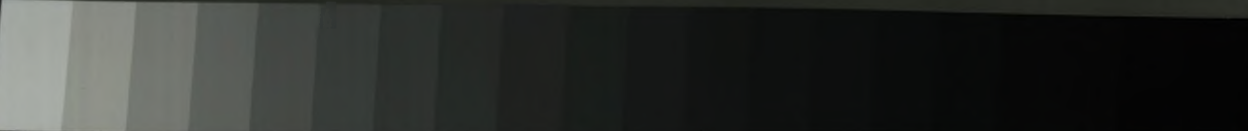


Grey Scale #13



DANES-PICTA

A 1 2 3 4 5 6 M 8 9 10 11 12 13 14 15 B 17 18 19



ARCHIWUM
Akademii Obrony Narodowej

AKADEMIA OBRONY NARODOWEJ

WYDZIAŁ LOTNICTWA I OBRONY POWIETRZNEJ

Płk dr hab. inż. Bogdan ZDRODOWSKI
Kpt. dr inż. Jan ZYCH

MODEL DZIAŁAŃ POWIETRZNYCH

Etap IV

WARUNKI METEOROLOGICZNE
W MODELU DZIAŁAŃ POWIETRZNYCH

4.25.4.0



Biblioteka Główna
Akademii Obrony Narodowej

S/5615



05-005615-002-0

WARSZAWA

68617



AKADEMIA OBRONY NARODOWEJ
WYDZIAŁ LOTNICTWA I OBRONY POWIETRZNEJ



płk dr hab. inż. Bogdan Zdrodowski

kpt. dr inż. Jan Zych

MODEL DZIAŁAŃ POWIETRZNYCH

Etap IV

WARUNKI METEOROLOGICZNE W MODELU DZIAŁAŃ

POWIETRZNYCH

4.25.4.0



Spis treści

Wyjaśnienie skrótów użytych w opracowaniu	5
Wstęp	6
1. Identyfikacja problemów meteorologicznych w modelu symulacyjnym	9
1.1. Wpływ zjawisk meteorologicznych na obiekty powierzchni	11
1.2. Minimalne warunki atmosferyczne (MWA)	14
1.3. Niestandardowe warunki atmosferyczne	15
2. Wybrane zjawiska atmosferyczne	16
2.1. Warstwy atmosfery	17
2.2. Skład powietrza	19
2.3. Ciężar powietrza	20
2.4. Turbulencje, opady, wiatry	21
2.5. Ciśnienie atmosferyczne	26
2.6. Standaryzacja parametrów meteorologicznych	29
3. Zjawiska meteorologiczne w modelu symulacyjnym	36
3.1. Parametryzacja zjawisk meteorologicznych	36
3.2. Klasyfikacja parametrów meteorologicznych	43
3.3. Modelowanie chmury	47
3.3.1. Model chmury Coakley	48
3.3.2. Model chmury Gettelera	48
3.3.3. Model chmury Billera	50
3.3.4. Model chmury Kajiyi	51
4. Koncepcja bazy danych dla modelu METEO	54
4.1. Zbiory danych meteorologicznych	54
4.1.1. Dane stałe	55
4.1.2. Dane zmienne	59
4.2. Ogólnie dostępne zmiany pogody w czasie	62
4.3. Przewidywanie stanu pogody w określonych miejscach i rejonach	64
5. Służby meteorologiczne	68
5.1. Struktura służb meteorologicznych	70
5.2. Zadania jednostek meteorologicznych	72
5.3. Obieg informacji meteorologicznych	79
6. Działanie modelu METEO	82

Opracowanie recenzowane przez: prof. nzw. dr. hab. Zbigniewa Groszka

Spis treści

Wyjaśnienie skrótów użytych w opracowaniu	5
Wstęp	6
1. Identyfikacja problemów meteorologicznych w modelu symulacyjnym	9
1.1. Wpływ zjawisk meteorologicznych na obiekty powietrzne.....	11
1.2. Minimalne warunki atmosferyczne (MWA)	14
1.3. Niekorzystne warunki atmosferyczne	15
2. Wybrane zjawiska atmosferyczne.....	16
2.1. Warstwy atmosfery.....	17
2.2. Skład powietrza	19
2.3. Chmury i mgły.....	20
2.4. Turbulencje, opady, wiatry.....	22
2.5. Ciśnienie atmosferyczne.....	26
2.6. Standaryzacja parametrów meteorologicznych.....	29
3. Zjawiska meteorologiczne w modelu symulacyjnym	36
3.1. Parametryzacja zjawisk meteorologicznych	36
3.2. Klasyfikacja parametrów meteorologicznych.....	43
3.3. Modelowanie chmury	47
3.3.1. Model chmury Csuri.....	48
3.3.2. Model chmury Gardnera.....	48
3.3.3. Model chmury Blinna.....	50
3.3.4. Model chmury Kajiyi	51
4. Koncepcja bazy danych dla modułu METEO	54
4.1. Zbiory danych meteorologicznych.....	54
4.1.1. Dane stałe	55
4.1.2. Dane zmienne	59
4.2. Odzwierciedlanie zmian pogody w czasie	62
4.3. Prognozowanie stanu pogody w określonych miejscach i rejonach	64
5. Służby meteorologiczne.....	68
5.1. Struktura służb meteorologicznych.....	70
5.2. Zadania jednostek meteorologicznych	72
5.3. Obieg informacji meteorologicznej.....	79
6. Działanie modułu METEO	82

6.1. Zobrazowanie sytuacji meteorologicznej w modelu	82
6.2. Funkcje modułu meteorologicznego	85
6.3. Oprogramowanie działające w tle	87
Podsumowanie.....	90
Wnioski i postulaty	93
Bibliografia.....	95

- ♦ DZW - dzień, zwykle (warunki atmosferyczne).
- ♦ GMT - Greenwich Mean Time.
- ♦ GPS - ang. Global Positioning System.
- ♦ GTS - Globalny System Telekomunikacyjny.
- ♦ IMGW - Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej.
- ♦ LBM - Lotniskowe Bazy Meteorologiczne.
- ♦ [mh] - jednostka ciśnienia - milibar.
- ♦ NTR 0 - noc, słabe (warunki atmosferyczne).
- ♦ NZW - noc, zwykle (warunki atmosferyczne).
- ♦ MWA - średnie warunki atmosferyczne.
- ♦ WMO - Światowa Organizacja Meteorologiczna - (ang. World Meteorological Organisation).

Wyjaśnienie skrótów użytych w opracowaniu

- ◆ [°C] - temperatura podana w stopniach w skali Celsjusza.
- ◆ [atm]- jednostka ciśnienia atmosferycznego.
- ◆ DTR - dzień, trudne (warunki atmosferyczne).
- ◆ DZW - dzień, zwykłe (warunki atmosferyczne).
- ◆ GMT - Greenwich Mean Time.
- ◆ GPS - ang. Global Positioning System.
- ◆ GTS - Globalny System Telekomunikacyjny.
- ◆ IMGW - Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej.
- ◆ LBM - Lotniskowe Biura Meteorologiczne.
- ◆ [mb] - jednostka ciśnienia - milibar.
- ◆ NTR 0- noc, trudne (warunki atmosferyczne).
- ◆ NZW - noc, zwykłe (warunki atmosferyczne).
- ◆ MWA - minimalne warunki atmosferyczne.
- ◆ WMO - Światowa Organizacja Meteorologiczna - (ang. World Meteorological Organization).

Wstęp

Opracowanie jest czwartą częścią pracy poświęconej aspektom teoretycznym modelowania działań powietrznych. Zawiera ono wyniki badań ujęcia problematyki meteorologicznej w symulacyjnych modelach działań powietrznych. Niewątpliwie zjawiska meteorologiczne są jednymi z najbardziej skomplikowanych do modelowania, przez co wymagają ogromnych mocy obliczeniowych. Jednak ciągły i dynamiczny rozwój technologii komputerowych umożliwia już obecnie atakowanie problemów, które do niedawna nie mogły być rozwiązywane nawet za pomocą komputerów klasy Cray¹.

Opracowanie zawiera autorskie propozycje mechanizmów odzwierciedlania wybranych elementów meteorologicznych w modelu działań powietrznych. Dla przejrzystości ujęcia problemu proponujemy wszelkie funkcje, zależności matematyczne oraz opis działania umieścić w odrębnym module modelu o nazwie: METEO. Mimo, iż projektowany model działań powietrznych nie posiada typowego charakteru modułowego (raczej należy mu przypisać charakter obiektowy), to wydzielenie umownego modułu METEO, nadaje większą czytelność przedstawianej propozycji rozwiązań.

Podstawą niniejszego opracowania są trzy poprzedzające je wydawnictwa, będące rezultatem poprzednich etapów pracy:

¹ Według prawa Moor'a upakowanie elementów elektronicznych w mikroprocesorach podwaja się co 18 miesięcy, powodując lawinowe zwiększenie ich mocy obliczeniowych.

- ◆ etap pierwszy - S/5101, Model taktycznych działań powietrznych, AON, Warszawa 2002;
- ◆ etap drugi - S/5315, Rozpoznanie i zarządzanie zasobami w modelu działań powietrznych, AON, Warszawa 2002;
- ◆ etap trzeci - S/5552, Teren w modelu działań powietrznych, AON, Warszawa 2003.

Opracowanie składa się ze wstępu, 6 rozdziałów merytorycznych oraz podsumowania.

We wstępie autorzy uzasadniają podjęcie problematyki odzwierciedlania zjawisk meteorologicznych w modelu działań powietrznych. Treści zawarte we wstępie mogą służyć jako przewodnik po całości opracowania.

W rozdziale pierwszym zidentyfikowano problemy meteorologiczne, które w opinii autorów powinny być brane pod uwagę przy konstruowaniu modelu działania powietrznych, utrzymywanego w konwencji komputerowej gry symulacyjnej.

W rozdziale drugim przedstawiono niezbędną wiedzę kontekstową dla właściwej interpretacji przedstawionego rozwiązania. Treści tego rozdziału mają uzasadniać wybór określonych zjawisk meteorologicznych odzwierciedlanych w modelu.

W rozdziale trzecim autorzy przedstawiają projekt podejścia do odzwierciedlania wybranych zjawisk meteorologicznych w modelu działań

powietrznych. Zaproponowane przez autorów rozwiązanie jest oryginalne i stanowi próbę formalizacji zjawisk meteorologicznych na użytek modelu.

Przedstawiona tu wiedza o modelowaniu chmur można uznać obecnie za standard w modelowaniu zjawisk METEO. Sądzymy, że bezpośrednia adaptacja któregoś z przedstawionych modeli chmur nie jest możliwa na sprzęcie dysponowanym przez autorów. Prezentacja wymienionych modeli spełnia rolę inspirującą dla zaproponowania autorskiego modelu chmury. Zaletą proponowanych tu rozwiązań jest ich autorski charakter, oparty na najnowszych światowych osiągnięciach.

W rozdziale czwartym autorzy prezentują autorskie rozwiązanie całego tzw. modułu METEO. Zaprezentowano tu projekt bazy danych, statykę i dynamikę funkcjonowania modułu METEO.

