

Prof. dr hab. inż. Lech Łobocki

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej mgr Grzegorza Marka Florczyka
nt. „Wpływ własności optycznych aerozolu atmosferycznego
na strukturę termiczną i dynamikę wzrostu granicznej warstwy atmosfery”

Niniejsza recenzja dotyczy tekstu rozprawy, zawierającego zmiany wprowadzone w odpowiedzi na zarzuty przedstawione w mojej recenzji z dn. 28 października 2025 r., oraz uwagi pozostałych recenzentów. Zmiany te mają w większości wystarczająco gruntowny charakter i odpowiadają zarzutom pod względem merytorycznym. Ponadto, poza nową wersją rozprawy Doktorant przedstawił również w formie pisemnej odpowiedzi na uwagi i pytania zawarte w recenzjach. Fakty te czynią listę zarzutów przedstawionych wcześniej nieaktualną – jednak aby nie powtarzać w tym miejscu pozostałych elementów zawartych w poprzedniej recenzji, pozwolę sobie ograniczyć się do oceny zmian wprowadzonych w odpowiedzi i sformułowania dalszych uwag i pytań.

Ocena zmian wprowadzonych w odpowiedzi na uwagi

1) W odpowiedzi na zarzut dotyczący doboru, konfiguracji i sposobu użycia modelu dynamiki – Doktorant nie ograniczył się do udzielenia odpowiedzi, ale wykonał również dodatkowe obliczenia, które w przypadku części danych przyniosły znaczną, a w przypadku pozostałej części – niewielką, lecz zauważalną poprawę wyników. Fakt ten uznaję za właściwy sposób postępowania naukowca w odpowiedzi na zgłaszane zastrzeżenia, świadczy to o osiągnięciu stopnia dojrzałości do podejmowania samodzielnych prób publikowania wyników własnej pracy naukowej. Doktorant uzupełnił także opis sformułowania modelu poprzez dołączenie warunków brzegowych (zestaw równań w Dodatku B oznaczonych jako B.27). Mając jednak tą kwestię wyjaśnioną, widzę potrzebę ustosunkowania się Doktoranta do rodzącego się w związku z tym pytania. Mianowicie, w obszarze warstwy przyziemnej występuje silna zmienność pionowego gradientu temperatury, w przypadku równowagi chwiejnej – o kilka rzędów wielkości. Problem ten do pewnego stopnia można obejść poprzez zadanie wartości strumieni (jak to zostało uczynione w przypadku strumieni pary wodnej i energii – choć zachodzi wtedy pytanie o uzasadnienie związku między wartością strumienia, a różnicą temperatury potencjalnej czy wilgotności właściwej między powierzchnią ziemi, a najniższym atmosferycznym poziomem siatki), jednak w przypadku równania zachowania pędu warunkiem brzegowym jest warunek przylegania („no-slip”). W związku z tym, przy stosowaniu metod różnicowych konieczne jest odrębne potraktowanie zmienności podsiatkowej w obrębie najniższej warstwy – co można uczynić bądź przez zastosowanie empirycznych funkcji teorii podobieństwa Monina – Obuchowa i odpowiednią modyfikację układu B.31, bądź poprzez sformułowanie efektywnych wartości współczynnika transportu turbulencyjnego K poprzez analityczne scałkowanie uproszczonej postaci przyjętego modelu turbulencji lub empirycznych funkcji uniwersalnych. Ponieważ problem ten był już sygnalizowany w mojej poprzedniej recenzji - oczekuję tu od Doktoranta szerszego jego objaśnienia, jak również podania podparte obliczeniami oceny liczbowej błędów z tym związanych w trakcie obrony rozprawy. Być może, odpowiedzią tu będzie powiązanie integralnych współczynników transportu C_S i C_L z wartościami K w najniższej warstwie, niezbędne jest tu jednoznaczne stwierdzenie, czy taką zależnością faktycznie się posługiwano przy określaniu wartości współczynników występujących w układzie równań B.31.

