

dr hab. Barbara Pękala, prof. UR  
Instytut Informatyki  
Kolegium Nauk Przyrodniczych  
Uniwersytetu Rzeszowskiego  
ul. Pigoń 1, 35-310 Rzeszów

Rzeszów, 18 czerwca 2023 r.

## **Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. Miłosza Makowskiego**

### *Multi-scale mathematical modeling of vegetation, soil and weather*

*Wielopoziomowe matematyczne modelowanie roślinności, gleby i pogody*

Rozprawa napisana na Uniwersytecie Adama Mickiewicza w Poznaniu  
pod kierunkiem:

prof. dr hab. Macieja Wygralaka

oraz

dr Wojciecha Pałubickiego (Promotor pomocniczy)

## **1 Ogólna charakterystyka pracy, obszar problemowy i uzyskane wyniki**

Praca wprowadza wielopoziomowe podejście do modelowania roślin i ich interakcji z otoczeniem, pozwalając na wydajne symulacje dużych ekosystemów kontrolowanych przez temperaturę i opady. Rozprawa łączy zagadnienia związane z symulacją roślinności, gleby i pogody. Zastosowano sprzężenie zwrotne pomiędzy roślinnością, glebą i pogodą, czyli z uwzględnieniem opadów atmosferycznych, modelując obieg wody między roślinami i atmosferą. Zaproponowano nowy model gleby do opisu infiltracji i pobierania wody przez

poszczególne rośliny. Zastosowanie proponowanych modeli odnaleźć można w szeregu zjawiskach ekoklimatycznych, takich jak efekty krawędzi lasów, efekt Foehna, czy zmiany wynikające z wylesiania i suszy. Wiarygodność metod jest potwierdzona eksperymentami i porównaniem wyników dla znanych metod z literatury w dyscyplinach, takich jak, ekologia i klimatologia.

Modelowanie ekosystemów roślin będące istotą przedstawianych osiągnięć w ramach pracy wymaga podejścia, które jest w stanie uchwycić ogromną ilość szczegółów i różnorodnych zależności pomiędzy roślinnością, glebą i pogodą. Poprzednie metody przetwarzają drzewa i inne rośliny za pomocą zgrubnych geometrycznych przybliżeń, aby zredukować złożoność obliczeniową kosztem zmniejszonej dokładności. Istnieją także metody, które są w stanie modelować roślinność na bardzo dokładnym poziomie, ale są nieodpowiednie do symulacji dużych ekosystemów, bez dysponowania ogromną mocą obliczeniową. Badanie zależności pomiędzy roślinami i pogodą ze względu na fakt że roślinność wpływa znacząco na lokalne zróżnicowanie klimatu jest aktualnie ważnym zagadnieniem. W niniejszej rozprawie wprowadzono wielopoziomową reprezentację ekosystemów roślin, która pozwala na realistyczne modelowanie poszczególnych roślin oraz biologicznych zjawisk takich jak wzrost, rozsiewanie, tropizm, czy współzawodnictwo o zasoby.

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska jest oparta na cyklu 3 prac opublikowanych w języku angielskim w międzynarodowym czasopiśmie "ACM Transactions on Graphics". Doktorant jest pierwszym autorem jednego z tych artykułów, a w pozostałe wniósł istotny wkład badawczy.

Podsumowując tę część stwierdzam, że Autor podjął ważny, aktualny a zarazem trudny problem naukowy. Przeprowadził analizę istniejących podejść, zaproponował autorskie rozwiązania, przedstawił ich zastosowania w wybranych aspektach badawczych oraz zwerifikował ich skuteczność, co pozwoliło ocenić opracowane rozwiązania.

## **2 Zawartość pracy oraz opinia o rozprawie i oryginalność osiągnięć**

Praca składa się z sześciu rozdziałów, wśród których pierwszy stanowi wprowadzenie do poruszanej tematyki, a kolejne trzy rozdziały przedstawiają wyniki wspólnych badań, w których aktywnie uczestniczył mgr. M. Makowski. W każdym rozdziale podkreślono

główny wkład Doktoranta w publikacje. Wszystkie publikacje powstały i zostały wydane w trakcie przygotowywania niniejszej rozprawy.

Rozwzana multidyscyplinarna praca doktorska dotycząca takich dyscyplin jak biologia, matematyka czy informatyka stanowi ważny wkład w modelowanie realistycznych ekosystemów roślin w zmiennych warunkach klimatycznych. Zaprezentowana metodologia wykorzystuje samopodobieństwo struktur drzewiastych, aby wydajnie radzić sobie ze złożonością ich modelowania. W szczególności zagadnienie badawcze związane jest z symulacją cyklu hydrologicznego. W tym celu rozwijany jest model dynamiki chmur, który obsługuje parowanie roślin i gleby, formacje chmur i opady atmosferyczne. Modelowany jest także transport wody w glebie na podstawie właściwości gleby oraz grawitacji. Wskazywane podejście dostarcza środków do przeprowadzania interaktywnych symulacji setek tysięcy roślin, z dużą szczegółowością, z jednoczesnym uwzględnieniem interakcji na poziomie lokalnego zróżnicowania klimatu. Wyniki są zgodne z biologicznymi modelami znanymi w leśnictwie, botanice i ekologii. W rezultacie proponowana metoda udoskonala najnowocześniejsze sposoby generowania wysoce realistycznych terenów z roślinnością z uwzględnieniem pogody. Ponadto służyć może ona potencjalnie jako narzędzie do weryfikacji hipotez biologicznych.

Zatem należy podkreślić, iż problem badawczy podejmowany w rozprawie jest bardzo ważny i złożony.

