

Uniwersytet Śląski w Katowicach
Wydział Nauk o Ziemi
Katedra Klimatologii
dr hab. Ewa Łupikasza, prof. UŚ

RECENZJA

pracy doktorskiej Pani mgr Pauliny Pakszys

pt. **Horyzontalna zmienność własności optycznych aerozoli w Arktyce Europejskiej**

wykonana pod kierunkiem promotora prof. nadzw. IOPAN dr hab. Tymona Zielińskiego oraz
dr Christopha Richttera

Problematyka aerozoli i ich wpływu na zmiany klimatu mieści się w nurcie najbardziej aktualnych problemów nauk o atmosferze. Aerozole odgrywają ważną rolę w kształtowaniu bilansu promieniowania na Ziemi, wpływając w ten sposób na przebieg wielu procesów w systemie ziemskim. Modyfikują właściwości chmur, mają znaczenie dla powstawania opadów atmosferycznych, wpływają na albedo powierzchni czynnej oraz na przebieg fotosyntezy. Ze względu na ogromne zróżnicowanie właściwości aerozoli, ich wpływ na przebieg procesów środowiskowych jest skomplikowany, zróżnicowany i wciąż wymaga badań. Problematyka wpływu aerozoli na bilans promieniowania jest szczególnie ważna w Arktyce, gdzie tempo zmian klimatu, jak wskazują najnowsze badania jest co najmniej dwukrotnie większe niż w umiarkowanych szerokościach geograficznych. Aerozole biorą udział w kształtowaniu sprzężeń zwrotnych w systemie Arktycznym, stąd mogą przyczynić się do różnokierunkowej modyfikacji tempa tych zmian. **Temat badań podjęty przez Panią mgr Paulinę Pakszys jest więc aktualny i ważny.**

Ocena spełniania przez rozprawę doktorską kryteriów formalnych

Przedłożona przez Panią mgr Paulinę Pakszys rozprawa doktorska w formie manuskryptu książki spełnia tym samym kryteria formalne określone w art. 13 ust. 1 ustawy z 14 marca 2003 r o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki. Rozprawa została napisana w języku angielskim oraz opatrzona wymaganymi streszczeniami zarówno w języku polskim jak i angielskim. Podjęta w rozprawie problematyka zmienności właściwości optycznych aerozoli, obszar badań jakim jest Arktyka, różnorodność wykorzystanych danych środowiskowych oraz zastosowana metodyka powodują, że pracę tę można uznać za oryginalne rozwiązanie problemu badawczego. Moim zdaniem zawartość merytoryczna rozprawy doktorskiej wykracza poza ramy określone tytułem „Horyzontalna zmienność własności optycznych aerozoli w Arktyce Europejskiej”. W pracy omówiono nie tylko zróżnicowanie horyzontalne ale również zmiany czasowe własności optycznych aerozoli, a w rozdziale 10 zamieszone są ryciny pokazujące pionowe zróżnicowanie np. rozpraszania wstecznego. Dlatego, w przypadku przygotowania pracy do druku proponuję zmodyfikować temat pracy i słowo „horyzontalne” zamienić na „przestrzenno-czasowe” lub je pominąć.

Ocena struktury i zawartości merytorycznej manuskryptu rozprawy doktorskiej

Struktura manuskryptu. Manuskrypt rozprawy doktorskiej liczy 253 strony, z czego 53 strony zajmują spis treści, lista skrótów stosowanych w pracy, lista 69 rycin, niezwykle obszerna lista tabel zawierająca 349 pozycji, lista załączników oraz lista wzorów wykorzystanych w pracy (70 formuł

