

Łódź, dn. 21 marca 2022 r.

prof. dr hab. Krzysztof Fortuniak  
Instytut Meteorologii i Hydrologii  
Wydział Nauk Geograficznych  
Uniwersytet Łódzki

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. Damiana Wójcika**  
**pt. „Numeryczne modelowanie głębokiej konwekcji na przykładzie gwałtownego**  
**systemu konwekcyjnego z dnia 21 sierpnia 2007 z Pojezierza Mazurskiego”**

Recenzję opracowałem na wniosek Przewodniczącego Rady Naukowej IMGW-PIB Pana dr. hab. Artura Magnuszewskiego, prof. UW, pismo RN.462.2.2022, L.dz.RNesm. 2/X/2022 z dnia 14 stycznia 2022 r. na mocy Uchwały Nr 58/2021/X Rady Naukowej IMGW-PIB z dnia 17 grudnia 2021 r.

Rozprawa doktorska Pana mgr. Damiana Wójcika zatytułowana „Numeryczne modelowanie głębokiej konwekcji na przykładzie gwałtownego systemu konwekcyjnego z dnia 21 sierpnia 2007 z Pojezierza Mazurskiego”, napisana została pod opieką prof. dr hab. Wojciecha W. Grabowskiego (promotor) i dr. Michała Z. Ziemiańskiego (promotor pomocniczy) w Instytucie Meteorologii i Gospodarki Wodnej – PIB w Warszawie.

Praca jest oryginalnym opracowaniem naukowym z zakresu analizy i modelowania numerycznego zjawisk meteorologicznych omawiającym przypadek rozwoju wyjątkowo silnego układu burzowego, jaki zaobserwowano w dniu 21 sierpnia 2007 r. nad Pojezierzem Mazurskim. Burza ta spowodowała powstanie szkwału i wysokich fal na jeziorach, co skutkowało rozległymi zniszczeniami i doprowadziło do kilkunastu ofiar śmiertelnych. Jednocześnie zjawisko to nie było odpowiednio wcześniej prognozowane przez dostępne numeryczne modele pogody. Ponieważ na obszarze Polski intensyfikacja zjawisk ekstremalnych jest jednym z najbardziej prawdopodobnych skutków współczesnych zmian klimatu, wyjątkowego znaczenia nabiera weryfikacja możliwości stosowanych operacyjnie numerycznych modeli pogody do prognozowania zjawisk konwekcyjnych tego typu. Dlatego cel pracy, którym jest analiza i próba modelowania tego szczególnego przypadku układu burzowego przy pomocy stosowanego obecnie przez IMGW-PIB modelu COSMO, należy uznać za istotny, nie tylko ze względów poznawczych, lecz przede wszystkim z punktu widzenia praktycznego zabezpieczenia meteorologicznego kraju. W pracy wskazano przyczyny słabej reprezentacji zjawisk konwekcyjnych w obecnie stosowanej konfiguracji

modelu oraz przedstawiono niezbędne modyfikacje warunków brzegowych i początkowych, rozdzielczości oraz parametryzacji procesów zachodzących w chmurach, umożliwiające efektywne modelowanie zjawiska w sensie poprawnego określenia jego czasu, zasięgu i intensywności. Elementem poznawczym jest próba oceny roli poszczególnych procesów w formowaniu się rozbudowanych układów burzowych.

### **Opis rozprawy**

Przedstawiona do oceny dysertacja liczy 218 stron maszynopisu, przy czym zasadnicza jej część mieści się na stronach 17-202 i została podzielona na siedem głównych rozdziałów, po których następuje spis akronimów i obejmujący ponad 160 pozycji spis literatury. Cytowana literatura to w zdecydowanej większości artykuły renomowanych czasopism naukowych, właściwie wyselekcjonowane i umiejętnie cytowane we wszystkich rozdziałach. Układ pracy jest logiczny i spełnia warunki stawiane tekstom naukowym. Ze względu na fakt, że praca została napisana w języku angielskim nie podejmuję się oceniać jej poprawności językowej, nadmienię jednak, że nie znalazłem uchybień w tym zakresie.

Cel pracy został zdefiniowany w rozdziale wstępnym (rozdział 1) po krótkim wprowadzeniu w historię numerycznego modelowania pogody, pozwalającym na wskazanie ograniczeń współcześnie stosowanych modeli w przypadku procesów konwekcyjnych, co pozwoliło na pozycjonowanie pracy w obecnych trendach badawczych. Omówiono również znaczenie modelowania konwekcji w różnych zagadnieniach inżynierii środowiska oraz krótko scharakteryzowano kolejne części pracy.

