

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Krawczyka  
pt. „*Analiza i zastosowanie modeli zastępczych do poprawy  
efektywności algorytmu JADE*”  
wykonanej pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Jarosława Arabasa**

Niniejsza recenzja rozprawy doktorskiej powstała w związku z wyznaczeniem mnie na recenzenta w przewodzie doktorskim decyzją Rady Dyscypliny Naukowej Informatyka Techniczna i Telekomunikacja Politechniki Warszawskiej z dnia 21 października 2025 roku (uchwała nr 96/2025). Informację w tej sprawie wraz z tekstem rozprawy otrzymałem 14 listopada 2025 r.

### **Wprowadzenie**

Przedmiotem niniejszej analizy jest rozprawa doktorska przygotowana w formule cyklu publikacji naukowych. Taka forma rozprawy jest zgodna z obowiązującymi przepisami prawa, w szczególności z ustawą z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce (z późniejszymi zmianami), która dopuszcza możliwość realizacji rozprawy doktorskiej zarówno w postaci monografii, jak i spójnego tematycznie zbioru powiązanych publikacji naukowych. Warunkiem zastosowania tej formuły jest wykazanie jednolitej koncepcji badawczej, jasno określonego celu naukowego oraz spójności problemowej i metodologicznej poszczególnych prac składających się na cykl. Warunki te są jednoznacznie spełnione w przypadku przedstawionej do recenzji rozprawy.

Na cykl publikacji składają się następujące prace:

[P1] Konrad Krawczyk, Jarosław Arabas, *JADE with  $k$  Nearest Neighbors Surrogate Model*, wygłoszony na Workshop on Surrogate-Assisted Evolutionary Optimisation (SAEOpt' 23) i opublikowany w materiałach konferencji Conference on Genetic and Evolutionary Computation (GECCO '23 Companion), która posiada kategorię A w rankingu ICORE.

[P2] Konrad Krawczyk, Jarosław Arabas, *Comparison of Different Surrogate Models for the JADE Algorithm*, opublikowany w materiałach konferencji 15th International Joint Conference on Computational Intelligence (IJCCI '23),

[P3] Konrad Krawczyk, Jarosław Arabas, *Empirical Study of Surrogate Model Assisting JADE: Relation Between the Model Accuracy and the Optimization Efficiency*, wygłoszony Workshop on Surrogate-Assisted Evolutionary Optimisation (SAEOpt 24') i opublikowany w materiałach konferencji Conference on Genetic and Evolutionary Computation (GECCO '24 Companion),

[P4] Konrad Krawczyk, Jarosław Arabas, *What Is the Impact of Typical Surrogate Models on the Performance of the JADE Algorithm?*, opublikowany jako rozdział w woluminie 1196 serii książkowej Studies on Computational Intelligence wydawnictwa Springer.

[P5] Konrad Krawczyk, Jarosław Arabas, *From 'How Good?' to 'Is it Better?': Classification-Based Surrogate Models for JADE*, wygłoszony Workshop on Surrogate-Assisted Evolutionary Optimisation (SAEOpt 25') i opublikowany w materiałach konferencji Conference on Genetic and Evolutionary Computation (GECCO '25 Companion),

[P6] Konrad Krawczyk, Jarosław Arabas, *Single-Objective Surrogate Models for Continuous Metaheuristics: An Overview*, opublikowany w 2025 roku w czasopiśmie Applied Sciences, wydawanym przez wydawnictwo MDPI (IF=2,5),

opatrzone stosownym wstępem, przeglądem literatury przedmiotu oraz omówieniem uzyskanych wyników. W każdej z tych prac doktorant miał istotny wkład, zarówno w aspekt planowania jak i realizacji badań.

W kolejnych częściach niniejszej recenzji skupię się na analizie treści recenzowanej rozprawy, jej ocenie merytorycznej oraz uwagach szczegółowych. Przedstawione rozważania i wnioski cząstkowe będą służyć do sformułowania całościowej oceny pracy oraz wydania ostatecznego opinii dotyczącej spełnienia przez rozprawę wymogów stawianych rozprawom doktorskim.

## **Zawartość rozprawy**

Tekst rozprawy liczy 117 stron, a jego najistotniejszą część stanowi omówienie najważniejszych wyników zgrupowanych wokół czterech zagadnień.

