

Warszawa, 27 lutego 2026

dr hab. inż. Krzysztof Trojanowski, prof. uczelni  
Wydział Matematyczno-Przyrodniczy. Szkoła Nauk Ścisłych  
Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie

Recenzja pracy doktorskiej mgr inż. Konrada Krawczyka pt.  
"Analiza i zastosowanie modeli zastępczych do poprawy efektywności algorytmu JADE"

Przedstawiona do recenzji praca dotyczy metod optymalizacji heurystycznej zadań jednokryterialnych. Autor zajmuje się w pracy rozwiązaniami dla szczególnego rodzaju zadania: oszczędzania wywołań funkcji celu w czasie procesu optymalizacji ze względu na jej wysoki koszt finansowy, czasowy lub zasobów obliczeniowych. Cel minimalizacji liczby wywołań może być osiągniany w oczywisty sposób przez podnoszenie efektywności kroków algorytmów heurystycznych, w tym operatorów perturbacji, metod selekcji, strategii zarządzania populacją i innych działań, co jest ogólnym celem badań społeczności naukowej zajmującej się tymi algorytmami. Istnieje jednak też grupa innych rozwiązań oszczędzających wywołania funkcji celu, która wprowadza do algorytmu modele zastępcze przybliżające wartości rozwiązań w populacji. Wybór i zastosowanie modeli zastępczych w algorytmach SAEA (Surrogate-Assisted Evolutionary Algorithms) stanowi główny temat pracy. Jest to tematyka bardzo aktualna i obecnie intensywnie rozwijana, czego przykładem może być Workshop on Surrogate-Assisted Evolutionary Optimisation odbywający się w tym roku w ramach dobrze rozpoznawalnej w środowisku, prestiżowej konferencji Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO 2026). Autor wybrał do swoich badań algorytm ewolucji różnicowej JADE (Adaptive Differential Evolution with Optional External Archive), zaproponowany w 2009 roku przez Zhang i Sandersona. Zauważył, że w początkowym kroku pętli głównej algorytmu zostaje wybrany podzbiór najlepszych rozwiązań z bieżącej populacji, który potem znajduje zastosowanie w kolejnych krokach. Do tej czynności konieczne jest sporządzenie rankingu rozwiązań w populacji. Czynność ta nie wymaga jednak dokładnej znajomości wartości funkcji celu, a jedynie odpowiedzi na wielokrotnie zadane pytania, które z dwóch wskazanych rozwiązań powinno stać wyżej w rankingu. Jest to szczególny krok w pętli głównej JADE, ponieważ dla zaoszczędzenia wywołań kosztownej funkcji celu mogą w nim zostać wykorzystane wartości przybliżone rozwiązań. Tego właśnie dotyczy główny cel pracy, którym jest opracowanie, implementacja i kompleksowa weryfikacja metody integracji procedury Kerna z algorytmem JADE dla wybranych różnych typów modeli zastępczych. Hipotezą badawczą prezentowaną jako cel pracy jest wykazanie, że JADE rozszerzone o model zastępczy do ewaluacji funkcji celu pozwala uzyskać „szybszą optymalizację”, tj. uzyskać lepsze jakościowo rozwiązania dla ustalonego budżetu funkcji celu, bądź wcześniej uzyskać rozwiązania porównywalne jakościowo z rozwiązaniami zwracanymi przez JADE, który nie został rozszerzony o model zastępczy funkcji celu.

Rozprawa doktorska mgr inż. Konrada Krawczyka liczy 117 stron i jest napisana w języku polskim (autoreferat) i angielskim (artykuły). Składa się dwóch części. Pierwsza to autoreferat

zawierający cztery rozdziały. Pierwszy prezentuje kontekst naukowy i cel pracy, drugi – założenia teoretyczne badań i przegląd literatury, trzeci – omawia cykl badawczy, a całość zamyka ostatni czwarty, zawierający podsumowanie. Bibliografia do autoreferatu zawiera 36 pozycji. W drugiej części autor zamieścił pełne teksty sześciu artykułów, na których oparta jest praca. Struktura pracy jest regularna, właściwa dla prac dyplomowych mających formę spójnego tematycznie zbioru opublikowanych artykułów naukowych<sup>1</sup>.

