

Prof. dr hab. inż. Eulalia Szmidt
Instytut Badań Systemowych
Polskiej Akademii Nauk
ul. Newelska 6
01-447 Warszawa

Warszawa, 9.09.2026r.

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. inż. Jana Edwarda Baumgarta
pt. „Zastosowanie starożytnych strategii bitew
w nowych algorytmach rojowych
do rozwiązywania problemów optymalizacyjnych”

Niniejsza recenzja została przygotowana na prośbę Rady Naukowej Dyscypliny informatyka techniczna i telekomunikacja Politechniki Bydgoskiej im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich, wyrażoną w piśmie z dn. 30 czerwca 2026r.

Recenzowana rozprawa doktorska podejmuje interesujące i aktualne zagadnienie badawcze, istotne zarówno z perspektywy teoretycznej, jak i praktycznej. Przedmiotem badań jest opracowanie modeli obliczeniowych, inspirowanych starożytnymi strategiami bitewnymi, oraz ich wykorzystanie w ramach nowych algorytmów rojowych do szybkiego rozwiązywania złożonych problemów optymalizacyjnych. Podjęta tematyka ma istotne znaczenie dla rozwoju metod obliczeniowych inspirowanych naturą i zachowaniami zbiorowymi. Praca bez wątpienia wpisuje się w obszar dyscypliny informatyka, a jej problematyka łączy walory poznawcze z potencjalnymi zastosowaniami praktycznymi.

Praca została napisana w języku polskim i liczy 292 strony. Jej zasadniczą część składa się ze wstępu, pięciu rozdziałów oraz zakończenia. Przed częścią zasadniczą zamieszczono wykaz stosowanych skrótów i symboli. Pracę uzupełniają: spis literatury obejmujący 128 pozycji, w tym kilka publikacji Doktoranta, abstrakt, wykaz wszystkich publikacji Doktoranta obejmujący 13 pozycji oraz załączniki. W załącznikach zamieszczono pseudokody algorytmów, wizualizacje armii i taktyk zaproponowanego metaheurystycznego algorytmu ABO (*Ancient Battlefield*

Optimizer), parametry i konfiguracje eksperymentów oraz kompletny indeks trudności funkcji referencyjnych.

We Wstępie (Rozdział 1) przedstawiono podstawy teoretyczne optymalizacji oraz algorytmów rojowych, które stanowią główny temat rozprawy. Doktorant dobrze uzasadnia wybór tematu badawczego. Podkreśla jego złożoność oraz znaczenie. Doktorant jest świadomy ograniczeń algorytmów rojowych. W tym kontekście wskazuje potencjalne korzyści wynikające z wykorzystania strategii bitewnych. Następnie formułuje tezę rozprawy oraz dwa cele badawcze. Dla każdego z nich określa odpowiednią hipotezę, którą następnie weryfikuje w pracy. We Wstępie przedstawiono również strukturę rozprawy i krótko omówiono zawartość kolejnych rozdziałów. Cel, zakres oraz układ pracy zostały przedstawione w sposób przejrzysty i logiczny.

Rozdział 2. rozpoczyna się od przeglądu literatury dotyczącej znanych metod optymalizacyjnych. Przedstawiony przegląd literatury stanowi wprowadzenie do dalszych rozważań. Omówione są między innymi algorytmy rojowe i metody inspirowane naturą. Istotną część rozdziału stanowi przegląd dotychczasowych prób wykorzystania strategii wojskowych w projektowaniu algorytmów optymalizacyjnych. Doktorant przedstawia chronologicznie algorytmy inspirowane działaniami na polu walki. Następnie porównuje ich cechy architektoniczne z zaproponowanym przez siebie metaheurystycznym algorytmem ABO. Na podkreślenie zasługuje fakt, że Doktorant przedstawia krytyczne uwagi dotyczące algorytmów inspirowanych naturą. Wyjaśnia, że uwagi te nie odnoszą się bezpośrednio do zaproponowanego algorytmu ABO. Doktorant przekonująco przedstawia motywację podjęcia tematu rozprawy, wskazując zarówno znaczenie naukowe zagadnienia, jak i istniejącą lukę badawczą uzasadniającą opracowanie algorytmu ABO. Rozdział został napisany w sposób jasny i przejrzysty.

W Rozdziale 3. przedstawione zostały historyczne podstawy zaproponowanego algorytmu ABO. Doktorant omawia i analizuje poszczególne elementy starożytnej sztuki wojennej. Przedstawia typy jednostek stosowanych w starożytności, rodzaje formacji, sześć wybranych taktyk oraz mechanizmy dowodzenia i koordynacji. Istotnym elementem rozdziału jest pokazanie, w jaki sposób wymienione elementy

zostały odzwierciedlone i zaimplementowane w algorytmie ABO. Doktorant wyjaśnia również, w jaki sposób poszczególne mechanizmy są ze sobą powiązane. W efekcie tworzą spójną strategię działania algorytmu. Rozdział został napisany w sposób jasny i przejrzysty. **Zamieszczone rysunki ułatwiają zrozumienie przedstawionych zagadnień.** Rozdział stanowi bardzo dobre wprowadzenie do kolejnego rozdziału, w którym opisane rozwiązania zostają przedstawione w sposób formalny i przekształcone w konkretne mechanizmy algorytmiczne.