W rozdziale piątym zaprezentowano struktury służb meteorologicznych, zadania oraz obieg informacji meteorologicznej. Rozdział ten kończy przedstawianie szerokiej wiedzy kontekstowej dotyczącej obiegu informacji meteorologicznej.

Rozdział szósty zawiera końcową refleksję autorską, obejmującą postulaty konkretnych rozwiązań dotyczących całości modelu, ale wynikających z ujęcia w nim funkcji METEO.

Wydawnictwo zamyka podsumowanie wraz z wnioskami i postulatami. Wyeksponowano w nich najistotniejsze problemy rozwiązane w IV etapie badań oraz wskazano dalsze kierunki penetracji tego obszaru problemowego.

1. Identyfikacja problemów meteorologicznych w modelu symulacyjnym

W działaniach sił powietrznych istotną zmienną jest sytuacja meteorologiczna. Pora doby, opady, turbulencje, oblodzenie, zachmurzenie i inne wyróżniki sytuacji meteorologicznej wpływają na możliwości i sposób wykorzystania dysponowanych sił. Co więcej, ich umiejętne wykorzystanie bywa często głównym determinantem taktyki².

Zazwyczaj w działaniach powietrznych sytuacja meteorologiczna jest warunkiem rozstrzygającym czy konkretne zadanie będzie w ogóle możliwe do wykonania i na ile trudne warunki atmosferyczne wpłyną na możliwości jego realizacji. Dla efektywnego wykorzystania warunków pogodowych niezbędna jest znajomość prognozy pogody, jak również sytuacji meteorologicznej w wybranym rejonie³.

Wątek prognozowania warunków METEO uznaliśmy również za bardzo istotny problem poznawczy przy modelowaniu działań powietrznych. Zagadnienia meteorologiczne są na tyle ważnym elementem wiedzy operacyjno-taktycznej, że ich pominięcie w modelu mogłoby dyskredytować ten model ze względu na kryterium adekwatności. Zwracamy przy tym uwagę na to, iż znajomość warunków atmosferycznych pozwala lepiej zaplanować zadanie

² Klejnowska E., Klejnowski R., Uwarunkowania meteorologicznej osłony lotnictwa, WLOP 206/95, Poznań 1995.

³ Regulamin Lotów lotnictwa Wojskowego Rzeczypospolitej Polskiej (RL-2000), WLOP 311/2001, Poznań 2001.

bojowe dla podległych sił i lepiej wykorzystywać dysponowane środki, a wykonujący zadania mogą przygotować się do ich realizacji⁴.

Uwzględnianie w modelu działań powietrznych chociażby w ograniczonym zakresie warunków meteorologicznych zapewni dodatkowe możliwości kreowania ciekawych i trudnych sytuacji konfliktowych, charakterystycznych dla działań powietrznych. Ponadto warto zaznaczyć, że warunki meteorologiczne wpływają na przebieg wielu procesów wzajemnych oddziaływań wszystkich uczestników działań powietrznych, a wpływ ten ma charakter dynamiczny. Szczególnie lotnictwo wyjątkowo silnie eksponuje aspekt uwzględniania warunków meteorologicznych⁵.

Konkludując - potrzeba uwzględnienia sytuacji meteorologicznej w modelu działań powietrznych wydaje się konieczna. Autorom opracowania chodzi nie tylko o zasygnalizowanie wpływu warunków atmosferycznych na przebieg i skuteczność wzajemnych oddziaływań między stronami gry, lecz przede wszystkim o uświadomienie rangi problemu. W modelu działań powietrznych należy dążyć do zapewnienia jak największej adekwatności odwzorowania warunków METEO. Wydaje się, że właśnie wzbogacenie modelu o wybrane warunki meteorologiczne zapewni grającym zbliżony do realnego obraz działań bojowych. Możliwość wielokrotnej analizy działań dla różnych warunków

⁴ Jafernik H., Wilczek Z., Ziarko J., Meteorologiczna osłona działań lotnictwa, Dom Wydawniczy Bellona, Warszawa 2000.

⁵ Regulamin Lotów lotnictwa Wojskowego Rzeczypospolitej Polskiej (RL-2000), WLOP 311/2001, Poznań 2001.

pogodowych powinna zapewnić odpowiedni poziom wykszolenia, zaś decyzje powinny być racjonalne i optymalne. W opinii autorów uwzględnienie wybranych warunków meteorologicznych pozwoli analizować ich wpływ na efektywność wykonania zadań. Wyeksponowanie w modelu związków przyczynowo-skutkowych będących pochodną uwzględniania wybranych elementów meteorologicznych, ich pozytywnych i negatywnych aspektów, być może pozwoli na udoskonalenie teorii i praktyki walki.

1.1. Wpływ zjawisk meteorologicznych na obiekty powietrzne

Wszelkie obiekty poruszające się w przestrzeni powietrznej (samoloty, rakiety, bomby) w trakcie startu, lotu i osiągnięcia celu narażone są na oddziaływanie różnych zjawisk meteorologicznych. Wpływ tych zjawisk nie pozostaje bez znaczenia na przebieg realizowanego lotu, ale również na możliwości bojowe realizacji zadania.

Wpływ warunków METEO na rakiety i bomby jest znacznie mniejszy od wpływu na samoloty. Zazwyczaj lot rakiety odbywa się z prędkościami rzędu kilku [Ma] i z reguły na dużych wysokościach. W tych warunkach poza turbulencjami praktycznie nie istotne są inne zjawiska atmosferyczne. Ponadto relatywnie duże prędkości rakiet w decydującym stopniu minimalizują lub w ogóle eliminują wpływ charakterystycznych zjawisk atmosferycznych typu:

Sadowski Z., Meteorologia wojskowa i lotnicza, WAT, Warszawa 1977.

Jelczak H., Wjczak Z., Ziarka J., Meteorologiczne cele i działania lotnicze, Dom Wydawniczy Bellona, Warszawa 2000.

burza, wichura, deszcz, śnieg, oblodzenie, chmura, mgła⁶. Zazwyczaj własny, niezależny system sterowania rakieta powoduje, że w wielu przypadkach, jeśli rakieta nie jest kierowana na podczerwień lub kamerą, widoczność (jej brak) nie odgrywa istotnej roli⁷.

Śmigłowce charakteryzują się nieco innymi właściwościami lotnymi. Ich prędkość i wysokość przelotowa jest stosunkowo niska, a wręcz mogą one zawisnąć nieruchomo w powietrzu. Nie wymagają w odróżnieniu od samolotów pasów startowych ani lotnisk, wystarcza im niewielkie lądowisko, a w sytuacjach awaryjnych wystarczy teren w miarę dostępny. Właśnie z powodu niewielkiej prędkości i wysokości lotu oddziaływanie zjawisk atmosferycznych na śmigłowce jest zdecydowanie większe. W trakcie przelotu istotną rolę odgrywa prędkość i kierunek wiatru. W zależności od kierunku i prędkości wiatru zmieniają się istotnie parametry lotne tego typu statków powietrznych. Efekty tego oddziaływania mogą powodować zwiększenie lub zmniejszenie zużycia paliwa i zazwyczaj korektę trasy lotu. Dla śmigłowców istotne jest również zjawisko oblodzenia. Zaletą śmigłowców jest to, iż nie wymagają aż tak dobrej widoczności podczas przelotu, a także podczas startu i lądowania jak samoloty⁸.

⁶ Sadowski Z., Meteorologia wojskowa i lotnicza, WAT, Warszawa 1977.

⁷ Jafemik H., Wilczek Z., Ziarko J., Meteorologiczna osłona działań lotnictwa, Dom Wydawniczy Bellona, Warszawa 2000.

⁸ Op. Cit.

Wydaje się, iż spośród obiektów działających w powietrzu największy wpływ warunki pogodowe mają obecnie na samolot. Zazwyczaj wyróżnia się trzy fazy lotu samolotu: start, lot i lądowanie. W każdej fazie lotu wpływ warunków METEO na samolot jest różny.

Samoloty z silnikami tłokowymi najczęściej latają na wysokości poniżej 3 [km] z prędkością 200 – 400 [km/godz], na krótkich trasach. Ich prędkość lądowania i startu jest relatywnie mała. Samoloty te nie wymagają długich pasów startowych, w wielu przypadkach wystarcza im lotnisko trawiaste.

Samoloty z silnikami turbośmigłowymi latają w przedziale wysokości 5-8 [km] z prędkościami około 500 – 700 [km/godz], wymagają one jednak pasów startowych ze względu na swój ciężar i nieco większą prędkość.

Samoloty odrzutowe latają na dużych wysokościach, powyżej 10 [km], z prędkościami ponad 900 [km/godz]. Loty na dużych wysokościach powodują polepszenie sprawności silnika odrzutowego ze względu na panującą tam niską temperaturę. W czasie lotu są one przeważnie w strefie małego wpływu zjawisk atmosferycznych. Poza startem i lądowaniem, gdzie samoloty odrzutowe są narażone na ewentualne niekorzystne zjawiska atmosferyczne, praktycznie stan pogody ma niewielkie znaczenie w samej fazie lotu. Lądowanie jest najbardziej krytyczną fazą dla samolotu przy niekorzystnych warunkach atmosferycznych.

Zazwyczaj przy lądowaniu personel latający zwraca uwagę na dwa podstawowe parametry: podstawę chmur oraz widzialność⁹.

1.2. Minimalne warunki atmosferyczne (MWA)

W bezpieczeństwie lotów stosuje się pojęcie tzw. minimalnych warunków atmosferycznych (MWA), odnoszące się do warunków, w których możliwe są jeszcze loty, głównie samolotów. Dla każdego rodzaju samolotu i innych zmiennych, ustala się MWA, przy których można udzielić zgody na start (lądowanie). Podstawowymi parametrami MWA są¹⁰:

- widzialność,
- podstawa chmur,
- prędkość wiatru,
- ukształtowanie terenu.

Minimalne warunki atmosferyczne dla konkretnego typu statku powietrznego są to dopuszczalne wartości: wysokości podstawy chmur przy zachmurzeniu ponad 4/8 i odpowiedniej widzialności oraz maksymalne dopuszczalne prędkości wiatru, przy których może odbywać się bezpieczny start i lądowanie. MWA lotniska dotyczą toru startu oraz końcowego podejścia do lądowania. MWA lotniska zależą również od wysokości naturalnych i

⁹ Odnosi się to przede wszystkim do widzialności ukośnej, mniej do widzialności poziomej, która może być dobra lub zadawalająca. Dla przykładu lotnisko może być dobrze widziane przez cienką warstwę mgły, lecz zobaczenie lotniska po zejściu do poziomu mgły może być niemożliwe. Jest to spowodowane dużo większą grubością mgły po ukosie.

¹⁰ Klejnowska E., Klejnowski R., Uwarunkowania meteorologicznej osłony lotnictwa, WLOP 206/95, Poznań 1995.

sztucznych przeszkód oraz od wyposażenia lotniska. Są one określane w instrukcjach użytkowania poszczególnych lotnisk. W przypadkach krytycznych (warunki wojenne mogą znosić takie ograniczenia) dopuszcza się możliwość wykonywania startów i lądowań w warunkach atmosferycznych gorszych niż MWA dla danego statku powietrznego, jednak taka decyzja będzie przesłanką do zaistnienia katastrofy lotniczej.

