

Prof. dr hab. Szymon Malinowski,
Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego
Instytut Geofizyki
ul. Pasteura 5
02-093 Warszawa
tel. 22-5546860
e-mail malina@fuw.edu.pl

Warszawa 02 grudnia 2022

Ocena rozprawy doktorskiej mgr inż. Paoli Porretty-Tomaszewskiej
z tytułu

**“Makroskala przestrzenna w modelowaniu stabilnej warstwy granicznej
atmosfery przy użyciu statystycznych modeli turbulencji”**

Tematem badań opisanych w rozprawie doktorskiej Pani mgr inż Paoli Porretty-Tomaszewskiej, z tytułu “Makroskala przestrzenna w modelowaniu stabilnej warstwy atmosfery przy użyciu statystycznych metod turbulencji”, którą napisała pod opieką prof. dr. hab. inż. Lecha Łobockiego, jest poprawienie opisu turbulencji w stabilnej warstwie granicznej atmosfery. Warstwa graniczna to ten rejon atmosfery, który odpowiada za wymianę masy, pędu, ciepła i wilgoci między powierzchnią Ziemi a tzw. atmosferą swobodną, czyli tą objętością atmosfery, w której bezpośrednie efekty oddziaływania z powierzchnią są pomijalnie małe. Praktycznie cała ta wymiana zachodzi w procesie transportu turbulencyjnego. Jednak w stabilnej warstwie granicznej turbulencja jest tłumiona przez stabilną stratyfikację. Narzędzia do opisu turbulencji w takich warunkach są bardzo niedoskonałe, stosowana do opisu neutralnej i chwiejnej warstwy granicznej forma teorii Monina-Obuchowa nie daje poprawnych rezultatów, a zatem, mamy kłopoty z poprawnym opisem procesów wymiany turbulencyjnej w warunkach stabilnych. W rozprawie zaproponowano ulepszony, integralny schemat wymiany turbulencyjnej (transportu turbulencyjnego). Rozwiązanie to może znaleźć zastosowanie w modelach numerycznych prognozy pogody, klimatu, transportu zanieczyszczeń. To ważny wynik, w pełni uzasadniający podjęte wysiłki, recenzent już w tym miejscu stwierdza, że rozprawa pani mgr inż Paoli Porretty-Tomaszewskiej jest na wysokim poziomie naukowym. Ważny jest temat rozprawy, jej metodyka przemyślana i skuteczna a wynik zdecydowanie bardziej niż zadowalający.

Opis rozprawy.

Rozprawa obejmuje ponad 100 stron druku. Po streszczeniach w języku polskim i angielskim, spisie treści oraz symboli matematycznych, następuje wprowadzenie, w którym uzasadniono podjętą tematykę badawczą. Jest ono znacznie bogatsze, niż to co wyżej opisałem skrótowo, ale istotą rzeczy jest właśnie lepsza parametryzacja wymiany turbulencyjnej w stabilnej warstwie granicznej. Dalej doktorantka przedstawia historię rozwoju nauki o warstwie granicznej atmosfery ze szczególnym uwzględnieniem opisu transportu turbulencyjnego, szczególnie modeli statystycznych, które pozwalają domknąć równania opisujące przepływy turbulentne w tej warstwie.

Drugi rozdział to uszczegółowienie i rozwinięcie na potrzeby dalszej części pracy, a także opis matematyczny podstawowych narzędzi używanych przez doktorantkę w modelowaniu stabilnej warstwy granicznej, od opisu równania energii kinetycznej turbulencji, przez różne postaci liczby Richardsona, teorie podobieństwa pozwalające w różny sposób wyznaczyć profile wielkości fizycznych w warstwie granicznej, po matematyczny model GWARAT autorstwa prof. Lecha Łobockiego.

Kolejny rozdział trzeci to szczegółowe omówienie różnych skal turbulencji, mających zastosowanie do przepływów w atmosferze i warstwie granicznej. To ważny rozdział, bo skale są wykorzystywane w wyprowadzaniu bezwymiarowej, ogólnej postaci stosowanych równań. Ten opis skal jest precyzyjny i bogaty, recenzent o kilku wariantach dowiedział się z tego opisu.