matematycznych). Spis literatury składający się aż z **381 pozycji**, zajmuje 36 stron. Ostatecznie tekst manuskryptu zajmuje 164 strony. Do manuskryptu dołączono płytę CD, na której oprócz kopii manuskryptu znajdują się również załączniki od A do F, zawierające wspomniane 349 tabel i łącznie zajmujące aż 316 stron. Całkowita liczba stron dokumentu na płycie CD wynosi 571. Manuskrypt został podzielony na 11 rozdziałów. Generalnie układ pracy jest logiczny i prawidłowy. Jednak, zbyt rozbudowana jest jego część wstępna – mam na myśli rozdziały „teoretyczne” bazujące na informacjach pochodzących z literatury. Np. rozdział 4 (*Measurement techniques of aerosol optical properties*), 5 (*Model, networks and meteorological data*) i 7 (*Methodology*) można było połączyć i zdecydowanie skrócić. Spis rycin oraz tabel, ze względu na ich liczbę, wygodniej byłoby umieścić na końcu pracy. Praktycznie wszystkie tabele i dane liczbowe zostały zamieszczone na dołączonej płycie CD. Szkoda, że w pracy nie umieszczono przynajmniej podstawowych skompilowanych charakterystyk liczbowych.

Zawartość merytoryczna. W sześciu początkowych rozdziałach doktorantka zamieściła wprowadzenie wyjaśniające znaczenie podjętego tematu (rozdział 1) oraz teoretyczne informacje, bazujące głównie na istniejącej literaturze na temat aerozoli atmosferycznych (rozdział 2), optycznych właściwości aerozoli (rozdział 3), metody pomiaru właściwości optycznych aerozoli (rozdział 4) oraz opisu narzędzi stosowanych w pracy (rozdział 5). Ostatnie dwa z rozdziałów teoretycznych zawierają opis obszaru badań (rozdział 6) oraz metod stosowanych w pracy (rozdział 7). **Łącznie wymienione powyżej rozdziały zajmują 88 stron co stanowi 54% pracy. W mojej ocenie objętość rozdziałów teoretycznych (wprowadzających) nie powinna stanowić większej części manuskryptu. Część informacji zamieszczonych w rozdziałach wstępnych można było pominąć bez utraty wartości merytorycznej pracy. Zaliczam do nich opis podstawowych procesów fizycznych, bardzo szczegółowy opis funkcjonowania lidaru, zwłaszcza formuły, które nie są wykorzystywane w dalszej części pracy oraz opis Światowej Organizacji Meteorologicznej.** Ta zbyt obszernie zakrojona część wstępna, z drugiej strony świadczy o szerokiej teoretycznej wiedzy Doktorantki na temat optycznych właściwości aerozoli, metodyki ich pomiaru i opracowania nie mniej jednak, sugeruję skrócenie jej w przypadku przygotowania manuskryptu do druku.

Cel rozprawy doktorskiej zamieszczony w rozdziale „*Introduction*” został sformułowany jasno, a było nim rozpoznanie przestrzennych i czasowych zmian fizycznych i optycznych właściwości aerozoli w atmosferze Arktyki oraz ich wpływ na promieniowanie słoneczne. Sformułowana przez doktorantkę hipoteza badawcza „optyczne właściwości aerozoli na Svalbardem zależą od dalekosiężnej adwekcji mas powietrza, charakteryzują się zmiennością sezonową oraz podlegały zmianom w okresie ostatniej dekady” znalazła potwierdzenie w wynikach przeprowadzonych przez nią badań. Uzasadniając celowość podjętych badań jako jedyny i w zasadzie wiodący czynnik zmian klimatu Doktorantka wskazuje zmiany kompozycji aerozoli w atmosferze arktycznej. Z uwagi na merytoryczną poprawność, należałoby również wspomnieć o znaczeniu zmian zasięgu i koncentracji lodu morskiego, któremu przypisuje się bardzo istotny wpływ na tempo współczesnego ocieplenia Arktyki. Zagadnienie to omawiane było np. w pracach Overlanda i Wang (2010), Overlanda i in. (2011, 2012) czy Serreze i in. (2011). Nie zmienia to faktu, że Pani mgr Paulina Pakszys w rozdziale wstępnym (*Introduction*) w sposób wyczerpujący uzasadniła celowość prowadzonych przez nią badań.

