

Prof. dr hab. Szymon Malinowski,  
Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego  
Instytut Geofizyki  
ul. Pasteura 5  
02-093 Warszawa  
tel. 22-5546860  
e-mail [malina@fuw.edu.pl](mailto:malina@fuw.edu.pl)

Warszawa 17 czerwca 2024

Ocena rozprawy doktorskiej mgr inż. Michała Oktawca  
z tytułowanej

**“Porównanie modeli opadowych bazujących na danych pomiarowych  
z radarów i deszczomierzy”**

Tematem badań opisanych w rozprawie doktorskiej pana mgr inż. Michała Oktawca, z tytułowanej “Porównanie modeli opadowych bazujących na danych pomiarowych z radarów i deszczomierzy”, którą napisał pod opieką prof. dr. hab. inż. Pawła Licznara, jest zbadanie, jak zgodne są, używane szeroko w zastosowaniach inżynierskich, modele statystyczne opadu powstałe na podstawie punktowych pomiarów deszczomierzami i obserwacji radarami opadowymi, pokrywającymi dziś niemal całą powierzchnię naszego kraju.

Ciekły opad atmosferyczny powstaje w wyniku szeregu skomplikowanych procesów fizycznych: transport pary wodnej przez przepływy atmosferyczne, kondensacja jej części na aerozolu atmosferycznym do formy mikroskopijnych kropelek, zlewania, wskutek zderzeń, tych kropelek i/lub ich zamarzania i wzrostu przez resublimację w większe krople/kryształki/agregaty kryształków które opadają na powierzchnię gruntu. W podstawowej wiedzy opisującej te procesy istnieją pewne luki, dlatego fizyczne modelowanie opadu jest bardzo trudne, a wyniki często pozostawiają wiele do życzenia. Ta drogą nie jesteśmy w stanie uzyskać na razie modeli opadowych na tyle dobrych, aby ich wyniki mogły być wykorzystywane w inżynierskich zastosowaniach hydrologicznych do projektowania infrastruktury. Pozostaje więc tworzenie modeli statystycznych opadu, wykorzystujących dostępne dane pomiarowe. Klasycznymi są dane z deszczomierzy, dostarczają one informacji o szeregach czasowych opadu w punkcie obserwacji i rozdzielczością czasową zależną od konstrukcji deszczomierza i sposobu obserwacji. Opady obserwujemy też specjalistycznymi radarami, które dostarczają informacji o tzw. odbiciowości radarowej w objętości próbkowania, którą potem przetwarzamy w różnorodne produkty o przestrzennym rozkładzie natężenia opadu.

Ponieważ opad charakteryzuje się ogromną zmiennością w przestrzeni i czasie, a obserwacje i pomiary mają swoje ograniczenia, nie możemy spodziewać się, że informacja o opadzie pochodząca z tak różnych metod pomiaru będzie stuprocentowo zgodna. Tak więc, porównywanie modeli stochastycznych opadu wykorzystujących dane o tak różnej charakterystyce ma uzasadnienie. Dodatkowo, z praktycznego

punktu widzenia, w modelach statystycznych szczególnie ważna jest reprezentacja stosunkowo rzadkich zdarzeń opadowych - opadów nawalnych, o dużym natężeniu, dużym opadzie całkowitym i pokrywającym określony obszar zlewni. To i duża zmienność charakteru opadu, zarówno przestrzenna, jak i w cyklu rocznym są dodatkowymi wyzwaniami.

Zadanie, jakie postawił sobie doktorant – szczegółowe porównanie modeli stochastycznych zbudowanych na tak innych obserwacjach, poznanie ich wad i zalet, ma duże znaczenie praktyczne i jest poważnym wyzwaniem naukowym. Zarówno tematyka badań doktoranta, jak i ich zakres, w pełni uzasadniają potraktowanie ich jako podstawy doktoratu.

### **Opis rozprawy.**

Rozprawa mgr. inż. Michała Oktawca jest niezwykle obszerna obejmuje niemal 250 stron druku. Po spisie treści, streszczeniach w języku polskim i angielskim oraz wstępie doktorant zapoznaje czytelnika z sięgającą XIX w. historią nowoczesnych badań nad statystycznymi własnościami opadu. Dalej, w rozdziale drugim, formułuje cel i zakres pracy. Rozdział trzeci to opis atlasów radarowych, zarówno pochodzących z pomiarów naziemnych, jak i obserwacji radarowych. Kolejny rozdział to opis narzędzi pracy – używanych danych deszczomierzowych i produktów opadowych, sposobu ich porównywania, doboru konkretnych modeli opadowych, ich ocena jakościowa i selekcja oraz kwestia wyboru najlepszego modelu radarowego. W bardzo obszernym rozdziale 6 zebrane zostały główne wyniki pracy, szczególnie analizy korelacji szeregów czasowych z radarowych i z pomiarów punktowych z naciskiem na porównanie opadów nawalnych w różnych lokalizacjach na terenie Polski, Podsumowani w rozdziale 6 zamyka pracę, uzupełniona bardzo obszerna bibliografia i zwyczajowymi spisami tabel, rysunków e.t.c.

