dr hab. inż. Małgorzata Werner, prof. UWr
Wydział Nauk o Ziemi i Kształtowania Środowiska
Uniwersytet Wrocławski

Wrocław, 28.11.2022 r.

Recenzja pracy doktorskiej mgr Łucji Janickiej

pt. „Własności optyczne i mikrofizyczne aerozolu atmosferycznego pochodzącego ze spalania biomasy pozyskiwane na podstawie obserwacji lidarowych w Warszawie"

Przedstawiona do recenzji dysertacja mgr Łucji Janickiej została wykonana pod kierunkiem dr hab. Iwony Stachlewskiej, prof. UW na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.

W ramach realizacji pracy, Doktorantka wykorzystała dane z 12-kanałowego lidaru aerozolowo-depolaryzacyjno-ramanowskiego Polly^{XT}-UW do wyznaczenia własności optycznych oraz na ich podstawie również właściwości mikrofizycznych aerozoli atmosferycznych pochodzących ze spalania biomasy, obserwowanych nad Warszawą w okresie 2013-2020. Dodatkowo zastosowano metody modelowania numerycznego do określenia kierunku napływu mas powietrza w celu wnioskowania o źródłach pochodzenia aerozolu. Ważną częścią pracy było stworzenie przez Doktorantkę narzędzia do analizy porównawczej profili lidarowych i ich wizualizacji (narzędzie PROfiler). Autorka pracy miała na celu wyszukanie i opisanie charakterystycznych przypadków napływu, dbając o wysoką jakość analizowanych danych pomiarowych, stąd praca nie stanowi analizy statystycznej napływu aerozolu ze spalania biomasy we wskazanym okresie.

Podjęty temat badawczy jest ciekawy i aktualny ze względu na wpływ aerozoli atmosferycznych, poprzez rozpraszanie i pochłanianie promieniowania słonecznego, na budżet promieniowania Ziemi i system klimatyczny. Wykorzystane w pracy pomiary i metody badawcze są unikatowe w skali kraju. Standardowe pomiary prowadzone w Polsce pozwalają na relatywnie dobrą charakterystykę rozkładu przestrzennego stężeń aerozoli atmosferycznych przy powierzchni gruntu (tzw. pomiary naziemne). Dla przykładu pomiary prowadzone przez Główny Inspektorat Ochrony Środowiska (ok. 200 stacji) dostarczają informacji o stężeniach całkowitego pyłu zawieszonego PM2.5 i PM10 w Polsce w rozdzielczości czasowej dobowej lub 1-godzinnej, co może stanowić podstawę m.in. oceny wpływu jakości powietrza atmosferycznego na zdrowie. Pomiary te jednak nie dają informacji o profilu pionowym aerozoli w atmosferze, jak również o np. pochodzeniu, składzie

chemicznym czy kształcie cząstek. Zastosowanie modeli numerycznych transportu zanieczyszczeń może być wsparciem w dostarczaniu takich informacji, szczególnie w kontekście analizy źródeł aerozoli w powietrzu atmosferycznym, jednak dopiero komplementarne podejście, uwzględniające różne metody pomiarowe i modelowanie numeryczne pozwoli na uzyskanie kompleksowej, wysokiej jakości informacji o składzie i właściwościach atmosfery. Wykorzystane w pracy pomiary lidarowe są źródłem wiedzy na temat struktury pionowej aerozoli atmosferycznych, a wyniki tej pracy dostarczają cennych informacji o optycznych i mikrofizycznych właściwościach cząstek pochodzących ze spalania biomasy.

Struktura pracy

Ogólna struktura pracy jest poprawna. Praca składa się z 7 rozdziałów. Wstęp zawiera zwięzłe informacje dotyczące motywacji do podjęcia wybranego tematu pracy, wyboru metod badawczych oraz określenia celów pracy. W Rozdziale 2 postawiono trzy hipotezy badawcze. Rozdział 3 dotyczy metodyki badań i koncentruje się przede wszystkim na opisie metod wyznaczania własności optycznych i właściwości mikrofizycznych aerozolu. Pewne wątpliwości budzi wydzielenie Rozdziału 4 (Analiza danych), który w mojej opinii powinien w większości wejść do rozdziału poświęconego metodyce (część dotycząca weryfikacji bazy danych oraz obróbki danych i błędów pomiarowych oraz metodyka związana z modelem HYSPLIT), a częściowo również do wyników (wyniki analiz z modelu HYSPLIT). Rozdział 5 to opis uzyskanych wyników, obejmujący statystyki napływów, wysokości warstw, grubości optycznych w warstwach oraz analizy wzajemnych zależności własności optycznych intensywnych i ekstensywnych aerozoli. Własności mikrofizyczne aerozoli ze spalania biomasy zostały opisane jako studium przypadku dla jednego wybranego napływu. Autorka wydzieliła rozdział poświęcony dyskusji (Rozdział 6), choć Rozdział 5 obejmujący wyniki zawiera również elementy ich dyskusji, poprzez nawiązanie do prac innych autorów oraz własnych publikacji. Ostatni rozdział to Podsumowanie, którego istotną częścią jest wskazanie dalszych kierunków badań.