1.3. Niekorzystne warunki atmosferyczne

Duża prędkość i wysokość lotu statków powietrznych, nowoczesne systemy nawigacji i pelengacji w dużym stopniu eliminują możliwość niekorzystnego oddziaływania złych warunków atmosferycznych. Pewnym problemem pozostaje widzialność. Część statków powietrznych i ich uzbrojenie kierowana jest za pomocą kamer lub na podczerwień. Mgły, burze czy maskowanie (np. sztuczne zadymianie terenu) może stanowić istotną przeszkodę w realizacji zadań bojowych i przyczynić się do obniżenia skuteczności rażenia celów naziemnych jak i samego rozpoznania¹¹.

Podsumowując, sądzimy, że:

- w modelu stosowanym w konwencji gry wojennej, te same warunki meteorologiczne mogą korzystnie lub niekorzystnie wpływać na skuteczność działań stron w grze;

¹¹ Rozpoznanie było treścią II etapu badań, których wyniki opublikowano w opracowaniu: *Rozpoznanie i zarządzanie zasobami w modelu działań powietrznych*. AON, Warszawa 2002, nr S/5315.

- mnogość parametrów, którymi można opisać warunki meteorologiczne powinna być zredukowana do niezbędnego minimum;
- należy wyselekcjonować kilku najistotniejszych parametrów, które pozwolą na odzwierciedlenie w modelu najbardziej typowych zjawisk meteorologicznych;
- wskazanie na najistotniejsze zjawiska atmosferyczne mające wpływ na działania powietrzne, ich opis parametryczny oraz wskazanie na ich wpływ na konkretne parametry obiektów elementarnych modelu działań powietrznych powinno być zasadniczym celem tego opracowania.

Kolejne rozdziały opracowania będą nadawały szerszy kontekst dziedzinowy zjawisk METEO i ich wpływu na działania powietrzne. Zostaną wyjaśnione podstawowe kategorie meteorologiczne, ich wpływ na poszczególne obiekty, jak również wskażemy na podstawowe struktury instytucjonalne służb meteorologicznych.

2. Wybrane zjawiska atmosferyczne

Dla uniknięcia błędów interpretacyjnych oraz zapewnieniu przyjazności w odbiorze prezentowanych treści w rozdziale tym autorzy syntetycznie przedstawili wybrane kategorie charakterystyczne dla meteorologii. Mnogość i obszerność literatury dotyczącej aspektów meteorologicznych była znacznym utrudnieniem w zgłębieniu tej rozległej problematyki. W opracowaniu wynikowym sygnalizujemy tylko najistotniejsze (naszym zadaniem) zjawiska

oraz proponujemy ich ujęcie parametryczne wyłącznie dla potrzeb modelu działań powietrznych.

2.1. Warstwy atmosfery¹²

Atmosferę stanowi powłoka gazowa otaczająca kulę ziemską. Pod nazwą powietrze rozumiemy mieszaninę gazów tworzących atmosferę. W atmosferze, ze względu na charakterystyki temperaturowe wyróżnia się następujące warstwy:

- ◆ troposfera, grubość 10 – 12 [km];
- ◆ stratosfera, do wysokości 50 – 55 [km];
- ◆ mezosfera, do wysokości 80 – 85 [km];
- ◆ termosfera, powyżej 85 [km];
- ◆ egzosfera, wysokość ok. 500 – 600 [km].

Troposfera

W troposferze temperatura obniża się proporcjonalnie do wzrostu wysokości. Średnio spadek temperatury następuje o $0,6^{\circ}$ w skali Celsjusza, co 100 [m]. Granicę pomiędzy troposferą w stratosferą stanowi umowna płaszczyzna zwana tropopauzą.

¹² Klejnowska E., Klejnowski R., Uwarunkowania meteorologicznej osłony lotnictwa, WLOP 206/95, Poznań 1995.

Stratosfera

W stratosferze temperatura wzrasta w sposób ciągły, aż do wysokości około 55 [km]. Na tej wysokości temperatura przyjmuje wartość około 6 [°C]. Wzrost temperatury wynika z pochłaniania promieniowania nadfioletowego emitowanego przez Słońce. Promieniowanie to pochłaniane jest przez warstwę ozonu znajdującego się na tych wysokościach. Płaszczyzna zwana stratopauzą oddziela stratosferę od mezosfery.

Mezosfera

Mezosfera charakteryzuje się dość gwałtownym spadkiem temperatury, która w jej górnych warstwach dochodzi do minus 70 [°C].

Termosfera

Powyżej mezosfery znajduje się termosfera, oddzielona od mezosfery mezopauzą, w której następuje stały wzrost temperatury z wysokością. Na wysokości około 300 km temperatura ta wzrasta do około 2000 [°C].

Egzosfera

Powyżej termosfery znajduje się egzosfera, na wysokości ok. 500 – 600 [km], gdzie gęstość atmosfery jest na tyle mała, że zderzenia między cząsteczkami następują relatywnie rzadko, co w konsekwencji powoduje, że średnia droga swobodna cząstek w tej warstwie jest tak wielka, że możliwa jest ucieczka obojętnych cząstek gazu do obszaru z większym rozrzedzeniem. Powyżej wysokości 1200 [km], rozpoczyna się bardzo rozrzedzony gaz międzyplanetarny o stałym składzie.

Przedstawione charakterystyki poszczególnych warstw są uśrednione. Wahania temperatur są zależne od szerokości geograficznej, pory roku i pory dnia.

Podsumowując, za najbardziej podatną na zależności temperaturowe jest troposfera stanowiąca praktyczny obszar działania modelowanych obiektów. Lotnictwo, rakiety krótkiego i średniego zasięgu działają zazwyczaj w troposferze oraz niższych warstwach stratosfery. Z punktu widzenia działań bojowych w troposferze zachodzi zdecydowana większość zjawisk meteorologicznych mających wpływ na modelowane działania powietrzne. Na zjawiskach występujących w tej warstwie atmosfery autorzy skoncentrowali swoje badania.

2.2. Skład powietrza

Wśród składników powietrza podstawowymi gazami występującymi w atmosferze są:

- ◆ azot - 78 [%];
- ◆ tlen - 21 [%],
- ◆ pozostałe gazy – 1 [%].

Pozostałe gazy, w tym ozon i dwutlenek węgla, stanowią w sumie około 1 [%] objętości powietrza. Wśród tych gazów występują gazy szlachetne, takie jak argon, hel, neon i ksenon. Skład procentowy tych gazów jest stały, niewielkie wahania procentowe dwutlenku węgla, ozonu czy helu nie mają praktycznie

żadnego wpływu na kształtowanie się pogody. Wymienione składniki powietrza są stałe, jednak nie stanowią one o pełnej zawartości składu powietrza, dotyczy to szczególnie troposfery. Uzupełnieniem składu powietrza są tam:

- ◆ para wodna,
- ◆ zanieczyszczenia.

Oba wymienione składniki, a przede wszystkim para wodna, ma zasadniczy wpływ na kształtowanie się pogody. Składniki te są zmienne w czasie i przestrzeni. Zmiany te zachodzą z dużą intensywnością i wykazują dużą amplitudę wahań. Szczególnie wyraźna wizualnie jest zmiana nasycenia parą wodną, która przyjmuje postać chmur. Para wodna w powietrzu może być nienasycona lub nasycona. Dla określenia stanu pary wodnej stosowana jest wiedza o chmurach i mgłach. W chmurze występuje para wodna w stanie nasyconym, poza nią - w stanie nienasyconym. Mgła jest chmurą pełzającą po powierzchni Ziemi. Gęstość (poziom nasycenia) pary wodnej jest bezpośrednio zależny od temperatury. Im wyższa temperatura tym wyższa jest granica stanu nasycenia parą wodną i odwrotnie.

2.3. Chmury i mgły¹³

Chmury i mgły mają bezpośredni wpływ na widzialność. Pomimo znacznego postępu technicznego, ograniczenie widoczności stanowi w wielu

¹³ Klejnowska E., Klejnowski R., Uwarunkowania meteorologicznej osłony lotnictwa, WLOP 206/95, Poznań 1995.

przypadkach barierę uniemożliwiającą efektywne działania w wymiarze powietrznym (przede wszystkim statków powietrznych, a także niektórych typów raket).

Osobnym zagadnieniem są zanieczyszczenia występujące w atmosferze, praktycznie pomijane w rozważaniach na temat pogody. Zanieczyszczenia te stanowią:

- ◆ różnego rodzaju zanieczyszczenie przemysłowe;
- ◆ cząstki mineralne i roślinne;
- ◆ jony – cząstki posiadające ładunki elektryczne dodatnie lub ujemne.

W atmosferze zanieczyszczenia występują w znacznej intensywności. Zanieczyszczenia przemysłowe, jak również różnego rodzaju cząstki mineralne zalegają przede wszystkim w dolnych warstwach atmosfery i wpływają głównie na pogorszenie widoczności.

Jony praktycznie wypełniają całą atmosferę. Największa koncentracja jonów występuje w górnych warstwach atmosfery – w jonosferze, gdzie wyróżnia się następujące strefy bogate w jony:

- ◆ warstwa D, z koncentracją jonów na wysokości ok. 70 [km];
- ◆ warstwa E, z koncentracją jonów na wysokości ok. 100 [km];
- ◆ warstwa F, która posiada dwa maksima koncentracji jonów: na wysokości ok. 180 [km] i 350 [km].

Istotne jest to, iż duża koncentracja cząsteczek lub atomów z ładunkami elektrycznymi (zjonizowanych) ma wpływ na rozchodzenie się fal elektromagnetycznych, a tym samym może powodować zakłócenia w łączności.

2.4. Turbulencje, opady, wiatry

Dla troposfery charakterystyczne są następujące zjawiska:

- ◆ turbulencje;
- ◆ opady, burze, zamiecie;
- ◆ zamglenia;
- ◆ wiatry, wichury, huragany.

Turbulencje występują w przyziemnej warstwie troposfery na wysokości 1,5 – 2 [km]. Jest to ruch powietrza odbywający się w pionie. Ruch ten wymuszany jest termicznie poprzez różnicę temperatur (tzw. konwekcja termiczna) panująca w dolnych i górnych warstwach troposfery, bądź mechanicznie spowodowana bezwładnym ruchem powietrza (konwekcja mechaniczna). W warstwie turbulencyjnej temperatura obniża się z wysokością, nie mniej jednak ponad podłożem lądowym odznacza się dużą zmiennością w zależności od pory dnia. W nocy przy ciszy następuje oddawanie ciepła z atmosfery do ziemi, co powoduje zmniejszenie konwekcji termicznej zwanej turbulencją. W dzień proces ten ulega odwróceniu, ponieważ powierzchnia lądu szybko się ogrzewa i następuje oddawanie ciepła do atmosfery. Powstające

wówczas różnice temperatur (do około 4 [°C] w warstwie 100 [m]), powodują pionową cyrkulację powietrza¹⁴.