Struktura pracy jest klasyczna. Poniżej przedstawię krótką charakterystykę poszczególnych rozdziałów rozprawy.

W rozdziale drugim doktorant przedstawił zadania badawcze i sformułował tezy pracy:

1) Maksymalne natężenia i wysokości opadów uzyskiwane z produktów radarowych mogą być oszacowaniami równoważnych im maksymalnych natężeń chwilowych i wysokości opadów z deszczomierzy.

2) Szeregi rozdzielcze maksymalnych natężeń opadów wydzielanych z produktów radarowych mogą być podstawą sporządzania lokalnych modeli opadowych równoważnym modelem opracowanym na podstawie szeregów opadowych z deszczomierzy.

Rozdział trzeci poświęcony jest przeglądowi i analizie atlasów opadowych, ważnego narzędzia wspomagającego projektowanie i modelowanie systemów odwodnień miejskich i komunikacyjnych. Omówiono atlasy amerykańskie (NOAAA), niemieckie (KOSTRA), włoskie, znakomity polski atlas PANDA, i mniej szczegółowo kilka innych. Ostatnia sekcja poświęcona jest atlasom radarowym. Choć rozdział jest obszerny, studium zrobione starannie, zabrakło mi w tym miejscu (lub wcześniej) solidnego wyjaśnienia tego, jak sposób pomiaru (deszczomierz vs radar) może wpłynąć na atlas i szereg czasowy opadu i w związku z tym jakich różnic w atlasach możemy się spodziewać.

W rozdziale 4 omówiono dane wykorzystywane w badaniach i metodykę pracy. Wykorzystano

część (98 deszczomierzy IMGW-PIB) deszczomierzowej bazy danych na podstawie której stworzony został atlas PANDA oraz dane z sieci radarów opadowych POLRAD (IMGW-PIB).

Zaproponowano, z jakich produktów radarowych można korzystać i jak wybrać i analizować obszary pola radarowego dla uzyskania danych odpowiadających deszczomierzowym pomiarom naziemnym. Następnie przeanalizowano podobieństwa szeregów czasowych z obydwu typów pomiarów dla lokalizacji deszczomierzy. W efekcie, po szeregu drobiazgowych analiz skonstruowano szereg narzędzi programistycznych do optymalizacji rozkładów statystycznych najlepiej opisujących własności badanych szeregów opadowych oraz optymalnego produktu radarowego.

W piątym rozdziale zebrano i przedyskutowano wyniki badań - zastosowania procedur opisanych w rozdziale 4 do analizy opisanych tamże danych. Zdecydowano się (słusznie) na przedstawienie wyników badań dla lokalizacji deszczomierzy i uznano je za reprezentatywne dla okolic - obszarów ktaju wyznaczonych metodą wielokątów Thyssena. Pokazano dobrą zgodność sum opadów rocznych uzyskiwanych na podstawie różnych danych i zademonstrowano rozkład przestrzenny tej zgodności. Zwrócono uwagę, że w lokalizacjach deszczomierzy (i wielokątów) odległych od lokalizacji radarów zgodność ta jest gorsza.

W kolejnym etapie badano korelacje czasowe szeregów czasowych opadów zarejestrowanych deszczomierzowo i obserwowanych radarami. Uzyskano wartości w granicach 51-62%. Co ważne, przeprowadzono dodatkową analizę podobnych korelacji opadów nawalnych i tu wartości korelacji okazały się dużo wyższe, 81-83%, co jest ważnym wynikiem. Przedyskutowano kwestie sum opadów nawalnych, tu znaczenia mają szczegóły konstrukcji deszczomierzy i wyboru analizy danych radarowych. Wyniki okazały się zgodne z tymi raportowanymi w literaturze.

Kolejną analizą było badanie własności rozkładów statystycznych opadów nawalnych. Zdecydowanie najlepiej dopasowanym do obserwacji okazał się rozkład wykładniczy.

