

Białystok, 09.05.2025 r.

dr hab. Inż. Ireneusz Mrozek, prof. PB
Wydział Informatyki
Politechnika Białostocka
ul. Wiejska 45a
15-351 Białystok

Recenzja rozprawy doktorskiej
mgr inż. Marty Gackowskiej-Kątek
pt. Predyktywny model dezorganizacji roju dronów przy przejściu intruza

Niniejsza opinia została przygotowana w odpowiedzi na pismo 3/NCS.520.4.2025 dr. hab. inż. Tomasza Talaśki, prof. PBŚ, Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny informatyka techniczna i telekomunikacja Politechniki Bydgoskiej im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich, w związku z powołaniem mnie przez powyższą Radę na recenzenta w przewodzie doktorskim mgr inż. Marty Gackowskiej-Kątek.

Przedmiotem oceny jest rozprawa doktorska pt. „Predyktywny model dezorganizacji roju dronów przy przejściu intruza”. Liczy ona 154 strony i składa się ze strony tytułowej, strony z podziękowaniami, spisu treści, streszczenia w języku polskim i angielskim, dziewięciu rozdziałów (w tym podsumowanie), spisu literatury, spisu rysunków i spisu tabel.

1. Dane identyfikacyjne rozprawy

Imię i nazwisko doktoranta: **mgr inż. Marta Gackowska-Kątek**

Tytuł rozprawy doktorskiej: **Predyktywny model dezorganizacji roju dronów przy przejściu intruza**

Dziedzina: **Nauk inżynieryjno-technicznych**

Dyscyplina naukowa: **Informatyka techniczna i telekomunikacja**

Jednostka organizacyjna przeprowadzająca postępowanie: **Rada Naukowa Dyscypliny informatyka techniczna i telekomunikacja Politechniki Bydgoskiej im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich**

Promotor: **prof. dr hab. inż. Piotr Cofta**

Forma rozprawy doktorskiej: **monografia**

2. Ocena rozprawy doktorskiej w świetle art. 187 ust. 1 ustawy – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce

2.1 Oryginalność i wartość naukowa problemu badawczego

Rozprawa doktorska podejmuje aktualny i istotny problem badawczy z zakresu informatyki technicznej i telekomunikacji, dotyczący predykcyjnego modelowania stopnia dezorganizacji formacji (roju) dronów w sytuacji przejścia intruza. Zagadnienie to jest przedmiotem intensywnych badań na świecie, a jego rozwiązanie, szczególnie w obecnych czasach, ma zarówno znaczenie teoretyczne, jak i praktyczne. Problem badawczy został sformułowany jasno, a jego rozwiązanie wnosi oryginalny wkład do rozwoju dyscypliny. W pracy sformułowano cztery tezy, które zostały przedstawione w rozdziale 1.

1. Dezorganizacja stacjonarnej formacji roju dronów w obliczu zakłóceń jest przewidywalna.
2. Opracowanie i porównanie serii predykcyjnych modeli, opartych na analizie zmian entropii krzyżowej, pozwala na wyłonienie najbardziej skutecznego modelu zdolnego do precyzyjnego przewidywania stanów dezorganizacji w sytuacji wtargnięcia intruza.
3. Przewidywanie prawdopodobieństwa wystąpienia określonych stanów dezorganizacji pozwala na identyfikację potencjalnych zagrożeń związanych z utrzymaniem formacji.
4. Analiza wyjaśnialności predykcyjnych modeli umożliwia precyzyjną identyfikację parametrów mających bezpośredni wpływ na poziom dezorganizacji.

Autorka rozprawy w sposób twórczy i oryginalny podjęła próbę rozwiązania postawionych problemów, wykorzystując podejście oparte na analizie entropii krzyżowej oraz modelach predykcyjnych. Na uwagę zasługuje wykorzystanie nowoczesnych technik analizy danych i metod sztucznej inteligencji w połączeniu z głębokim zrozumieniem charakteru systemów rojowych.

Na szczególne podkreślenie zasługuje oryginalny dorobek naukowy doktorantki zamieszczony w rozprawie. Przede wszystkim autorka przeprowadziła własną identyfikację i formalizację problemu badawczego, szczegółowo przedstawioną w rozdziale 3. Zagadnienie dezorganizacji formacji roju dronów nie zostało dotąd opisane w literaturze w takim ujęciu, a zaproponowany sposób jego ujęcia teoretycznego stanowi nowość w kontekście systemów cyberfizycznych. Istotnym wkładem jest również dobór metodologii badawczej, metryk i parametrów, szczegółowo omówiony w rozdziałach 4 i 5. Zastosowanie entropii krzyżowej jako miary dezorganizacji to oryginalna propozycja, świadcząca o twórczym podejściu do konstrukcji aparatu badawczego. W dalszych częściach rozprawy (rozdziały 7 i 8) doktorantka opracowała i zweryfikowała szereg modeli predykcyjnych. Choć w wielu przypadkach same metody są znane w literaturze, ich adaptacja do specyficznego problemu formacji roju dronów stanowi istotny wkład poznawczy. Na uwagę zasługuje również opracowanie – w wyniku przeprowadzonych symulacji – unikalnych zbiorów danych (rozdział 6), które zostały następnie wykorzystane w prowadzonych badaniach.