Jednymi z bardziej znanych i odczuwanych zjawisk atmosferycznych są: **opady, wiatry i mgły**. Cechą wspólną tych zjawisk jest wielkość ciśnienia atmosferycznego. W meteorologii jak również w potocznym obiegu występują pojęcia wyżu i niżu. Czynnikiem decydującym o występowaniu na danym obszarze jednego z tych frontów atmosferycznych jest ciśnienie. Praktycznie, jeśli ciśnienie atmosferyczne przekracza 1 atmosferę [atm], mamy do czynienia z frontem wyżowym. Analogicznie przy ciśnieniu poniżej 1000 milibarów [mb] następuje przejście do niżu. Fronty te są tym bardziej dominujące im większa jest różnica między danym ciśnieniem, a podanymi wartościami granicznymi. Zazwyczaj frontom wyżowym towarzyszy bezchmurne niebo i cisza lub słaby wiatr. Niże charakteryzują się dużymi zachmurzeniami i opadami deszczu. Niżom towarzyszą znacznie silniejsze wiatry o zmiennym nasileniu. Przykładem tego może być cisza przed burzą i wiatr podczas burzy. Zjawisko to jest bardzo charakterystyczne, ponieważ w ciągu paru minut następuje gwałtowna zmiana (pogorszenie) pogody: silny wiatr i deszcz, wyładowania atmosferyczne. Warto jednak zauważyć, iż zazwyczaj burze mają charakter lokalny, szybko się pojawiają i szybko się kończą. Występują one wówczas, kiedy następuje gwałtowna zmiana pogody, co najczęściej ma miejsce na styku dwóch frontów

¹⁴ Jest to zjawisko tzw. kominów powietrznych wykorzystywanych przez szybowników.

atmosferycznych: gorącego wyżu i głębokiego niżu. Burze z wyładowaniami atmosferycznymi w warunkach zimowych występują bardzo rzadko. Niska temperatura nie sprzyja jonizacji powietrza i gromadzeniu się ładunków elektrycznych. Dopełnieniem tego zjawiska jest stan, w jakim znajduje się para wodna, która w ujemnej temperaturze zamarza, tworząc śnieg. Opady śniegu i towarzyszący temu wiatr tworzą zamieć, czego efektem jest znaczne ograniczenie widoczności oraz zasypywanie szlaków komunikacyjnych. Wiatr powoduje również przemieszczanie się śniegu w poziomie. Długotrwałe opady na znacznym obszarze zarówno deszczu jak i śniegu występują podczas głębokiego niżu.

Częstym zjawiskiem towarzyszącym niżom są **mgły**, które występują w każdej porze roku, a najczęściej w porze jesiennej i wiosennej, gdy temperatura wynosi niewiele ponad 0 [°C]. Mgły występują często lokalnie, lecz mogą również występować na znacznym obszarze przez kilka lub kilkanaście godzin. Zakres ograniczenia widoczności może być niewielki przy zamgleniach, do ograniczenia widoczności nawet do paru metrów.

Wiatr jako efekt przemieszczania się powietrza przy powierzchni Ziemi jest zjawiskiem powszechnie znanym, występującym w każdej porze roku z różnym nasileniem. Wiatr wywoływany jest różnymi przyczynami. Do najważniejszych należą:

- ◆ różnica ciśnienia występująca w dwóch sąsiadujących obszarach;

2.5. Ciśnienie ♦ siła bezwładności wywołana obrotem Ziemi.

Siła wiatru i jego długotrwałość w głównej mierze zależą jednak od bezwzględnej różnicy ciśnień występujących w dwóch sąsiadujących obszarach. Przy gwałtownych zmianach ciśnienia powstają wichury, a niekiedy huragany. W polskich warunkach klimatycznych huragan jest zjawiskiem rzadkim i lokalnym, to znaczy występującym na stosunkowo niewielkim obszarze, również rzadko i lokalnie występują trąby powietrze.

Dla przeciętnego obserwatora wiatr kojarzy się wyłącznie z poziomym przemieszczaniem się powietrza przy powierzchni Ziemi. Należy zwrócić uwagę, że duże znaczenie ma siła i kierunek wiatru w górnych warstwach atmosfery (troposfery i stratosfery). Oczywiście kierunki i siła wiatru w górnych warstwach atmosfery są często inne niż przy powierzchni Ziemi.

W polskich warunkach geograficznych przeważają wiatry zachodnie, następnie północne i wschodnie. Wiatry zachodnie w górnych warstwach troposfery przeciętnie wzrastają, natomiast słabną w stratosferze. Odwrotnie zachowują się wiatry wschodnie, które wykazują tendencję spadkową w troposferze nasilają się w stratosferze. Niekiedy zdarza się, że przy powierzchni Ziemi i w troposferze wieje wiatr zachodni natomiast w stratosferze następuje zmiana kierunku na wschodni.

2.5. Ciśnienie atmosferyczne

Podstawowym zjawiskiem meteorologicznym, wykorzystywanym na dużą skalę w lotnictwie, jest ciśnienie atmosferyczne. Zjawisko to jest wykorzystywane do określania (pomiaru) wysokości położenia statków powietrznych. Wysokość, na której znajduje się statek powietrzny określa się na podstawie pomiaru różnicy ciśnienia pomiędzy dwoma punktami, przy czym jeden z punktów znajduje się na powierzchni Ziemi, a drugi na wysokości przelatującego statku powietrznego. Wysokość, z jaką następuje spadek ciśnienia o jedną jednostkę zależy od wilgotności powietrza i od temperatury. Im bardziej wilgotne powietrze, bardziej zanieczyszczone, większa szerokość geograficzna, niższa wysokość i niższa temperatura, tym szybszy jest spadek ciśnienia na jednostkę wysokości, tzn. tym mniejsza jest różnica wysokości powodująca zmianę ciśnienia o jedną jednostkę. W przybliżeniu można przyjąć, że spadek ciśnienia o 1 [mb] następuje co 8 [m] wysokości. Wielkość ta jest prawdziwa na wysokości poziomu morza¹⁵.

W meteorologii istnieje pojęcie atmosfery międzynarodowej. Atmosfera ta zdefiniowana jest w następujący sposób:

- ◆ powietrze jest suche, a jego skład chemiczny jest identyczny na wszystkich wysokościach;

¹⁵ Państwowy Instytut Hydrologiczno-Meteorologiczny, Kurs meteorologii ogólnej, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1969.

- ◆ wartość przyspieszenia ziemskiego jest stała i równa się 981 [cm/sek²];
- ◆ temperatura wynosi 15 [°C];
- ◆ ciśnienie na poziomie morza wynosi 1013 [mb];
- ◆ pionowy gradient temperatury jest stały i wynosi 0,65 [°C] na 100 [m];
- ◆ tropopauza jest na wysokości 11 [km];
- ◆ w stratosferze temperatura jest stała i wynosi minus 56,5 [°C].

Na podstawie tych założeń dla troposfery opracowano zależność matematyczną do obliczenia ciśnienia dla danej wysokości:

$$p = 1013,25 \{ (1 - [0,0065 * z (288,16)]) \}^{5,2561}$$

gdzie:

p – ciśnienie w milibarach [mb] dla danej wysokości,

z – wysokość standardowa wyrażona w metrach [m].

W oparciu o powyższy wzór opracowano tablice wzorcowe ciśnienia dla określonych wysokości. Trzeba jednak pamiętać, że ciśnienie rzeczywiste różni się od powyżej wyliczonego ciśnienia standardowego.

Powodem tych różnic jest przede wszystkim inny rozkład temperatury średniej wraz z wysokością od rozkładu wzorcowego.

Błędy te niweluje się poprzez skalowanie wysokościomierza względem danego lotnisk oraz szacuje się wielkość błędu w oparciu o pomiary stacji meteorologicznych, znajdujących się na różnych wysokościach. Ponadto w

rzeczywistych warunkach ciśnienie panujące na danym obszarze zmienia się wraz z porą dnia. Charakterystyki tych zmian zależą od pory roku i szerokości geograficznej jak również wysokości względem poziomu morza.

Podsumowując te wątki warto wyeksponować kilka prawidłowości:

- ◆ przeważnie wzrost ciśnienia następuje pomiędzy godzinami 4.00 a 10.00;
- ◆ przeważnie spadek ciśnienia następuje pomiędzy godzinami 10.00 a 16.00;
- ◆ ponowny wzrost ciśnienia następuje pomiędzy godzinami 16.00 a 22.00;
- ◆ ponowny spadek ciśnienia następuje pomiędzy godzinami 22.00 a 4.00.

Sinusoida dobowych wzrostów i spadków ciśnienia atmosferycznego dotyczy pory letniej, w porze zimowej jest ona opóźniona do dwóch godzin.

Przedstawione dane o atmosferze są na dużym poziomie ogólności, ponieważ zależało nam na wprowadzeniu w problematykę meteorologiczną, a zarazem w sposób syntetyczny zaprezentowanie elementów wiedzy kontekstowej. Zamierzenie to spowodowało konieczność skoncentrowania się jedynie na podstawowych kategorii meteorologicznych.

Na tym etapie rysują się następujące konkluzje:

- ◆ spośród wielu zjawisk METEO model działań powietrznych powinien uwzględniać przede wszystkim: porę doby

(rozgraniczając warunki dzienne i nocne), zachmurzenie (widzialność), wiatr (jego siłę i kierunek), opady, temperaturę;

- ◆ konsekwencją uwzględnienia wymienionych zjawisk meteorologicznych w modelu powinna być modyfikacja algorytmów symulacji, tzw. zmiana warunków środowiska (np. dla lotnictwa mogą to być warunki dzień (zwykle/trudne), noc (zwykle/trudne));
- ◆ mnogość zjawisk meteorologicznych jest tak duża, a zarazem interesująca i frapująca, że należałoby opracować model podejmujący tylko tę problematykę;
- ◆ należy konsekwentnie dążyć do ograniczenia liczby parametrów meteorologicznych odzwierciedlanych w modelu sił powietrznych.

2.6. Standaryzacja parametrów meteorologicznych

Standaryzacja przekazywania danych meteorologicznych wymusiła wprowadzenie jednoznacznego nazewnictwa, jednostek miar, jak również stosowanie tych samych metod pomiaru pogody. Dla prognozowania pogody niezbędne są informacje o jej stanie na dość dużym obszarze.

Aktualnie w meteorologii stosuje się dwa systemy jednostek miar:

- ◆ system dziesiętny, z włączeniem mili morskiej;

- ◆ system angielski jednostek – jednostki z tzw. Niebieskiej Tablicy (ang. Blue Table)¹⁶.

Praktycznie obydwie systemy różnią się tym, że w tzw. Niebieskiej Tablicy zamiast jednostki metra, używa się jednostki stopa. Warto jednak zaznaczyć, że międzynarodowe organizacje meteorologiczne zalecają stosowanie systemu metrycznego.

Podstawowymi parametrami pogodowymi, branyymi pod uwagę przez służby meteorologiczne są:

- ◆ ciśnienie atmosferyczne (na danym terenie);
- ◆ zachmurzenie ogólne;
- ◆ widzialność;
- ◆ podstawa chmur;
- ◆ rodzaj chmur;
- ◆ kierunek wiatru;
- ◆ prędkość wiatru;
- ◆ prędkość wiatru w porywach;
- ◆ temperatura;
- ◆ temperatura minimalna i maksymalna (w danym dniu);
- ◆ wilgotność;
- ◆ temperatura punktu rosy.