Rozdział 4. przedstawia architekturę zaproponowanego algorytmu rojowego *Ancient Battlefield Optimizer* (ABO). Pokazuje także sposób przełożenia inspiracji zaczerpniętych ze starożytnej sztuki wojennej na mechanizmy optymalizacyjne. Każda jednostka bojowa odpowiada agentowi przeszukującemu przestrzeń rozwiązań zgodnie z zaproponowanymi równaniami ruchu. Taktyki bitewne zostały przekształcone w operatory modyfikujące pozycje agentów. Centralną rolę w algorytmie pełni *Commander AI*. Jest to nadrzędny moduł sterujący wykorzystujący uczenie ze wzmocnieniem, oparte na metodzie Q-learningu dynamicznie dobierający taktyki dla całej populacji. W ten sposób wpływa na sposób przeszukiwania przestrzeni rozwiązań. Rozdział rozpoczyna się od przedstawienia struktury jednostek. Następnie opisane są operatory optymalizacyjne inspirowane manewrami bitewnymi. W dalszej części przedstawiono sposób integracji poszczególnych mechanizmów prowadzący do powstania inteligencji zbiorowej. Opis uzupełniono diagramem architektury Commandera ABO. Rozdział zawiera pełny pseudokod algorytmu Commandera ABO. Tabele i rysunki uzupełniające tekst są czytelne i ułatwiają zrozumienie przedstawionych mechanizmów.

Rozdział 5. przedstawia praktyczną realizację zaproponowanego algorytmu ABO. Doktorant pokazuje przejście od opracowanych modeli matematycznych i diagramów projektowych do ich implementacji programistycznej. Omówione zostały zastosowane technologie, architektura oprogramowania oraz sposób integracji poszczególnych modułów. Przedstawiony jest także schemat blokowy algorytmu Commandera ABO, ilustrujący przepływ sterowania między głównymi komponentami oraz pętlę adaptacyjnego wyboru taktyki. Przedstawione zostało również środowisko eksperymentalne i metodologia przeprowadzonych badań. Uwzględniono w niej

odpowiednio dobrane metody testowania i analizy statystycznej. W sposób przejrzysty omówiono i zilustrowano funkcje użyte w ewaluacji algorytmu ABO.

W **Rozdziale 6.** zaprezentowano rezultaty badań eksperymentalnych. Opisano sposób przeprowadzenia eksperymentów oraz ich konfigurację. Przedstawiono również ocenę trudności funkcji testowych, wyniki porównań i analizę statystyczną. Zbadano także zbieżność oraz czas działania algorytmów. Osobno oceniono Commandera ABO na tle pozostałych wariantów algorytmu ABO. Commandera ABO zestawiono z 42 algorytmami metaheurystycznymi należącymi do różnych rodzin metod. Łącznie porównano 46 algorytmów. Oprócz 42 metod z biblioteki Mealpy uwzględniono cztery warianty algorytmu ABO: *ABO-QTable4K*, *ABO-QTable10K*, *ABO-ManualPhases* oraz Commandera ABO. Badania wykonano dla 33 funkcji referencyjnych z biblioteki Opfunu. Taki zakres eksperymentów pozwolił na wszechstronną ocenę zaproponowanego rozwiązania.

W rankingu Friedmana wszystkie cztery warianty algorytmu ABO zajęły cztery pierwsze miejsca. Najlepszy wynik uzyskał algorytm *ABO-ManualPhases*, a drugie miejsce zajął Commander ABO. Pierwszy algorytm spoza rodziny ABO uplasował się dopiero na piątym miejscu. W kryterium *best-of-run* najlepszy wynik uzyskał Commander ABO. Wynik ten wskazuje na skuteczność adaptacyjnego doboru taktyk z wykorzystaniem *Q-learningu*. W rankingu medianowym Commander ABO zajął drugie miejsce, tuż za *ABO-ManualPhases*. Przewaga wariantów algorytmu ABO jest szczególnie widoczna dla problemów o większym wymiarze. Jedynie dla wymiaru 2D niektóre klasyczne algorytmy, takie jak MFO (*Moth-Flame Optimization*), ABC (*Artificial Bee Colony*) i GWO (*Grey Wolf Optimizer*), uzyskały nieco lepsze wyniki.

