



Poznań 8.08.2024 r.

Prof. dr hab. Leszek Kolendowicz
Zakład Meteorologii i Klimatologii

RECENZJA

rozprawy doktorskiej **mgr. Sławomira Sulika**

pt: „*Wpływ niestabilności termodynamicznej atmosfery na rozkład przestrzenno-czasowy występowania wyładowań doziemnych w Polsce w latach 2002-2020*”

Ocenę rozprawy doktorskiej mgr. Sławomira Sulika sporządzono na podstawie uchwały nr 11/2024 Rady Dyscypliny Nauki o Ziemi i Środowisku Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu z dnia 14 czerwca 2024 r. Rozprawa została napisana w Katedrze Meteorologii i Klimatologii Wydziału Nauk o Ziemi i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu po kierunku prof. UMK dr hab. Marka Kejny.

Na przedłożoną rozprawę składa się pięć artykułów naukowych. Cztery ze wspomnianych artykułów zostały opublikowane w latach 2021-2024 w czasopismach z ujętych w ministerialnym wykazie czasopism. Jeden z artykułów złożono do czasopisma Meteorology, Hydrology and Water Management i w trakcie opracowywania rozprawy był na etapie recenzji. Sumaryczna liczba punktów (punktacja MEN) artykułów wchodzących w skład rozprawy wynosi 345 nie wliczając nieopublikowanej pracy a łączny IF wynosi 9,9, również nie wliczając ostatniego nieopublikowanego artykułu. Pierwszy oraz trzeci artykuł są opracowaniami autorskimi Doktoranta, natomiast artykuły 2, 4 oraz 5 są współautorskie. Szkoda, że Doktorant nie załączył oświadczeń o swoim udziale w opublikowanych artykułach współautorskich. Uwagę zwraca wysoki IF pierwszego artykułu wynoszący 8 oraz duża przyznana przez MEN liczba punktów (140). Ponadto dwa artykuły (2 oraz 4) opublikowano w czasopismach za 100 punktów, oraz jeden za 5 punktów.

Artykuły naukowe składające się na rozprawę doktorską, załączone w końcowej części opracowania, poprzedzone zostały częścią wstępną. Autor przedstawił tutaj w kolejnych rozdziałach spis i krótki opis prac składających się na przedłożoną do recenzji rozprawę oraz pozostałe autorskie lub współautorskie prace nie wchodzące w skład doktoratu. Następnie zaprezentował streszczenie rozprawy w języku polskim i angielskim, opis motywacji podjętych badań, stan dotychczasowej wiedzy

dotyczący poruszanych w rozprawie zagadnień oraz cel opracowania. Wątpliwości recenzenta budzą słowa kluczowe rozprawy: burza, wyładowania atmosferyczne, konwekcja, CAPE. Autor w rozprawie wykorzystuje w sumie aż 13 wskaźników związanych z termodynamiką, kinematyką atmosfery, jej temperaturą i zasobem wilgoci. Wydaje się, że wymienienie tylko jednego wskaźnika CAPE w słowach kluczowych jest zbyt dużym uproszczeniem.

W kolejnej części rozprawy Autor dokonał opisu wykorzystywanych w toku postępowania badawczego baz danych, następnie przedstawił zastosowaną metodykę badań i rezultaty uzyskane w poszczególnych artykułach. Wstępną część rozprawy kończy prezentacja podsumowania i najważniejsze wnioski wyływające z przeprowadzonych dociekań naukowych oraz spis literatury.