Pierwszym z nich jest opracowanie i przetestowanie integracji algorytmu JADE z modelami zastępczymi. W tym celu wprowadzono do standardowej pętli algorytmu procedurę rankingową, sterującą wykorzystaniem i douczaniem modelu zastępczego. Dzięki wykorzystaniu tej procedury ewaluacja funkcji celu są odbywa się jedynie dla najbardziej obiecujących kandydatów. Opis algorytmu, wraz z eksperymentalną walidacją przedstawiono w pracy [P1].

Drugim istotnym tematem badawczym było porównanie efektywności różnych typów regresyjnych modeli zastępczych które można użyć w ramach wprowadzonej metody. W

celu ustalenia rekomendowanego sposobu konstrukcji modeli autor przeprowadził eksperymenty na funkcjach testowych zgrupowanych w benchmarku CEC 2013, rozpatrując dwa różne wymiary przestrzeni rozwiązań dopuszczalnych. Te aspekty badań własnych autor przedstawił w pracach [P2] i [P4].

Trzecim zagadnieniem podejmowanym w recenzowanym cyklu było pogłębienie analizy modeli zastępczych wspierających działanie algorytmu JADE o weryfikację nie tylko bezwzględnej dokładności predykcji, ale też stopnia zachowania rankingu rozwiązań w populacji. W toku badań przedstawionych w pracy [P3] autor empirycznie potwierdził, że dla efektywności algorytmu JADE zintegrowanego z procedurą rankingową, zdolność modelu do zachowania prawidłowego rankingu rozwiązań jest ważniejsza niż jego bezwzględna dokładność predykcyjna.

To spostrzeżenie, poparte rzetelną analizą statystyczną, prowadzi w sposób naturalny do kolejnego, czwartego zagadnienia badawczego - zmiany paradygmatu z regresji na klasyfikację. Zaproponowane zastępcze modele klasyfikacyjne, a w szczególności autorski model CACS, stanowią nie tylko usprawnienie konkretnego algorytmu, lecz również ważny wkład koncepcyjny do projektowania algorytmów ewolucyjnych wspieranych przez modele zastępcze (ang. Surrogate Assisted EA).

Uzupełnieniem wymienionych wyżej rozważań jest wnikliwy przegląd metod konstrukcji modeli zastępczych który autor zawarł w pracy [P6]. Dotyczy on w ogólności metod stosowanych w heurystycznej optymalizacji ciągłej i wyróżnia sześć kategorii metod, wskazując ich kluczowe cechy, zastosowania i ograniczenia.

### **Ocena merytoryczna**

Choć autor nie formułuje wprost hipotez badawczych, to przyjęta konstrukcja pracy - oparta na jasno zdefiniowanych problemach badawczych i ich systematycznej weryfikacji eksperymentalnej - sprawia, że brak ten nie wpływa negatywnie na klarowność narracji ani na ocenę poprawności metodologicznej rozprawy. Największym osiągnięciem rozprawy jest opracowanie i empiryczne ugruntowanie spójnego, konsekwentnie realizowanego podejścia badawczego do integracji modeli zastępczych z algorytmem ewolucyjnym JADE, prowadzącego do istotnej poprawy jego efektywności w zadaniach kosztownej optymalizacji ciągłej. Wkład pracy nie polega na pojedynczym rozwiązaniu algorytmicznym, lecz na pełnym cyklu badawczym, w którym kolejne publikacje stanowią logiczne, wzajemnie uzasadnione etapy coraz głębszego rozumienia relacji pomiędzy algorytmem ewolucyjnym a wspomagającym go modelem zastępczym. Rozprawa charakteryzuje się wyjątkową spójnością problematyki badawczej: wszystkie prace składające się na cykl publikacyjny koncentrują się na jednym, jasno zdefiniowanym celu - przyspieszeniu algorytmu JADE poprzez redukcję liczby kosztownych ewaluacji funkcji celu, bez degradacji jakości otrzymywanych rozwiązań.

Autor nie zmienia ad hoc ani algorytmu bazowego, ani klasy rozważanych problemów, co pozwala na rzetelne porównania oraz wiarygodne wnioskowanie. Każdy kolejny etap badań wynika bezpośrednio z obserwacji poczynionych w etapie poprzednim, co świadczy o dojrzałym podejściu do prowadzenia badań naukowych.

Na szczególne podkreślenie zasługuje wysoki poziom poprawności metodologicznej badań eksperymentalnych. Autor stosuje uznane benchmarki (CEC), analizuje wpływ wymiarowości problemu, unika nadmiernego strojenia hiperparametrów i konsekwentnie korzysta z analiz statystycznych zgodnych z dobrymi praktykami w obliczeniach ewolucyjnych. Dzięki temu uzyskane wyniki mają charakter generalizowalny i porównywalny z innymi pracami w dyscyplinie.