Od strony redakcyjnej - jakkolwiek w tym momencie opis sformułowania modelu staje się kompletny, wytknąć należy chaos panujący w sposobie wyjaśniania symboli i oznaczeń. Biorąc pod uwagę ich mnogość, Doktorant słusznie postanowił zaopatrzyć tekst rozprawy w spis oznaczeń, jednak spis ten nie jest kompletny, i części objaśnień należy szukać we wcześniejszych partiach tekstu. Ponadto, niektóre oznaczenia są błędnie opisane (np. pomylenie określeń „bezwzględna” i „właściwa” w odniesieniu do charakterystyk wilgotności/wodności powietrza w spisie oznaczeń – wnioskując z jednostek miar, we wszystkich trzech przypadkach należało użyć terminu „właściwa” – ang. „specific”). Ponadto, skoro do zredagowania tekstu użyto LaTeX-a, dającego możliwość operowania makrami - warto byłoby uporządkować stosowane symbole w bardziej przemyślany sposób, dla uniknięcia przypadków podwójnej ich roli (θ - temperatura potencjalna, ale również kąt w sferycznym układzie współrzędnych), czy też utrzymania tradycyjnego użycia najpowszechniej stosowanych (g jako przyspieszenie siły ciężenia, a nie jako parametr asymetrii omawiany w dodatku C.2).

2) Odnosnie uwagi dotyczącej mankamentów przy opisie warunków meteorologicznych – Doktorant skoncentrował i uzupełnił ten opis w dodatku D. Uznaję za wystarczającą reakcję na podniesiony zarzut.

3) W odpowiedzi na zarzut nadmiernego uproszczenia metody obliczeń turbulencyjnych strumieni ciepła jawnego i utajonego, Doktorant wykonał dodatkowe analizy, korzystając z wyników ERA5. Proponuję, aby analizy te zostały przedstawione w trakcie obrony rozprawy, jako jeden z elementów potwierdzających Jego dojrzałość naukową.

4) Wyjaśnienie niejasności dotyczących wyników otrzymanych przy użyciu instrumentu HATPRO uznaję za satysfakcjonujące, podobnie jak wyjaśnienia kwestii podniesionych w dwóch kolejnych punktach, oraz punkcie 8 mojej poprzedniej recenzji.

Ocena naukowych walorów pracy

Powtarzając ocenę zawartą w mojej poprzedniej recenzji: „Podjęty temat jest stosunkowo nowy, a wykorzystanie w rozprawie danych pochodzących z pomiarów wykonanych w Polsce prawdopodobnie ma w tym zastosowaniu miejsce po raz pierwszy. Rozprawa posiada zatem potencjał poznawczy.” Wskazane przeze mnie mankamenty, które uważałem za przeszkodę dla postawienia wniosku o dopuszczenie rozprawy do obrony, zostały usunięte w stopniu umożliwiającym przejście do kolejnego etapu przewodu doktorskiego.

Podsumowanie recenzji

W mojej ocenie, przedłożona do recenzji rozprawa doktorska mgr Grzegorza Marka Florczyka w obecnej formie spełnia ustawowo określone warunki i może zostać dopuszczona do dalszych czynności przewodu doktorskiego, o co niniejszym wnioskuję.



Prof. dr hab. inż. Lech Łobocki

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej mgr Grzegorza Marka Florczyka
nt. „Wpływ własności optycznych aerozolu atmosferycznego
na strukturę termiczną i dynamikę wzrostu granicznej warstwy atmosfery”

Ocena ogólna

Swoją rozprawę doktorską nt. „Wpływ własności optycznych aerozolu atmosferycznego na strukturę termiczną i dynamikę wzrostu granicznej warstwy atmosfery” Doktorant – mgr Grzegorz Florczyk poświęcił faktycznie zbadaniu efektów absorpcji i rozpraszania promieniowania w atmosferze na rozwój granicznej warstwy atmosfery (GWA), wyrażający się jej nagrzewaniem i wzrostem grubości. Praca została oparta na analizie danych pomiarowych i obliczeniach symulacyjnych, wykonanych przy użyciu jednokolumnowego modelu dynamiki GWA, połączonego z modelem radiacyjnego transportu energii.

Rozprawa składa się z pięciu rozdziałów i trzech dodatków. Ogólny układ rozdziałów odpowiada tradycyjnie przyjętej strukturze rozpraw doktorskich, a obszerne dodatki (łącznie 30 stron) przedstawiają podstawy teoretyczne stosowanych modeli oraz ich dość skomplikowane aspekty matematyczno-rachunkowe.

