

RECENZJA

ROZPRAWY DOKTORSKIEJ MGRA SŁAWOMIRA SULIKA

PT. „WPŁYW NIESTABILNOŚCI TERMODYNAMICZNEJ ATMOSFERY NA ROZKŁAD PRZESTRZENNO- CZASOWY WYSTĘPOWANIA WYŁADOWAŃ DOZIEMNYCH W POLSCE W LATACH 2002-2020”

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska poświęcona została określeniu czasowo-przestrzennego zróżnicowania występowania wyładowań atmosferycznych w Polsce oraz ocenie warunków termodynamicznych w atmosferze, którym one towarzyszyły. W swoich badaniach Autor szczególną uwagę poświęcił: geograficznym uwarunkowaniom występowania wyładowań, w tym rodzajom pokrycia terenu, związkom między wzrostem temperatury powietrza a liczbą wyładowań oraz określeniu intensywności wyładowań w powiązaniu z warunkami meteorologicznymi. Poruszane w rozprawie zagadnienia należą do dynamicznie rozwijającego się nurtu badań dotyczących występowania i prognozowania zjawisk konwekcyjnych. Zagadnienia te są szczególnie ważne w świetle zachodzących zmian klimatu i towarzyszących im zmianom częstości oraz intensywności ekstremalnych zdarzeń klimatycznych i zjawisk meteorologicznych. Ważnym aspektem tych zmian są również zmiany cyrkulacji atmosferycznej generujące zmieniony reżim uwarunkowań synoptycznych na danym obszarze oraz postępujące zmiany użytkowania terenu, które lokalnie mogą modyfikować warunki występowania zjawisk konwekcyjnych. Niestety, pomimo znaczącego rozwoju narzędzi i technik badawczych, prognozowanie występowania wspomnianych zjawisk, zarówno miejsca, jak i czasu ich wystąpienia, nadal nie jest tak precyzyjne jak byśmy oczekiwali. Z tego powodu wyniki badań zaprezentowane w niniejszej rozprawie doktorskiej stanowią kolejny etap przybliżający nas do lepszego poznania genezy oraz do bardziej precyzyjnej prognozy zjawisk konwekcyjnych występujących w Polsce i Europie Środkowej.

Zasadniczą część pracy doktorskiej mgra Sławomira Sulika tworzy cykl czterech artykułów opublikowanych w latach 2021-2023 oraz jedna publikacja będąca w trakcie recenzji. Wspomniane publikacje zostały wydane w czasopismach o zasięgu międzynarodowym: *Weather and Climate Extremes*, *Geographia Polonica*, *Environmental Challenges* i *Miscellanea Geographica*, a ostatnia złożona została do czasopisma *Meteorology, Hydrology and Water Management*. W dwóch pracach Doktorant był jedynym, a w trzech przygotowanych we współautorstwie, pierwszym autorem. Niestety, ze względu na brak złożonych oświadczeń współautorów, udział Doktoranta w przeprowadzonych badaniach i przygotowaniu wymienionych publikacji nie został jednoznacznie określony. Wspomniane publikacje poruszają poszczególne aspekty występowania wyładowań atmosferycznych na obszarze Polski tworząc logicznie powiązaną całość oraz stanowiąc oryginalne rozwiązanie zagadnienia naukowego i spełniając wymogi stawiane rozprawom doktorskim.

Zaprezentowany cykl artykułów został poprzedzony streszczeniem w języku polskim i angielskim oraz skróconym opisem przeprowadzonych badań i uzyskanych wyników w języku polskim. W tej części pracy Autor wyraźnie podkreślił znaczenie wyładowań atmosferycznych jako wyznacznika burzy, która uważana jest za jedno z najgroźniejszych zjawisk meteorologicznych. Zwracając uwagę na skutki występowania burzy i zjawisk jej towarzyszących wskazał jednocześnie na zmiany częstości występowania i intensywności tego zjawiska oraz na potrzebę i ciągle niedoskonałe możliwości jego detekcji i prognozowania. Stwierdzenia te zostały poparte przeglądem najważniejszych nurtów badawczych spotykanych w literaturze przedmiotu. W kolejnych fragmentach opracowania Autor bardzo szczegółowo zaprezentował cel badań oraz materiały i metody badawcze. Prezentując cel badań Doktorant sformułował sześć hipotez badawczych, których potwierdzenie wyznaczało kolejne etapy pracy i znalazło odzwierciedlenie w cyklu artykułów naukowych:

- H1:** na terenie Polski występuje zróżnicowanie przestrzenne wyładowań doziemnych uwarunkowane czynnikami geograficznymi,
- H2:** rozkład przestrzenny wyładowań atmosferycznych w Polsce pozytywnie koreluje z rodzajami pokrycia terenu,
- H3:** liczba wyładowań atmosferycznych wykazuje zmienność w ciągu roku,
- H4:** w latach 2002-2020 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 – DLS,

H6: obecność opadu gradu o średnicy do 2 cm świadczy o intensywności komórek burzowych i jest pozytywnie powiązana z ilością generowanych wyładowań doziemnych.