¹⁶ Klejnowska E., Klejnowski R., Uwarunkowania meteorologicznej osłony lotnictwa, WLOP 206/95, Poznań 1995.

Ciśnienie atmosferyczne

Ciśnienie atmosferyczne mierzy się w jednostkach zwanych milibarami [mb], przy czym 1000 [mb] stanowi 1 atmosferę [atm]. Do pomiaru ciśnienia służy zazwyczaj przyrząd zwany ciśnieniomierzem (potocznie zwany barometrem) lub wysokościomierz ciśnieniowy.

Zachmurzenie

Zachmurzenie ogólne podawane jest w skali od zera do ośmiu, przy czym wartość 8/8 oznacza pełne zachmurzenie, natomiast wartość 0/8 oznacza niebo bezchmurne. Światowa Organizacja Meteorologiczna (WMO), (ang. World Meteorological Organization), zdefiniowała dziesięć rodzajów chmur. Są to:

- ◆ Cirrus - Ci,
- ◆ Cirrocumulus - C,
- ◆ Cirrostratus - Cs,
- ◆ Altocumulus - Ac,
- ◆ Altostratus - As,
- ◆ Nimbostratus - Ns,
- ◆ Stratocumulus - Sc,
- ◆ Stratus - St,
- ◆ Cumulus - Cu,
- ◆ Cumulonimbus - Cb.

Pogoda w dużym stopniu jest uzależniona od rodzajów chmur znajdujących się w danym obszarze, dlatego dla meteorologów istotne są

informacje o strukturze i ewoluowaniu chmur. Wymienione chmury występują na różnych wysokościach. Zazwyczaj wyróżnia się trzy piętra (warstwy), w których lokalizuje się chmury, są nimi:

- ◆ warstwa do wysokości 2 [km] - niskie (Cl);
- ◆ warstwa z przedziału 2-7 [km] – średnie (Cm);
- ◆ warstwa do 13 [km] - wysokie (Ch).

Podane wysokości tzw. pięter dotyczą średnich szerokości geograficznych. Na piętrze niskim mogą występować chmury: Stratocumulus i Stratus, na piętrze średnim Altocumulus, natomiast na piętrze wysokim Cirrus, Cirrocumulus i Cirristratus. Pozostałe rodzaje chmur mogą występować na różnych piętrach. Cumulus i Cumulonimbus rozpoczynają się na piętrze niskim, ale ich rozciągłość pionowa jest zwykle tak wielka, że ich wierzchołki sięgają do piętra wysokiego. Nimbostratus z reguły znajduje się na piętrze średnim. Altostratus również zazwyczaj znajduje się na piętrze średnim, ale występuje również wyżej. Znajomość i identyfikacja rodzajów chmur jest przydatna do określania ich podstawy i zachmurzenia.

Zachmurzenie determinuje w znacznym stopniu jeden z najważniejszych parametrów pogodowych - widzialność.

Widzialność

Widzialność określana jest jako zasięg widoczności w poziomie. Widzialność mierzona jest w metrach [m], na krótkie odległości lub kilometrach [km] dla średnich i dużych odległościach.

Podstawa chmur

Kolejnym bardzo ważnym parametrem mającym bezpośredni wpływ na widzialność jest podstawa chmur. Podstawę chmur mierzy się w metrach albo w stopach. Jest to odległość w pionie pomiędzy powierzchnią ziemi a dolną warstwą chmur. Dla określonych statków powietrznych ustalane są warunki brzegowe (minima) widoczności i podstawy chmur, przy których mogą odbywać się loty lub startować/ładować statki powietrzne.

Do pomiaru wysokości podstawy chmur stosuje się następujące metody:

- ◆ balon pomiarowy,
- ◆ reflektor chmurowy i klinometr,
- ◆ przyrząd do pomiaru wysokości podstawy chmur.

Kierunek i prędkość wiatru

Kolejnymi parametrami są kierunek i prędkość wiatru, jak również prędkość wiatru w porywach. Kierunek wiatru mierzy się w stopniach, przy czym dla startu i lądowania samolotów kierunek ten podaje się w stopniach magnetycznych. Prędkość wiatru mierzy się w węzłach przy pomocy urządzeń zwanych wiatromierzami. Prędkość wiatru w porywach jest ważna przy starcie i lądowaniu. W czasie lotu prędkość wiatru w porywach nie ma istotnego znaczenia. Rozróżnia się wiatr dolny, wiejący przy powierzchni ziemi, oraz wiatr górny. Kierunek i prędkość wiatru dolnego ważna jest na lotniskach podczas startu i lądowania samolotów.

Podczas przelotu pomiędzy dwoma punktami istotne są: prędkość i kierunek wiatru górnego. Jest to niezbędne dla określenia prawidłowego kursu samolotu uwzględniającego tzw. poprawkę na wiatr. Pamiętać należy jednak, że im większa jest prędkość przelotowa statku powietrznego, tym mniejszy jest wpływ wiatru.

Temperatura

Temperatura w czasie lotu ma wpływ na wystąpienie ewentualnego oblodzenia i sprawność silnika, a tym samym na zużycie paliwa. Jeśli temperatura jest poniżej zera i występuje duża wilgotność np. opady (deszcz, mżawka), to wówczas występuje dla prędkości poniżej 400 [km/h] niebezpieczeństwo oblodzenia. Ponadto niebezpieczne warunki mogą wystąpić przy starcie, a szczególnie przy lądowaniu. Na oblodzonym pasie oblodzenie samolotu występuje, gdy samolot leci nieco poniżej tzw. punktu krzepnięcia. Warstwa lodowa tworzy się na przednich krawędziach skrzydeł i usterzenia ogonowego, a w samolotach śmigłowych również na śmigłach.

Oddziaływanie oblodzenia na statek powietrzny jest trojakiemu rodzaju:

- ◆ wzrasta ciężar statku powietrznego;
- ◆ zmniejsza się siła nośna skrzydeł;
- ◆ wzrasta opór.

Dla zrekompensowania oddziaływania oblodzenia wymagany jest większy ciąg silników.

W ostatnich latach do pomiaru i obserwacji zjawisk atmosferycznych, takich jak chmury, opady deszczu, gradu lub śniegu, burze, strefy wiatru, wykorzystuje się radary meteorologiczne. Umożliwiają one zdalne (w promieniu do 200 [km]) obserwowanie wymienionych zjawisk atmosferycznych oraz śledzenie ich przemieszczania się. Ma to istotne znaczenie przy wykrywaniu i śledzeniu przemieszczania się burz, stref silnych opadów i innych zjawisk o dużym nasileniu. Aktualnie w Polsce działa kilka radarów meteorologicznych.

Wilgotność

Wilgotność i temperatura punktu rosy nie są istotne z punktu widzenia meteorologii lotniczej i nie wymagają specjalnych metod pomiaru.

3. Zjawiska meteorologiczne w modelu symulacyjnym

W rozdziale tym autorzy skupiają się na najistotniejszych zjawiskach meteorologicznych, które powinny być odzwierciedlane w modelu, z punktu widzenia zapewnienia odpowiedniej czułości modelu. W wyniku konkretyzacji, liczba zjawisk i parametrów je opisujących powinna ulec istotnej redukcji. Model zorientowany jest na zadania realizowane głównie przez siły powietrzne. Zatem właśnie te zjawiska meteorologiczne, które w istotny sposób wpływają na działania przede wszystkim sił powietrznych będą przedmiotem dalszych badań.

3.1. Parametryzacja zjawisk meteorologicznych

Ciśnienie atmosferyczne jest jednym z parametrów, których przydatność w modelu powinna być poddana dyskusji. Jest to podstawowy parametr umożliwiający skalowanie przyrządów do pomiaru wysokości. Chociaż dla kompletności rozważań należy zauważyć, iż w samolotach bojowych operujących często na dużych wysokościach i wyposażonych w inne urządzenia służące do precyzyjnego określania położenia (radar pokładowy, GPS, automatyczny pilot, system naprowadzania na cel, system omijania przeszkód) znaczenie tego parametru jest nieco mniejsze. Ponadto parametr ten jest tylko elementem wspierającym nawigację samolotu lub innego statku powietrznego i nie ma istotnego wpływu na realizowane przez nie zadania. Również dla rakiet, które wyposażone są we własny system sterowania lotem, z reguły niezależnym od wartości ciśnienia atmosferycznego – znajomość wartości tego parametru nie

jest konieczna. Dlatego autorzy konkludują, iż znaczenie tego parametru w modelu symulacyjnym działań powietrznych - jest niewielkie. Parametr ten jest na tyle nieistotny w symulowanych zjawiskach, iż nie ma potrzeby brania go pod uwagę podczas analizy warunków atmosferycznych.

Kierunek i prędkość wiatru jak również prędkość wiatru w porywach nie mają praktycznego znaczenia dla rakiet i samolotów bojowych w trakcie ich lotu. Natomiast parametry te są istotne podczas startu i lądowania i ich uwzględnianie miałoby uzasadnienie tylko przy bardzo silnym i zmiennym wietrze. W warunkach bojowych start i lądowanie w takich warunkach można potraktować jako niewielkie zwiększenie ryzyka wypadku, czy utraty samolotu podczas lądowania. Sam przelot samolotu odbywający się z dużą prędkością, manewry bojowe np. manewr przeciwrakietowy powodują, że wpływ wiatru jest nieistotny na zwiększenie czasu trwania przelotu. W przypadku śmigłowców bojowych sytuacja jest podobna z jednym wyjątkiem. Otóż prędkość śmigłowca jest tylko parę razy większa niż prędkość silnego wiatru, co powoduje zwiększenie lub zmniejszenie rzeczywistej prędkości śmigłowca poruszającego się w obszarze wiatru dolnego. Jednak autorzy założyli, że nie będą szczegółowo rozpatrywać tej kwestii. Konkludując - wiatr nie ma istotnego wpływu na efektywność wykonywanych zadań przez siły powietrzne, ale nie pozostaje w pełni obojętny (zwiększa, że zmniejsza czas przelotu lub dolotu do celu). Skutkuje to wykluczeniem również tego parametru METEO z modelu działań powietrznych. Autorzy przewidując jednak dalszy rozwój modelu

proponują dla określonego przedziału prędkości wiatru uwzględniać ten parametr w przyszłości. Decydując się na uwzględnianie tego parametru, dla uproszczenia naliczeń potrzebnych dla symulacji proponuje się przyjąć następujące założenia:

- ◆ na danym obszarze działań bojowych wiatr wieje ze stałą prędkością;
- ◆ wiatr nie zmienia swego kierunku;
- ◆ dla śmigłowców prędkość rzeczywista śmigłowca jest wypadkową prędkości faktycznej śmigłowca i prędkości wiatru.

Temperatura jest parametrem zmieniającym się w czasie i przestrzeni. Jej wysokość jest zależna od pory roku i doby. Praktycznie co godzinę, a w niektórych porach co pół godziny następuje zmiana temperatury. W każdym dniu służby meteorologiczne, oprócz bieżących pomiarów temperatury rejestrują temperaturę minimalną i maksymalną, czyli jej wartości graniczne. Dla samolotów bojowych i rakiet w trakcie ich lotu temperatura ma wpływ jedynie na minimalnie większe lub mniejsze zużycie paliwa, co z punktu efektywności realizacji zadań bojowych wydaje się pomijalne.