Zasadniczym tematem rozprawy jest próba oceny ilościowej dwóch efektów obecności aerozolu w dolnej troposferze, określanych w literaturze anglojęzycznej jako „stove and dome effects”, a w tekście rozprawy jako „efekty pieca i kopuły”. Pierwszy z owych efektów występuje wskutek absorpcji promieniowania słonecznego w warstwie rozciągającej się bezpośrednio ponad podłożem, co prowadzi do bezpośredniego nagrzewania powietrza i wzrostu grubości GWA przy jednoczesnym osłabieniu promieniowania docierającego do podłoża, i prawdopodobnym osłabieniu konwekcji. Drugi efekt natomiast polega na absorpcji promieniowania w uniesionej warstwie aerozolu i jej ogrzania, co wywołuje wzrost stabilności ponad warstwą graniczną, a przez to zarówno ograniczenie tempa nagrzewania GWA, jak i wzrostu jej grubości.

Uwagi krytyczne

Przy lekturze tekstu rozprawy napotykamy się na dość liczne mankamenty natury redakcyjnej, a także na fragmenty wzbudzające pytania i wątpliwości o **charakterze merytorycznym**:

1) Dobór, konfiguracja i sposób użycia modelu dynamiki GWA. Przedstawiony w punkcie 3.1.5 oraz w dodatku B opis modelu jest niepełny – brakuje sprecyzowania warunków brzegowych (w szczególności warunku określającego wymuszenia termiczne przez podłoże). Brakuje też informacji o zastosowanym (lub nie - ?) sposobie potraktowania dużych gradientów temperatury w warstwie przyziemnej. Przyjęty sposób parametryzacji mieszania wskutek ruchów konwekcyjnych i turbulencyjnych mniejszych skal jest odpowiedni dla odzwierciedlenia rozwoju GWA w warunkach konwekcyjnych, jednak w warunkach silnej stabilności (przypadek 28/29.X.2014 w Świdrze, przy pionowym gradiencie temperatury dochodzącym do ok. 40 K/100 m) należałoby wykorzystać jedną z metod zaprojektowanych specjalnie do użytku w podobnych sytuacjach, np. model EFB

(Zilitinkevich et al., 2006). Zapewne przyczyniło się to do niepowodzenia opisanego w rozdziale 4.4.

Warto też zwrócić uwagę, że przyjęty stały krok siatki modelu 5 m jest niedostateczny dla odzwierciedlenia zmienności temperatury potencjalnej w obrębie warstwy przyziemnej w warunkach równowagi chwiejnej. Oznacza to, że jeżeli dolny warunek brzegowy miałby postać Dirichleta, to obliczona wartość strumienia ciepła zostałaby znacznie zaniżona, natomiast przy formułowaniu warunku brzegowego w postaci Neumanna należałoby skorzystać z integralnej postaci związków 'flux-profile' w celu wyznaczenia różnicy wartości między dwoma najniższymi poziomami siatki, względnie ustawienia domeny obliczeniowej poza obszarem dolnej części warstwy przyziemnej.

2) Standardem w studiach przypadku jest podanie opisu warunków meteorologicznych; niestety, cała informacja podana w części 3.2 sprowadza się do wartości średniej prędkości wiatru na wysokości 10 m n.p.g., oraz wzmiance o obecności chmur Cirrus w dn. 28 maja. Przy omawianiu symulacji modelowych nie podano nawet wartości składowych wiatru geostroficznego. W symulacjach rozwoju GWA istotną rolę mogą odegrać m.in. takie czynniki, jak baroklinowość i związana z nią adwekcja termiczna, zmienność wymuszeń dynamicznych w przebiegu czasowym, profil prędkości wiatru w stanie początkowym, topografia i przestrzenne zróżnicowanie charakterystyk termiczno-dynamicznych powierzchni terenu. Jako niezbędne minimum należałoby tu przyjąć wykonanie szacunków na podstawie publicznie udostępnianych danych obserwacyjnych państwowej służby meteorologicznej oraz zwrócenie uwagi na potencjalną rolę pominiętych czynników przy omawianiu wyników poszczególnych symulacji.

Obydwa te opisy są dość enigmatyczne – standardem prac naukowych jest opis danych wystarczająco szczegółowy do odtworzenia wyników.