Rozdział 2 przedstawia współczesny stan wiedzy na temat rozwoju głębokiej konwekcji i składa się z dwóch części. Pierwsza to opis rozwoju systemu konwekcyjnego od pojedynczej komórki konwekcyjnej, poprzez układ wielokomórkowy aż do uformowania się superkomórki i zjawiska „bow echo”. Druga część zawiera definicje indeksów stosowanych w prognozowaniu i opisie systemów konwekcyjnych. Jednocześnie podano fizyczne podstawy i znaczenie wykorzystywanych indeksów.

Podstawowe równania dynamiki atmosfery stosowane w modelu COSMO przytoczono w rozdziale 3. W części wstępnej tego rozdziału szerzej omówiono rozwój metod modelowania głębokiej konwekcji oraz reprezentacji mikrofizyki chmur w prognostycznych modelach pogody.

Kompleksowy opis sytuacji synoptycznej poprzedzającej rozwój systemu burzowego w dniu 21 sierpnia 2007 r., momentu jego tworzenia się i dalszej ewolucji przedstawiono w rozdziale 4. Na szczególne podkreślenie zasługuje tu wykorzystanie obszernego zestawu

materiałów synoptycznych obejmującego pełną, trójwymiarową charakterystykę zjawiska bazującą na analizie różnorodnych elementów meteorologicznych. Podejście takie pozwala na pełną charakterystykę zasięgu, dynamiki i intensywności analizowanego przypadku.

Rozdział 5 rozpoczyna właściwe studia numeryczne. Przeprowadzono w nim czynności i symulacje wstępne polegające na ustaleniu dwóch bazowych rozdzielczości modelu 2- i 7-kilometrowej i wyborze globalnego modelu danych wejściowych – po porównaniu wyników uzyskanych dla GME i reanalizy ERA-5 zdecydowano się na wybór tej drugiej bazy. Następnie dokonano korekcji warunków brzegowych – temperatury powierzchni, temperatury i wilgotności powietrza na dolnym poziomie, całkowitego promieniowania krótkofalowego oraz wilgotności gleby. W kolejnym kroku poddano modyfikacji wejściowe pole temperatury w dolnej i środkowej troposferze domeny obliczeniowej modelu. Procedury te doprowadziły do bardziej realistycznego odzwierciedlenia warunków środowiskowych determinujących rozwój analizowanej burzy.

Rozdział 6 poświęcony jest modelowaniu rozwoju analizowanego systemu konwekcyjnego. W pierwszej jego części, aby otrzymać realistyczne wyniki modelowania, przetestowano dwa mechanizmy inicjacji konwekcji: deterministyczny i stochastyczny. Model deterministyczny polegał na dodaniu o godz. 11:00 równoleżnikowej linii komórek termalnych o długości kilkudziesięciu kilometrów (pomiędzy 21,75°E a 22,95°E, dla szerokości 53,15°N). W modelu stochastycznym komórki termalne w chwili początkowej były rozmieszczone przypadkowo na analizowanym obszarze północno-wschodniej Polski. Okazało się, że drugi schemat prowadzi do realistycznie wyglądającego obrazu rozwoju burzy w kształcie łuku („bow echo”) oraz generuje silne uderzenie wiatru, co dowodzi, że model COSMO jest w stanie odtworzyć analizowany przypadek układu konwekcyjnego. W dalszej części rozdziału wykorzystano to podejście do testowania modelu z wykorzystaniem bardziej zaawansowanego schematu mikrofizyk chmur (2-M) i zwiększonej rozdzielczości (0,5 km). Pokazano, że schemat 2-M modeluje większy obszar silnych porywów wiatru, lecz o mniejszych wartościach, natomiast zwiększenie rozdzielczości pozwala na zobrazowanie rozwoju indywidualnych komórek, w tym rozwijających się przed głównym systemem burzowym. Zastosowanie zarówno zwiększonej rozdzielczości jak i bardziej zaawansowanej fizyki chmur prowadzi do dalszego urealnienia wyników.

Zasadniczą część pracy kończy podsumowanie, w którym Autor przedstawia główne ustalenia poszczególnych rozdziałów.

## Ocena merytoryczna rozprawy

Przedłożona do oceny praca prezentuje wysoki poziom merytoryczny. Przedstawiono w niej złożone symulacje numeryczne głębokiej konwekcji prowadzącej do powstania układu burzowego o charakterystycznym układzie „bow echo”. Za główne osiągnięcie badawcze należy uznać wykazanie, że stosowany w operacyjnych prognozach pogody IMGW-PIB model COSMO jest w stanie odtworzyć powstawanie i rozwój takiego układu konwekcyjnego, jeśli zasilany będzie odpowiednio precyzyjnymi danymi wejściowymi i rozszerzony o skuteczny mechanizm inicjujący konwekcję. Wniosek taki, wcale nie oczywisty w świetle uproszczeń niezbędnych w numerycznych modelach pogody, niewątpliwie przyczynia się do rozwoju tej gałęzi inżynierii środowiska. Oryginalnym rozwiązaniem badawczym Doktoranta jest również propozycja włączenia mechanizmu inicjującego powstawanie układu konwekcyjnego oraz wybór najlepiej działającego schematu. Poza wynikami z zakresu symulacji numerycznych praca przynosi też ustalenia dotyczące procesów prowadzących do powstania zjawiska „bow echo” – wykazano na przykład rolę ścięcia wiatru pomiędzy dolną a środkową troposferą w powstawaniu silnych uderzeń wiatru na powierzchni.