Treść pracy jest zgodna z tematem dysertacji. Dobór i wykorzystanie źródeł literaturowych jest prawidłowe. Język pracy jest poprawny, klarowny, w pracy znajduje się niewiele usterek językowych - tzw. literówek.

Cele i postawienie hipotezy badawczej

Główny cel pracy oraz cele szczegółowe zostały zdefiniowane poprawnie. W pracy postawiono 3 hipotezy badawcze. Hipoteza pierwsza mówi „Zakłada się, że własności optyczne i mikrofizyczne aerozolu pochodzącego ze spalania biomasy napływającego nad Warszawę

różnią się istotnie od własności aerozolu tego typu obserwowanego w innych miejscach w Europie i na świecie" i w mojej ocenie może sugerować, że w pracy zostaną porównane wyniki pomiarów z Warszawy z pomiarami prowadzonymi w innych miejscach (również przy napływach aerozolu ze spalania biomasy); co jednak nie było celem tej pracy. Nieco kłopotliwe jest pojęcie istotnie, ponieważ weryfikacja tak postawionej hipotezy jest utrudniona, w kontekście stwierdzenia, czy różnica jest lub nie jest istotna (nie odnosząc się do istotności statystycznej różnic). Do dwóch kolejnych hipotez nie mam uwag. Hipoteza druga zakłada, że można wyróżnić odmienne typy aerozolu ze spalania biomasy, w zależności od źródła napływu mas powietrza i nawiązuje do relacji pomiędzy sytuacją synoptyczną i obecnością aerozoli ze spalania biomasy. Hipoteza trzecia jest rozwinięciem poprzedniej i zakłada, że w sąsiedztwie frontów atmosferycznych obserwowane będą skomplikowane struktury aerozolowe.

Metodologia badań i analiza danych

W rozdziale 3 (Metodologia badań) szczegółowo opisano aparaturę naukową oraz metody odzyskiwania z pomiarów lidarowych własności optycznych (aerozolowy współczynniki rozproszenia wstecznego, aerozolowy współczynnik ekstynkcji oraz aerozolowy współczynnik depolaryzacji liniowej) i właściwości mikrofizycznych (wielkość cząstek aerozolu, zespolony współczynnik refrakcji oraz albedo pojedynczego rozpraszania) aerozoli. Metody analizy i opracowania wyników opierają się na teorii matematycznego zagadnienia źle postawionego i odwrotnego.

W rozdziale tym przybliżono sposoby interpretacji uzyskanych wartości m.in. w kontekście analizy obecności aerozolu ze spalania biomasy, co ułatwia w dalszej części śledzenie i interpretację wyników pracy.

W przypadku stosunku ilorazów lidarowych (CRLR532/355), Autorka przyjmuje wartość progową 1 (za Nicolae et al. 2013), gdzie wartość poniżej 1 interpretuje się jako świeży aerozol ze spalania biomasy, natomiast powyżej 1 – jako stary. Wartość podana w cytowanej pracy została oparta na wynikach pomiarów uzyskanych dla Rumuni; stąd moje pytanie czy wyniki pomiarów dla innych obszarów potwierdzają tę zależność? Jaki może być wpływ składu chemicznego aerozolu na tę wartość progową?

W kolejnym rozdziale (Rozdział 4, Analiza danych) opisana jest metodyka wyboru danych do analizy, gdzie kryteriami były m.in. pomiary dostępne we wszystkich kanałach, minimalna grubość warstwy (200m), minimalna grubość optyczna (0.01/200m). Zabrakło informacji o tym ile obrazów podległo weryfikacji wstępnej i jaką część ze zidentyfikowanych wstępnie przypadków napływu aerozoli nad Warszawę stanowią przypadki wybrane do analizy, które reprezentują napływ aerozoli ze spalania biomasy.