Analogiczna sytuacja występuje w stosunku do śmigłowców. W tym przypadku dochodzi jeszcze jeden czynnik – oblodzenie, które występuje przy temperaturze poniżej zera [°C] i odpowiedniej wilgotności. Oblodzenie dla śmigłowców występuje w specyficznych warunkach i zdarza się wyjątkowo rzadko. Praktycznie, aby nastąpiło oblodzenie śmigłowca musi on lecieć w

chmurach przy określonej, niskiej temperaturze. W sytuacji krytycznej śmigłowiec może wylądować nawet przy słabej widoczności w terenie przygodnym. W przypadku samolotów, dzięki dużym prędkościom, nie występuje ich oblodzenie, lecz może wystąpić oblodzenie pasów startowych, co może spowodować znaczny wzrost ryzyka wypadku lotniczego podczas startu/lądowania samolotów.

W modelu proponujemy ewidencjonowanie temperatury i wilgotności (opadów) dla lotnisk.

Zaleca się przyjąć następujące kryteria oceny wpływu temperatury:

- ◆ na całym lotnisku, w danym momencie temperatura jest identyczna;
- ◆ aby wystąpiło oblodzenie pasów startowych muszą wystąpić przez określony czas (np. godzinę) sprzyjające warunki, to znaczy wilgotność i temperatura w określonych przedziałach;
- ◆ aby ustąpiło oblodzenie pasów startowych muszą wystąpić przez określony czas (np. godzinę) sprzyjające warunki, czyli temperatura wyższa niż zero stopni;
- ◆ każde lotnisko mające oblodzone pasy startowe jest niegotowe do przyjmowania/wypuszczania samolotów.

Widzialność

Dotychczasowe prace autorów, w szczególności etap II (Rozpoznanie i zarządzanie zasobami w modelu działań powietrznych, AON, Warszawa 2002) szczególną wagę przykładają do informacyjnych aspektów współczesnego pola

walki. Stąd wydaje się uzasadnione przeanalizowanie parametru - widzialności.

Na widzialność wpływają¹⁷:

- ◆ pora doby,
- ◆ zachmurzenie,
- ◆ faza księżyca,
- ◆ pora roku.

Z wymienionych czynników warunkujących widzialność tylko zachmurzenie przyjmuje wartości losowe. Można przyjąć, że widzialność jest pochodną przede wszystkim: rodzaju chmur oraz ich podstawy. Szczególnie jest to ważne podczas startu i lądowania, ale również wyjątkowo istotne podczas rozpoznania.

Dla potrzeb symulacji należałoby wyeksponować wpływ ograniczenia widoczności na możliwość wykonania zadań bojowych. Co więcej powinien być opracowany mechanizm przełożenia widoczności na skuteczność wzajemnych oddziaływań. Trudność może polegać na tym, iż widoczność jest parametrem relatywnie szybko zmieniającym się w czasie i przestrzeni. Decyduje o tym głównie zachmurzenie, które z kolei determinuje gęstość i rodzaj chmur. Zachmurzenie, podobnie jak widoczność należy zakwalifikować do danych szybkozmiennych. W dzień jest to główna składowa decydująca o widoczności.

¹⁷ Klejnowska E., Klejnowski R., Uwarunkowania meteorologicznej osłony lotnictwa, WLOP 206/95, Poznań 1995.

Symulacja działań bojowych powinna uwzględniać parametr widoczności. Parametr ten powinien być wypadkową (decydujących na ile jest to możliwe, ze względu na złożoność obliczeniową) komplementarnych składowych decydujących o widoczności.

Proponuje się wyliczanie tego parametru dla wszystkich lotnisk oraz rejonów, w których wykonywane są zadania bojowe. By zredukować złożoność obliczeniową algorytmów, a przede wszystkim minimalizując liczbę danych niezbędnych do opisanie widoczności – autorzy proponują wprowadzenie następujących ograniczeń i uproszczeń:

- ◆ zachmurzenie w danym rejonie i nad lotniskiem jest równomierne;
- ◆ na całym rozpatrywanym obszarze wiatr wieje w jednym kierunku i ze stałą prędkością;
- ◆ chmury poruszają się w danym kierunku z prędkością wiatru;
- ◆ powierzchnia chmur przyjmuje jedną z wartości:
 - chmura jako zjawisko lokalne stanowi obiekt przestrzenny,
 - zakres działania chmury nie powinien się ograniczać tylko do jej wymiarów,
 - zachmurzenie rejonu matematycznie opisywać np. w oparciu o prostopadłościan;
- ◆ wysokość i gęstość chmur (grubość warstwy) nie ulegają zmianie podczas symulacji, nawet jeśli występuje zjawisko deszczu;

- ◆ chmury deszczowe, burzowe, lub śniegowe zanikają równomiernie w określonym czasie;
- ◆ zjawiska rzadkie: huragany, nawałnice i opady gradowe nie występują w trakcie symulacji działań bojowych;
- ◆ widoczność maksymalna (przy bezchmurnym niebie) jest funkcją zależną od: pory dnia, pory roku i fazy księżyca;
- ◆ w ustalonym przedziale czasu, np. 20 minut [min], widoczność w rejonie jest stała;
- ◆ parametr zachmurzenia jest czynnikiem powodującym procentowe zmniejszenie widoczności;
- ◆ istnieje funkcja przejścia z widzialności wyrażonej w procentach na widzialność wyrażoną w metrach (setkach metrów [m], kilometrów [km]);
- ◆ wyliczanie wartości odbywa się niezależnie od przebiegu całej symulacji pola walki, a wyliczone wartości traktowane są jako stałe umieszczane w określonych tablicach co określony kwant czasu.

Należy oczekiwać, że w ten sposób zdefiniowane warunki atmosferyczne różnią się nieznacznie od warunków rzeczywistych. Jednak w opinii autorów w pełni powinny one spełniać wymagania meteorologiczne dla potrzeb symulacji działań powietrznych.

3.2. Klasyfikacja parametrów meteorologicznych

Konsekwentnie w stosunku do założeń przyjętych w poprzednim podrozdziale proponuje się dla potrzeb symulacji działań powietrznych monitorować następujące parametry pogody:

- ◆ widoczność,
- ◆ zachmurzenie,
- ◆ opady i burze,
- ◆ prędkość i kierunek wiatru,
- ◆ temperaturę w powietrzu i na lotniskach.

Autorzy proponują przyjąć następujące zmienności warunków atmosferycznych:

- za elementarną jednostką czasową, w której pogoda w danym rejonie nie będzie ulegać zmianie przyjąć 15 minut [min];
- elementarnym przedziałem czasowym, w którym są stałe względnie warunki pogodowe, jest jeden tydzień, dotyczy to:
 - uśrednionych wschodów i zachodów słońca;
 - faz księżyca;
 - temperatury maksymalnej i minimalnej dnia;
 - za warunki wyjściowe należy przyjąć uśrednioną widoczność i temperaturę oraz bezchmurne niebo i bezwietrzną pogodę.

Widzialność powinna być mierzona w metrach [m]. Dotyczy ona przyziemnej w arstwy a tmosfery i powinna być uwzględniana podczas startu i lądowania, atakowania celów naziemnych (nawodnych), rozpoznania celów naziemnych (nawodnych). Proponuje się przyjąć 100 [m], jako podstawową jednostkę widzialności.

Parametrami składowymi widzialności powinny być:

- ◆ widzialność maksymalna {[Max},
- ◆ współczynnik pory dnia z uwzględnieniem pory roku {Wdr},
- ◆ współczynnik fazy księżyca {Wk},
- ◆ współczynnik zachmurzenia {Wz}.

Współczynniki {Wdr} i {Wz} powinny przyjmować wartości z przedziału (0 – 1), natomiast współczynnik {Wk} może przyjmować wartości powyżej 1. Niemniej jednak iloczyn współczynników powinien spełniać poniższy warunek (1):

$$Wdr * Wk \leq 1 \quad (1)$$

Widzialność {W} jest iloczynem widzialności maksymalnej oraz pozostałych współczynników:

$$W = Wmax * Wdr * Wk * Wz \quad (2)$$

Współczynniki {Wdr}, {Wk}, podobnie jak {Wmax}, są stałe, to znaczy niezależne od warunków pogodowych na dany epizod gry. Powinny być one wprowadzone dla wszystkich przedziałów czasowych jako dane stałe. Są to 96 jednostek czasowych dla doby oraz 52 przedziały czasowe dla roku, co daje dla

współczynnika **Wdr 96 * 52 danych**, a dla współczynnika **Wk 4 dane** (4 fazy księżyca). Ich wartości powinny być ustalone przez eksperta-meteorologa dla danego obszaru symulacji działań bojowych. Opracowanie takiej bazy danych byłaby czynnością jednorazową i nie byłoby potrzeby dokonywania korekt tych danych.

Współczynnik zachmurzenia powinien być ustalany w oparciu o następujące parametry:

- ◆ rodzaj chmur,
- ◆ podstawę chmur i grubość warstwy;
- ◆ wskaźnik występowania opadu (mżawka, deszcz, ulewa, burza).

W zależności od temperatury zamiast deszczu czy ulewy może być opad śniegu lub śnieżyca. Ponadto należy rozważyć możliwość wpływu powyższych parametrów na skuteczność wzajemnych oddziaływań stron gry. Oznacza to, iż parametry te powinny modyfikować funkcje realizujące obliczenia:

- ◆ celność oddziaływania ogniowego,
- ◆ efekty rozpoznania (maskowania).

W rzeczywistości należy sobie zdać sprawę, że chodzi nie tylko o ograniczenie widoczności, lecz również o zakłócenia łączności, systemów naprowadzania, rozpoznania typu radioelektronicznego, spowodowane np. przez burzę.

Przy określaniu opadów należy przede wszystkim uwzględnić temperaturę. Dla temperatury powinny być określone jej wartości brzegowe

(graniczne) oraz funkcja umożliwiająca oszacowanie temperatury w danym momencie. W oparciu w wyliczoną wartość temperatury powinno nastąpić ustalenie rodzaju opadu. Jego intensywność można określać wg rodzaju chmur. Dla tak wyznaczonych parametrów powinna istnieć funkcja, która jednoznacznie określi widzialność rzeczywistą w danym rejonie, a także oszacuje skuteczność wykonania zadania w danych warunkach atmosferycznych. Ponadto w oparciu o temperaturę i opady należy określać gotowość lotnisk do przyjmowania lub wysyłania samolotów, czyli stan pasów startowych, jak również czas przywracania ich sprawności (gotowości do realizacji ich podstawowej funkcji – przyjmowania i wysyłania samolotów).

Prędkość i kierunek wiatru w danym przedziale czasowym powinny być stałe. Jego stałość na danym (całym) obszarze powinna być określona dla n przedziałów czasowych. Wpływ wiatru powinien się ograniczać do korekty prędkości śmigłowców. Należy przyjąć założenie, że śmigłowiec leci własnym kursem, natomiast wiejący wiatr powoduje zmianę jego prędkości rzeczywistej. Jeśli nie określono prędkości wiatru, to należy przyjąć, że jest cisza lub jego prędkość jest bliska zeru.

