Dr hab. Krzysztof Markowicz, prof. UW
Instytut Geofizyki, Wydział Fizyki
Uniwersytet Warszawski
Pasteura 5
02-093 Warszawa

Rada Wydziału
Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska,
Politechnika Warszawska
Nowowiejska 20, 00-653 Warszawa

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Magdaleny Kossakowskiej pt. „Modelowanie wpływu emisji z transportu lotniczego na procesy dynamiczne w górnej troposferze i dolnej stratosferze".

Rozprawa doktorska Pani mgr. inż. Magdaleny Kossakowskiej zatytułowana „Modelowanie wpływu emisji z transportu lotniczego na procesy dynamiczne w górnej troposferze i dolnej stratosferze" została napisana pod opieką dra hab. Jacka Kamińskiego prof. PAN. Tematem pracy jest określenie wpływu emisji z sektora lotniczego na koncentrację podstawowych gazów atmosferycznych oraz na parametry termodynamiczne i dynamiczne obszaru UTLC (górna troposfera, dolna stratosfera). Systematyczny wzrost ruchu lotniczego na świecie w tempie ok. 5% na rok powoduje, że do atmosfery emitowane są coraz większe ilości gazów i aerozoli, które w rejonie troposfery i dolnej stratosfery mogą prowadzić do zmian składu powietrza. W górnych warstwach troposfery oraz w dolnej stratosferze, gdzie gęstości powietrza jest co najmniej o rząd wielkości mniejsza niż na powierzchni ziemi, relatywnie niewielka emisja zanieczyszczeń powietrza może w istotny sposób zmieniać stosunek zmieszania niektórych gazów. Powoduje to zmiany w transferze promieniowania krótko- i długofalowego, co prowadzi do zmiany lokalnej równowagi radiacyjnej. W stratosferze temperatura powietrza jest kształtowana głównie poprzez lokalny bilans radiacyjny energii, gdyż strumienie ciepła odczuwalnego oraz utajonego mogą być pominięte. Tym samym zmiany w koncentracji ozonu, dwutlenku węgla czy pary wodnej mają bezpośrednie konsekwencje w temperaturze powietrza a pośrednio w procesach dynamicznych. Dodatkowo emitowana przez silniki samolotów odrzutowych para wodna, w pewnych warunkach może tworzyć smugi kondensacyjne. Ich czas życia, zależy od warunków termodynamicznych (temperatura i wilgotność względna powietrza) panujących w górnej troposferze, może zmieniać się w szerokim zakresie skal. Powoduje to, że powstające w ten sposób chmury pietra wysokiego zmieniają bilans energetyczny na Ziemi. W skali globu wymuszenie radiacyjne związane ze smugami kondensacyjnym oraz związkami chemicznymi emitowanymi przez ruch lotniczy jest niewielkie. Jednak w lokalnie wartości te

mogą być 2 rzędy wielkości wyższe, przyczyniając się do znacznego wzmagania ocieplania planety związanego głównie z rosnącą koncentracją gazów szklarniowych. Tylko z tego względu tematyka poruszona przez doktorantkę jest bardzo interesująca i aktualna.

Opis rozprawy

Rozprawa doktorska została napisana w j. polskim, liczy 135 stron i zawiera 6 rozdziałów. Rozdział pierwszy to wprowadzenie do tematu rozprawy doktorskiej. Zdefiniowano w nim główne cele, zakres badań oraz hipotezę badawczą. Rozdział 2 stanowi opis struktury chemicznej oraz dynamiki obszaru górnej troposfery i dolnej stratosfery. W kolejnym rozdziale przedstawiono charakterystykę emisji z transportu lotniczego oraz jej bezpośrednie i pośrednie oddziaływanie na procesy fizyczne zachodzące w atmosferze. W rozdziale 4 doktorantka skoncentrowała się na opisie głównego narzędzia, którym posługiwała się w swojej pracy badawczej. Przedstawiła opis ogólny opis modelu GEM-AC i zdefiniowała scenariusze modelowania wpływu emisji z transportu lotniczego na warunki w rejonie UTLS. Główne wyniki rozprawy zostały zamieszczone i przedyskutowane w rozdziale 5, który zawiera porównanie wyników modelowania z danymi satelitarnymi, porównanie koncentracji wybranych związków chemicznym pomiędzy scenariuszem emisyjnym oraz przy braku emisji z transportu lotniczego. Ponadto, przedstawiono wpływ emisji lotniczych na strukturę termiczną atmosfery oraz cyrkulacje powietrza. Wnioski rozprawy zostały przedstawione w rozdziale 6.

