

Łódź, dn. 15 sierpnia 2024 r.

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

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. Sławomira Sulika
pt. „Wpływ niestabilności termodynamicznej atmosfery na rozkład przestrzenno-
czasowy występowania wyładowań doziemnych w Polsce w latach 2002–2020”**

Recenzję opracowałem na wniosek Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Nauki o Ziemi i Środowisku Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu prof. dr. hab. Piotra Hulisza w związku z powołaniem mnie na recenzenta na mocy Uchwały nr 11/2024 Rady Naukowej Dyscypliny Nauki o Ziemi i Środowisku Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu z dnia 14 czerwca 2024 r.

Rozprawa doktorska Pana mgr. Sławomira Sulika zatytułowana „Wpływ niestabilności termodynamicznej atmosfery na rozkład przestrzenno-czasowy występowania wyładowań doziemnych w Polsce w latach 2002–2020”, napisana została pod kierunkiem dr. hab. Marka Kejny, prof. UMK na Wydziale Nauk o Ziemi i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu.

Recenzowana rozprawa, na którą składa się 5 artykułów naukowych, podejmuje tematykę występowania na terenie Polski zjawisk burzowych, w szczególności doziemnych wyładowań elektrycznych w latach 2002–2020 oraz ich uwarunkowań termodynamicznych. Tematyka pracy mieści się zatem w pełni w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki o Ziemi i środowisku. Chociaż zagadnienia te były przedmiotem licznych studiów, na podkreślenie zasługuje kompleksowe wykorzystanie danych z systemu PERUN, co zapewniło wyjątkowo wysoką rozdzielczość czasowo-przestrzenną. Stanowi to niewątpliwie nową jakość w klimatologii burz w Polsce. Należy również zwrócić uwagę na znaczenie podjętych studiów w świetle zachodzących zmian klimatu. Nasilanie się zjawisk ekstremalnych, w tym burz i związanych z nimi opadów nawałnych, gradu, tornad czy samych wyładowań elektrycznych, będące potencjalną konsekwencją zachodzących zmian,

może stanowić zagrożenie dla ludności i powodować znaczne szkody materialne. Dlatego prezentowane studia uwarunkowań termodynamicznych zjawisk burzowych mają nie tylko wartość poznawczą, lecz mogą także znaleźć zastosowanie w ocenie uciążliwości przewidywanych w różnych scenariuszach przyszłych warunków klimatycznych.

Opis i ocena rozprawy pod względem formalnym

Przedstawiona do oceny dysertacja liczy 121 stron, które obejmują autoreferat (strony 6–41) oraz publikacje składające się na rozprawę (42–121). Syntetyczny opis pracy (autoreferat) ma układ typowy dla zwartych tekstów naukowych. Rozpoczyna go wykaz artykułów stanowiących podstawę dysertacji, po którym następuje streszczenie w języku polskim i angielskim oraz kolejne rozdziały autoreferatu. W rozdziałach wstępnych Autor przedstawił motywację podjęcia badań, przegląd literatury, sprecyzował cel badań i hipotezy badawcze, po czym scharakteryzował wykorzystane bazy danych i metodykę (str. 10–17). Wyniki badań (str. 19–33) obejmują rozkład przestrzenno-czasowy wyładowań doziemnych i liczby dni z burzą, przebieg roczny wyładowań doziemnych i liczby dni z burzą, charakterystykę dni o szczególnej aktywności elektrycznej komórek burzowych, warunki kinematyczno-termodynamiczne tworzenia się chmur burzowych oraz zmienność i trendy wyładowań w latach 2002–2020. Autoreferat kończy podsumowanie, w którym Autor odniósł się do postawionych na wstępie hipotez badawczych oraz formie syntetycznej przedstawił wnioski z przeprowadzonych badań. Uzupełnieniem autoreferatu jest spis literatury, po którym zamieszczone zostały wydruki publikacji stanowiących podstawę dysertacji:

- P1: Sulik Sławomir, 2021. Formation factors of the most electrically active thunderstorm days over Poland (2002–2020). *Weather and Climate Extremes* 34: 1–13.
- P2: Sulik Sławomir, Marek Kejna, 2022. Spatial diversity of cloud-to-ground lightning flashes in the Kujawsko-Pomorskie Voivodeship (Poland), 2002–2019. *Geographia Polonica* 95: 5–23.
- P3: Sulik Sławomir, 2022. A cloud-to-ground lightning density due to progressing climate change in Poland. *Environmental Challenges* 9: 1–12.
- P4: Sulik Sławomir, Marek Kejna, 2023. Comparison of thunderstorm days in Poland based on SYNOP reports and PERUN lightning detection system. *Miscellanea Geographica* 27: 134–146.