Moje uwagi do rozdziałów wstępnych i teoretycznych (od I do VII) są następujące:

- Na stronie 55 napisano „Interakcje pomiędzy atmosferą i innymi komponentami systemu ziemskiego prowadzą do sprzężeń zwrotnych ... „ Komponenty, o których mowa to komponenty

systemu klimatycznego, na który oprócz atmosfery składają się hydrosfera, litosfera, biosfera i kriosfera, a według niektórych naukowców w ostatnim czasie również antroposfera.

- Powodowane działalnością ludzką zmiany składu atmosfery należałoby raczej zaliczyć do czynników wewnętrznych w stosunku do systemu klimatycznego, a nie zewnętrznych jak podano na stronie 55.
- Autorka dokonała klasyfikacji aerozoli na główne i drugorzędne (Fig. 2). Jakie kryterium zostało zastosowane do podziału aerozoli na wspomniane kategorie?
- Trudno jest ocenić czy Fig 2, 3 i 4 znajdujące się na stronach 61, 63 i 67 zostały zaczerpnięte z literatury czy też zostały skonstruowane przez Doktorantkę. Jeśli pochodzą z literatury to w ich podpisie powinna znaleźć się informacja dotycząca źródła, z którego zostały zaczerpnięte – nawet jeśli zostały one zmodyfikowane.
- Procesy zachodzące w atmosferze związane z wodą są raczej procesami hydrometeorologicznymi niż hydrologicznymi. W tym wypadku można użyć terminu „cykl hydrologiczny” (strona 70)
- Na stronie 72 podano, że aerozole mają wpływ na wiele zjawisk na Ziemi, w tym na cyrkulację atmosfery. Proszę o wyjaśnienie tej relacji.
- na stronie 79 podano, że zmienność czasowa aerozoli jest częściowo zdeterminowana przez elementy meteorologiczne w tym widzialność. Czy nie jest odwrotnie?
- Podtytuł „*Horizontal structure of aerosols, by means of spatial and temporal variations*” należy skorygować. np. “*Spatial and temporal variations in horizontal structure of the atmosphere*” lub pozostawić tylko pierwszą część pierwotnej wersji tytułu.
- Pisząc o pyłe mineralnym w zurbanizowanych obszarach południowej Azji i Chin podano, iż jego średnica jest mniejsza niż 10 mm, co należy skorygować (strona 79).
- Na stronie 117 stwierdzono, że aerozolom przypisuje się wiodącą rolę w zmianach jakie zachodzą w systemie arktycznym. Na końcu tego zdania należałoby zamieścić odniesienie do literatury.
- Na stronie 120 podano: „*It also receives heat from the predominant high-pressure fronts, which bring warm air from the Atlantic to the Barents Sea.*”. Jeśli chodzi o fronty atmosferyczne to związane są one z układami niskiego ciśnienia, które w swoich wschodnich częściach powodują napływ ciepłego powietrza do wysokich szerokości geograficznych, oczywiście w określonych warunkach.
- W przypadku temperatury powietrza oraz innych elementów meteorologicznych dokładność 0,1 jest wystarczająca.

Wykorzystane w pracy metody oraz wyniki samodzielnych badań i analiz Doktorantka zawarła w czterech rozdziałach – od 7 do 10. **Rozdział 7** dotyczący metodyki pokazuje, że w rozprawie doktorskiej wykorzystano szeroką gamę danych pomiarowych, danych satelitarnych oraz zróżnicowane metody analizy, włączając metody modelowania aerozoli oraz przepływu powietrza. Dane zostały starannie sprawdzone zarówno pod względem jakości jak i spełnienia kryteriów wymaganych w badaniach właściwości optycznych aerozoli. W rozdziale metodycznym doktorantka zmieściła informację na temat czasowego ujęcia analiz właściwości optycznych aerozoli, które przeprowadziła dla całego roku, poszczególnych sezonów i miesięcy oraz informacje na temat ogólnego podejścia, które zastosowała w swoich badaniach aerozoli i ich pochodzenia w Arktyce. W pracy zastosowano sezony astronomiczne co jest w pełni uzasadnione charakterem badań. Na stronie 157 trzymiesięczne okresy najczęściej stosowane w klimatologii do podziału na sezony nazywane są „*sezonami meteorologicznymi*”, a nie „*sezonami astronomicznymi*”. Na tej samej stronie zamieszczono stwierdzenie, że połączenie danych z dwóch sezonów spowoduje, że wyniki będą bardziej istotne