3) Nadmiernie uproszczona metoda obliczeń turbulencyjnych strumieni ciepła jawnego i utajonego, poprzez założenie ich liniowych związków z wartością strumienia promieniowania krótkofalowego. Można tu było sięgnąć zarówno po modele reprezentujące 'state of the art', jak np. NOAH-MP (<https://github.com/NCAR/noahmp>), jak i prostsze, ale nadal uwzględniające parametryzacje poszczególnych elementów bilansu cieplnego powierzchni ziemi – dla przykładu, równanie Penmana-Monteitha powiązane z metodą force-restore Bhumralkara i Deardorffa. Ponieważ wyniki modelowania mają stanowić główny dowód konkluzji rozprawy, należało tu użyć komponentów o uznanej wiarygodności. Istotnym aspektem rozwoju GWA jest dwukierunkowe sprzężenie bilansu cieplnego podłoża z mechanizmami transportu energii w atmosferze, przypuszczalnie pominięte w rozprawie (brak informacji).

4) Pominięcie milczeniem trudno zrozumiałych wyników otrzymanych przy użyciu instrumentu HATPRO (rys. 3.6 i dalsze). Doktorant stwierdza tu np. „21 maja: HATPRO (8 LT) wykazał stabilny profil”, podczas gdy na rysunku widać wyraźny spadek temperatury potencjalnej w warstwie między 300, a 650 m n.p.g. Podobną zmienność zaobserwować można też na rysunkach 3.6, 3.8, 3.10, i nie znajduje ona potwierdzenia w danych radiosondażowych. Czy Doktorant znajduje jakieś wytłumaczenie tego zjawiska, a jeśli nie, to czy wyniki te można uznawać za wiarygodne jako materiał weryfikacyjny?

5) Również, wątpliwości budzi sposób zastosowania korekty wysokości odniesienia dla danych radiosondażowych z Tarnowa. Cytując: „Profil M20 skorygowano o różnicę w wysokości n.p.m. Tłumaczy to, dlaczego profile M20 nie wykazują charakterystycznego ogrzewania w warstwie przyziemnej.” Czyżby korekta miała polegać na obcięciu dolnej części profilu – co byłoby z jednej strony istotnym błędem, a z drugiej – tłumaczyło 200-metrową różnicę wysokości GWA między wynikami modelu, a radiosondażem na rys. 3.6?

6) Niepokój wzbudza także przejście do porządku dziennego nad bardzo dużą rozbieżnością (6,6 K - (!)) temperatury potencjalnej między wynikami modelu, a pomiarami. Doktorant zadowala się tu stwierdzeniem „Pomimo znacznego odstępstwa $\theta(z)$ od pomiarów (RMSE = 6,6 K) obserwujemy dobrą zgodność oszacowania WGWA”. Może jest to i pewne pocieszenie, ale przyczyny tak dużego błędu wymagają identyfikacji i usunięcia.

7) Charakterystyka rozwoju GWA podana w rozprawie ogranicza się do dwóch elementów: profilu temperatury potencjalnej i grubości GWA – które to elementy porównywane są z pomiarami. Pominięto natomiast dyskusję ewolucji profili prędkości wiatru, kinetycznej energii turbulencji i ruchów konwekcyjnych, strumieni pędu i ciepła – które stanowiłyby interesującą informację dostępną dzięki użyciu modelu.

8) W studiach wykorzystujących dane ze Strzyżowa i Świdra mamy do czynienia z zasadniczo różnymi sytuacjami pod względem dostępnej informacji pomiarowej (jak też i warunkami fizycznymi). Jak można wywnioskować z informacji rozrzuconej po poszczególnych rozdziałach (2.2, 2.3, 3.1.1, 3.1.2, 3.2, 4.1) w pierwszym przypadku pomierzona grubość optyczna posłużyła do skonstruowania hipotetycznego profilu współczynnika ekstynkcji, przy wykorzystaniu informacji o grubości warstwy granicznej pochodzącej z modelu, natomiast w drugim przypadku posłużono się profilem współczynnika absorpcji określonym na podstawie pomiaru wykonanego w nocy, który posłużył do sformułowania warunku początkowego. Z opisu nie wynika, w jaki sposób traktowana była zmienność czasowa parametrów optycznych.

Nie do końca jest również jasne, czy przyjęcie formuł (3.2-3.3) – zakładając, że zmienność czasowa grubości optycznej jest na bieżąco uwzględniana w trakcie całkowania równań modelu, i zachowana jest pozioma jednorodność w przestrzennym rozkładzie koncentracji aerozolu – spełnia warunek zachowania masy. Jeśliby proponowany model miał być użyteczny w celach prognostycznych (tj. bez dostępnej a priori informacji o zmienności grubości optycznej), wówczas niezbędne byłoby dołączenie do modelu GWA przynajmniej równania transportu substancji pasywnej.

