



AGH UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY  
FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING, AUTOMATICS, COMPUTER SCIENCE AND BIOMEDICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF APPLIED COMPUTER SCIENCE

Kraków 24 lipca 2023

Dr. hab. inż. Jarosław Wąs, prof. AGH  
Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej  
Akademia Górniczo Hutnicza im. Stanisław Staszica w Krakowie

## Recenzja rozprawy doktorskiej

Recenzję pracy doktorskiej mgr Pawła Gory zatytułowanej „*Metaheuristics in Optimization of Complex Processes*”, opracowano zgodnie z pismem prof. Andrzeja Terleckiego, Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscyplin Matematyka i Informatyka UW (pismo z dnia 30 czerwca 2023).

### **Tematyka rozprawy i tytuł pracy**

Tematyka rozprawy doktorskiej mgr Pawła Gory pt. „*Metaheuristics in Optimization of Complex Processes*”, dotyczy problematyki użycia metheurystyk w optymalizacji procesów złożonych, a w szczególności ruchu pojazdów w miastach (dla przypadków, gdzie stosowana jest sygnalizacja świetlna) oraz ewolucji nowotworu pod wpływem radioterapii.

Praca obejmuje: wprowadzenie do tematyki symulacji systemów złożonych, proponowane rozwiązania w zakresie optymalizacji algorytmów dotyczących ww. zagadnień czy zagadnień eksploracji i eksploatacji w kontekście metaheurystyk. W mojej ocenie tytuł pracy odpowiada treściom i istocie pracy.

### **Charakterystyka rozprawy i ocena układu rozprawy**

Praca doktorska mgr Pawła Gory składa się, łącznie, z dziesięciu rozdziałów, obejmujących: wstęp, zasadniczą część pracy, podsumowanie, dwa rozdziały dodatkowe (appendix) oraz bibliografię. Całość pracy zajmuje objętość 299 stron tekstu.

**AGH University of Science and Technology ,  
Faculty of Electrical Engineering, Automatics, Computer Science and Biomedical Engineering  
Institute of Applied Computer Science  
A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Poland**

Pierwszy rozdział pracy zatytułowany „*Introduction*” poświęcony jest określeniu celów ogólnych i szczegółowych pracy, wskazaniu problemu naukowego oraz określeniu metodyki pracy z uwzględnieniem: badań literaturowych, wypracowaniu generycznego podejścia i szeregu szczegółowych rozwiązań w modelowaniu wskazanych klas systemów złożonych. Rozdział 1 zatytułowany „*Introduction*” przedstawia wprowadzenie do tematu prognozowania zapotrzebowania z wykorzystaniem uczenia maszynowego i wiedzy dziedzinowej. Rozdział 2 „*Related works*” opisuje najważniejsze prace związane z systemami złożonymi, modele surogacyjne (surrogate models), problemami optymalizacji zagadnień modelowania ruchu oraz radioterapii itp. Rozdział 3 „*Complex systems and complexity science*” omawia problemy złożoności i stanowi wprowadzenie do systemów złożonych. Z kolei rozdział 4 „*Modeling of complex systems*” stanowi wprowadzenie do zagadnienia modelowania systemów złożonych. Rozdział 6 „*Metaheuristics and othe optimization algorithms*” zawiera wprowadzenie do stosowanych w pracy metod optymalizacji. Rozdział 7 „*Methodology*” poświęcony jest stosowanej metodologii badawczej. Z kolei rozdział 8 „*Experiments*” poświęcony jest przeprowadzonym eksperymentom. Rozdział 9 „*Possible extensions and real world applications*” przedstawia ograniczenia modeli oraz możliwe kierunki rozwoju dla obydwu badanych problemów. Rozdział 10 „*Conclusions*” stanowi podsumowanie pracy. Na końcu pracy zamieszczono dwa dodatki: pierwszy poświęcony zbiorom danych, zaś drugi narzędziom.

W mojej ocenie układ redakcyjny pracy jest poprawny. Autor posługuje się poprawną terminologią w zakresie modelowania systemów złożonych.

W zakresie oceny stylu pisania, należy stwierdzić, że oceniana praca jest napisana poprawnym językiem.

Tytuły sekcji i kolejność rozdziałów są również prawidłowe, zaś treść rozdziałów odpowiada, w mojej ocenie, wymaganiom stawianym dla prac doktorskich.

### **Ocena zastosowanego piśmiennictwa**

Bibliografia składa się ze 371 pozycji związanych z tematyką pracy. Bibliografia jest obszerna i aktualna, zaś odwołania do pozycji literaturowych są prawidłowe.

Można więc potwierdzić, że pozycje literaturowe zostały dobrane prawidłowo, biorąc pod uwagę istotność i aktualność poszczególnych pozycji bibliograficznych. Zostały one poprawnie przeanalizowane i wkomponowane w treść rozprawy.

### **Wskazanie oraz ocena celu pracy**

Główne cele pracy, to analiza natury wybranych systemów złożonych, opracowanie uniwersalnych metod analizy i optymalizacji systemów złożonych dotyczących: problemu sterowania ruchem miejskim z sygnalizacją świetlną oraz ewolucji nowotworu podczas radioterapii. W mojej ocenie obydwie te cele zostały zrealizowane w prawidłowy sposób.