Celem rozprawy doktorskiej mgr. Sławomira Sulika była „analiza czasowo-przestrzenna wyładowań atmosferycznych w Polsce oraz określenie termodynamicznego stanu atmosfery generujących ich występowanie na terenie Polski”. Biorąc pod uwagę, że zjawisko burzy zaliczyć można do zjawisk ekstremalnych, generujących straty gospodarcze jak i zagrożenie dla życia i zdrowia ludności, podjęcie badań nad jednym ze zjawisk towarzyszących chmurze *Cumulonimbus* jakim są wyładowania atmosferyczne, jest jak najbardziej uzasadnione. Pewne wątpliwości może budzić jednakże samo sformułowanie celu rozprawy, gdzie Autor wskazuje analizę czasowo-przestrzenną wyładowań jako pierwszy z celów a dopiero później na określenie termodynamicznego stanu atmosfery towarzyszącemu wyładowaniom w trakcie burz. Uważam, że sformułowanie polegające na odwróceniu kolejności zdania byłoby właściwsze. Celem nie powinna być analiza sama w sobie. Analiza jest tylko jednym ze środków do osiągnięcia celu jakim w skrócie było określenie termodynamicznego stanu atmosfery.

Po przedstawieniu celu badań Doktorant prezentuje opis baz danych z jakich korzystał podczas prowadzonych badań. Wymienia tutaj System PERUN, Raporty SYNOP oraz reanalizy meteorologiczne ERA5. Skorzystanie z wymienionych, skomplikowanych i bardzo obszernych baz danych było niezbędne aby osiągnąć założone cele badawcze i świadczy jednocześnie o bardzo dobrych umiejętnościach i warsztacie badawczym Autora rozprawy. W rozdziale opisującym bazy danych brak jednak odniesienia do wykorzystywanych przez Doktoranta danych z pionowych sondowań atmosfery. Uwaga krytyczna odnosi się również do mało czytelnej, lub zbyt słabo wyjaśnionej ryciny 4 zamieszczonej na stronie 16 manuskryptu rozprawy. Dla przykładu, można się tylko domyślać, że umieszczony u dołu ryciny wykres przedstawia anomalie temperatury globalnej. W przypadku korzystania z bazy danych dotyczących wyładowań atmosferycznych pojawia się pytanie, czy przeprowadzone analizy wyładowań doziemnych z podziałem na dodatnie i ujemne ma znaczenie w zakresie ochrony ludności i mienia?

W kolejnym rozdziale Doktorant przedstawia zastosowaną w poszczególnych artykułach rozprawy metodykę badawczą. Autor, jak już wskazano wcześniej, umiejętnie wykorzystuje narzędzia badawcze jakimi są język programowania R, Arcgis PRO czy Microsoft PowerShell. Przeprowadzone analizy o charakterze klimatologicznym dokonano poprawnie pod względem merytorycznym,

dopasowując ich rozdzielczość do rozdzielczości stosowanej w istniejącej literaturze przedmiotowej, co umożliwia porównywalność uzyskanych przez Doktoranta rezultatów badawczych.

Kolejna część rozprawy przedstawia rezultaty badawcze prezentowane w zbiorze pięciu artykułów naukowych. W pierwszym z nich Doktorant analizuje warunki powstawania chmur burzowych o dużym potencjale wyładowań o charakterze C-G na obszarze Polski, przy wykorzystaniu danych z ośmiu dni z burzą o największej liczbie wyładowań podczas cyklu życiowego jednej chmury *Cumulonimbus* (lata 2006-2019). Kryterium wyboru stanowił próg 60 000 wyładowań. Autor rozprawy nie podaje jednak, na czym opierał się przyjmując powyższe kryterium. Brak również odniesień do stosowanej literatury w opublikowanym artykule. W rezultacie przeprowadzenia bardzo szeroko zakrojonych badań Doktorant uzyskał interesujące rezultaty badawcze wskazujące, że burze z najbardziej intensywnymi wyładowaniami mogą występować na obszarze całego kraju zarówno w ciągu dnia jak i nocy, i są związane z przemieszczającym się chłodnym frontem atmosferycznym przemieszczającym się nad Polską w kierunku północnym lub północno-wschodnim, w okresie od czerwca do sierpnia. Określono również warunki termodynamiczne i kinematyczne oraz zawartość wilgoci w powietrzu w dniach z analizowanymi burzami. Uwaga krytyczna odnosząca się zarówno do analizowanego jak i pozostałych artykułów dotyczy używanego zamiennie przez Doktoranta określenia thunderstorm i storm, pomimo przytaczanej kilkakrotnie we wstępnej części rozprawy poprawnej definicji burzy, jako zjawiska związanego z wyładowaniami atmosferycznymi. Określenia thunderstorm i storm nie są jednoznaczne, szczególnie w fachowej literaturze naukowej. Określenie w języku angielskim storm odnosi się do zjawiska atmosferycznego generującego zazwyczaj silny wiatr oraz opady atmosferyczne, niekoniecznie związanego z wyładowaniami atmosferycznymi.