W opinii recenzenta pewne wątpliwości budzi uwzględnienie w badaniach hipotezy pierwszej i trzeciej, które można zweryfikować pozytywnie na podstawie znanych z literatury wyników badań przeprowadzonych przez wielu autorów. W przypadku hipotezy pierwszej bardziej właściwe byłoby połączenie jej z hipotezą drugą oraz wskazanie, jakie oddziaływania czynników geograficznych zostaną zweryfikowane bardziej wnikliwie niż te znane do tej pory.

W dalszej części dysertacji zaprezentowane zostały najważniejsze wyniki badań zakończone *Podsumowaniem i wnioskami*, w których podkreślono najważniejsze rezultaty przeprowadzonych badań oraz wskazano, które z postawionych hipotez zostały potwierdzone i w jakim stopniu.

Podstawą przeprowadzonych badań stał się bogaty i dobrze dobrany materiał badawczy obejmujący zarówno obserwacje naziemne, mapy synoptyczne, jak i dane charakteryzujące się znaczną rozdzielczością przestrzenną i czasową a dotyczące detekcji wyładowań oraz stanu atmosfery nad Polską. Do najważniejszych danych źródłowych wykorzystanych w pracy należy zaliczyć:

- obserwacje z 48 stacji synoptycznych wchodzących w skład sieci Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowego Instytutu Badawczego (IMGW-PIB),
- mapy synoptyczne,
- dane z systemu detekcji wyładowań atmosferycznych PERUN,
- dane z reanaliz meteorologicznych ERA5 pozyskanych z European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF),
- raporty o groźnych zjawiskach meteorologicznych z bazy European Severe Weather Database (ESWD),
- dane aerologiczne z trzech polskich stacji: Łęby, Legionowa i Wrocławia.

Prawidłowo dobrany materiał źródłowy oraz właściwie zastosowane metody badawcze pozwoliły Doktorantowi na realizację poszczególnych zadań badawczych i weryfikację przyjętych hipotez. Pewnym wstępem były badania poświęcone warunkom sprzyjającym występowaniu dni burzowych charakteryzujących się największą aktywnością elektryczną. Zostały one opisane w publikacji *Formation factors of the most electrically active thunderstorm days over Poland (2002–2020)* (Sulik 2021). W opracowaniu analizie poddano warunki synoptyczne i stan atmosfery w 8 dniach, w których zanotowano nad Polską najwięcej wyładowań atmosferycznych. Na tej podstawie stwierdzono, że tak wysoka

aktywność elektryczna atmosfery występowała w najcieplejszych miesiącach roku (czerwiec-sierpień) i była niezależna od pory dnia. Jej źródłem była konwekcja związana z dynamicznymi frontami atmosferycznymi (głównie chłodnymi) oddzielającymi gorące i wilgotne masy powietrza zwrotnikowego od chłodniejszych mas polarno-morskich. W pracy tej wykazano, iż wskaźnik CAPE, powszechnie stosowany w prognozowaniu burz, nie zawsze musi przybierać wysokie wartości, podobnie jak towarzyszący mu uskok wiatru w warstwie do 6 km n.p.g., a największa aktywność wyładowań w każdym przypadku dotyczyła przede wszystkim centralnej części kraju.

Należy w tym miejscu zwrócić uwagę na pewną nieścisłość terminologiczną pojawiającą się w tej i kolejnych pracach. Dotyczy ona angielskiego tłumaczenia słowa „burza”, które przez Autora było zamiennie podawane jako „thunderstorm” i „storm”. Poprawne, szczególnie w przypadku poruszanych zagadnień, wydaje się tłumaczenie „thunderstorm”. Słowo „storm” z reguły oznacza silny wiatr (o sile 10° w skali Beauforta), któremu najczęściej towarzyszą opady deszczu lub śniegu, a czasami wyładowania atmosferyczne.

Kolejnym etapem badań było określenie przestrzennej zmienności występowania wyładowań atmosferycznych i jej zależności od pokrycia terenu w województwie kujawsko-pomorskim opisane w pracy *Spatial diversity of cloud-to-ground lighting flashes in the Kujawsko-Pomorskie voivodeship (Poland), 2002-2019* (Sulik, Kejna 2022). Otrzymane wyniki należy zaliczyć do jednych z ciekawszych rezultatów prac Doktoranta. Na podstawie danych o wyładowaniach o bardzo dużej rozdzielczości przestrzennej (5 x 5 km, a wzdłuż Wisły nawet 0,5 x 0,5 km) zaprezentowano znacznie dokładniejsze czasowe i przestrzenne zróżnicowanie występowania dni z burzą na badanym obszarze. Wykazano, iż wykorzystanie tego rodzaju danych wyraźnie wskazuje na niedoszacowanie liczby burz określanej na podstawie obserwacji naziemnych. Potwierdzono także hamujący wpływ dużych rzek i terenów leśnych na przemieszczanie się słabszych komórek burzowych. Przeprowadzone badania wskazują również na wpływ wartości temperatury miesięcy letnich na częstość występowania burz nad badanym obszarem oraz na ogólny wzrost częstości dni burzowych i liczby wyładowań. Zdaniem recenzenta, ze względu na bardzo krótki okres pomiarowy, ostatnie z wymienionych wyników należy raczej traktować jako sygnały zmian badanych wskaźników niż jako jednoznacznie stwierdzone prawidłowości. Potwierdzają to wyniki innych badań wykorzystujących znacznie dłuższe serie obserwacji, wskazujące m.in. na spadek liczby dni burzowych w ostatnich latach w niektórych regionach Polski. W opracowaniu Autorzy wskazują również na coraz wcześniejsze rozpoczynanie się sezonu burzowego i dłuższy czas jego trwania, chociaż nie przedstawiono żadnych wyników potwierdzających takie zmiany.