statystycznie. W tym wypadku chodzi o zwiększenie liczebności próby. W efekcie połączenia danych z dwóch sezonów wyniki będą bardziej wiarygodne, a nie statystycznie istotne. Do sprawdzania statystycznej istotności służą odpowiednie testy statystyczne.

W rozdziale 8 opisano wyniki badań nad czasowo-przestrzennym zróżnicowaniem częstości trajektorii wstecznych na tle warunków meteorologicznych, w obrębie regionów nawiązujących do kierunków transportu zanieczyszczeń opisanych w literaturze. Tytuł tego rozdziału nie jest jasno sformułowany i w moim odczuciu nie oddaje w pełni jego zawartości merytorycznej. W rozdziale tym nie przeprowadzono analizy korelacji jak sugeruje tytuł, lecz raczej opisano warunki anemometryczne na poszczególnych stacjach, co było tłem dla analiz częstości trajektorii wstecznych. Moim zdaniem, wyróżniając wspomniane regiony nawiązujące do obszarów źródłowych zanieczyszczeń powinno się zrezygnować z obszaru I, przez który przebiegają wszystkie trajektorie, na co doktorantka słusznie zwróciła uwagę. Proszę o wyjaśnienie jaka była motywacja wyróżnienia tego obszaru? Proszę również o wyjaśnienie następującego stwierdzenia zamieszczonego na stronie 164 manuskryptu: „*It is clearly seen from Figure 33 that orography affect the frequencies of sector I, which increased in all of locations*” Nie widzę bezpośredniego powiązania pomiędzy orografią i zwiększoną częstością trajektorii w regionie I.

Na stronie 164 w ostatnim akapicie stwierdzono, że w każdym regionie widoczny jest cykl roczny częstości trajektorii. Przygotowując pracę do druku proponuję zwrócić uwagę, że cykl ten w zasadzie nie jest zauważalny w przypadku regionu V i VI co dotyczy wszystkich uwzględnionych w rozprawie stacji meteorologicznych (Fig 33). Moja kolejna merytoryczna uwaga dotyczy stwierdzenia zamieszczonego na stronie 166, gdzie napisano: „*during summer and spring sector IV correlates with the air masses carried by Atlantic high into the Arctic*”. O jaki układ baryczny dokładnie chodzi, czy na pewno o wyż (zakładam, że nie chodzi tu o Wyż Azorski) i czy na pewno o Atlantycki? Gdyby nad N Atlantykiem rozwinął się wyż to raczej nie powodowałby napływu powietrza nad Spitsbergen. Jeśli z kolei chodzi o wyż, którego centrum zalega nad kontynentem Eurazjatyckim, a którego wpływy sięgają Atlantyku, to w tym wypadku stosowanie określenia „wyż atlantycki” nie jest uzasadnione. Ponadto, dokładność (cztery miejsca po przecinku) prędkości i kierunku wiatru w tabelach stanowiących załącznik do niniejszego rozdziału jest zbyt duża. W przypadku większości elementów meteorologicznych dokładność do jednego miejsca po przecinku jest wystarczająca.

Rezultatem naukowym tego rozdziału jest określenie sektora mającego największe znaczenie dla transportu zanieczyszczeń nad Arktykę oraz określenie przebiegu rocznego częstości trajektorii, którymi odbywa się transport powietrza wraz z zanieczyszczeniami.