Podjęte wysiłki wyboru i przełożenia zjawisk meteorologicznych występujących w warunkach naturalnych na zjawiska odzwierciedlane w modelu działań powietrznych zaowocowały tu wyodrębnieniem tylko kilku

najistotniejszych parametrów, które w opinii autorów powinny być odzwierciedlane w modelu.

3.3. Modelowanie chmury

Wizualizowanie chmur można rozpatrywać na wielu przykładach, jednak za klasyczne ujęcia uznaje się modele: Csuri, Gardnera, Blina i Kijiyi. Komputerowe zobrazowanie zjawiska naturalnego chmur wymaga zaadoptowania metod graficznej reprezentacji oraz generacji prostopadłościanów lub elipsoid. Istota problemu tkwi w tym, że konwencjonalne metody wymagają dokładnego zdefiniowania kształtów obiektów. Zjawiska naturalne mają jednak zazwyczaj charakter amorficzny i ich kształty są trudne do określenia. Konieczne jest więc potraktowanie chmur jako odrębnej klasy obiektów, których zobrazowanie powinno być realizowane za pomocą specjalnie dedykowanych im metod.

Autorzy proponują zredukowanie stopnia komplikacji tego problemu poprzez przyjęcie za bryłę odniesienia – prostopadłościanu (lub elipsoidy). Jednak pokusa bardziej zaawansowanego wizualizowania zaowocowała przedstawieniem alternatywy dla przyjętego uproszczenia polegającego na przyjęciu geometrycznej postaci chmury – jako prostopadłościanu (lub elipsoidy).

W rozdziale tym przedstawiono wybrane metody generacji obrazów chmur.

3.3.1. Model chmury Csuri¹⁸

Csuri w 1979 roku opracował model obrazu chmury. Jego rozwiązanie opierało się na zamodelowaniu trójwymiarowej, aproksymowanej bryły chmury, a następnie wyznaczeniu na jej podstawie, metodą śledzenia promieni światła, dwuwymiarowej tablicy intensywności oświetlenia chmury. Chmura Csuriego to obiekt opisany kilkoma parametrami:

- ◆ prędkość wiatru,
- ◆ koncentracja cząsteczek,
- ◆ wysokość,
- ◆ współczynnik tworzenia chmury.

Doświadczenia Csuriego uświadomiły dwa zasadnicze problemy, z którymi każdy konstruktor musi się zmierzyć. Są nimi:

- ◆ zdefiniowanie bryły geometrycznej chmury;
- ◆ określenie sposobu wizualizacji chmury¹⁹.

3.3.2. Model chmury Gardnera²⁰

Gardner w 1985 roku opracował model matematyczny chmury opierający się na wykorzystaniu: płaszczyzny nieba, elipsy oraz matematycznej funkcji teksturującej. Trójwymiarowa geometria chmury reprezentowana jest poprzez złożenie wielu elipsoid o różnych rozmiarach. Najistotniejszym elementem

¹⁸ Gardner, Visual simulation of cloud., Computer Graphics, 19, 1985.

¹⁹ Foley, van Dam, Feiner, Hughes: Computer Graphics: Principles and Practice, Second Edition, Wesley Publishing Company, Inc., 1990.

²⁰ Gardner, Visual simulation of cloud., Computer Graphics, 19, 1985.

modelu Gardnera jest funkcja teksturująca, obliczająca kolor chmury dla każdego punktu. Ważną rolę w modelu Gardnera odgrywa dobór liczby iteracji obliczeniowych. Im będzie ich więcej, tym model będzie wierniejszy. Jednak każda dodatkowa iteracja to kolejny szereg obliczeń, a w konsekwencji dłuższy czas generowania obrazu. Problem oświetlenia chmury Gardner potraktował bardzo marginalnie. Założył, że proces pochłaniania światła przez cząsteczki chmury ma charakter liniowy. W systemach wizualizacji aspirujących do wiernego i atrakcyjnego dla użytkownika przedstawiania postaci chmur ograniczenie Gardnera jest zbyt silne.

Obrazy wygenerowane w oparciu o model Gardnera mają istotną wadę, którą są zbyt regularne kształty chmur. Gardner zmodyfikował swój model wprowadzając dodatkowe mechanizmy: krzywej brzegowej, wartości progowej i modulacji przenikania. Krzywą brzegową Gardner nazywa rzut sylwetki elipsoidy na płaszczyznę, wyznaczony przez zbiór punktów przecięcia wybranej płaszczyzny i promieni biegnących od obserwatora do elipsoidy oraz stycznych do jej powierzchni. Dla każdego punktu należącego do wnętrza i brzegu krzywej brzegowej wyznaczana jest wartość progowa dla funkcji teksturującej. W efekcie końcowym osiąga się nieregularność kształtu obrazu chmury.

Model chmury Gardnera doczekał się wielu modyfikacji. Najczęściej stosowane przez grafików komputerowych są modele, będące uproszczonymi modelami Gardnera (co również proponują autorzy opracowania). Istota

uproszczeń polega, na nałożeniu tekstury bezpośrednio na płaszczyznę nieba. Spłaszczając chmurę uzyskuje się model dwuwymiarowy, który dla wizualizacji warstw jest wystarczający. Spłaszczenie powoduje zmniejszenie złożoności obliczeniowej, w stosunku do modelu przestrzennego. Uproszczenie to polega więc na spłaszczeniu, dając jak się wydaje zadawalające rezultaty w przypadku generowania obrazów chmur warstwowych.

Najlepsze jednak efekty uzyskuje się wykorzystując kilka zmodyfikowanych modeli Gardnera równocześnie. Chmury warstwowe (Stratusy i Altostratusy) oraz pierzaste (Cirrusy) powinny być modelowane z wykorzystaniem modelu płaskiego. Na ich tle generowane powinny być obrazy chmur kłębiastych (Cumulusów i Altocumulusów). Jako bryłę odniesienia Gardner zaleca elipsoidę.

3.3.3. Model chmury Blinna²¹

Blinn swój model chmury opublikował w 1982 roku. Jego model zawiera algorytmy wnikające w fizykę zjawisk zachodzących we wnętrzu chmury. Blinn nie zajmuje się tworzeniem geometrii chmury. Założył, że znana jest gęstość cząsteczek w zdefiniowanej objętości, reprezentującej bryłę chmury. Stosowanie modelu Blinna ma na celu znalezienie wartości światła odbitego od warstwy chmury oraz obliczenie jej przezroczystości.

²¹ Blinn J., Light reflection functions for simulation of clouds and dusty surfaces, Computer Graphics, 16, 1982.

Blinn zastosował opisany model oświetlenia do generacji obrazu pierścieni Saturna, stanowiących w rzeczywistości chmury cząsteczek lodu. Często jest on również stosowany do generacji obrazów chmur i mgły w atmosferze ziemskiej.

Wydaje się, że model Blinna jest mało przydatny dla projektowanego modelu działań powietrznych. Badanie ilości odbitego światła od cząsteczek znajdujących się we wnętrzu chmury (przy wielu dodatkowych uproszczeniach) nie wniesie do opracowywanego modelu istotnych korzyści, a bardzo skomplikuje obliczenia.

Zasygnalizowaliśmy model Blinna dla komplementarności prezentacji problematyki generowania modeli chmur, jednak jego przydatność na tym etapie prac i konwencji przyjętej przy konstruowaniu modelu działań powietrznych – gdzie główny wysiłek jest skierowany za zobrazowywanie skutków wzajemnych oddziaływań – jest znikoma.

3.3.4. Model chmury Kajiyi²²

Model Blinna rozwinął Kajiyi, który wyszedł z założenia, że w rzeczywistości chmury są obiektami charakteryzującymi się wysoką jasnością. Zatem tworząc ich model oświetlenia uwzględnił wpływ oświetlenia cząsteczek chmury światłem odbitym od pozostałych (czego model Blinna nie uwzględnił). Dopiero Kajiyi w 1984 opracował sposób generowania tego

²² Kajiyi J., Ray tracing volume density, Computer Graphics, 18, 1984.

efektu. Model oświetlenia chmury oparł na opracowanej przez siebie technice śledzenia promieni światła. Realizowana jest ona w dwóch etapach:

- ◆ etap 1: dla każdego obrazu sceny;
- ◆ etap 2: dla każdego promienia światła.

Obraz chmury generowany jest na bazie modelu fizycznego dla chmur typ Cumulus. Obejmuje on równania ruchu, kondensacji, ciągłości i parowania wody. Ponadto uwzględnia konwekcyjne ruchy atmosfery i utajone źródła ciepła. Zgodnie z opisem autora, proces tworzenia chmury rozpoczyna się w konwekcyjnie niestabilnej atmosferze nagrzewanej przez źródło ciepła (Słońce). Nad lądem formuje się gorąca masa powietrza, która powoli unosi się do góry. Po osiągnięciu określonej wysokości następuje jej przesycenie i rozpoczyna się proces formowania chmury. Obraz chmury tworzony jest opisaną metodą śledzenia promieni na podstawie tablicy intensywności światła. Jej wartości obliczane są ze stosunku zawartości ciekłej wody w atmosferze w poszczególnych punktach trójwymiarowej siatki, wewnątrz której modelowana jest chmura. Model chmury Kajiyi jest na tyle istotny, iż wskazuje na kierunek rozwoju myśli technicznej zorientowanej na generowanie chmur. Model Kajiyi jest pierwszym modelem pozwalającym tworzyć obraz chmury o dynamicznie zmieniającym się kształcie.

Przedstawione metody modelowania chmur stanowią jedynie zarys światowego dorobku w dziedzinie generacji komputerowych obrazów chmur.

Intencją autorów było zasygnalizowanie tej problematyki, w tym głównie istoty napotykanych problemów przy modelowaniu i sposobów ich rozwiązywania.

Dla komplementarności zarysu tej problematyki, należy wspomnieć o zastosowaniach geometrii fraktalnej do modelowania chmur. Właśnie fraktale, ze względu na swoje własności statystycznego samopodobieństwa, bardziej nadają się do przedstawiania zjawisk o charakterze amorficznym niż metody geometrii euklidesowej. Wydaje się, iż przy odpowiednim sprzęcie i oprogramowaniu właśnie metody oparte na geometrii fraktalnej, za kilka lat mogą zdominować sposoby dynamicznej wizualizacji chmur (lub jeszcze szerzej - wybranych zjawisk meteorologicznych).

4.1. Zbiory danych meteorologicznych

Przyjmijmy, że część danych powinna być przygotowana przed symulacją. Dotyczy to np. wschodów i zachodów słońca (365 dni (366 dla roku przesternego), temperatury, opadów. Każdy dzień roku powinien być opisany wybranymi parametrami. Autorzy zakładają, że w bazie danych będą dane z ostatnich 5-10 lat. Dla każdego dnia w roku parametry meteorologiczne będą uśredniane. Na przykład dla 26 lipca maksymalna temperatura w dzień wynosiła dla Poznania:

• w 2002 roku 22 [°C]

• w 2003 roku 19 [°C]

• w 2004 roku 23 [°C]

4. Koncepcja bazy danych dla modułu METEO

Głównym kryterium naszego wyboru zjawisk i parametrów odzwierciedlanych w modelu jest ich znaczny wpływ na zjawiska taktyczno-operacyjne zachodzące podczas działań powietrznych. Wobec relatywnie dużej liczności zjawisk METEO, ich różnorodnego charakteru oraz zróżnicowanego wpływu na różne zjawiska działań powietrznych, autorzy proponują utworzenie dwóch zbiorów danych: stałych i zmiennych. Dane stałe byłyby przygotowywane przez ekspertów i zapisywane na stałe w bazach danych. Natomiast dane zmienne byłyby wyliczane, co określony kwant czasu i aktualizowałyby tablice danych warunków meteorologicznych symulacji.