### **Wskazanie oraz ocena zastosowanych metod badawczych**

γ



W ramach prac Autor zastosował metodę analizy oparte na tworzeniu tzw. cyfrowych bliźniaków: stworzona przez Autora aplikacja o nazwie Traffic Simulation Framework oraz dedykowane narzędzie do symulacji wzrostu nowotworów. W ramach prac wykorzystano szereg algorytmów optymalizacyjnych – metaheurystyk, które zostały zaproponowane przez Doktoranta. Uważam, że metody badawcze zostały zastosowane w prawidłowy sposób.

### **Ocena części rozprawy doktorskiej dotyczącej omówienia wyników badań**

Wyniki badań zostały opisane w praktycznej części pracy. Autor wykazał, celowość zastąpienia kosztownych obliczeniowo metodami surogacyjnymi (zastępczymi) może być bardzo korzystne ze strony obliczeniowej. Dyskusja obejmowała różne metody optymalizacji i końcowe skutki. W mojej ocenie prace merytoryczne zostały przeprowadzone i opisane prawidłowo. Autor szczegółowo opisał metody, w wielu przypadkach zostały one zilustrowane za pomocą obrazów i tabel. Podsumowując ten punkt oceny uważam, że wyniki badań zostały opisane w prawidłowy sposób.

### **Ocena czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego**

W pracy rozwiązano szereg zagadnień związanych z prognozowaniem zapotrzebowania, które świadczą o oryginalności rozwiązania. Po pierwsze przedstawiono rozwinięcie aplikacji Traffic Simulation Framework stworzonej i rozwijanej konsekwentnie przez Autora, jako narzędzia do oceny jakości różnych ustawień sterowania ruchem. Po drugie przedstawiono aplikację do symulacji ewolucji nowotworów i oceny jakości protokołów radioterapii, jako cyfrowego bliźniaka tkanki z komórkami nowotworowymi. Po trzecie zaproponowano szereg definicji związanych z systemami złożonymi i ich modelowaniem. Po czwarte zaproponowano metodykę optymalizacji procesów złożonych w oparciu o symulacje komputerowe, metaheurystyki i modele surogacyjne. Dodatkowo zaproponowano szereg modeli uczenia maszynowego jako modeli surogacyjnych. Biorąc pod uwagę wszystkie składowe uważam, że oceniana rozprawa zawiera oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

### **Ocena czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie albo dyscyplinach oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej**

7

W mojej ocenie praca bardzo dobrze wpisuje się w dyscyplinę Informatyka i napisana jest poprawnie z punktu widzenia metodyki. Autor wykazał się wiedzą teoretyczną i praktycznymi umiejętnościami w zakresie analizy danych i tworzenia algorytmiki.

### **Uwagi:**

Jak to zostało napisane wcześniej, praca została napisana poprawnym językiem i złożona starannie ze strony edytorskiej.

Poniżej przedstawiono uwagi polemiczne i dostrzeżone elementy wymagające poprawy:

- W rozdziale 4 Autor opisuje modele ruchu drogowego m.in. poruszając tematy związane z gęstością. Następnie temat ten jest kontynuowany w rozdziale 8, gdzie zostały opisane eksperymenty i wskazano na charakterystyki dotyczące zależności pomiędzy przepływem, gęstością i prędkością. Nie znalazłem niestety w części praktycznej pracy diagramów fundamentalnych, które biorą pod uwagę wyżej wymienione zależności i są jedną z najczęściej stosowanych metryk ruchu drogowego.
- W pracach opierających się na symulacji komputerowej dużą rolę odgrywają: kalibracja, a także walidacja i weryfikacja. O ile pojęcie kalibracji zostało przytoczone w rozdziale 4, i konsekwentnie opisywane i omawiane w kolejnych rozdziałach, to na temat weryfikacji znalazłem jedynie jedną, krótką wzmiankę w rozdziale 8 *Experiments*. Na pojęcie walidacji Autor powołał się kilkakrotnie, w różnych kontekstach, ale nie znalazłem definicji, którą została zastosowana.
- W mojej opinii dla omawianych przykładów systemów złożonych przydałaby się osobna sekcja poświęcona weryfikacji i walidacji.
- W nawiązaniu do wcześniejszej uwagi zbrakło mi w pracy słownika podstawowych pojęć używanych przez Autora. Ułatwiłoby to interpretację tekstu, w wielu miejscach bowiem czytelnik musi się zastanawiać, jak Autor rozumie dane pojęcie.
- W pracy przydałby się również słownik stosowanych skrótów. W pracy pojawia się ich wiele, a interpretacja niektórych nie jest oczywista.
- Szczególnie w rozdziale 8, w którym Autor przedstawia wyniki badań interpretacja wyników jest trudna, gdyż wiele rysunków/wykresów jest nieczytelnych. Przykładami są rysunki 8.6, 8.7, 8.8 czy 8.5.

Opisane powyżej uwagi nie wpływają jednak negatywnie na mój bardzo pozytywny odbiór ocenianej pracy doktorskiej.

### **Wniosek końcowy**

Rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i wskazuje na wysoki poziom wiedzy teoretycznej i praktycznej Kandydata do uzyskania stopnia doktora.

Przedstawiona praca doktorska spełnia w pełni warunki określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (j.t. Dz.U. z 2020 r. poz. 85 z późn. zm.). W szczególności zgodnie z wymaganiami ww. ustawy oceniana rozprawa pozytywnie prezentuje wiedzę teoretyczną Kandydata oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, przedmiotem rozprawy jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. W opinii recenzenta praca może więc być dopuszczona do publicznej obrony.

Dr hab. inż. Jarosław Wąs Prof. AGH  
jaroslaw.was@agh.edu.pl