Ocena rozprawy

Główna hipoteza rozprawy doktorskiej zakłada, że wpływ emisji z transportu lotniczego na procesy chemiczne i radiacyjne w obszarze UTLS przyczynia się do zmian o zasięgu, co najmniej regionalnym w polu temperatury i prędkości wiatru w rejonie tropopauzy. Tym samym może implikować zmiany w polu wiatru, a w szczególności zmiany w prędkości lub propagacji prądu strumieniowego. W celu weryfikacji hipotezy badawczej autorka wykorzystała model GEM-AC, przy użyciu, którego wykonała kilka symulacji klimatycznych o zasięgu globalnym. Modelowanie wykonano dla dwóch okresów: 2000-2010 (klimat bieżący) oraz 2045-2055 (klimat przyszły) oraz dla dwóch scenariuszach emisyjnych. Pierwszy z nich zwanym bazowym zakłada brak emisji z transportu lotniczego oraz drugi, w którym uwzględniono współczesne oraz przyszłe emisje lotnicze. Tego typu podejście jest powszechnie używane w badaniach zmian klimatu, które pozwala oszacować wpływ poszczególnych czynników na odpowiedź systemu klimatycznego. Okres 11 lat, jaki został wybrany do przeprowadzenia symulacji klimatycznej, jest uzasadniony, gdyż skala czasowa zmian klimatycznych zachodzących w stratosferze jest znaczenie krótsza niż w dolnej troposferze. Wynika to z faktu, że w stratosferze dominuje równowaga radiacyjna i skala czasowa związana osiągnięciem nowego stanu równowagi liczona jest w miesiącach, a nie dekadach jak np. w oceanie.

Ocena części teoretycznej rozprawy jest zdecydowanie pozytywna. Doktorantka wykazała się szeroka wiedza na temat UTLS, o czym świadczy szczególnie bogata bibliografia licząca ponad 200 pozycji. Dość obszernie dyskutowana jest kwestia definicji tropopauzy