W pierwszym rozdziale autoreferatu autor prezentuje motywację swoich badań, cel pracy (równoważny hipotezie badawczej) oraz listę zadań badawczych prowadzących do wykazania prawdziwości postawionej hipotezy. Rozdział kończy lista publikacji, na których opiera się rozprawa. Drugi rozdział zawiera przegląd literatury przedmiotu dotyczącej poszczególnych aspektów prowadzonych badań. Wskazane i omówione zostały trzy główne podejścia, ich zadania oraz stosowane modele. Wskazane również zostały strategie modelowania: globalna, lokalna, w postaci komitetów modeli, a także hierarchiczna struktura organizowania modeli w tych algorytmach, gdzie stosowany jest więcej niż jeden. Wspomniane zostały strategie wyboru rozwiązań, dla których zostanie wywołana kosztowna funkcja, oraz strategie zapominania rozwiązań z przepełnionego archiwum. Objasnione zostały tryby interpolacji oraz ekstrapolacji w działaniu modelu oraz wymienione zostały tendencje przewidywania obserwowane w modelach różnego typu. Na koniec omówiony został klasyczny szkielet procedury projektowania i implementacji SAEA. Trzeci rozdział omawia cykl badawczy oraz uzyskane wyniki. Rozpoczyna się od omówienia ogólnej metody integracji JADE z modelem zastępczym, w tym prezentacji pseudokodu JADE rozszerzonego o procedurę rankingową oraz dokładnego pseudokodu tej procedury. Aby wykazać poprawność i skuteczność tego rozwiązania, został wybrany prosty model zastępczy oparty na metodzie  $k$  najbliższych sąsiadów oraz przeprowadzone eksperymenty na zadaniach optymalizacyjnych z benchmarku CEC2013 (Congress on Evolutionary Computation 2013: Special Session and Competition on Niching Methods for Multimodal Function Optimization). Następnym etapem cyklu było porównanie efektywności różnych typów regresyjnych modeli zastępczych, określenie wpływu rozmiaru archiwum na wyniki oraz ocena skalowalności proponowanego rozwiązania. Kolejny etap dotyczył określenia znaczenia dokładności predykcji modelu zastępczego dla efektywności pracy rozszerzonego JADE, co jest istotne przy wyborze typu modelu zastępczego. Ostatni etap cyklu dotyczył zamiany modeli regresyjnych na modele klasyfikacyjne i wykorzystania ich do porównywania jakości rozwiązań zwracanych przez rozszerzony JADE. W Podsumowaniu autor zebrał najważniejsze obserwacje i konkludował wyniki swoich badań. Rozdział ten kończy prezentacja potencjalnych kierunków dalszych badań.

W drugiej części, zawierającej zbiór opublikowanych artykułów naukowych, autor zamieścił sześć publikacji. Wszystkie są napisane we współautorstwie z promotorem, przy czym autor zawsze jest wymieniany jako pierwszy autor. Materiał zawarty w publikacjach jest zgodny z etapami cyklu badawczego przedstawionymi w autoreferacie w rozdziale 3. We wszystkich publikacjach indywidualny wkład autora dotyczy przeglądu literatury, implementacji algorytmów, wykonania badań eksperymentalnych i analizy otrzymanych danych. Wspólna praca autorów obejmowała natomiast stworzenie planu badawczego oraz interpretację uzyskanych wyników i wyciągnięcie

---

<sup>1</sup> Ustawa z 14 marca 2003 z pozn. zm., Art.13, ust.2

wniosków. Mimo opisowego określenia udziału autora nie zawierającego procentowych wartości można stwierdzić, że udział autora jest znaczny, z pewnością większy niż 50%.

Artykuły P1, P3 i P5 (symbole wg notacji z podrozdziału 1.3 *Publikacje w cyklu badawczym*) zostały opublikowane na wspomnianej wcześniej konferencji GECCO w edycjach 2023, 2024 i 2025. Publikacja P6 została opublikowana w czasopiśmie *Applied Sciences*, którego 5-letni Impact Factor wynosi 2.7. Pozostałe dwa, P2 i P4 również zostały opublikowane w materiałach międzynarodowych konferencji. Powyższe informacje dotyczące miejsc publikacji świadczą o tym, że prezentowane badania zostały zweryfikowane przez środowisko naukowe z dziedziny optymalizacji ewolucyjnej i to przez wymagające grupy recenzentów.

---

**Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł (w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle) świadcząca o dostatecznej wiedzy autora? Czy wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny, przekonujący?**

W autoreferacie autor powołuje się na 36 pozycji bibliograficznych. W dołączonych artykułach listy referencji mają: 8 pozycji w P1, 19 – P2, 25 – P3, 21 – P4, 13 – P5, a ostatni artykuł, P6 ma 139 referencji. Ten ostatni artykuł zgodnie z tytułem stanowi przegląd modeli zastępczych w zastosowaniach do heurystycznej optymalizacji numerycznej zadań jednokryterialnych. We wstępie tego artykułu znajdujemy odniesienie do wcześniejszych przeglądów tego obszaru wiedzy, a następnie omówienie poszczególnych klas modeli (regresji, klasyfikacyjnych, rankingowych) pod względem oczekiwań stawianych przed modelem, omówienie poszczególnych klas modeli, a na koniec – strategii zarządzania populacją rozwiązań ocenionych funkcją celu, czyli uczących dla modeli. Lista omówionych modeli jest bogata i świadczy o dobrym zaznajomieniu autora z aktualnym stanem dziedziny. Wnioski, które wyciąga z przeglądu źródeł są właściwe.