W rozdziale czwartym omówiono równania modeli turbulencji, koncentrując się na schematach ich domknięcia z wykorzystaniem modeli statystycznych fluktuacji prędkości i temperatury. Nacisk położono na sposoby domknięcia zaproponowane przez Mellora i Yamadę z późniejszymi udoskonaleniami. Wartościowe jest zestawienie stałych empirycznych lub postulowanych, używanych w tych modelach domknięcia, wykorzystanych dalej w szczegółowych wyprowadzeniach bezwymiarowych postaci równań modelu.

Domknięciem części teoretycznej rozprawy jest rozdział piąty, w którym przedstawiono kilka ciekawych wyników rachunkowych, na przykład nowe równanie (107) na pionowy profil wartości bezwymiarowej funkcji uniwersalnej w stabilnej warstwie granicznej zależny od bezwymiarowej wysokości. Stabilność charakteryzuje strumieniowa liczba Richardsona R_r , a sama funkcja dla pędu pokazuje odchylenia od profilu logarytmicznego prędkości (występującego, zgodnie z teorią Monina-Obuchowa w neutralnie stratyfikowanej warstwie granicznej) a dla ciepła na odchylenia profilu temperatury potencjalnej, który w wypadku neutralnej stratyfikacji jest stały (przydałoby się tutaj stosowny akapit z wyjaśnieniem i szkicami).

Rozdział 6 to najważniejszy rozdział pracy, w którym doktorantka wykorzystuje wprowadzone i omówione wcześniej narzędzia teoretyczne do systematycznego porównania profili pionowych najważniejszych parametrów turbulentnej, stabilnej warstwy granicznej atmosfery z wynikami opisanej w literaturze symulacji stabilnej warstwy granicznej atmosfery w Arktyce. Symulacja ta zgodna jest z obserwacjami z eksperymentu BASE, również opisanego w literaturze.

W pierwszej części tego rozdziału omówiony został wybór skal przestrzennych używanych przez badaczkę. Doktorantka pokazuje jak wyrazić te skale za pomocą gradientowej liczby Richardsona (Rys.6.1), tak aby dało się za pomocą równań wyprowadzonych w rozdziale 5 uzyskać wyrażenia na wartości funkcji uniwersalnych dla pędu i ciepła zależnie od ubezwymiarowanej wysokości (wyniki pokazano Rys. 6.2-6.6). Na niektórych z rysunków przedstawiono dodatkowo porównanie z wynikami symulacji metodą LES. Wyniki pokazują jakościową zgodność wyników symulacji z modelami teoretycznymi, jednak różnice pomiędzy modelami teoretycznymi dla różnych skal są na ogół mniejsze niż różnica między symulacją LES a teorią.

W kolejnym podrozdziale 6.2 doktorantka rozszerza badanie, wyznaczając funkcje uniwersalne z wykorzystaniem gradientowej teorii podobieństwa Sorbjana oraz, podobnie jak w poprzednim wypadku kilku wersji domknięcia Mellora-Yamady 2 rzędu. Uzyskane zależności są następnie wykorzystane do

wyprowadzenia wzorów na odpowiednie funkcje uniwersalne (podrozdział 6.3) oraz do wykonania modelem GWARAT obliczeń numerycznych ewolucji w czasie profili stabilnej warstwy granicznej dla warunków wspomnianego wcześniej eksperymentu BASE. Obliczenia wykonano w dwóch trybach: FD gdzie modelem GWARAT bezpośrednio całkowano w pionie równania transportu w warstwie przyziemnej, oraz w trybie SLI, w którym wykorzystano wprowadzone w podrozdziale 6.3 integralne rozwiązania funkcji uniwersalnych. Wyniki, przedstawione na rysunkach 6.8-6.13 pokazują bardzo dobrą zgodność tych dwóch metod. Jednak przeprowadzone dalej porównanie profili pionowych w 9 godzinie symulacji wspomnianym modelem LES i modelem GWARAT pokazuje istotne różnice w profilach wiatru i temperatury, a także strumieni pędu i ciepła. W ostatniej części rozdziału pokazano porównanie ewolucji w czasie najważniejszych parametrów charakteryzujących całą warstwę przyziemną (jej głębokość i tzw. prędkość tarciovą) dla symulacji modelem GWARAT przy różnych sformułowaniach integralnych i symulacji modelem LES (rysunki 6.20-6.21). O ile charakter przebiegu ewolucji w czasie jest taki sam w obu wypadkach, o tyle wartości są nieco rozbieżne, w zgodzie z poprzednimi wynikami.

Rozprawę zamyka ostatni krótki rozdział z wnioskami oraz bogaty i dobrze dobrany spis literatury.

