Łódź, 26. sierpnia 2018 r.

Prof. dr hab. Joanna Wibig
Katedra Meteorologii i Klimatologii
Uniwersytet Łódzki

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. Artura Szkopa pt. *Identyfikacja obszarów źródłowych aerozoli atmosferycznych na podstawie pomiarów parametrów fizycznych aerozoli oraz analizy statystycznej trajektorii wstecznych mas powietrza*

Przedłożona rozprawa doktorska mgr. Artura Szkopa została przygotowana w Instytucie Geofizyki Polskiej Akademii Nauk pod kierunkiem dr. hab. Aleksandra Pietruczuka, prof. PAN. Rozprawa składa się z 4 artykułów i 5-stronicowego streszczenia. Trzy artykuły ukazały się w czasopismach indeksowanych w *Web of Science* ze współczynnikami wpływu wahającymi się od 0,709 do 1,146. Czwarty opublikowano w pokonferencyjnym tomie *Remote Sensing of Clouds and the Atmosphere XXI*. W trzech publikacjach Doktorant jest pierwszym autorem, w czwartym drugim z pięciu autorów. Jego udział w ich przygotowaniu został opisany i oceniono go na od 20 do 90%. Wszystkie publikacje stanowią dotyczą, zgodnie z tytułem rozprawy, identyfikacji obszarów źródłowych aerozoli atmosferycznych na podstawie pomiarów parametrów fizycznych aerozoli oraz analizy statystycznej trajektorii wstecznych mas powietrza

Podstawowym celem badawczym przedstawionego cyklu było opracowanie spójnej metody analitycznej pozwalającej na wyznaczenie obszarów źródłowych aerozoli atmosferycznych oraz rozpoznanie ich typów na podstawie pomiarów parametrów optycznych i danych z modeli atmosfery.

W pierwszej pracy przedstawionego cyklu, zatytułowanej „*The long-term (1964-2014) variability of aerosol optical thickness and its impact on solar irradiance based on the data taken at Belsk, Poland*", zbadano długookresową

zmienność koncentracji aerozoli na podstawie szerokopasmowej grubości optycznej unormowanej do grubości optycznej równej 2 (BAOT2). Dodatkowo zrekonstruowano wartości grubości optycznej aerozoli w pasmach 500 i 340 nm (AOT500 i AOT340). Wykorzystano w tym celu pomiary tych wielkości wykonane w Belsku w latach 2002-2012, oraz wartości BAOT2 z lat 1964-2014. Obliczono trendy średnich rocznych wartości BAOT2, pokazano wzrost BAOT2 w latach 1964-1975, spadek w latach 1976-1991 i wyrównany przebieg w dalszej części szeregu. Pokazano także wpływ zawartości aerozoli na wartości promieniowania całkowitego i UV przy powierzchni ziemi. Wskazano na silny wpływ zawartości ozonu i aerozoli na promieniowanie UV w okresie przed 1996 rokiem i praktycznie brak tego wpływu w późniejszym okresie. Niestety nie przedyskutowano, dlaczego po 1996 roku roku ani zawartość ozonu (zmieniająca się przecież po wprowadzeniu ograniczenia emisji freonów i innych substancji niszczących warstwę ozonową), ani zawartość aerozoli nie wpływają na wartość indeksu UV. Nie do końca jest również jasne, jaki jest wkład tej publikacji w realizację założonego celu opracowania. Udział Doktoranta w jego przygotowaniu oceniono na 20%.

W drugiej publikacji cyklu, *Analysis of aerosol transport over southern Poland in August 2015 based on a synergy of remote sensing and backward trajectory techniques*, autorzy identyfikują warstwy ze zwiększoną zawartością aerozoli wewnątrz i ponad planetarną warstwą graniczną na podstawie pomiarów wykonanych celiometrem i fotometrem w Raciborzu podczas szczególnie silnej fali upału, w dniach 3-15 sierpnia 2015 roku, a następnie obliczają z modelu HySPLIT 5-dniowe trajektorie wsteczne, kończące się w warstwach o zwiększonej koncentracji aerozolu. Analiza statystyczna tych trajektorii pozwala im wyznaczyć tereny, znad których powietrze dociera do do Raciborza. To staje się podstawą do określenia źródeł aerozoli: obszarów zurbanizowanych i przemysłowych (region Krakowa,wschodniej Słowacji i północno-wschodnich Węgier). Identyfikację źródeł spalania biomasy w Ukrainie wspierają obrazy satelitarne pola temperatury rejestrowane przez MODIS i pozwalające na zlokalizowanie pożarów (wypalanie pól i pożary lasów). Analiza pokazuje jedynie, że są to możliwe źródła, ponieważ nad nimi przechodzi znaczna część trajektorii. W pracy wykorzystano nowatorską metodę analizy gęstości trajektorii z ważeniem czasu przebywania nad jakimś punktem przez jego odległość od Raciborza wzdłuż trajektorii. W ten sposób redukowano zwiększanie gęstości

trajektorii w miarę zbliżania się do celu (w tym wypadku Raciborza). Udział Doktoranta oceniono na 70%.