Uwagi szczegółowe:

1. W zdaniu otwierającym rozprawę Doktorant określa jej cel jako „wykonanie studium”. Trudno to uznać za cel poznawczy. Celem naukowym może być udzielenie odpowiedzi na postawione pytanie, potwierdzenie hipotez, poznanie nieznanych dotąd procesów, związków przyczynowo-skutkowych czy też ilościowe określenie takich związków. Z podsumowania pracy można wywnioskować, że mamy do czynienia z jakościową i ilościową oceną efektów obecności aerozolu, przy czym konkluzje jakościowe są zgodne z dotychczas publikowanymi, a więc zasadniczo nie wnoszą elementów nowości. Autor powinien wyraźniej sformułować we wstępie cel poznawczy pracy, a w jej zakończeniu wyodrębnić elementy nowości.

2. s. 14-15 Stosując terminy „efektów pieca i kopuły” należałoby podać odsyłacze do prac, w których zostały one wprowadzone, np. Ding et al 2016 (doi:10.1002/2016GL067745). Tam bowiem czytelnik powinien móc znaleźć ich wyjaśnienie w oryginalnym brzmieniu sformułowanym przez autorów terminu.

3. s. 25. Co to jest „anemometr obrotowy”? Istnieją dwa główne rodzaje anemometrów z wirnikiem – czaszowe i śmigłowe, o różnej zasadzie działania (opór aerodynamiczny vs. siła nośna) i charakterystyce.

4. s. 31: co konkretnie oznacza zdanie: „W przypadku braku danych pomiarowych dot. profilu prędkości wiatru $U(z)$, obliczano go zgodnie z nieznacznie przekształconym równaniem 9.7.1b

(Stull, 1988)”? Czy w konkretnych rozpatrywanych w rozprawie przypadkach dane takie istniały, czy nie? Czy wzór (3.1) był stosowany w całym przedziale wysokości 0-4 km?

We wzorze 3.1 jest także błąd – powinien być tam iloraz, a nie iloczyn logarytmów. Nadto, formuła ta jest odpowiednia – w ograniczonym zakresie wysokości rzędu kilkudziesięciu metrów – do warunków równowagi obojętnej, w żadnym razie natomiast do warunków obserwowanych w nocy 28/29.X.2014 w Świdrze.

5. s. 107: „D/Dx to operator różniczkowy substancjalnej”. Nie „D/Dx”, a D/Dt, i raczej operator różniczkowania, niż różniczkowy. „Różniczkowy substancjalny”, to forma różniczkowa postaci

$$df_s = \frac{\partial f}{\partial t} dt + (\nabla f \cdot d\vec{x}) \quad , \text{ pochodna substancjalna} - \quad \frac{Df}{Dt} = \frac{df_s}{dt} \quad . \text{ W przypadku transferu}$$

radiacyjnego, formalne podobieństwo operatora $\frac{D}{Ds} = \frac{1}{c} \frac{\partial}{\partial t} + \vec{n} \cdot \nabla$ może być mylące (mnożenie

stronami przez c), ale stosowane nazwy w rodzaju „path derivative” należałoby raczej tłumaczyć jako „pochodną po ścieżce promieniowania”, niż „pochodna substancjalna” – która oznacza tempo zmian własności fizycznej danej cząstki materialnej.

6. s. 125: W metodzie „mass flux” indeksy „u” (updraft) i „e” (environmental) odnoszą się nie do części nielokalnej i lokalnej, ale do fragmentu powierzchni kontrolnej (np. oczka siatki w modelu trójwymiarowym) zajętej przez prąd wstępujący i otoczenie owego fragmentu. Punktem wyjścia do wyprowadzenia wzoru B.9 jest bilans masy (kompensacja) w prądach wstępujących i opadających (w otoczeniu), obliczenie średnich obszarowych prędkości i masy (względnie innej wielkości zachowawczej), a następnie obliczenie strumienia jako $\overline{w'f'} = \overline{wf} - \overline{w} \overline{f}$.