W dalszej części tego rozdziału pojawia się metodyka analizy typów aerozolu ze względu na obszar pochodzenia. Moim zdaniem zastosowanie modelu HYSPLIT, w szczególności z wykorzystaniem informacji o pożarach z danych satelitarnych jest dobrym podejściem, pozwalającym wskazać potencjalne źródła aerozolu dla analizowanych przypadków. Szkoda, że obrazy satelitarne nie zostały dołączone do pracy – połączenie mapy z aktywnymi pożarami z trajektoriami z modelu HYSPLIT dałoby wartościowy obraz i pozwoliłoby czytelnikowi na samodzielne prześledzenie źródeł aerozolu.

Słabo wyjaśnione jest wykorzystanie w analizie modelu transport zanieczyszczeń NAAPS. Nie zostały załączone wyniki modelu NAAPS dla analizowanych/czy wybranych przypadków. Czy wyniki modelu pokazywały stężenia aerozoli z pożaru czy stężenia całkowite? Z jakiej wysokości pochodziły analizowane stężenia z modelu?

Doktorantka podkreśla, że zastosowana w pracy metodyka nie pozwala jednoznacznie wydzielić przypadków z obecnością aerozoli ze spalania biomasy pochodzących z terytorium kraju i zaznacza że będą one obecne w szczególności w grupach dla Europy Zachodniej i Wschodniej stanowiąc tam przypadki napływu najświeższego aerozolu. Być może wyniki pomiarów naziemnych (np. stężenia PM2.5 z GIOŚ) mogą być wsparciem takiej analizy (szczególnie dla okresów chłodnych z potencjalnie wysokimi stężeniami związanymi ze spalaniem biomasy w celach grzewczych). W analizowanym przez Doktorantkę przypadku z 07.04.2020, zakwalifikowanym właśnie do grupy „Europa Zachodnia" pomiary naziemne wskazują wysokie stężenia PM2.5 w pierwszych dniach kwietnia na stacjach w Warszawie i innych stacjach w Polsce, co prawdopodobnie miało również wpływ na sytuacje w wyższych warstwach atmosfery.

Ostatnia część tego rozdziału dotyczy obróbki danych i obliczeń błędów pomiarowych. Docenić należy opracowanie przez Doktorantkę uniwersalnego narzędzia służącego do weryfikacji, analizy i wizualizacji profili z lidaru PollyXT oraz profili z innych lidarów dostępnych w formacie bazy danych EARLINET i ACTRIS. Opis możliwości oraz instrukcja programu została dodana do pracy w formie załącznika (załącznik B). Na wyróżnienie zasługuje również opublikowanie opracowanej bazy własności optycznych analizowanych przypadków w Repozytorium Otwartych Danych Badawczych UW, dając możliwość wykorzystania unikatowych danych do dalszych badań.

Wyniki, dyskusja i podsumowanie

Wyniki dla analizowanych warstw aerozolu ze spalania biomasy zostały opisane w odniesieniu do typów aerozolu wyznaczonych wg źródeł pochodzenia (Ameryka Północna, Europa Wschodnia, Europa Zachodnia oraz Półwysep Iberyjski). Wyniki dla średnich wartości grubości

optycznej (AOD_{355} oraz AOD_{532}) oraz średniej wysokości zawieszenia warstwy pokazały, że promieniowanie najmocniej osłabiane jest przez aerozol pochodzący z Europy Zachodniej, docierający nad Warszawę najniżej ze wszystkich wymienionych typów (ok. 2km). Najwyższą wysokość napływu odnotowano dla aerozoli z Ameryki Północnej (4.00 ± 1.76 km), a najniższą wartość aerozolowej grubości optycznej dla aerozolu pochodzącego z Półwyspu Iberyjskiego. Zauważono, że różnica pomiędzy wartościami AOD dla napływów z Ameryki Północnej i Płw. Iberyjskiego jest dużo mniejsza niż dla przypadków pochodzących z Europy Zachodniej i Wschodniej.

Warto podkreślić, że dzięki zastosowaniu kanałów ramanowskich możliwe było przeanalizowanie związków pomiędzy aerozolowym współczynnikiem rozproszenia wstecznego i współczynnikiem ekstynkcji dla ultrafioletu (355 nm) i światła widzialnego (532 nm), co w powszechnie stosowanej dla lidarów elastycznych metodzie nie jest możliwe. Wykazano, że zależności liniowe współczynników (rozpraszania wstecznego, ekstynkcji i depolaryzacji) pomiędzy długościami fali 532 nm i 355 nm wykazują własne zależności liniowe dla poszczególnych typów aerozolu pochodzących z różnych obszarów.