Na uwagę zasługuje też wstępna część teoretyczna obejmująca opis procesów tworzenia się, rozwoju i zaniku rozbudowanych systemów konwekcyjnych. Złożoność procesów tam opisywanych świadczy o bardzo dobrym opanowaniu przez Doktoranta zagadnień związanych z dynamiką procesów atmosferycznych. Potwierdzeniem tego faktu są również szczegółowe analizy rezultatów otrzymanych w kolejnych rozdziałach, w których Autor umiejętnie łączy wyniki różnego typu symulacji numerycznych z procesami meteorologicznymi. Zwraca przy tym uwagę swoboda w cytowaniu literatury, świadcząca o Jego szerokiej wiedzy w dyscyplinie. Samodzielne przeprowadzenie symulacji numerycznych niezbędnych do realizacji pracy oraz asymilacja danych wejściowych dowodzą natomiast, że jest On wysokiej klasy specjalistą w zakresie numerycznych prognoz pogody.

Przechodząc do uwag krytycznych, za główny mankament pracy uważam pewien niedosyt wniosków o charakterze ogólnym i syntezy rezultatów cząstkowych. Na przykład, czy przedstawiona w rozdziale 5 procedura korekcji warunków brzegowych i początkowych ma charakter uniwersalny? Czy powinna być implementowana w numerycznych prognozach pogody? Jeśli tak, to w jaki sposób? Procedura ta polega na wprowadzaniu kolejnych poprawek warunków brzegowych i początkowych. Czy istotna jest kolejność tych korekcji? Podobne uwagi dotyczą mechanizmu inicjowania konwekcji (rozdział 6). Czy powinien być

on stosowany operacyjnie, a jeśli tak, to kiedy i w jaki sposób? Wkład pracy w rozwój dyscypliny mógłby być znacznie większy gdyby Autorowi udało się nie tylko zrekonstruować numerycznie jeden przypadek burzy konwekcyjnej, co dowodzi potencjału stosowanego modelu, lecz również zaproponować konkretne procedury umożliwiające lepsze prognozowanie tych zjawisk. O pewnym „niedocenianiu” przez Autora tego typu syntezy wyników świadczy również sam tytuł ostatniego rozdziału – jest to bowiem „Podsumowanie”, a nie „Wnioski” i rzeczywiście zawiera raczej skrót otrzymanych rezultatów niż pogłębioną dyskusję. Z drobniejszych niedociągnięć dotyczących samej konstrukcji pracy wskazałbym pewną niekonsekwencję w strukturze rozdziałów 4-6. Rozdziały 4 i 6 kończą się bowiem podrozdziałami zatytułowanymi „Podsumowanie”, natomiast w rozdziale 5 takiego podsumowania zabrakło, chociaż jak już wspomniałem uważam, że w każdym przypadku powinny to być nie tylko podsumowania lecz również, a może nawet przede wszystkim, wnioski.

### **Wniosek końcowy**

Podsumowując, pomimo sformułowanych powyżej uwag, przedstawioną do oceny pracę oceniam zdecydowanie pozytywnie. Rozprawa ta posiada oryginalne wartości poznawcze i stanowi rozwiązanie jasno sprecyzowanego problemu naukowego. Treść pracy dowodzi, że mgr Damian Wójcik posiada wiedzę z zakresu problematyki badawczej, której dotyczy praca, a także umiejętność definiowania problemów badawczych, prowadzenia badań naukowych i analizy otrzymanych wyników.

Uważam, że rozprawa doktorska Pana mgr Damiana Wójcika „Numeryczne modelowanie głębokiej konwekcji na przykładzie gwałtownego systemu konwekcyjnego z dnia 21 sierpnia 2007 z Pojezierza Mazurskiego” spełnia zarówno merytoryczne, jak i formalne wymagania określone w ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (t.j. Dz.U. z 2017 r., poz. 1789). Wnioskuje o przyjęcie pracy jako rozprawy na stopień doktora oraz dopuszczenie Pana mgr Damiana Wójcika do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora, w tym do publicznej obrony.

prof. dr hab. Krzysztof Fortuniak