W kolejnym artykule Doktorant przedstawił przestrzenne zróżnicowanie wyładowań atmosferycznych na obszarze województwa kujawsko-pomorskiego w latach 2002-2019. Uzyskane rezultaty badawcze przedstawiają uśrednione roczne i miesięczne rozkłady liczby dni z burzą oraz liczby wyładowań atmosferycznych z uwzględnieniem dziennego maksimum wyładowań. Przedstawiono również uśrednione dobowe przebiegi liczby wyładowań atmosferycznych na badanym obszarze w poszczególnych sezonach roku, jak również rezultaty analizy wykazujące wzrost z roku na rok zarówno temperatury powietrza, liczby dni z burzą oraz wyładowań atmosferycznych w badanym okresie. Interesującym rezultatem bardzo rzadko prowadzonych badań, jest określenie wpływu odległości od rzeki (Wisła) na częstość wyładowań atmosferycznych, wskazujące na obniżenie intensywności burz nad zbiornikami wodnymi (w tym przypadku nad rzeką).

W kolejnym, trzecim artykule Doktorant dokonuje próby określenia wpływu zmian klimatu na gęstość wyładowań atmosferycznych na obszarze Polski w latach 2002-2020. Rezultaty badawcze przedstawiają rozkład dokładności (km) sieci detekcji wyładowań atmosferycznych PERUN obliczoną dla 12 sensorów, co stanowi uzupełnienie dotychczasowego stanu wiedzy. Zaprezentowano także rozkłady przestrzenne liczby dni z burzą oraz liczby wyładowań atmosferycznych na obszarze Polski w

roku średnim, liczby wyładowań atmosferycznych w poszczególnych latach oraz miesiącach okresu badawczego, jak również rozkłady przestrzenne liczby wyładowań dodatnich i ujemnych w roku średnim oraz w poszczególnych latach badanego okresu. Interesującym rezultatem artykułu jest również przedstawienie wieloletniego przebiegu liczby wyładowań atmosferycznych w wyróżnionych na podstawie uwarunkowań klimatycznych (temperatura powietrza oraz odległość od Bałtyku czy obszarów górskich) przykładowych regionach. Uzyskane rezultaty wskazują na rosnący trend liczby wyładowań atmosferycznych z roku na rok. Najsilniejsze trendy stwierdzono w południowo-wschodniej części kraju.

Czwarty z serii pięciu artykuł przedstawia rezultaty szczegółowej analizy porównawczej liczby dni z burzą określonej na podstawie raportów SYNOP oraz systemu detekcji wyładowań atmosferycznych PERUN. Na podstawie analizy wcześniejszej literatury przyjęto bufor 15 km dla wyładowań atmosferycznych jako najlepiej odnoszący się na obszarze Polski do możliwości obserwacji burz na stacjach synoptycznych. W opracowaniu porównano rozkłady przestrzenne liczby dni z burzą określone na podstawie danych SYNOP i PERUN dla okresu badawczego uśrednione dla roku, poszczególnych miesięcy oraz lat. Wartościowym rezultatem opracowania są mapy porównujące trendy obliczone dla dni z burzą określonych dwoma wskazanymi uprzednio kryteriami wskazujące na wzrost liczby dni burzowych obliczonych na podstawie danych z systemu PERUN w badanym okresie we wszystkich stacjach synoptycznych. Uwaga krytyczna odnosząca się do treści prezentowanych w analizowanym artykule odnosi się do mapy prezentowanej na rycinie 1D. Pomimo uwzględnienia dodatkowej stacji w Lesku rezultat obliczeń (mapa) nie różni się niczym od prezentowanej w poprzednim, trzecim artykule serii. Czy rzeczywiście stacja w Lesku nie poprawiła rezultatów dokładności detekcji wyładowań na obszarze południowo-wschodniej Polski?