---

**Czy autor rozwiązał postawione zagadnienia, czy użył właściwej do tego metody i czy przyjęte założenia są uzasadnione?**

Autor postawił sobie za cel opracowanie, implementację i kompleksową weryfikację metody integracji procedury Kerna z algorytmem JADE. Procedura zawiera ustaloną sekwencję kroków której rezultatem jest ranking rozwiązań podanych na wejściu (Algorytm 2. w publikacji P2). Elementem odpowiedzialnym za jakość wyniku pracy procedury jest typ modelu zastępczego wykorzystywanego przy ewaluacji nowych rozwiązań. W tym kontekście słowo *integracja* reprezentuje zarówno sposób włączenia procedury Kerna w JADE poprzez dodanie nowych kroków i zmodyfikowanie niektórych istniejących, jak też dobór właściwego typu modelu zastępczego. Autor osiągnął swój cel w kolejnych krokach: w artykule P1 zintegrował JADE z procedurą Kerna (Algorytm 1.) dla modelu regresyjnego oraz zademonstrował poprawne i efektywne działanie tej zmodyfikowanej postaci algorytmu w artykułach P2, P3 i P4. W P5 pokazuje efektywną integrację z modelami zastępczymi klasyfikacyjnymi, z których jeden okazał się najbardziej skuteczny w porównaniu z wszystkimi pozostałymi, tj. klasyfikacyjnymi i regresyjnymi. Wszystkie obserwacje i oceny autora powstały na podstawie badań eksperymentalnych. Taka metoda jest uzasadniona dla algorytmów z rodziny ewolucji różnicowej, a autor dochował staranności przy stosowaniu zasad eksperymentu naukowego.

---

**Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek autora, jaka jest pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy czy poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową?**

Samodzielny i oryginalny dorobek autora to integracja JADE z procedurą Kerna dla modelu regresyjnego oraz integracja z modelami klasyfikacyjnymi. Skuteczność tych rozszerzonych wersji JADE, które – ze względu na zakres zmian w liście kroków JADE oraz wykorzystanie zupełnie odrębnych mechanizmów – można nazwać nowymi algorytmami wywodzącymi się z JADE, została zweryfikowana eksperymentalnie na klasycznym, dobrze znanym w środowisku badawczym benchmarku CEC2013. Autor wskazuje też przegląd literatury przedmiotu jako samodzielny i oryginalny dorobek, z czym można się zgodzić, ze względu na rozległość tego przeglądu oraz fakt publikacji artykułu zawierającego wyłącznie ten przegląd w *Applied Sciences*. Artykuł ten, mimo że opublikowany zaledwie sześć miesięcy temu, już ma swoje pierwsze cytowanie w publikacji autorów z Aston University, Birmingham (2026).

---

**Czy autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników (zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy)?**

Struktura przedłożonej rozprawy jest poprawna. Problem naukowy został dobrze sformułowany, a prawdziwość tezy badawczej potwierdzona w badaniach eksperymentalnych, których metodologia i zakres nie budzą wątpliwości. Artykuły zawierają pewne oczywiste powtórzenia, choć nigdy słowo w słowo, np. opis JADE z modelem zastępczym wraz pseudokodami, ale nie mogło być inaczej, jeżeli artykuły były publikowane oddzielnie w różnym czasie i dla różnego audytorium. W obrębie artykułów prezentacja wyników jest zwięzła i jasna, a prezentowane wyniki eksperymentów w poszczególnych artykułach nie powtarzają się.

---

**Jakie są słabe strony rozprawy i jej główne wady?**

Praca jest napisana poprawnie, obecne są wszystkie obowiązkowe składowe rozprawy z dziedziny nauk technicznych. Eksperymenty zostały przeprowadzone zgodnie metodologią naukową właściwą dla algorytmów optymalizacji heurystycznej. Ewentualnie można tylko byłoby się pokusić o większą liczę porównań. Obecnie zaproponowane przez autora algorytmy zostały eksperymentalnie porównane ze sobą na benchmarku CEC2013, aby ocenić skuteczność stosowania różnych modeli zastępczych w JADE oraz z oryginalną wersją JADE. Na przykład z wykorzystaniem tego samego benchmarku można byłoby zweryfikować inne klasyczne algorytmy aby zobaczyć skalę poprawy. Takie algorytmy są gotowe w bibliotekach kodu, np. PYMOO<sup>2</sup>. Ewentualnie porównać z wynikami tych algorytmów z innych publikacji. Celem takich porównań było pokazanie skali poprawy wyników w kontekście skuteczności wielu innych algorytmów, tj. odpowiedzi na pytanie, czy ta poprawa wyników jest znacząca i zmienia porządek na liście rankingowej algorytmów, czy choć relatywnie istotna, to nie zmienia tego porządku.