Jedno z ważniejszych osiągnięć przedstawionych w pracy znajdujemy w szczególności w rozdziale 2 opartym na publikacji „Synthetic silviculture: Multi-scale modeling of plant ecosystems”. Wkład Doktoranta w powstanie tej publikacji obejmuje projektowanie modułowej reprezentacji roślin, która wykorzystuje samopodobieństwa rozgałęzionych struktur, tworząc wydajny i wszechstronny system do symulacji dużych ekosystemów. Wprowadzono nowatorskie podejście do ww. modelowania roślin i ich interakcji ze środowiskiem. Opracowany został model wzrostu drzewa wraz z implementacją. A stworzone interaktywne narzędzie do symulacji z wizualizacją w czasie rzeczywistym wykorzystuje nowoczesne funkcje GPU.

Rozdział 3 oparty jest na publikacji „Stormscapes: Simulating cloud dynamics in the now” i zawiera kolejny ważny element rozprawy obejmujący prowadzenie badań nt. modeli chmur i narzędzi do symulacji obliczeniowej dynamiki płynów. Wdrożono metodę realistycznego tworzenia chmur z wykorzystaniem danych o wietrze w czasie rzeczywistym.

W szczególności przeprowadzono symulację ekosystemów z modelem dynamiki chmury i zbadano sprzężenie zwrotne między roślinami a tworzeniem się chmur.

Natomiast rozdział 4 oparty jest na publikacji “Ecoclimates: Climate-response modeling of vegetation”, zawierającej rezultaty związane z zaprojektowaniem rozszerzenia modelu gruntu pozwalający na modelowanie mechaniki płynów w gruncie. Zaimplementowano również kombinację modeli ekosystemu dla chmury i gleby.

Przedstawiona metoda opiera się na połączeniu złożonych modeli ekosystemów roślinnych, hydrologii gleby i pogody oraz pozwala wyrazić sprzężenie zwrotne pomiędzy różnymi systemami klimatycznymi z niespotykanym dotąd stopniem szczegółowości. Przedstawiono różne wzorce, które można badać za pomocą wspólnego modelu roślinności, gleby i pogody wykorzystując najnowocześniejsze modele tworzenia chmur, modelowanie roślinności i ostatnie postępy w badaniach nad klimatem.

Podsumowując tę część recenzji uważam, iż praca jest obszerna i pokazuje dużą wiedzę Doktoranta. Widoczne jest naukowe podejście do realizowanych zadań. Wykonana w ramach doktoratu praca stanowi istotny wkład w rozwój metod dotyczących modelowania ekosystemów. Rozprawa prezentuje wysoki poziom naukowy oraz implementacyjny związany z przedstawionymi zastosowaniami i w pełni zasługuje na ocenę pozytywną.

### **3 Uwagi i problemy do dyskusji**

Wartość merytoryczną pracy potwierdza fakt opublikowania przedstawionych wyników w cenionych czasopismach i w recenzowanych materiałach z konferencji międzynarodowych.

W pracy autor wykazuje się dojrzałością badawczą poprzez dostrzeżenie luk w swoim rozumowaniu i wskazuje dalsze kierunki rozwoju rozpoczętych badań. Wiele kwestii poruszonych w niniejszej rozprawie jest warte dalszego badania. W szczególności, obszarem przyszłego rozwoju, nader interesującym, wydaje się być adaptacja roślinności do warunków zmian klimatycznych, ponieważ ostatnie badania ekologiczne sugerują, że mikroklimat może mieć znaczący wpływ rozwój ekosystemu.

Interesującym i koniecznym byłoby szersze rozważenie aspektu stosowanej metody samopodobieństwa w modelowaniu ekosystemów, ze szczególnym uwzględnieniem aksjomatyki stosowanych miar podobieństwa i ich metod konstrukcji opartych na specyfice problemu którego dotyczą.

Ponadto rozszerzenie badań na zależność projektowanych ekosystemów od czasu i zanieczyszczeń środowiska, a także wskazanie korelacji z ludźmi i zwierzętami jest warte uwagi.

Biorąc pod uwagę aspekt redakcyjny na uwagę zwraca fakt że Rozdział 6 składający się z listy artykułów na których opiera się rozprawa zawiera istotne braki w pozycjach [2-3].

Powyższe uwagi i wskazówki oraz kilka literówek nie wpływają na wysoką wartość merytoryczną pracy.

## 4 Konkluzja

Reasumując rozprawa jest cennym wkładem do zagadnienia modelowania ekosystemów roślin w zmiennych warunkach klimatycznych, co za tym idzie temat pracy oceniam jako aktualny, istotny poznawczo i mający duże implikacje praktyczne. Opracowane metody/systemy zostały zastosowane i zweryfikowane dla rzeczywistych problemów. Autor wykazał się dużą wiedzą w zakresie tematyki rozprawy, umiejętnością pracy naukowej oraz znajomością metod badawczych. Osiągnięte wyniki świadczą o bardzo dobrym przygotowaniu Autora do pracy naukowej.

Podsumowując, rozprawę doktorską mgr Miłosza Makowskiego oceniam pozytywnie. Rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie informatyka. Ponadto stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, w szczególności oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania badań naukowych w sferze symulacji wybranych zagadnień klimatycznych (modelowania ekosystemów).

Rozprawa doktorska mgr Miłosza Makowskiego spełnia wymagania i warunki określone w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2022 r. poz. 574 z późn. zm.) zatem wnoszę o dopuszczenie mgr Miłosza Makowskiego do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora.

*Robert Baban*