Na koniec przeanalizowano zgodność estymat z modeli opadowych z produktów radarowych i odpowiednich estymat z deszczomierzy. Tu zdecydowanym liderem był produkt PAC-GRID5\_max (zaproponowany do badania w rozdziale 4), choć w wielu lokalizacjach lepsze były inne produkty. W dalszych analizach zaproponowano i przebadano parametry rozkładu wykładniczego najlepiej opisującego własności statystyczne opadu i zademonstrowano na wykresach empiryczne dopasowania oraz zakresy niepewności.

W dyskusji/podsumowaniu (rozdział 6) sformułowano szereg wniosków końcowych, które potwierdziły tezy pracy. Rozprawę zamyka o bogaty i dobrze dobrany spis literatury oraz spisy tabel, ilustracji i oznaczeń.

### **Ocena rozprawy.**

W ocenie recenzenta praca pana mgr inż. Michała Oktawca spełnia wszystkie wymagania stawiane ustawowo i zwyczajowo rozprawom doktorskim. Opisano w niej oryginalne, ważne z praktycznego – inżynierskiego punktu widzenia badania modeli opadowych i wykazano, że na obszarze Polski takie modele wykonane przed odpowiednią analizę obszarowych danych radarowych można wykorzystywać w praktyce,

gdyż z estymują wartości opadów, szczególnie tych najgroźniejszych – nawalnych, a także roczne sumy opadów podobnie jak modele wykorzystujące dane z deszczomierzy. Szereg narzędzi informatycznych powstałych w czasie pracy można wykorzystywać w miarę napływania nowych danych pomiarowych do doprecyzowania wniosków i konstruowania coraz lepszych modeli dla poszczególnych lokalizacji w kraju.

Po stronie negatywów, obniżających nieco bardzo wysoką ocenę pracy jest niezbyt przejrzysta synteza wyników. Doktorant przeprowadził ogromną liczbę szczegółowych obliczeń i analiz oraz zrzucił czytelnika wielką liczbą tabel, mapek i wykresów. Wiele badanych produktów „działało” znacznie gorzej, niż te najlepsze. Zamiast skoncentrować się na charakteryzacji i dyskusji najlepszych produktów i dopasowań, doktorant wybrał drogę poinformowania o wszystkim czytelnika. Pomimo rozsądnego układu pracy powoduje to zarzucenie odbiorcy wielką liczbą mało istotnych danych, a dobór kolorów na mapach z wielokątami mało czytelny.

Praca zredagowana jest niezbyt starannie, przesłanie wersji cyfrowej na przestarzałym dysku nie ułatwia jej analizy i przeszukiwania na komputerze. Ogromny spis tabel w wersji drukowanej też nie jest przydatny do niczego. Zdecydowanie kilka wykresów zbiorczych byłoby bardziej przydatne. Jeśli doktorant i promotor chcieliby opublikować wyniki pracy w czasopiśmie, lepsza synteza jest konieczna, szkoda że zabrakło jej w tym tomie. Wielką i ważną pracę, którą doktorant włożył w wykonanie analiz trudno jest w tak rozwlekłym i pełnym drobiazgowych szczegółów wyłuskać i docenić. Recenzent podkreśla, że czasach coraz szybciej zmieniającego się klimatu wynik jest szczególnie ważny dla adaptacji do zmian, gdyż opracowana metodologia pozwala szybko modyfikować statystyczne modele opadu z wykorzystaniem obszarowych danych radarowych.

### **Rekomendacja.**

Przedstawione wyżej uwagi mankamenty nie wpływają na dobrą ocenę przedstawionej rozprawy, są pomyślane raczej jako pomoc w przygotowaniu (oby jak najszybszym) publikacji przedstawiających wyniki rozprawy. Doktorant w ramach badań uzyskał oryginalne, ciekawe i potencjalnie ważne dla inżynierii wyniki oraz wykazał się znajomością metod statystycznych i obliczeniowych stosowanych w hydrologii miejskiej, a także wytrwałością w analizowaniu danych. Choć wyniki swojej pracy opisał oraz zilustrował w sposób niedoskonały, to rezultat jest przydatny i mam nadzieję że będzie szeroko wykorzystywany w praktyce dla dobra nas wszystkich. Zarówno tematyka badań, jak ich sposób przeprowadzenia, wyniki oraz prezentacja spełniają wszystkie wymagania formalne i zwyczajowe stawiane rozprawom doktorskim. Z pełnym przekonaniem wnoszę o dopuszczenie mgr inż. Michała Oktawca do dalszej części przewodu doktorskiego.