Autorka przeanalizowała również zależność stosunku ilorazów lidarowych $CRLR_{532/355}$, od ilorazów lidarowych (LR) oraz wykładników Angströma (AE, AB). Wykazano m.in. ujemną zależność $CRLR_{532/355}$ i LR_{355}, interpretowaną jako spadek ilorazu lidarowgo dla długości fali 355 nm wraz z czasem po emisji aerozolu do atmosfery, jednocześnie wskazując na brak zależności miedzy $CRLR_{532/355}$ i LR dla długości fali 532 nm.

Wyniki pracy pokazały, że wartości własności optycznych i właściwości mikrofizycznych aerozolu pochodzącego ze spalania biomasy różnią się w zależności od czasu przebywania w atmosferze i źródła pochodzenia. Doktorantka pozytywnie zweryfikowała hipotezę badawczą mówiącą o tym, że „można wyróżnić, ze względu na źródło pochodzenia, odmienne typy aerozolu napływowego pochodzącego ze spalania biomasy”, doprecyzowując, że najistotniejszym parametrem jest wiek obserwowanego aerozolu.

Parametry mikrofizyczne przedstawiono dla jednego przypadku z 9/10 sierpnia 2015 roku, wcześniej podjętego w pracy Janickiej i Stachlewskiej (2019), kiedy był obserwowany napływ nad Warszawę skomplikowanej struktury aerozolowej (aerozole ze spalania biomasy, pył Saharyjski, inne typy aerozoli) w warunkach fali upałów w Europie. Dla tego epizodu przeanalizowano 69 wyznaczonych podwarstw (pogrupowanych w 5 warstw), dla których wyznaczono właściwości mikrofizyczne z zastosowaniem matematycznych metod odwrotnych z regularyzacją (w każdym przypadku zastosowano dwie metody regularyzacji), co jest

podejściem nowym w porównaniu do podejścia standardowego z wykorzystaniem jednej metody regularyzacji dla wybranej warstwy.

W rozdziale poświęconym dyskusji (Rozdział 6) zabrakło mi szerszego odniesienia się do innych prac wykorzystujących dane lidarowe do charakterystyki aerozoli ze spalania biomasy napływających do Europy. Dla jakich miejsc takie analizy były robione? Czy wyniki z tej pracy można porównać z wcześniejszymi opracowaniami innych autorów (np. dla wybranego przypadku)?

Warto podkreślić, że Doktorantka ma świadomość ograniczeń wykorzystania niektórych parametrów lub podejść i wskazuje na dalsze kierunki prac, mających na celu poprawę wyników i lepsze rozumienie właściwości aerozolu atmosferycznego, co świadczy o jej dojrzałości naukowej.

Doktoranta zrealizowała postawione cele badawcze, dokonując kompleksowej charakterystyki aerozolu pochodzącego ze spalania biomasy obserwowanego nad Warszawą. Zawarte w niniejszej recenzji uwagi mają na celu skłonić do rozważania poruszonych kwestii w trakcie prowadzenia dalszych badań lub przygotowywania kolejnych publikacji. Uwagi te nie wpływają na ogólna pozytywną ocenę całej rozprawy.

Podsumowując stwierdzam, że przedłożona rozprawa doktorska stanowi cenny i oryginalny wkład w naukę, w obszarze dotyczącym wykorzystania obserwacji lidarowych do charakterystyki własności optycznych i mikrofizycznych aerozolu atmosferycznego. Przedłożona praca świadczy o tym, że Doktorantka posiada ugruntowaną wiedzę i umiejętności w zakresie podjętego tematu i zastosowanych metod badawczych oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Zatem stwierdzam, że rozprawa doktorska Pani mgr Łucji Janickiej pt. „Własności optyczne i mikrofizyczne aerozolu atmosferycznego pochodzącego ze spalania biomasy pozyskiwane na podstawie obserwacji lidarowych w Warszawie", spełnia wymogi formalne i merytoryczne stawiane przez Ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dn. 14 marca 2003 r. (Dz.U. nr 65 z dn. 14 marca 2003 r. ze zmianami w Dz.U. z 2005 r., nr 165, poz. 1365) i może być podstawą obrony publicznej. Tym samym wnoszę o dopuszczenie Pani mgr Łucji Janickiej do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Signed by /
Podpisano przez:

Małgorzata
Werner

Date / Data:
2022-11-30 10:04