Rozdział 9 prezentuje wyniki badań nad przestrzennoczasową zmiennością (rocznych, sezonowych i miesięcznych wartości) głębokości optycznej aerozoli (AOD) i współczynnika Angstroma (AE). Przeprowadzona przez Doktorantkę analiza jest bardzo szczegółowa; została wykonana dla każdej serii danych z osobna – mam na myśli serie pozyskane za pomocą różnych przyrządów pomiarowych. W rozdziale tym, na końcu ostatniego z podrozdziałów, dotyczącego miesięcznych wartości AOD i AE dokonano podsumowania wcześniej opisanych wyników i wyraźnie sformułowano ogólne wnioski wynikające z przeprowadzonych w tym podrozdziale analiz. Szkoda, że podobnego podsumowania nie zamieszczono w dwóch poprzednich podrozdziałach.

Na rycinie 42 i 43 pokazano serie miesięcznych wartości AOD i AE w okresie 2003 i 2015. Nie jest dla mnie jasne co pokazuje oś x. Co prawda jest ona opisana jako data jednak wartości tam zamieszone nie odpowiadają ani liczbie miesięcy ani okresowi badawczemu, który obejmuje lata 2003-2015.

Na stronie 181 podano, że zarówno max i min wartości AODmax w Longyearbyen były notowane wiosną – wymaga to korekty. W przypadku analiz miesięcznych, umieszczenie danych dla wszystkich miesięcy na jednym wykresie wpływa negatywnie na czytelność wyników – Fig. 48, 49 i 50.

Naukowym rezultatem analiz przeprowadzonych w niniejszym rozdziale jest rozpoznanie przebiegu rocznego i przestrzennego zróżnicowania AOD i AE w obszarze badań.

W **rozdziale 10** opisano trzy znamienite dla Arktyki zdarzenia aerozolowe bazując na informacjach z literatury, które uzupełniono danymi zgromadzonymi przez doktorantkę. Podsumowanie oraz wnioski umieszczono w **rozdziale 11**. Na podstawie danych pomiarowych i modelowych Doktorantka stwierdziła znaczący wzrost optycznej grubości atmosfery w okresie badań czyli pomiędzy 2000 i 2015 r. na wszystkich stacjach meteorologicznych. Najsilniejsze zmiany stwierdzono w Hornsundzie. Wpływ na grubość optyczną atmosfery nad Spitsbergenem miały takie zdarzenia jak mgła arktyczna, pożary lasów i erupcje wulkanów. W ostatnich latach rosnący wpływ na bilans radiacyjny Arktyki mają zdarzenia związane ze spalaniem biomasy; spada natomiast znaczenie takich zdarzeń jak mgła arktyczna. Grubość optyczna atmosfery nad obszarem badań podlega wyraźnym zmianom sezonowym i przestrzennym z maksimum wiosną i w południowej części tego obszaru. Relacje pomiędzy AOD i AE zmieniają się w ciągu roku. Największy wpływ na stan atmosfery nad Arktyką ma transport zanieczyszczeń z obszaru Eurazji. Doktorantka nie stwierdziła zmian w składzie chemicznym aerozoli nad Spitsbergenem. Ostatecznie doszła do wniosku, że zmiany klimatu w Arktyce mogą być związane z częstszą obecnością w atmosferze Arktyki aerozoli pochodzenia antropogenicznego z dalekosiężnego transportu. Znaczenie źródeł lokalnych jest pomijalne. Wnioski wynikające z przeprowadzonych badań zostały sformułowane jasno i wyczerpująco; dostarczają ważnych informacji na temat koncentracji zmienności i składu aerozoli w atmosferze Arktyki.

Uwagi ogólne i techniczne

W przypadku przygotowania manuskryptu do druku tekst powinien być poddany weryfikacji językowej (język angielski).