Rozprawę kończy **Rozdział 7.**, w którym w sposób uporządkowany podsumowane są najważniejsze wyniki rozprawy. Doktorant podkreśla, że hipotezy badawcze zostały zweryfikowane. Wskazuje również wkład rozprawy w rozwój dziedziny. Przedstawia ograniczenia przeprowadzonych badań co należy zaliczyć na plus. Na zakończenie formułuje wnioski oraz wskazuje możliwe kierunki dalszych prac badawczych. Całość została przedstawiona jasno i logicznie.

Praca napisana jest poprawnie, chociaż Autor nie ustrzegł się drobnych błędów.

- Niejednolita terminologia. W wielu miejscach pracy stosowane są równolegle polskie i angielskie nazwy. Dotyczy to również tabel, w których obok polskich odpowiedników pojawiają się nazwy angielskie jednostek, taktyk, mimo że zostały one wcześniej przetłumaczone i stosowane w języku polskim.
- **Str. 40.** W zdaniu: „*Gradient, wektor wskazujący kierunek najbardziej stromego wznoszenia, jest wartością ujemną kierunku najbardziej stromego spadku.*” określenie „wartością ujemną kierunku” jest nieprecyzyjne. Kierunek nie ma wartości dodatniej ani ujemnej. Poprawnie byłoby stwierdzić, że gradient wskazuje kierunek najbardziej stromego wzrostu, natomiast jego przeciwny wektor wskazuje kierunek najbardziej stromego spadku.
- **Str 47.** Zdanie „Algorytmy selekcji klonalnej (Clonal Selection Algorithm CSA) są główną klasą algorytmów zainspirowanych teorią selekcji klonalnej” jest niefortunnie sformułowane.
- **Str 50,** wzór (2.3). Nie wyjaśniono znaczenia wszystkich parametrów we wzorze.
- **Str 64.** Niejednolite nazewnictwo formacji. Podtytuł brzmi: „Formacja klinowa”, natomiast pierwsze zdanie dotyczące opisu formacji rozpoczyna się od określenia „Formacja trójkątna”. W dalszej części Doktorant stosuje nazwę zgodną z podtytułem.
- **Str. 82.** Nie wyjaśniono pochodzenia wartości parametrów zastosowanych we wzorach. Wyjaśnienie znajduje się dopiero w Załącznikach. Wskazane byłoby podanie źródła tych wartości lub uzasadnienie ich przyjęcia bezpośrednio przy omawianych wzorach.
- **Str. 99.** Przyjęto jednakową wagę dla słoni i piechoty lekkiej, równą 0,2. Warto wyjaśnić, z czego wynika przyjęcie takich samych wartości dla obu typów jednostek.
- **Str. 123–124.** Występuje niejednolity zapis tego samego terminu. W czwartym wierszu pod wzorem (5.2) pojawia się określenie „perturbacja antystagnacyjna”. Natomiast na str. 124, w trzeciej linii od góry, zastosowano skrót „perturbacja anty-stag.”. Wskazane byłoby ujednolicenie zapisu tego terminu.
- **Str. 144.** Tabela 16. przedstawiająca pełną listę 46 algorytmów benchmarku, uporządkowaną chronologicznie według roku publikacji oryginalnej pracy, jest bardzo wartościowym elementem. Szkoda jednak, że przy poszczególnych pozycjach nie zamieszczono bardziej szczegółowych odnośników do literatury.
- **Str. 215.** Występuje sformułowanie „wysoki rang”. Poprawnie: „wysoka ranga”.

Powyższe uwagi mają charakter marginalny i nie wpływają na moją pozytywną ocenę rozprawy.

Podsumowując, pragnę stwierdzić, że:

- Praca zawiera **oryginalny i wartościowy dorobek naukowy Doktoranta**.
- Doktorant proponuje **nowatorskie rozwiązania** problemu stanowiącego istotne **wyzwanie teoretyczne**, a zarazem mającego **znaczenie praktyczne**.
- Doktorant z powodzeniem zweryfikował **hipotezy badawcze** sformułowane na początku rozprawy.
- Zaproponowany algorytm ABO został **zaimplementowany, przetestowany i poddany szerokiej analizie porównawczej** z 42 innymi metodami na referencyjnych funkcjach testowych.
- Praca potwierdza umiejętność Doktoranta w zakresie **rozwiązywania problemów badawczych, optymalizacji, programowania, analizy statystycznej oraz jasnego i przejrzystego prezentowania wyników**.
- Mocną stroną pracy są **czytelne rysunki, tabele oraz przejrzysta wizualizacja danych i wyników badań**.
- Dorobek naukowy Doktoranta został **udokumentowany w licznych publikacjach naukowych**.

W związku z powyższym stwierdzam, że w mojej opinii recenzowana rozprawa doktorska spełnia wszystkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez odpowiednie przepisy. Wniosuję zatem o jej przyjęcie oraz dopuszczenie Pana mgr. inż. Jana Edwarda Baumgarta do publicznej obrony.