termodynamicznej i chemicznej i jej zmian czasoprzestrzennych, jak również występowanie podwójnej tropopauzy. Główny rozdział części teoretycznie (rozdział 4) zawiera przegląd stanu wiedzy na temat wpływu transportu lotniczego na ULTS. Dyskutowane są zmiany przestrzenne emisji z transportu lotniczego oraz wymuszenia radiacyjne im odpowiadające. W szczególności jak zmiany wysokości korytarzy powietrznych wpływają na wymuszanie radiacyjne ozonu, pary wodnej i smug kondensacyjnych. Opisano bezpośredni i pośredni wpływ emisji z transportu lotniczego na klimat, bazując głównie na raporcie IPCC z 2007r. Ponadto w tekście pojawiają się wyniki opublikowane w późniejszych latach odpowiadające za współczesny stan wiedzy. Opis pośredniego wpływu aerozolu związanego z transportem lotniczym na chmury zawiera kilka nieprecyzyjnych i błędnych informacji. W szczególności opisano przypadek chmur zawierających kropelki wody, podczas gdy emisje lotnicze występują głównie w rejonie górnej troposfery, gdzie tworzą się jedynie chmury lodowe. Co prawda pewnym wyjątkiem są tu smugi kondensacyjne, które w początkowej fazie życia składają się z silnie przechłodzone kropelki wody, to jednak ulegają one bardzo szybko zamarzaniu, tworząc kryształy lodu o różnej strukturze geometrycznej. Mechanizm pierwszego pośredniego efektu aerozolowego jest podobny do klasycznego przypadku chmur wodnych. Jednak w przypadku drugiego efektu, który mówi o tym, że chmury zanieczyszczone aerozolem mają dłuższy czas życia ze względu na mało efektywny proces koagulacji małych kropel i tworzenie się kropel deszczu w stosunku do chmur, które się tworzą w obecności mniejszej koncentracji jąder kondensacji, procesy łączenia kryształów mają niewielkie znaczenie. Należy jednak podkreślić, że oddziaływanie aerozolu na chmury lodowe jest mniej rozpoznane niż w przypadku chmur wodnych. W tej części pracy pojawiają się też inne nieścisłości. Poniżej wypisuje niektóre z nich. Na str. 17 podano, że pomiary aerologiczne wykonywane na konkretnych powierzchniach izobarycznych, co nie jest zgodne z prawdą. Współczesne radiosondy meteorologiczne przesyłają wyniki pomiarów z rozdzielczością 1 s odpowiadająca rozdzielczości przestrzennej ok. 4 m. Dane te często nie są rozpowszechniane w tak wysokiej rozdzielczości. W szczególności powszechnie używane sondaże, które prezentowane są na stronach Uniwersytetu w Wyoming, charakteryzują się bardzo słabą rozdzielczością pionową. Na ryc. 25 przedstawiono relację, a nie korelację pomiędzy stosunkiem zmieszania pary wodnej i ozonu. Ponadto, zauważalny jest brak definicji pojęcia wymuszania radiacyjnego, które jest wielokrotnie dyskutowane w rozprawie doktorskiej. Opis głównych wymuszeń radiacyjnych zamieszczony na rys. 2.8 jest mało precyzyjny. Natomiast na str. 49 pojawia się stwierdzenie, że zwiększenie wysokości korytarzy przelotowych powoduje natomiast, że w niższych wysokościach geograficznych dochodzi do wyższej emisji pary wodnej i częstszego występowania smug kondensacyjnych, co wpływa pozytywnie na wymuszenia radiacyjne.

Główne wyniki rozprawy doktorskiej zostały zamieszczone w rozdziale 5 zatytułowanym „Analiza wyników". Zawiera on analizę różnic rozkładu temperatury powietrza, składowych wiatru oraz koncentracji pary wodnej i NOx pomiędzy scenariuszem z emisjami i bez emisji lotniczych. Przedstawiona analiza uzyskanych w ramach symulacji numerycznych danych zawiera szczegółowy opis zmienności przestrzennej ww. wielkości w zależności od pór roku i wysokości. Doktorantka koncentruje się na wartościach ekstremalnych zmian temperatury