Dwa kolejne opracowania: *A cloud-to-ground lightning density due to progressing climate change in Poland* (Sulik 2022) oraz *Comparison of thunderstorm days in Poland based on SYNOP reports and PERUN lightning detection system* (Sulik, Keina 2023) stanowią kompleksową charakterystykę występowania wyładowań atmosferycznych nad Polską w latach 2002-2020. Do najważniejszych wyników tych prac należy zaliczyć przede wszystkim zaprezentowanie bardzo szczegółowego obrazu przestrzennego zróżnicowania wyładowań atmosferycznych oraz wykazanie niedoszacowania liczby dni burzowych określanych na podstawie obserwacji naziemnych, szczególnie istotnego na południu kraju. Interesującym rezultatem badań jest także stwierdzenie bardzo wyraźnego w ostatnich latach wzrostu częstości wyładowań dodatnich, które mogą być sygnałem wskazującym na wzrost liczby mezoskalowych układów konwekcyjnych (MCS) przemieszczających się nad Polską.

Ważną częścią prac Autora jest nieopublikowane jeszcze opracowanie *Kinematic and thermodynamic environment during cloud-to-ground lightning occurrence in Poland* przygotowane we współpracy z Mateuszem Taszarkiem. W pracy tej wydzielono trzy typy intensywności burz określonej liczbą wyładowań atmosferycznych, chociaż wydaje się, że zgodnie z przyjętą terminologią dwie z przypisanych im nazw powinny zostać zamienione: „enhenced” na „moderate” i odwrotnie. Następnie określono zakres zmian wartości wskaźników termodynamicznych najlepiej charakteryzujących występowanie wyładowań, do których zaliczono przede wszystkim: CAPE, DLS, WMAXSHEAR oraz Mixing Ratio określone dla najbardziej niestabilnej warstwy atmosfery. Opracowano także przestrzenną zmienność występowania wysokich wartości wybranych wskaźników i określono tendencje ich zmian w poszczególnych obszarach kraju. Wskazano jednocześnie na rolę wzrostu temperatury powietrza i dobowych uwarunkowań termicznych na zwiększającą się częstość wyładowań oraz na występowanie gradu jako wskaźnika intensywności burz, w szczególności superkomórek burzowych.

Podsumowując, wyniki badań uzyskane w recenzowanej rozprawie doktorskiej stanowią ważne uzupełnienie wiedzy dotyczącej uwarunkowań występowania wyładowań atmosferycznych w Polsce. Dotyczy to przede wszystkim wpływu pokrycia terenu na występowanie burz oraz określenia warunków termodynamicznych atmosfery, którym towarzyszą najsilniejsze z nich. Rezultaty te mają nie tylko charakter poznawczy, ale i aplikacyjny, który może zostać wykorzystany do dalszego udoskonalania prognozowania zjawisk konwekcyjnych.

Reasumując, recenzowana rozprawa doktorska mgra Sławomira Sulika stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego oraz istotny wkład do rozwoju badań dotyczących występowania zjawisk konwekcyjnych w Polsce. Zaprezentowane badania wskazują na bardzo dobrą znajomość zagadnień badawczych, która potwierdza szeroką wiedzę Doktoranta oraz znajomość literatury przedmiotu. Wnikliwa analiza bogatego materiału badawczego oraz zastosowane metody badawcze świadczą o dojrzałości naukowej Doktoranta i opanowaniu warsztatu badawczego. Potwierdzają również jego ogólną wiedzę teoretyczną z zakresu nauk o Ziemi oraz świadczą o umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Zawarte w recenzji nieliczne uwagi krytyczne lub wątpliwości nie wpływają na pozytywną ocenę recenzowanej rozprawy.

W związku z powyższym stwierdzam, że w mojej ocenie **rozprawa doktorska mgra Sławomira Sulika spełnia kryteria formalne i merytoryczne stawiane rozprawom doktorskim** (zgodnie z Ustawą z dnia 20 lipca 2018 roku *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce*). Dlatego też wnoszę do Rady Dyscypliny Nauki o Ziemi i Środowisku Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu o dopuszczenie mgra Sławomira Sulika do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



Zuzanna Bielec-Bąkowska