Druga uwaga dotyczy strojenia parametrów modeli zastępczych. Autor dla modelu regresji kNN dokonał pewnego wstępnego strojenia wartości  $k$  przed jej finalnym ustaleniem, jednak dla pozostałych modeli regresyjnych, SVR, RFR, and XGBoost został przy wartościach domyślnych podanych w bibliotekach kodu (P2 i P4, sekcja 4.1.2, ostatni akapit). Co prawda nie ma tych parametrów dużo i nie ma szczególnie dużego pola manewru z ich wartościami, ale mimo to

---

<sup>2</sup> <https://pymoo.org/>

można byłoby najpierw poszukać ich najkorzystniejszych ustawień. Dla modeli klasyfikacyjnych jest inaczej, wstępne strojenie zostało wykonane (P5, sekcja 4). Raczej nie spodziewałbym się szczególnego zwrotu, gdyby wykonano takie wstępne strojenie parametrów również dla SVR, RFR i XGBoost. Jednak ponieważ autor pisze "Wynik ten [tj. uzyskany przez CACS] był wyraźnie lepszy od JADE wspomaganego modelem regresyjnym z poprzednich badań" (Autoreferat, str. 30), a poniżej tego zdania można znaleźć jeszcze kilka innych obserwacji dotyczących przewagi podejść klasyfikacyjnych, to oczekiwanie podobnej staranności w dostrojeniu parametrów w każdym z porównywanych modeli staje się uzasadnione.

Ostatnia uwaga dotyczy braku rozdziału z przykładowym zastosowaniem proponowanych rozwiązań do praktycznego problemu technicznego. Jest to bardzo dyskusyjna uwaga, ponieważ badania autora miały charakter w znacznej mierze teoretyczny. Celem pracy było zaproponowanie i zweryfikowanie skuteczności pewnego rozszerzenia JADE, które – mówiąc językiem programistów – ma raczej charakter niskopoziomowy. Aby zweryfikować algorytm w praktycznym zastosowaniu należałoby go jeszcze dostosować do typu problemu (reprezentacja rozwiązania uwzględniająca cechy dziedziny i krajobrazu funkcji oceny, specyficzne operatory perturbacji, itd.), co prawdopodobnie nic nie wniosłoby nowego w kontekście postawionego celu pracy. Taki rozdział z praktycznym przykładem zastosowania podniósłby ogólne walory pracy, ale z drugiej strony jego brak nie zmienia faktu, że praca jest kompletna i zawiera wszystkie niezbędne elementy.

---

#### **Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?**

Praca wpisuje się w dziedzinę nauk technicznych: obejmuje swoim zakresem badania nad podnoszeniem efektywności heurystycznych metod optymalizacji. Proponowane nowe rozszerzenia JADE zostały pozytywnie zweryfikowane podczas badań eksperymentalnych na trudnym zbiorze zadań benchmarkowych oraz przez środowisko badawcze na wymagających konferencjach i w czasopiśmie. Ze względu na obszar zastosowań nowej metody i na zakres przeprowadzonych eksperymentów, uzyskane wyniki należy uznać za użyteczne dla nauk technicznych.

---

#### **Konkluzja końcowa**

Podsumowując stwierdzam, że tematyka rozprawy jest aktualna i ważna, rozprawa prezentuje oryginalne rozwiązanie zadania poprawienia efektywności JADE dla zadań z kosztowną funkcją celu przez włączenie w jego działanie modelu zastępczego do aproksymacji wartości funkcji celu. Uważam, że rozprawa doktorska mgr inż. Konrada Krawczyka spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązującą ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. (Dz. U. Nr. 65 poz. 595 z późniejszymi zmianami) z późniejszymi zmianami w brzmieniu z dnia 15 września 2017 r. (Dz. U. 2017 r. poz. 1789.), zgodnie z Art. 175. 1. Ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę — Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2018 r. poz. 1669). Wnioskuje o dopuszczenie autora do dalszych etapów postępowania o nadanie tytułu doktora.

dr hab. inż. Krzysztof Trojanowski