopuszczalnych, nieposiadającą żadnego bezpośredniego odpowiednika w pozostałych dwunastu pracach. Umieszczenie tych jakościowo odmiennych wielkości w jednej kolumnie tabeli, nawet przy zastrzeżeniu w tekście, tworzy wizualne wrażenie jednorodnej skali porównawczej, na której wynik 94 do 100% dla ALMM sąsiaduje bezpośrednio z wartościami rzędu kilkunastu do kilkudziesięciu procent dla metod literaturowych, mimo że mierzą one zupełnie inne zjawiska.

  Drugi element tej samej tabeli budzący pytanie dotyczy kolumny ΔMS. Podejście ALMM raportowane jest z wynikiem 10 do 15%, przedstawianym w tekście jako porównywalny z

metodami metaheurystycznymi, osiągającymi od 12 do 27%, przy czym metody typu robust i stochastic wykazują wartości ujemne, od minus 5 do minus 10%, interpretowane przez autorkę jako tak zwany koszt odporności, czyli świadomy kompromis między odpornością a długością harmonogramu. Ta interpretacja jest merytorycznie trafna, jednak sama tabela nie koryguje strukturalnie tego kompromisu, przedstawia go wyłącznie w komentarzu tekstowym pod tabelą, co oznacza, że przy pobieżnej lekturze wiersz ALMM można odczytać jako jednocześnie najlepszy pod względem ΔMS i pod względem odporności, choć w istocie porównywane są tu różne punkty na zupełnie różnych krzywych kompromisu między efektywnością a odpornością.

Trzeci element to zestawienie czasów Tcomp i Treact, dla ALMM raportowanych jako 1 do 2 sekund, wobec przedziałów sięgających nawet 60 do 300 sekund dla wybranych metod robust. Autorka zastrzega, że wartości te należy traktować orientacyjnie, ze względu na odmienne środowiska sprzętowe i implementacyjne, jednak w tabeli brakuje informacji o rozmiarze instancji rozwiązywanych przez poszczególne metody literaturowe, co uniemożliwia ocenę, w jakim stopniu tak duża różnica czasu obliczeń wynika z odmiennej skali lub złożoności rozwiązywanego problemu, a w jakim z rzeczywistej efektywności samego podejścia ALMM.

W związku z powyższym prosiłbym Doktorantkę o rozważenie, czy tabelę nie warto byłoby uzupełnić o jawną informację o rozmiarze instancji rozwiązywanych w każdej z cytowanych prac, obok rozmiaru instancji własnych, oraz czy rozważano możliwość zreimplementowania choćby jednej reprezentatywnej metody literaturowej, na przykład stosunkowo prostej metaheurystyki typu GRASP połączonej z VNS, na własnych instancjach testowych, co dostarczyłoby jednego, w pełni porównywalnego punktu odniesienia i istotnie wzmocniłoby wymowę tego fragmentu rozprawy.

- *Procedury konstrukcyjne.* Skoro algorytmy harmonogramowania mają charakter zachłanny i nie gwarantują optymalności globalnej, czy dla instancji o mniejszej skali wyznaczono rozwiązanie dokładne albo dolne ograniczenie wartości funkcji celu, pozwalające oszacować lukę optymalności uzyskiwanych harmonogramów, oraz jak duża jest ta luka w typowych scenariuszach.

- *Algorytmy dynamicznego harmonogramowania z predykcją zakłóceń i realokacją.* Sposób podejmowania decyzji w module obsługi zakłóceń przestrzennych opisanym w podrozdziale 5.7, gdzie Doktorantka wymieniła kilka możliwych reakcji systemu (obniżenie wysokości lotu, przejście w tryb oczekiwania, odroczenie zadania lub uruchomienie realokacji), proszę o doprecyzowanie, czy wybór konkretnej reakcji podlega jednoznacznej regule algorytmicznej z ustalonym porządkiem priorytetów, czy też w obecnej wersji systemu decyzja ta wymaga udziału operatora.

6. Oryginalne rezultaty uzyskane w rozprawie

Za oryginalny wkład rozprawy uznaję przede wszystkim opracowanie kaskadowej rodziny pięciu formalnych modeli algebraiczno-logicznych, modelu bazowego oraz jego rozszerzeń uwzględnia-

jących dostępność czasową UAV, współdzielenie korytarzy powietrznych, okna czasowe zadań i zakłócenia dynamiczne, które w jednolity sposób reprezentują kolejne klasy ograniczeń operacyjnych właściwych dla harmonogramowania flot UAV w przestrzeni powietrznej o ograniczonej dostępności.