W kolejnej publikacji cyklu, *Classification of aerosol over Central Europe by cluster analysis of aerosol columnar optical properties and backward trajectory statistics*, autorzy wykorzystali dane z czterech stacji w środkowej Europie: w Belsku, Lipsku, Mińsku i Moldovej do klasyfikacji aerozolu. Analizowano trzy charakterystyki aerozolu: jego grubość optyczną (AOT), wykładnik ekstynkcji Angstroma (EAE) i wykładnik absorpcji Angstroma (AAE). O ile pierwsze dwa parametry wyznaczono dla prawie 4000 pomiarów, to wyznaczenie AAE było możliwe tylko w 681 przypadkach, z których jedynie 613 dało się wykorzystać do klasyfikacji. Zastosowano trzy różne wersje klastrowania: metodę k-średnich według algorytmu Lloyda z wykorzystaniem wszystkich trzech zmiennych, z wykorzystaniem pierwszych dwóch zmiennych i metodę stałych progów z wykorzystaniem pierwszych dwóch zmiennych. W pierwszym przypadku uzyskano trzy klastry, w pozostałych dwóch po pięć. Liczbę klastrów trzeba w metodzie Loyda przyjąć *a priori*, niestety brak informacji o przyczynach takiego właśnie wyboru. Następnie zastosowano metodę analizy statystycznej trajektorii wstecznych dla ustalenia obszarów źródłowych związanych z poszczególnymi typami aerozolu, określonymi poprzez klastry. Metoda klastrowania z wykorzystaniem trzech zmiennych wydaje się najlepiej różnicować typy aerozoli, jednak możliwe było jej zastosowanie tylko w przypadku około 20% pomiarów. W pozostałych przypadkach uzyskano po pięć klastrów, jednak autorzy sugerują, że typy aerozoli nie są dobrze rozdzielone. Cenną częścią tego artykułu są rozważania na temat obszarów źródłowych poszczególnych typów aerozoli docierających do obszaru środkowej Europy. Jednak w niektórych przypadkach mogłyby być wsparte dodatkowymi analizami. Na przykład, autorzy wspominają, że czas życia w atmosferze drobnego aerozolu morskiego (o promieniu poniżej 4 μm) wynosi do 1 doby, żeby określić jego obszar źródłowy można było wykorzystać trajektorie wsteczne tylko z ostatniej doby. Udział Doktoranta w przygotowaniu tej publikacji oceniono na 60%.

Ostatnia publikacja cyklu, *Analysis of aerosol transport over southern Poland in August 2015 based on a synergy of remote sensing and backward trajectory techniques*, dotyczy identyfikacji źródeł aerozolu, który dotarł do Raciborza w czasie fal upału, jakie wystąpiły w sierpniu 2015 roku. Zaobserwowano wówczas dwie fale

upału, jedną w pierwszej połowie miesiaca (3-16 sierpnia) z wyraźnie podwyższoną planetarną warstwą graniczną i znacząco wyższą od średniej grubością optyczną aerozolu. Ten przypadek został szczegółowo opisany w drugiej pozycji cyklu. Tu dodano jeszcze analizę rozkładu zmian AOT500 na trasach Kraków – Racibórz i Ukraina – Racibórz, dwóch trajektoriach, wzdłuż których masy powietrza docierające do Raciborza pochłaniały aerozol. Analiza ta bardzo ładnie wspiera wnioski dotyczące położenia obszarów źródłowych. Druga fala upału wystapiła w trzeciej dekadzie sierpnia. Nad Raciborzem zaobserwowano warstwy aerozolu w wyższych warstwach atmosfery, znacząco powyżej planetarnej warstwy granicznej, a jednocześnie grubość optyczna aerozolu nie była wyższa od przeciętnej, co Autorzy interpretują jako możliwość transportu z dalekich odległości. Analiza statystyczna trajektorii sugeruje transport znad Ameryki Północnej. Taką możliwość potwierdza analiza obrazów satelitarnych – obecność pikseli o wyjatkowo wysokiej temperaturze świadczących o pożarach biomasy w północno-zachodniej części Stanów Zjednoczonych i wyniki programu MINX odtwarzającego wysokość chmury dymów powstałych w wyniku tych pożarów. Jest to przykład szczegółowej analizy przypadku, w którym autorzy starają się znaleźć źródło warstw aerosolu nad Raciborzem zaobserwowanych dzięki pomiarom celiometrem i fotometrem. Udział Doktoranta oceniono na 90%.