P5: Sulik Sławomir, Mateusz Taszarek, 2024. Kinematic and thermodynamic environment during cloud-to-ground lightning occurrence in Poland Meteorology. *Hydrology and Water Management* (złożona do czasopisma).

Powyższy układ dysertacji należy uznać za poprawny, typowy dla prac doktorskich, których podstawę stanowi zbiór artykułów. Autoreferat napisany jest generalnie poprawną polszczyzną, z jedynie nielicznymi pojawiającymi się nieco niezręcznymi lub niejasnymi sformułowaniami. Pojawia się również kilka potknięć edytorskich, głównie dotyczących numeracji rysunków. Same rysunki są jednak przejrzyste i cechują się wysoką jakością.

Opis i ocena merytoryczna rozprawy

Artykuły składające się na ocenianą rozprawę doktorską prezentują wysoki poziom merytoryczny. Jako najbardziej istotną w dorobku Doktoranta należy uznać pierwszą z zestawionych publikacji. Analizując uwarunkowania burz z największą liczbą wyładowań doziemnych w Polsce (8 wybranych dni) udało się wykazać, że ich powstawaniu towarzyszy obszar niskiego ciśnienia nad Morzem Północnym oraz fronty atmosferyczne ze strefą zbieżności wiatru w dolnej troposferze. Określono również sprzyjające powstawaniu tego typu burz wartości uskoku wiatru, indeksu uniesienia, wskaźnika CAPE oraz wilgotności w warstwie granicznej atmosfery i troposferze. W pracy [P2] przedstawiono klimatologiczną analizę wyładowań doziemnych na obszarze województwa kujawsko-pomorskiego z uwzględnieniem, między innymi, specyfiki terenów zurbanizowanych. W tym przypadku nie potwierdzono znanych z literatury schematów wpływu miast na rozwój chmur burzowych. Podobną charakterystykę klimatologiczną, lecz przeprowadzoną w skali całego kraju przedstawiono w pracy [P3]. Obie publikacje stanowią istotny wkład w poznanie klimatologii zjawisk burzowych w Polsce. Ciekawa pod względem metodycznym jest praca [P4], w której porównano liczbę dni z burzą otrzymaną z obserwacji naziemnych z wyznaczoną na podstawie danych systemu PERUN. Poważne konsekwencje dla interpretacji wpływu zmian klimatu na częstotliwość zjawisk burzowych może mieć wykryta rozbieżność trendów wyznaczanych z wykorzystaniem obserwacji naziemnych i systemu PERUN. Autorzy uznają dane ze stacji PERUN za bardziej obiektywne, co jednak w przypadku liczenia trendów może być nieco dyskusyjne ze względu na potencjalną niehomogeniczność danych wynikającą z rozbudowy systemu w kolejnych latach. W ostatniej pracy [P5] powrócono do analizy predyktorów zjawisk burzowych. Wartości wskaźników opracowano jednak na podstawie

reanalizę ERA5, co pozwoliło między innymi na rekonstrukcję prawdopodobieństwa wystąpienia burz od roku 1940.

Przedstawiony zbiór artykułów układa się w logiczną całość, pozwalającą na osiągnięcie założonego celu badawczego i weryfikację zdefiniowanych hipotez. Spośród 6 hipotez badawczych szczególne znaczenie badawcze ma weryfikacja trzech ostatnich. Hipotezy H1 (na terenie Polski występuje zróżnicowanie przestrzenne wyładowań doziemnych uwarunkowane czynnikami geograficznymi) i H3 (liczba wyładowań atmosferycznych wykazuje zmienność w ciągu roku) są bowiem dosyć oczywiste, natomiast hipoteza H2 (rozkład przestrzenny wyładowań atmosferycznych CG w Polsce pozytywnie koreluje z rodzajami pokrycia terenu) jest moim zdaniem niezbyt poprawnie zdefiniowana. Korelacja jest bowiem miarą współzależności wielkości wyrażonych liczbowo, natomiast w przypadku rodzaju pokrycia terenu można oczywiście pewnym klasom przypisać wartości liczbowe, lecz jest to przyporządkowanie subiektywne, mające wpływ zarówno na znak, jak i wartość współczynnika korelacji. Należy zatem domniemywać, że Autor miał na myśli, iż typ pokrycia terenu wpływa na rozkład wyładowań. Weryfikacja hipotez H4 (wzrost temperatury powietrza wpływa na liczbę wyładowań doziemnych oraz liczbę dni z burzą w Polsce), H5 (silne układy burzowe generujące podwyższone wartości wyładowań doziemnych mogą tworzyć się w środowisku umiarkowanego wskaźnika CAPE i relatywnie niskiego ścinania wiatru w warstwie 0–6 km AGL – Deep Layer Shear) i H6 (obecność opadu gradu o średnicy do 2 cm świadczy o intensywności komórek burzowych i jest pozytywnie powiązana z ilością generowanych wyładowań doziemnych) stanowiła natomiast realny problem badawczy, którego rozwiązanie zaprezentowano w pracy. Weryfikacja przedstawionych hipotez stanowi jedynie część problemów naukowych, których rozwiązania przedstawiono w załączonych pracach. Ponieważ dwie z prac to prace autorskie, a w trzech Doktorant jest pierwszym autorem w dwuosobowych zespołach autorskich, można z pełnym przekonaniem stwierdzić, że przedstawiona dysertacja jest dowodem Jego umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej i ogólnej wiedzy teoretycznej.