Całość dopełnia publikacja przeglądowa, która nie jest jedynie dodatkiem, lecz pełni rolę teoretycznego “zwornika” całej rozprawy. Zaproponowane w niej ramy koncepcyjne porządkują decyzje projektowe w algorytmach SAEA i jednocześnie wyjaśniają, dlaczego podejście obrane w części eksperymentalnej rozprawy jest spójne i uzasadnione.

Podsumowując, największym wkładem rozprawy jest nie tylko poprawa efektywności algorytmu JADE, lecz przede wszystkim metodyczne rozpracowanie problemu integracji modeli zastępczych z algorytmami ewolucyjnymi, prowadzące od adaptacji istniejącej idei, przez jej krytyczną weryfikację, aż po zaproponowanie nowego, lepiej dopasowanego paradygmatu.

W warstwie technicznej publikacji i tekst przygotowane są bardzo starannie. Opis algorytmów jest precyzyjny i jednoznaczny, a prezentacja wyników eksperymentalnych – czytelna i spójna. Całość sprawia wrażenie pracy dopracowanej edytorsko i metodologicznie, co dodatkowo wzmacnia wiarygodność przedstawionych wyników i wniosków.

### **Uwagi szczegółowe**

Po analizie przedstawionych prac oraz ich podsumowania w tekście rozprawy pozwalam sobie sformułować następujące uwagi szczegółowe:

1. Autor w pracach oparł eksperymentalną weryfikację o benchmark CEC2013; jest to benchmark, który doczekał się aktualizacji i choć trzon używanych funkcji jest w nich niezmienny to jednak można było sięgnąć po nowsze funkcje testowe (późniejsze benchmarki zawierały elementy takie jak rotacje, przesunięcia, funkcje złożone (composition functions), niestacjonarność itd.). Algorytmy były również testowane w ramach ocenianego cyklu publikacji na problemach o średniej wymiarowości, tj.  $D=10$  i  $D=30$ . Interesujące byłoby zapoznanie się z wynikami np. dla  $D=50$ .

2. Autor w pracach wspomina, że jednym z założeń/zalet stosowania modeli zastępczych jest skrócenie czasu optymalizacji. Tym bardziej zaskakujący jest brak rozważań na temat czasu obliczeń stowarzyszonych z użyciem kombinacji JADE + model zastępczy.

3. W pracy szczegółowo opisano procedurę rankingową zarządzającą wykorzystaniem modelu zastępczego (m.in. parametry takie jak `n_init`, `n_b`, próg stabilności rankingu). Są to jednak parametry projektowe o istotnym wpływie na zachowanie algorytmu, a ich wartości są przyjmowane jako stałe lub ustalone empirycznie. Brakuje systematycznej analizy wrażliwości metody na ich zmianę lub przynajmniej dyskusji, na ile zaproponowane ustawienia są specyficzne dla benchmarku CEC2013 i algorytmu JADE. Taka analiza mogłaby dodatkowo wzmocnić praktyczny charakter zaproponowanego rozwiązania. Podobnej analizy nie doczekały się parametry metod budowy modeli zastępczych, gdzie użyto wartości uznanych za domyślne.

4. Chociaż eksperymenty są przeprowadzone w sposób metodycznie poprawny, praca nie porusza kwestii dostępności implementacji ani replikowalności badań (np. publiczne repozytorium, framework eksperymentalny). W aktualnych standardach badań w obliczeniach ewolucyjnych jest to coraz częściej oczekiwany element, zwłaszcza przy pracach o charakterze algorytmicznym.

Warto przy tym nadmienić, że moje uwagi mają charakter dyskusji naukowej, nie umniejszają wartości dysertacji i nie podważają jakości uzyskanych wyników.

## Podsumowanie

Stwierdzam jednoznacznie, że przedłożona rozprawa doktorska pt. „Analiza i zastosowanie modeli zastępczych do poprawy efektywności algorytmu JADE” stanowi samodzielne i oryginalne rozwiązanie problemu naukowego oraz spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim określone w obowiązujących przepisach.

Autor wykazał się dojrzałością naukową, umiejętnością prowadzenia samodzielnych badań oraz właściwym warsztatem metodologicznym. Uzyskane wyniki posiadają istotną wartość poznawczą i wzbogacają dorobek naukowy dyscypliny informatyka techniczna i telekomunikacja w obszarze obliczeń inspirowanych naturą.

W związku z powyższym wnioskuję o **dopuszczenie rozprawy doktorskiej** do publicznej obrony.