Ostatni, piąty artykuł wchodzący w skład rozprawy doktorskiej zajmuje się problemem warunków termodynamicznych i kinematycznych towarzyszących wyładowaniom atmosferycznym typu C-G na obszarze Polski w latach 2002-2020. Załączony manuskrypt jest bardzo obszernym i wielowątkowym i wartościowym opracowaniem, w którego rezultacie ustalono wartości MUCAPE wynoszące 1300 J/kg oraz Wind Shear (0-6 km) wynoszące 13-14 m/s oraz parametru WMAXSHEAR ($500 \text{ m}^2/\text{s}^2$) jako najbardziej sprzyjające wyładowaniom atmosferycznym. Ustalono także korelację pomiędzy Hail Size Index (HSI) a częstością wyładowań w superkomórkach burzowych. W wyniku przeprowadzonych badań ustalono również rozkład przestrzenny oraz trendy w okresie 1940-2022 wielu parametrów takich jak temperatura powietrza, MU CAPE, MU Mixing Ratio oraz MU WMAXSHEARE dla obszaru Polski.

Biorąc pod uwagę dotychczasowy stan badań zjawiska burzy w literaturze o zasięgu międzynarodowym należy stwierdzić, że uzyskane rezultaty badawcze zaprezentowane w recenzowanej rozprawie doktorskiej z jednej strony pozwoliły na potwierdzenie wyników wcześniejszych prac dotyczących uwarunkowań termodynamicznych i kinematycznych burz, z drugiej

natomiast dały możliwość ich uszczegółowienia oraz poszerzenia dotychczasowej wiedzy dotyczącej wartości wybranych wskaźników, MU CAPE, MU Mixing Ratio oraz MU WMAXSHEARE czy DLS i ich korelacji z intensywnością wyładowań atmosferycznych na obszarze Polski. Ponadto część rezultatów rozprawy ma charakter aplikacyjny, przydatny w prognozowaniu intensywności wyładowań atmosferycznych.

Podsumowując recenzję stwierdzam, że **rozprawa doktorska mgr. Sławomira Sulika pt: „Wpływ niestabilności termodynamicznej atmosfery na rozkład przestrzenno-czasowy występowania wyładowań doziemnych w Polsce w latach 2002-2020” stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.** Ponadto, analiza składających się na recenzowaną rozprawę artykułów jednoznacznie wykazuje bardzo dobre obeznanie Doktoranta z literaturą przedmiotu badań, jak również metod badawczych, w tym w wielu przypadkach skomplikowanych i wymagających dużej wiedzy z zakresu fizyki atmosfery czy synoptyki. Recenzowana rozprawa doktorska **wykazuje zatem ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta dotyczącą uwarunkowań występowania zjawiska burzy i wyładowań atmosferycznych typu C-G** na dobrym poziomie akademickim. Uzyskane rezultaty badawcze oraz ich publikacja w czasopismach o zasięgu międzynarodowym jednoznacznie wskazują, że Doktorant **wykazuje umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.** Uwagi krytyczne zawarte w recenzji są w części uwagami o charakterze dyskusyjnym i nie wpływają istotnie na wartość merytoryczną rozprawy doktorskiej.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska spełnia wymogi określone w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. *prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* i stawiam wniosek do Rady Dyscypliny Nauki o Ziemi i Środowisku na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika w Toruniu dopuszczenie mgr. Sławomira Sulika do kolejnych etapów przewodu doktorskiego, w tym do publicznej obrony.