7. Informacje o danych z sieci obserwacyjnej IMiGW: metadane stacji podajemy obecnie według informacji dostępnych w serwisie WMO OSCAR – zamiast niezbyt konkretnego opisu stacji aerologicznej w Tarnowie należałoby podać dane wg <https://oscar.wmo.int/surface/#/search/station/stationReportDetails/0-20000-0-12575>.

8. Informacje o danych wykorzystanych przez moduł radiacyjny są rozrzucone po różnych fragmentach pracy, a nadto potraktowane w sposób ogólnikowy. Przy opisie kampanii pomiarowej w Świdrze (rozdział 2.3) znajdujemy stwierdzenie „Moduł ewolucji GWA w modelu EDMF-AERO wymaga początkowych profili meteorologicznych do wysokości 4 km, podczas gdy moduł transferu promieniowania do 100 km. Z tego względu profile skonstruowano poprzez połączenie pomiarów in-situ, sondowań meteorologicznych ze stacji WMO #12374 Legionowo (52.40° N, 20.95° E, 73 m n.p.m.) z godz. 00.00 UTC 29.10.2014 r. oraz charakterystyką atmosfery standardowej z pliku „jlms.lay” dołączonego do modułu radiacyjnego Ed4-LaRC-Fu-Liou.”, natomiast w rozdziale 2.2 mamy wzmiankę „Dane uzupełniono profilami in-situ zbieranymi w Tarnowie w ramach Światowej Organizacji Meteorologicznej (ang. World Meteorological Organization, WMO) za pomocą radiosondy M20”. W rozdziale 3.1.2 mamy natomiast „Moduł optyczny wykorzystuje parametry wejściowe (jakie?) i WGWA obliczone przez moduł GWA do wygenerowania profili $\sigma_{e,\lambda}(z)$ oraz $\omega_\lambda(z)$.” Informacje dotyczące wprowadzanych danych należałoby uzupełnić wystarczająco szczegółowo dla ewentualnego odtworzenia wyników (standard dokumentacji naukowej) i zebrać w jednym miejscu wraz z opisem warunków meteorologicznych.

9. Jak należy rozumieć informację „Wyznaczenie wartości H przeprowadzono dopasowując równanie 3.2 do danych.” (końcowa partia rozdziału 2.3)? Formalnie, 3.2 nie jest równaniem (tj. relacją równości), ale wzorem określającym założony profil współczynnika ekstynkcji, ponadto (zakładając, że chodzi o dobór wartości parametrów występujących we wzorze 3.2, a nie samej postaci użytych funkcji) należałoby precyzyjnie opisać zależności poszczególnych parametrów od konkretnie zidentyfikowanych danych. Równań zaś się nie dopasowuje, można je formułować lub stosować.

Ocena naukowych walorów pracy

Podjęty temat jest stosunkowo nowy, a wykorzystanie w rozprawie danych pochodzących z pomiarów wykonanych w Polsce prawdopodobnie ma w tym zastosowaniu miejsce po raz pierwszy. Rozprawa posiada zatem potencjał poznawczy. Jednak wskazane wyżej mankamenty i niejasności opisu nie pozwalają na uznanie sformułowanych tez za udowodnione, a wątpliwości dotyczą tu również poprawności metodycznej. Ogólnikowy, chaotyczny i niestaranny opis wykorzystywanych danych i zastosowanych procedur ich przetwarzania nie jest wystarczający do jednoznacznego odtworzenia wyników pracy na podstawie użytego zestawu danych pomiarowych.

Podsumowanie recenzji

W mojej ocenie, przedłożona do recenzji rozprawa doktorska mgr Grzegorza Marka Florczyka może zostać dopuszczona do dalszych czynności przewodu doktorskiego pod warunkiem uzupełnienia i poprawy, uwzględniającej podniesione zarzuty merytoryczne (pkt 1-8 w części uwag krytycznych dotyczących kwestii merytorycznych w niniejszej recenzji), oraz uściślenia stosowanej terminologii i stosowanych sformułowań. W szczególności, potrzebne tu jest pełne przedstawienie symulowanych scenariuszy, warunków początkowych i brzegowych, przemyślenie wybieranych parametryzacji pod kątem ich odpowiedniości do warunków fizycznych, włączenie bilansu cieplnego powierzchni ziemi z dwukierunkowym sprzężeniem w opisie wymiany energii w układzie powierzchnia ziemi – atmosfera. Należy także zwrócić uwagę na poprawienie precyzji opisu.