Za oryginalny rezultat uznaję również zestaw sześciu procedur algorytmicznych, obejmujący heurystykę redukcji przestrzeni decyzji, konstrukcyjno-iteracyjny algorytm harmonogramowania zgodny z warunkami dopuszczalności modelu ALMM-CS, algorytm przydziału zadań do slotów czasowych, generator trajektorii lotu oraz mechanizmy dynamicznej realokacji zadań w odpowiedzi na zakłócenia zasobowe, zadaniowe i przestrzenne, wraz z ich wzajemną integracją w jeden spójny łańcuch obliczeniowy. Kolejnym oryginalnym elementem jest samo rozszerzenie zakresu stosowalności technologii ALMM, dotychczas wykorzystywanej głównie do problemów harmonogramowania produkcji oraz dynamicznego trasowania pojazdów, na jakościowo nową klasę zagadnień związanych z harmonogramowaniem flot bezzałogowych statków powietrznych w warunkach współdzielonych korytarzy powietrznych.

Za istotny rezultat oryginalny uznaję wreszcie kompleksowe środowisko walidacyjne integrujące symulację Matlab i Simulink, odwzorowanie dynamiki lotu w X-Plane, warstwę Software i Hardware-in-the-loop opartą na komunikacji MAVLink, oraz przeprowadzone rzeczywiste loty testowe dwóch platform UAV, wielowirnikowej i stałopłatowej, które w połączeniu z formalną warstwą modelową stanowią spójny, kompletny cykl badawczy od teorii do praktyki operacyjnej.

Ocena ogólna

Rozprawa doktorska ma charakter wybitnie interdyscyplinarny łączący automatykę, sterowanie, sztuczną inteligencję i informatykę.

Rozprawa doktorska mgr inż. Ewy Żesławskiej stanowi wartościowe, oryginalne rozwiązanie sformułowanego problemu naukowego, bez wątpienia plasuje się w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja. Rozprawa wykazuje ogólną wiedzę teoretyczną i praktyczną Doktorantki oraz potwierdza jej umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Poziom rozprawy, zarówno w warstwie formalnej, jak i w warstwie eksperymentalnej, w mojej ocenie w pełni odpowiada wymaganiom stawianym rozprawom doktorskim, a wskazane wyżej uwagi dyskusyjne i krytyczne mają charakter uwag rozwojowych i dyskusyjnych, właściwych dla dalszej publicznej dyskusji nad pracą, nie zaś zastrzeżeń dyskwalifikujących. W konsekwencji stwierdzam, że rozprawa spełnia ustawowe wymogi stawiane rozprawom doktorskim i stanowi podstawę do dopuszczenia mgr inż. Ewy Żesławskiej do dalszych etapów przewodu doktorskiego oraz do wystąpienia o nadanie stopnia doktora nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja.

Wniosek o wyróżnienie rozprawy doktorskiej

Niezależnie od uwag krytycznych sformułowanych powyżej, wnoszę o wyróżnienie rozprawy doktorskiej mgr inż. Ewy Żesławskiej. Podstawą tego wniosku jest element, który w mojej ocenie wykracza poza standardowe wymagania stawiane rozprawom doktorskim z zakresu metod formalnych i modelowania decyzyjnego, mianowicie pełne domknięcie cyklu badawczego, od abstrakcyj-

nego formalizmu algebraiczno-logicznego aż po rzeczywiste loty testowe. Rozprawy o tak silnie teoretycznym rdzeniu, opartym na kaskadzie definicji stanów, decyzji i funkcji przejścia, z reguły kończą swoją walidację na eksperymentach symulacyjnych. Tymczasem Doktorantka zbudowała kompletne środowisko obejmujące symulację w Matlab i Simulink, odwzorowanie dynamiki lotu w X-Plane, warstwę Software i Hardware-in-the-loop opartą na komunikacji MAVLink, dwie modelowane platformy UAV, wielowirnikową i stałopłatową, a następnie przeprowadziła faktyczne loty testowe na lotnisku polowym w Sędziszowie Małopolskim, zgodnie z regulacjami Urzędu Lotnictwa Cywilnego i przy udziale licencjonowanych operatorów, weryfikując zgodność harmonogramu wyznaczonego przez opracowany model ALMM z rzeczywistym przebiegiem realizacji misji. To przejście od czystej teorii, poprzez symulację, aż po operacyjną weryfikację w powietrzu, jest rzadko spotykane w rozprawach o takim profilu i świadczy o dojrzałości warsztatu badawczego Doktorantki oraz o praktycznej użyteczności opracowanej technologii, wykraczającej poza samą poprawność formalną modelu.

Uważam, że ten aspekt rozprawy uzasadnia wystąpienie z wnioskiem o jej wyróżnienie, zgodnie z trybem przewidzianym w Regulaminie przeprowadzania czynności w postępowaniach w sprawie nadania stopnia doktora oraz stopnia doktora habilitowanego prowadzonych na Uniwersytecie Rzeszowskim.



dr hab. inż. Krzysztof Siwek, prof. uczelni