Ocena rozprawy.

W ocenie recenzenta praca pani mgr inż. Paoli Porretty-Tomaszewskiej spełnia wszystkie wymagania stawiane ustawowo i zwyczajowo rozprawom doktorskim. Opisano w niej oryginalne, wysokiej jakości badania teoretyczne stabilnej wersji atmosfery, a wyniki, które zostały uzyskane są wartościowe i mogą znaleźć wiele zastosowań. Dużą wartością dysertacji jest kompleksowe, spójne potraktowanie całej teorii warstwy granicznej atmosfery, dające pełen, szczegółowy wgląd zarówno w sposoby otrzymywania uniwersalnych, bezwymiarowych funkcji opisujących profile prędkości i temperatury, jak i detaliczne wyprowadzenie tych zależności w formie pozwalającej zastosować je dla stabilnej warstwy granicznej. Otrzymane na podstawie wyprowadzonych zależności profile zostały następnie starannie porównane dla przypadku znanego i opublikowanego zestawu danych pomiarowych (eksperyment BASE) pomiędzy sobą, oraz z profilami otrzymanymi w wyniku bezpośredniego całkowania numerycznego równań turbulencji wykonanych jednowymiarowym modelem GWARART i zaawansowaną symulacją LES (opisaną w literaturze). W porównaniu pokazano podobieństwa i różnice w otrzymanych wynikach. Widać, że zadowalające, choć nieco inne niż w symulacjach LES profile, można otrzymać znacznie mniejszym kosztem niż bezpośrednie całkowanie w pionie równań ruchu, co ma istotne znaczenie dla zastosowania wyników do parametryzacji oddziaływania ziemia-atmosfera w stabilnej warstwie granicznej w modelach numerycznych prognoz pogody, klimatu, transportu zanieczyszczeń. Część badań opisanych w dysertacji została już opublikowana, wspólnie z promotorem, w wiodącym w skali międzynarodowej czasopiśmie, a dalsza część rezultatów na taką publikację (lub dwie) niewątpliwie zasługuje.

Praca zredagowana jest starannie, choć nie pozbawiona mankamentów. Niezwykle oszczędna forma opisów, pomijanie niektórych, zrozumiałych dla specjalisty w wąskim temacie, lecz nieoczywistych dla bardzo dużej części potencjalnych odbiorców, ograniczy jej odbiór. Przy przygotowywaniu publikacji wiele elementów czysto rachunkowych powinno zostać przeniesionych do dodatków, natomiast więcej

uwagi należałoby poświęcić opisowi rozumowanie, kolejnych działań i ich wyjaśnieniom. Dodatkową wartością byłoby pokazanie jak obliczone przez doktorantkę profile porównują się bezpośrednio z danymi pomiarowymi (uwzględnieniem oczywiście niepewności pomiarowych i zmienności warunków). Dotyczy to szczególnie sytuacji, gdzie pokazywana jest ewolucja w czasie symulowanych profili, gdzie najpewniej pierwsze dwie godziny wykazują artefakty związane z wyidealizowaną sytuacją początkową używana w symulacjach LES.

Rekomendacja.

Przedstawione wyżej uwagi mankamenty nie wpływają na wysoką ocenę przedstawionej rozprawy, są pomyślane raczej jako pomoc w przygotowaniu (oby jak najszybszym) kolejnych publikacji przedstawiających wyniki. Doktorantka w ramach badań uzyskała oryginalne, ciekawe i potencjalnie ważne wyniki naukowe, wykazała się znajomością meteorologii warstwy granicznej atmosfery, metod matematycznych i obliczeniowych stosowanych w tym dziale nauki. Wyniki swojej pracy opisała oraz zilustrowała w sposób staranny i bardzo dokładny. Jak już wspominałem zarówno tematyka badań, jak ich przeprowadzenie, wyniki oraz prezentacja spełniają wszystkie wymagania formalne i zwyczajowe stawiane rozprawom doktorskim. Z pełnym przekonaniem wnoszę o dopuszczenie mgr inż. Paoli Porretty-Tomaszewskiej do dalszej części przewodu doktorskiego i wnioskuję o wyróżnienie rozprawy, co uzasadniam jej bardzo wysokim poziomem naukowym i potencjalnym znaczeniem otrzymanych wyników. To ważny przyczynek, który ma potencjał wpłynąć na poprawę prognoz pogody i transportu zanieczyszczeń, a nawet projekcji klimatu.