powietrza, które przybierają wysokie wartości (nawet rzędu ±10 K) w rejonie stratosfery. Znaczne różnice widoczne są również w prędkościach wiatru strefowego sięgającego ±15 m/s w okresie zimowym i wiosennym. W mojej ocenie przedstawiona analiza danych, pomimo że zawiera wiele szczegółowych informacji, jest zbytnio uproszczona. Istotnym mankamentem jest brak analizy korelacji pomiędzy zaburzeniami koncentracji pary wodnej czy ozonu a zmianami temperatury pomiędzy scenariuszami. Ponadto brak średnich wartości zmian temperatury dla całego globu, jak również wyznaczonych wartości wymuszeń radiacyjnych, które pozowaliby, by lepiej zinterpretować uzyskane wyniki. O ile w przypadku wymuszeń radiacyjnych poszczególnych komponentów należałoby wykonać wiele dodatkowych obliczeń, to w przypadku całkowitego wymuszenia radiacyjnego związanego z emisją lotniczą wydaje się, że wartości można prosto uzyskać na podstawie strumieni radiacyjnych liczonych w modelu GEM-AC. W rozdziale 5 mgr. inż. Magdalena Kosakowska koncentruje się głównie na szczegółowym opisie wykresów, nie dyskutując przy tym, dlaczego uzyskała takie czy inne wyniki. W szczególności w podsumowaniu pracy czytamy, że emisje z transportu lotniczego wpływają na kształtowanie się wiru polarnego, oscylacje QBO w niskich szerokościach geograficznych oraz większą tendencję do meandrowania prądu strumieniowego. Niestety w pracy nie ma żadnych wyników na ten temat poza pojedynczymi zdaniami w rozdziale 5.3.2. Nie wiadomo, jak doktorantka wyciągnęła takie wnioski. Zabrakło szczegółowej analizy danych dla tak istotnych i ważnych stwierdzeń. Nie wiadomo, dlaczego doktorantka pod pojęciem zmian dynamicznych ma na myśli również zmiany termodynamiczne (temperatury powietrza). Skąd pewność, że ów zmiany są wynikiem zmian w cyrkulacji, a nie odwrotnie, co wydaje się bardziej prawdopodobne. W rejonie stratosfery głównym czynnikiem kształtującym temperaturę powietrza jest dywergencja strumieni radiacyjnych będąca wypadkową własności optycznych powietrza i dochodzącego do górnych granic atmosfery promieniowania słonecznego. Wyniki symulacji dyskutowane są dla roku 2006 i 2050, które są środkiem okresu symulacji? Nie jest oczywiste, dlaczego nie analizowano np. ostatniego roku czy kilku ostatnich lat symulacji (po dopasowaniu się systemu do nowego stanu równowagi). Kolejna moja uwaga dotyczy różnic pomiędzy profilami pary wodnej i ozonu pochodzącymi z obserwacji a wynikami symulacji numerycznych. Są one wielokrotnie większe niż różnice pomiędzy scenariuszami A0 i A1, które prowadzą w pewnych regionach do bardzo dużych zmian w warunkach termodynamicznych ULTS. Z tego względu istotnym pytaniem jest np. na ile symulacje numeryczne odzwierciedlają rzeczywiste profile temperatury i wiatru w stratosferze? Należy podkreślić, że uzyskane przez doktorantkę wyniki są unikatowe a podjęty temat warto byłoby kontynuować nie tylko w kontekście przygotowania publikacji bazujących na zgromadzonym materiale badawczym, ale również w celu zidentyfikowania mechanizmów prowadzących do zmian w polu termodynamicznym i dynamicznym ULTS. W mojej ocenie o ile pierwsza część rozprawy doktorskiej jest oceniona wysoko to ocena drugiej części zawierająca główne wyniki rozprawy nieco niższa.

Ocena formalna pracy jest zdecydowanie pozytywna. Język, którym posługuje się doktorantka jest poprawny a pracę czyta się płynnie. Mimo tego autorka nie uniknęła błędów, o czym świadczy liczba literówek i nieprecyzyjnych sformułowań. Wskazuje poniżej kilka

przykładów. W tabelach 5.2-5.11 zamieszczono informacje po średniku, które nie wiadomo, co oznaczają? Brakuje w tych tabelach wartości średnich dla całego globu. Skala na wykresie 5.1, 5.2 jest źle dopasowana. Przydałoby się profile względnej różnicy pomiędzy scenariuszem A0 i A1.

Rekomendacja

Podsumowując, pozytywnie oceniam rozprawę doktorską mgr. Magdaleny Kossakowskiej zawierającą oryginalne wyniki pracy badawczej. Pewne mankamenty rozprawy stwierdzone powyżej nie wpływają na pozytywną ocenę rozprawy. Stwierdzam, że rozprawa ta spełnia wymogi związane z uzyskaniem stopnia doktora zgodnie z Art. 13 Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym (Dziennik Ustaw Nr 65 poz. 595 wraz ze zmianami Dziennika Ustaw z 2005 roku Nr 164 poz. 1365). W związku z tym wnioskuję do Rady Wydziału Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej o dopuszczenie mgr. inż. Magdaleny Kossakowskiej do dalszego etapu postępowania w przewodzie doktorskim w celu nadania stopnia doktora.

Warszawa, 14 czerwca 2018r.

Dr hab. Krzysztof Markowicz, prof. UW

Krzysztof Markowicz