Uwagi krytyczne

Artykuły stanowiące podstawę doktoratu opublikowane zostały w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym posiadającym współczynnik wpływu, co w pewnym zakresie samo w sobie jest gwarantem odpowiedniego poziomu merytorycznego i formalnego. Dlatego sprecyzowane poniżej uwagi dotyczą głównie autoreferatu. Oprócz przedstawionych

zastrzeżeń w odniesieniu do hipotez badawczych, głównym mankamentem autoreferatu jest pewne niezdecydowanie Autora do jakiego kręgu odbiorców jest on skierowany. Z jednej strony pojawiają się w nim bowiem dosyć oczywiste dla specjalistów stwierdzenia i definicje, na przykład czym są reanalizy ERA5 wsparte dodatkowo popularnonaukowymi ilustracjami (ryc. 4), z drugiej strony Autor zakłada, że wysoce specjalistyczne wskaźniki są czytelnikowi doskonale znane. Uważam, że takie wskaźniki jak np. WMAXSHEAR czy inne zestawione w tabeli 2 powinny być w tekście szerzej omówione. Warto byłoby również wspomnieć czym różni się np. MUCAPE od CAPE czy MUWMAXSHEAR od WMAXSHEAR. Tymczasem dokładniej opisano jedynie CAPE, dodatkowo błędnie definiując granice całkowania w podanym wzorze – Z_f to poziom swobodnej konwekcji (ang. level of free convection), a więc poziom, od którego cząstka zaczyna unosić się samoistnie (a nie „wysokość, do której zdolna jest wypiętrzyć się potencjalna komórka burzowa”), natomiast Z_n to tzw. poziom równowagi ang. (equilibrium level), określony przez punkt przecięcia się krzywej stanu z krzywą stratyfikacji, więc mniej więcej „wysokość, do której zdolna jest wypiętrzyć się potencjalna komórka burzowa”.

Z uwag bardziej technicznych:

- należałoby się zastanowić nad przeredagowaniem niektórych zdań np. zdanie „Wzrost temperatury powietrza jest pośrednio związany ze zmianami środowiska konwekcyjnego w wyższych partiach troposfery...” sugeruje, że przyczyną wzrostu temperatury powietrza jest zmiana środowiska konwekcyjnego, podczas gdy jest raczej odwrotnie; na ryc. 10 przedstawiono raczej przebieg wieloletni temperatury, a nie „Przebieg czasowy rozkładu temperatury”, dodatkowo przedstawiono tam wskaźnik WMAXSHEAR, a nie CAPE; Tabela 1 charakteryzuje dane z reanaliz wykorzystane w pracy, a nie „Parametry przestrzenno-czasowe reanalizy ERA5” itp.

- błędne numeracje i podpisy rysunków – w tekście pojawiają się odwołania do nieistniejących rysunków 13A, 13B, 15, 16B; rysunki 3 i 4 pojawiają się dwukrotnie; błędny podpis rys. 9.

Wniosek końcowy

Zgodnie z obowiązującą Ustawą rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, a jej przedmiotem jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

Uważam, że mimo pewnych mankamentów samego autoreferatu, oceniana rozprawa doktorska Pana mgr. Sławomira Sulika zatytułowana „Wpływ niestabilności termodynamicznej atmosfery na rozkład przestrzenno-czasowy występowania wyładowań doziemnych w Polsce w latach 2002–2020”, której podstawę stanowią publikacje naukowe, w pełni spełnia powyższe warunki. Wobec powyższego wnioskuję do Rady Naukowej Dyscypliny Nauki o Ziemi i Środowisku Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu o przyjęcie pracy jako rozprawy na stopień doktora oraz o dopuszczenie Pana mgr. Sławomira Sulika do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora, w tym do publicznej obrony.



prof. dr hab. Krzysztof Fortuniak