W mojej ocenie rozprawa wnosi oryginalny i znaczący wkład do badań nad dezorganizacją struktur autonomicznych i spełnia ustawowe kryterium oryginalności rozwiązania problemu naukowego.

2.2 Poziom ogólnej wiedzy teoretycznej doktorantki w dyscyplinie naukowej

Doktorantka wykazała się szeroką i pogłębioną wiedzą teoretyczną w zakresie informatyki technicznej i telekomunikacji oraz umiejętnością korzystania z dorobku innych dziedzin, takich jak cybernetyka, teoria systemów, biologia czy nauki społeczne. Przegląd literatury obejmuje zarówno klasyczne opracowania, jak i najnowsze publikacje, a jego interdyscyplinarny charakter świadczy o bardzo dobrej orientacji w złożoności zagadnień organizacji i dezorganizacji w systemach rojowych.

Na uwagę zasługuje szczególnie analiza pojęć takich jak samoorganizacja, chaos, krawędź chaosu, metastabilność oraz technologie antykolizyjne stosowane w formacjach rojów dronów. Autorka poprawnie wprowadziła i powiązała pojęcia zaczerpnięte z różnych kontekstów, co przełożyło się na spójny fundament teoretyczny dla zaproponowanych badań. Spis bibliograficzny liczy 147 pozycji, co potwierdza szeroką kwerendę źródeł oraz zdolność krytycznej analizy literatury.

Poziom wiedzy teoretycznej oraz jej trafne zastosowanie w kontekście problemu badawczego jednoznacznie wskazują na bardzo dobre przygotowanie merytoryczne doktorantki.

2.3 Umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej

Rozprawa ma charakter teoretyczno-doświadczalny, co wymagało od doktorantki kompleksowego podejścia do projektowania i realizacji badań. Praca została oparta na autorskich symulacjach, które posłużyły jako źródło danych do budowy i oceny modeli predykcyjnych. Wysoka jakość danych symulacyjnych została zapewniona poprzez starannie opracowane scenariusze testowe szczegółowe omówienie w rozdziałach 6.3 i 6.4.

Autorka brała aktywny udział w opracowaniu środowiska symulacyjnego oraz algorytmu detekcji kolizji, co potwierdzają współautorstwo publikacji i zgłoszenie patentowe. To jednoznacznie potwierdza jej znaczący i oryginalny wkład w realizację badań.

W zakresie modelowania doktorantka wykazała się dużą biegłością w doborze i zastosowaniu zarówno prostych modeli referencyjnych, jak i nowoczesnych modeli uczenia maszynowego, z uwzględnieniem aspektów wyjaśnialności. Taki dobór i implementacja narzędzi świadczą o samodzielności, dojrzałości naukowej oraz umiejętności prowadzenia badań w zgodzie ze współczesnymi standardami nauki.

Wszystkie postawione tezy badawcze zostały jednoznacznie i przekonująco rozwiązane. Szczegółową analizę sposobu ich weryfikacji zawiera Rozdział 9.

Zaprezentowana metodologia — obejmująca dobór metod pozyskiwania danych, modelowania i weryfikacji — została dobrana adekwatnie do charakteru problemu badawczego i potwierdza wysoki poziom kompetencji doktorantki w planowaniu oraz prowadzeniu zaawansowanych badań naukowych.

Całość pracy została przeprowadzona rzetelnie i samodzielnie, spełniając w pełni ustawowe wymagania dotyczące umiejętności prowadzenia pracy naukowej.



3. Ocena struktury, języka i stylu rozprawy

Rozprawa doktorska liczy 154 strony i została podzielona na dziewięć rozdziałów, których układ jest logiczny, przejrzysty i typowy dla prac o charakterze naukowym. Struktura pracy jest dobrze dopasowana do specyfiki tematu, a poszczególne części tworzą spójną i przemyślaną całość.

W rozdziale 1 jasno sformułowano cele i założenia pracy. Rozdział 2 zawiera obszerną i wieloaspektową analizę literatury, uwzględniającą zarówno klasyczne podejścia, jak i najnowsze publikacje z dziedziny. Rozdział 3 poświęcono formalizacji problemu badawczego, zaś rozdział 4 wprowadza stosowane w dalszej części pracy metryki i pojęcia kluczowe dla analizy dezorganizacji. Rozdziały 5 i 6 stanowią wprowadzenie do przyjętej metodologii badawczej, w tym opisu środowiska symulacyjnego oraz przygotowania zbiorów danych. W rozdziałach 7 i 8 szczegółowo przedstawiono wyniki modelowania i analizę predykcyjnych modeli dezorganizacji. Całość spina rozdział 9, który pełni rolę syntetycznego podsumowania i odnosi się do stopnia realizacji postawionych celów.

Na szczególne uznanie zasługuje oprawa graficzna rozprawy – liczne wykresy, diagramy oraz tabele istotnie wspomagają analizę wyników i ułatwiają zrozumienie prezentowanych treści. Ilustracje są czytelne, dobrze opisane i adekwatnie rozmieszczone w tekście.