Przestawiona dyskusja wyników wskazuje na bardzo wnikliwe poszukiwanie uzasadnienia słuszności swoich tez. Autorzy wykorzystali w tym celu bardzo zróżnicowane źródła danych, pomiary naziemne, obrazy satelitarne, modele transportu mas powietrza oraz opracowali nowatorską metodykę analiz –statystyczną analizę trajektorii z ważeniem czasu przebywania mas nad danych obszarem przez jego odległość wzdłuż trajektorii od punktu końcowego, uwzględniającą możliwość wzbogacania mas w aerozol, dzięki zastosowaniu wysokości granicznej. Zastosowano również analizę rozkładu zmian AOT500 wzdłuż trajektorii, wskazując na trasy wzdłuż których rzeczywiście zwiększała się grubość optyczna aerozoli. Rekonstrukcja wysokości smugi zanieczyszczeń pozwoliła na zwiększenie wiarygodności interpretacji wyników. Mam jednak dwie krytyczne uwagi. Pierwsza z nich jest merytoryczna. Dotyczy wysokości krytycznej A_t. Autorzy nie podali, czy jest to wysokość nad powierzchnią Ziemi, czy nad poziomem morza? Jak ma się ta wysokość do wysokości odpowiednich punktów w modelu pogody, z którego korzystał program HYSPLIT? Czy może mieć to wpływ na otrzymane wyniki? Oczywiście rozstrzygnięcie tych

wszystkich kwestii nie jest do końca możliwe, ale warto byłoby wiedzieć, że Autorzy zdają sobie sprawę z problemu i w jakimś choć stopniu uwzględniają go w swoich analizach. Druga kwestia jest bardziej formalna. Analiza dotycząca pierwszej fali upału w Raciborzu jest głównym tematem drugiej pracy cyklu i praktycznie została powtórzona w czwartej pracy cyklu. Dwa rysunki są praktycznie identyczne, fragmenty tekstu pokrywają się, natomiast w spisie literatury żadnej z nich nie pojawia się ta druga. Pomimo tego, że autorami obu prac są te same osoby: Doktorant i Promotor, to takie powtórzenia zdecydowanie wymagają podania źródła.

Złożony cykl publikacji poprzedzony jest 5-stronicowym streszczeniem. Streszczenie takie powinno zawierać wyraźne określenie celu rozprawy, zarysować stan wiedzy w momencie przystępowania do analizy oraz wskazać jak w poszczególnych pozycjach tego cyklu ten cel był osiągany. Doktorant przedstawił cel badań, zarysował stan wyjściowy wiedzy i podsumował wyniki uzyskane w przedstawionym cyklu, niestety nie wskazał jak realizowane były cele w poszczególnych publikacjach. Pierwsza z nich jest jakby obok podstawowego celu, związki drugiej z czwartą omawiane były szerzej we wcześniejszej części tej recenzji.

Wszystkie prace zgłoszonego cyklu zostały opublikowane w publikacjach indeksowanych w bazie *Web of Science*, zatem pozytywnie przeszły już przez proces recenzowania. Drobne krytyczne uwagi recenzenta mają w tym kontekście inne znaczenie, nie umniejszając istotnie wysokiego poziomu naukowego przedstawionych prac. Autor cyklu jest doświadczonym badaczem, o niezłych współczynnikach bibliometrycznych, znacznie przewyższających wymagania stawiane kandydatom do stopnia doktora. Obecnie w bazie Scopus można znaleźć 10 publikacji Doktoranta, były one 63 razy cytowane i indeks Hirscha autora wynosi 4. W bazie *Web of Science* można znaleźć 9 publikacji, których współautorem jest Doktorant. Jego indeks Hirscha wynosi 4, a suma cytowań, bez autocytowań 58. Jak na kandydata na doktora, jest to bardzo dobry wynik.

Do najważniejszych osiągnięć rozprawy zaliczam:

- opracowanie metody analitycznej umożliwiającej wyznaczenie obszarów źródłowych aerozoli atmosferycznych oraz rozpoznanie ich typów na podstawie parametrów optycznych i danych z modeli atmosfery,
- opracowanie metody analizy statystycznej trajektorii z ważeniem ich gęstości,

- analizę zmienności parametrów optycznych aerozoli wzdłuż trajektorii w celu wykrycia obszarów źródłowych

Wniosek końcowy

Na podstawie szczegółowej analizy i oceny rozprawy doktorskiej mgr. Artura Szkopa pt. „Identyfikacja obszarów źródłowych aerozoli atmosferycznych na podstawie pomiarów parametrów fizycznych aerozoli oraz analizy statystycznej trajektorii wstecznych mas powietrza" stwierdzam, że stanowi ona oryginalne rozwiązanie aktualnego problemu naukowego i spełnia wymogi określone w Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. z 2003 nr 65 poz. 595, z późn. zm.).

Biorąc powyższe pod uwagę, stawiam wniosek o dopuszczenie mgra Artura Szkopa do kolejnych etapów przewodu doktorskiego, w tym do publicznej obrony.

KIEROWNIK
Katedry Meteorologii i Klimatologii UŁ
prof. zw. dr hab. Joanna Wibig