

Streszczenie

Tematem pracy jest porównanie wyników symulacji numerycznych typu LES (z ang. Large Eddy Simulation) atmosferycznej warstwy granicznej nakrytej chmurą stratocumulus z pomiarami in-situ wykonanymi przez samolot badawczy. Do porównania został wytypowany lot TO13 z kampanii pomiarowej POST (Physics of Stratocumulus Top), przeprowadzonej w 2008 roku u wybrzeży Kalifornii. Jest to przykład nieklasycznej chmury stratocumulus, a tego typu przypadki są słabo udokumentowane w literaturze.

Zarejestrowane w trakcie lotu TO13 pomiary posłużyły do scharakteryzowania warunków atmosferycznych, własności warstwy granicznej atmosfery i samej chmury, a także do wyznaczenia warunków początkowych i brzegowych dla symulacji numerycznych. Wyniki przeprowadzonych symulacji umożliwiły zarówno ocenę wpływu wybranych zjawisk fizycznych (wychładzania radiacyjnego i ścinania wiatru w okolicach wierzchołka) na badaną chmurę, jak też stanowiły bazę do wykonania porównania z pomiarami in-situ. Porównanie to zostało wykonane przy wykorzystaniu typowych, powszechnie używanych w literaturze źródłowej metod, oraz przy użyciu nowej, wprowadzonej w pracy metody „wirtualnego samolotu”. W tej alternatywnej metodzie domenę obliczeniową modelu w czasie rozwoju chmury próbkowano w analogiczny sposób do tego, w jaki rzeczywistą atmosferę próbują samoloty badawcze.

Pokazano, że zaproponowana metoda porównania wyników symulacji numerycznych z pomiarami z samolotów badawczych, jest użytecznym narzędziem analizy, pozwalając zrozumieć jak bardzo na interpretację wyników pomiarów in-situ wpływa przyjęta strategia pomiarowa. Z tego względu metoda „wirtualnego samolotu” może służyć do planowania lotów badawczych w przyszłych kampaniach pomiarowych, jak i do weryfikacji wniosków z dawniejszych kampanii.

Przeprowadzone w pracy analizy koncentrowały się na badaniu procesów fizycznych zachodzących w rejonie wierzchołka chmury stratocumulus, ze szczególnym uwzględnieniem warstwy inwersyjnej, będącej rozgraniczeniem między troposferą swobodną, a leżącą niżej warstwą graniczną atmosfery. Głównym celem badań była charakterystyka występującej w tym obszarze turbulencji, analiza jej źródeł i zaniku (dyssypacji), a także transportu turbulencji w pionie przez cyrkulacje występujące w warstwie granicznej. Praca stanowi kompleksową analizę nieklasycznego przypadku chmury stratocumulus, w którym wymuszenia napędzające ruchy konwekcyjne obejmujące całą warstwę graniczną, pochodzą głównie od procesów fizycznych zachodzących na wierzchołku chmury (tj. od wychładzania radiacyjnego i ścinania wiatru). Przyczyną takiego stanu były bardzo niskie wartości strumieni powierzchniowych. Ponadto, ze względu na fakt, że lot TO13 rozpoczął się tuż przed zachodem słońca, możliwe było wykonanie analiz obrazujących zmiany zachodzące w okolicach wierzchołka chmury, w trakcie przejścia warstwy granicznej atmosfery z dziennej w nocną.

Wynikiem przeprowadzonych badań było m.in. wykazanie, że w omawianym przypadku warstwa graniczna atmosfery znajdowała się na granicy rozprężenia na dwa dynamicznie niezależne obszary (z ang. decoupling). Ze względu na małe strumienie powierzchniowe ciepła jawnego i utajonego, konwekcyjnie wznoszące się cząstki osiągały poziom kondensacji przez inercję, a przemiana fazowa wody stanowiła źródło energii umożliwiającej ich dalsze unoszenie się. Głównym mechanizmem napędzającym ruchy konwekcyjne było wychładzanie radiacyjne wierzchołka chmury.

Kolejnym wynikiem pracy było wykazanie, że warstwę inwersyjną tworzą dwie podwarstwy, które różnią się m.in. właściwościami występującej tam turbulencji, choć w obu

podwarstwach obserwowana turbulencja miała charakter anizotropowy dla skal powyżej kilku metrów. Górny rejon, nazwany turbulencyjną warstwą inwersyjną (TISL; z ang. Turbulent Inversion Sub-Layer), znajdował się powyżej wierzchołka chmury. W jego obszarze turbulencja była słabiej rozwinięta, a występujące tam wiry były silnie zdeformowane, ze względu na rozciąganie w poziomie przez ścinanie wiatru oraz spłaszczanie w pionie poprzez stabilną stratyfikację. Wykazano również, że warstwa ta była miejscami ekstremalnie cienka (rzędu kilku metrów), a rozkład jej grubości miał charakter bimodalny. W obszarze tym turbulencja, generowana głównie przez ścinanie wiatru, podlegała transportowi w dół. Możliwe było również wystąpienie niestabilności Kelvina-Helmholtza.

Dolny rejon warstwy inwersyjnej, nazwany wierzchołkową warstwą mieszania (CTMSL, z ang. Cloud-Top Mixing Sub-layer), charakteryzował się znacznie silniejszą turbulencją. Powodem takiego stanu był transport energii kinetycznej turbulencji (TKE) w pionie. Z jednej strony turbulencja generowana w okolicach wierzchołka chmury była transportowana w dół, z drugiej turbulencja powstająca w głębi chmury przenoszona była w górę, do wysokości około 50m poniżej wierzchołka, na której następowało rozpyływanie się cyrkulacji konwekcyjnych.