W kilku fragmentach manuskryptu zbyt swobodnie używa się terminów właściwych konkretnym metodom statystycznym w sytuacji kiedy metody te stosowane nie były, np. korelacja, istotność statystyczna czy tendencja czy trendu.

Pisząc o temperaturze czy ciśnieniu powietrza warto dodać „air” czyli „air temperature” zamiast „temperature” i „air pressure” zamiast „pressure”

Uśrednione z wielolecia wartości elementów meteorologicznych są określane w rozprawie jako „charakterystyki meteorologiczne”, podczas gdy są to „charakterystyki klimatologiczne”. Wartości maksymalne i minimalne wybrane z wielolecia również traktuje się jako charakterystyki klimatologiczne (strona 54).

W trzech przypadkach zastosowano identyczne skróty dla dwóch różnych terminów – dobrze jest kiedy skróty są unikatowe i jednoznaczne. Pomimo iż są to skróty powszechnie stosowane, można było wprowadzić drobne zróżnicowanie w celu uniknięcia ewentualnych niejasności, zwłaszcza w przypadku SSA – *Sea Salt Aerosol* i *Single Scattering Albedo*.

Byłoby wygodniej dla czytelnika gdyby:

- równania umieszczone w spisie równań wykorzystanych w pracy były opisane nazwą jak i zaopatrzone w wyjaśnieniu symboli,

- spisy tabel i rycin były umieszczone na końcu pracy,
- przynajmniej niektóre z tabel, z opracowanymi danymi znalazły się w manuskrypcie.

Ponadto:

- Na rycinie 7 należy zamienić „*wet deposition*” z „*dry deposition*”.
- Fig. 8 byłaby bardziej czytelna gdyby dołączona była legenda wyjaśniająca co symbolizują np. różne strzałki czy okręgi zamieszczone na rycinie.
- W podpisie ryciny 9 powinna być dodana informacja o jaki rodzaj promieniowania chodzi.
- Tytuł tabeli 2, 3 i 4 jest nadmiernie rozbudowany. Sugeruję zmienić go do następującej postaci: Przebieg roczny wybranych elementów meteorologicznych w Hornsundzie ... w okresie 2005-2015.
- Na rycinach 21, 23 i 25 sugeruję zaznaczyć położenie stacji.
- Ryciny 29 i 30 są identyczne.
- W manuskrypcie brakuje ryciny 69.

Przeprowadzone badania oraz ich wyniki prezentowane w manuskrypcie rozprawy doktorskiej wskazują, iż Pani mgr Paulina Pakszys posiada ogólną wiedzę teoretyczną dotyczącą zanieczyszczeń aerozolowych włączając metody ich pomiaru oraz analizy. Posiada umiejętność samodzielnego prowadzenia badań naukowych oraz naukowego wnioskowania.

Do pozytywnych aspektów przedłożonej rozprawy oraz najistotniejszych osiągnięć naukowych doktorantki zaliczam:

- wykorzystanie szerokiej palety danych dotyczących aerozoli oraz danych meteorologicznych reprezentujących zróżnicowane metody pomiarowe oraz przeprowadzenie badań modelowych,
- stosunkowo długi okres badań obejmujący okres 2000 lub 2003 do 2015 r,
- określenie wieloletniej i sezonowej zmienności trajektorii wstecznych,
- stwierdzenie wyraźnej wieloletniej, sezonowej oraz przestrzennej zmienności właściwości optycznych atmosfery i współczynnika Angströma.

Biorąc pod uwagę powyższe powody stwierdzam, że rozprawa doktorska Pani mgr Pauliny Pakszys pt.: „*Horyzontalna zmienność własności optycznych aerozoli w Arktyce Europejskiej*”, 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 jej obrony publicznej. Tym samym wnoszę do Wysokiej Rady Naukowej Instytutu Oceanologii PAN o dopuszczenie Pani mgr Pauliny Pakszys do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

dr hab. Ewa Łupikasza, prof. UŚ