Język pracy jest poprawny, komunikatywny i precyzyjny. Styl wypowiedzi cechuje się naukową ścisłością, przy jednoczesnym zachowaniu klarowności przekazu.

4. Ocena osiągnięć publikacyjnych doktorantki

W analizowanej rozprawie doktorskiej doktorantka odwołuje się nie tylko do klasycznych i współczesnych źródeł naukowych, lecz także do wyników własnych badań opublikowanych w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym. W bibliografii uwzględniono trzy publikacje współautorstwa doktorantki, w tym dwie opublikowane w czasopiśmie Scientific Reports (wydawnictwo Nature Portfolio) oraz jedną w czasopiśmie Entropy (wydawnictwo MDPI). W dwóch z tych prac doktorantka występuje jako pierwszy autor, co świadczy o jej kluczowym wkładzie w opracowanie wyników i przygotowanie publikacji.

Czasopismo Scientific Reports należy do uznanej grupy wydawniczej Nature i charakteryzuje się rzetelnym procesem recenzowania, umiarkowanie wysokim współczynnikiem wpływu (Impact Factor ~4,6) oraz dobrą widocznością w bazach takich jak Web of Science i Scopus. Artykuły opublikowane w tym czasopiśmie świadczą o solidnym poziomie merytorycznym i są traktowane jako wartościowe publikacje naukowe w wielu dziedzinach.

Czasopismo Entropy również jest indeksowane w renomowanych bazach bibliograficznych, jednak jako część wydawnictwa MDPI, którego selektywność i praktyki publikacyjne są przedmiotem dyskusji w środowisku akademickim, nie zawsze jest postrzegane jako równie prestiżowe. Mimo to publikacja ta pozostaje zgodna tematycznie z rozprawą i potwierdza aktywność doktorantki w międzynarodowym dyskursie naukowym.

Uwzględnienie własnych publikacji naukowych w bibliografii należy ocenić pozytywnie. Wskazuje to na zdolność doktorantki do samodzielnego prowadzenia badań, analizy złożonych problemów interdyscyplinarnych oraz upowszechniania wyników w odpowiednich kanałach komunikacji naukowej.

5. Uwagi szczegółowe

Rozprawa nie zawiera istotnych braków ani uchybień, jednak warto wskazać kilka aspektów, które mogłyby zostać dopracowane lub uzupełnione w celu dalszego podniesienia wartości naukowej pracy:

1. Zakres zastosowania metodyki
Warto rozważyć, w jaki sposób zaproponowana metodologia mogłaby zostać rozszerzona poza przyjęte ograniczenia — zwłaszcza w kontekście symulacji w przestrzeni trójwymiarowej.
2. Zasoby bibliograficzne
Choć bibliografia jest obszerna i różnorodna, niektóre źródła (np. definicja ze Słownika Języka Polskiego PWN) mają ograniczoną wartość naukową i mogłyby zostać przeniesione do przypisów lub pominięte.
3. Przejrzystość rozdziału o miarach
Rozdział 4 mógłby zyskać na czytelności dzięki graficznemu lub tabelarycznemu zestawieniu porównawczemu omawianych miar entropii, z uwzględnieniem ich zastosowań i właściwości.
4. Precyzja językowa
W kilku miejscach zastosowano sformułowania o charakterze potocznym lub metaforycznym (np. „nerwowość drona”, „lekceważy wykonywanie misji”), które warto zastąpić terminologią techniczną, umożliwiającą jednoznaczną interpretację.
5. Aspekt patentowy
W rozprawie wspomniano o zgłoszeniu patentowym dotyczącym algorytmu, lecz nie podano jego szczegółów (numeru, zakresu ochrony, nowości względem istniejących rozwiązań). Uzupełnienie tych informacji zwiększyłoby transparentność i znaczenie aplikacyjne pracy.
6. Realizm symulacji
Rozprawa nie odnosi się w pełni do stopnia realizmu przyjętego modelu symulacyjnego. Warto byłoby odnieść się do istniejących modeli aerodynamicznych i omówić uzasadnienie zastosowanych uproszczeń oraz możliwość przeniesienia wyników na inne typy dronów.
7. Wybór czasopism
Choć dorobek publikacyjny doktorantki należy ocenić pozytywnie, warto zauważyć, że jedna z kluczowych prac ukazała się w czasopiśmie Entropy (MDPI), którego selektywność i poziom redakcyjny bywają kwestionowane. W przyszłości warto kierować wyniki do bardziej prestiżowych i selektywnych czasopism branżowych.

6. Wniosek końcowy

W mojej opinii rozprawa doktorska mgr inż. Marty Gackowskiej-Kątek pt. *„Predyktywny model dezorganizacji roju dronów przy przejściu intruza”* wnosi wkład w dziedzinę nauk inżynieryjno-technicznych, dyscyplinę informatyka techniczna i telekomunikacja oraz **spełnia** wymagania stawiane pracom doktorskim z obszaru nauk technicznych w myśl przepisów Ustawy z 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2018 poz. 1668 z późn. zm.).

W związku z powyższym wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Martę Gackowską-Kątek do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