4.1. Zbiory danych meteorologicznych

Przyjeliśmy, że część danych powinna być przygotowana przed symulacją. Dotyczy to np. wschodów i zachodów słońca na 365 dób (366 dla roku przestępnego), temperatury, opadów. Każdy dzień roku powinien być opisany wybranymi parametrami. Autorzy zakładają, że w bazie danych będą dane z ostatnich 5-u lat. Dla każdego dnia w roku parametry meteorologiczne będą uśredniane. Na przykład dla 26 lipca maksymalna temperatura o 12.00 w dzień wynosiła dla Poznania:

- ◆ w 2003 roku 28 [°C],
- ◆ w 2002 roku 19 [°C],
- ◆ w 2001 roku 21 [°C],

◆ w 2000 roku 14 [°C],

◆ w 1999 roku 24 [°C].

Zatem średnia arytmetyczna tej temperatury, przy zaokrągleniu do jedności wynosi 21 [°C]. I taka wartość temperatury dla podanego dnia o podanej godzinie powinna być wyliczona na podstawie zgromadzonych danych.

4.1.1. Dane stałe

Pod pojęciem dane stałe, należy rozumieć dane służące do opisu zobrazowania sytuacji meteorologicznej, ale jednocześnie będzie to zbiór danych nie ulegających zmianie podczas symulacji (bez względu na symulowane sytuacje). Byłyby to dane, które wpisane do bazy danych nie powinny ulegać zmianie. Ewentualna ich aktualizacja powinna być dozwolona w szczególnych przypadkach. Powodem ich aktualizacji może być jedynie potrzeba ich korekty spowodowana błędnym wprowadzeniem lub wyliczeniem. Należy przyjąć, że po sprawdzeniu i korekcie błędów dane te powinny być zawsze aktualne.

Danymi stałymi byłyby:

- czasy wschodów i zachodów słońca,
- średnie temperatury minimalne i maksymalne dnia,
- współczynniki zmniejszenia widoczności w zależności od pory dnia,
- współczynniki jasności księżyca w poszczególnych jego fazach,
- współczynniki zmniejszenia widoczności w zależności od zachmurzenia lub rodzajów chmur.

Uściślając i konkretyzując proponuje się przyjąć następujące jednostki czasu:

- kwadrans, 15 minut [min] jako elementarną jednostkę czasową, w której nie ulega zmianie żaden z parametrów meteorologicznych;
- w szczególnych przypadkach należy przyjąć tydzień (7 dni) jako, w którym nie ulegają zmianie średnie parametry meteorologiczne.

Proponujemy, aby wschody i zachody słońca nie opisywać poprzez podanie ich czasów, lecz poprzez zmianę współczynnika widzialności w zależności od pory dnia i tygodnia **Wdr**. Współczynnik widzialności powinien określać procentowe zmniejszenie widzialności przy bezchmurnym niebie w stosunku do warunków optymalnych. Współczynnik ten jako liczba dziesiętna z przedziału $<0 - 1>$, należy oszacować dla każdego kwadransa doby i tygodnia, co daje $96 * 52$ danych. Wartość współczynnika zero oznaczać będzie brak widoczności. Wartość współczynnika 1 oznaczać powinna maksymalną widzialność.

Średnie temperatury minimalne i maksymalne dnia, mierzone w stopniach Celsjusza [$^{\circ}\text{C}$], należy uśrednić w stosunku do tygodnia, co da 52 grup danych w roku.

Dla faz księżyca należy przyjąć z dużym przybliżeniem, że w danej fazie księżyc świeci z jednakową jasnością, niezmienną przez cały rok. Współczynniki jasności księżyca **Wk** powinny być większe/równe jeden. Wartość 1 należy zarezerwować dla **nowiu**.

Bardziej problematyczne będzie oszacowanie składników do wyliczenia współczynnika zachmurzenia. Ograniczenie widoczności z powodu zachmurzenia zależy nie tylko od rodzaju chmur, lecz również od ich wysokości.

Kolejnym problemem jest zjawisko występowania kilku warstw różnych rodzajów chmur. W tym przypadku proponuje się współczynniki cząstkowe stałe dla każdego rodzaju chmur. Ponadto należy wprowadzić współczynniki opadu: śniegu lub deszczu dla mżawki, opadu normalnego, opadu intensywnego. W zależności od rodzaju i ilości warstw chmur iloczyn wszystkich współczynników dawałby wartość współczynnika zachmurzenia.

Dla pełnego opisu wpływu temperatury należałoby ustalić wartości temperatury aktualnej, przy której opad deszczu zamienia się w opad śniegu, jak również grupy danych, przy których następuje zamarzanie, tajanie powierzchni pasa startowego lub czas odsnieżania pasa zależny również od intensywności i czasu opadów przy określonym sprzęcie lotniskowym.

Wymienione grupy danych należy umieścić w tablicach o określonych strukturach. Z tablic tych korzystać powinny programy modułu meteorologicznego służące do określania stanu pogody we wskazanych rejonach. Dla sprawnego w prowadzenia tych danych należy napisać program, który w oparciu o dane ramowe wyliczyłby poszczególne dane oraz zapisałby je do tablic z danymi stałymi. Dla przechowywania danych, w trakcie symulacji działań bojowych sił powietrznych, proponuje się następujące tablice:

- współczynników widzialności;
- uśrednionych wschodów i zachodów słońca oraz temperatur granicznych;
- współczynników faz księżyca;
- współczynników dla rodzajów chmur i opadów.

Struktura tablicy: Współczynniki widzialności

Lp.	Nazwa pola	Zakres wartości
1.	Numer pory (kwadransu dnia)	[1 – 96]
2.	Numer tygodnia w roku	[1 – 52]
3.	Wartość współczynnika Wdr	(0 – 1]

Struktura tablicy: Uśrednione wschody/zachody słońca oraz temperatur granicznych

Lp.	Nazwa pola	Zakres wartości
1.	Numer tygodnia w roku	[1 – 52]
2.	Numer kwadransu wschodu słońca	(1 – 96)
3.	Numer kwadransu zachodu słońca	(1 – 96)
4.	Temperatura minimalna tygodnia	+/- TT
5.	Temperatura maksymalna tygodnia	+/- TT

Struktura tablicy Współczynniki jasności faz księżyca

Lp.	Nazwa pola	Zakres wartości
1.	Numer fazy księżyca	[1 – 4]
2.	Wartość współczynnika W	> 1

Struktura tablicy: Współczynniki dla rodzajów chmur i opadów

Lp.	Nazwa pola	Zakres wartości
1.	Symbol rodzaju chmury (opadu)	Xx
2.	Wartość współczynnika Wch	(0 – 1)

Oznaczenia poszczególnych rodzajów chmur podano wcześniej. Dla opadów proponuje się przyjąć symbole używane w meteorologii dla opisu map synoptycznych.

4.1.2. Dane zmienne

Dane zmienne stanowią liczną grupę danych, które należy przez cały czas symulacji u trzymywać i aktualizować. Przewiduje się w modelu - stanowisko dla meteorologa, który niezależnie od innych użytkowników będzie ingerował (symulował zmiany) pogodowe. W ten sposób sytuacja atmosferyczna w poszczególnych punktach i rejonach będzie odzwierciedleniem sytuacji rzeczywistej, pogoda bowiem zmienia się niezależnie od sytuacji na polu walki czy oczekiwań uczestników działań bojowych.

Do parametrów zmiennych opisujących warunki atmosferyczne zaliczyliśmy:

- zachmurzenie, na które składają się poszczególne warstwy chmur oraz podstawa chmur;
- opis chmur opadowych (burzowych);
- kierunek i prędkość wiatru;

- temperatura rzeczywista (zazwyczaj nie jest zgodna z temperaturą uśrednioną).

Do opisu powyżej wyspecyfikowanych parametrów, a przede wszystkim zachmurzenia oraz do wyliczenia współczynnika zachmurzenia **Wz** proponujemy następujące tablice:

- zachmurzenie dla rejonów;
- opis chmur opadowych.

Ponadto należy przez cały czas utrzymywać w stanie aktualnym parametr opisujący **kierunek i prędkość wiatru**. Parametry te są obowiązujące dla całego obszaru działań bojowych.

Struktura tablicy: Zachmurzenie dla rejonów

Lp.	Nazwa pola
1.	Numer punktu lub rejonu
2.	Identyfikator punktu lub rejonu
3.	Współrzędne punktu lub rejonu
4.	Symbol dolnej warstwy chmur
5.	Symbol średniej warstwy chmur
6.	Symbol górnej warstwy chmur
7.	Temperatura aktualna
8.	Licznik niezmienności zachmurzenia

Struktura tablicy: Opis chmur opadowych

Lp.	Nazwa pola
1.	Identyfikator chmury
2.	Współrzędne środka czoła chmury
3.	Szerokość chmury (w setkach metrów)
4.	Głębokość chmury
5.	Licznik czasu trwania opadu

Symbole warstw chmur powinny być zgodne z symbolami zapisanymi w tablicy *Współczynników dla rodzajów chmur i opadów*, temperatura aktualna powinna być wyliczana w oparciu o czas bieżący i temperaturę uśrednioną tygodnia, bądź wprowadzana z klawiatury przez użytkownika pełniącego funkcję meteorologa. Liczniki występujące w tablicach oznaczają liczbę elementarnych jednostek czasowych (kwadransów), w których nie nastąpią zmiany danych warunków atmosferycznych.

Przy wyliczaniu aktualnych parametrów proponujemy następujące uproszczenia:

- wiatr na całym obszarze wieje ze stałą prędkością i nie zmienia kierunku;
- zmiany temperatury następują skokowo od danej (wprowadzonej lub wyliczonej) do temperatury maksymalnej lub minimalnej;
- chmury warstwy dolnej i średniej przemieszczają się zgodnie z kierunkiem wiatru i z taką samą prędkością;

- po wyzerowaniu się licznika czasu trwania opadu chmura opadowa przestaje istnieć, a wraz z nią nad danym rejonem przestają istnieć chmury warstwy dolnej i średniej;
- chmury warstwy górnej są nieruchome, mogą one powstawać i zanikać, ich przydatność ogranicza się tylko do wyliczania współczynnika zachmurzenia $\{Wz\}$;
- wszystkie parametry zmienne z wyjątkiem wiatru dotyczą rejonów lub punktów (pasa startowego);
- dla lotniska, to temperatura oraz opad może decyduje o sprawności (gotowości do użycia) pasa startowego.

Powyżej opisane parametry są pewnym uogólnieniem i uproszczeniem rzeczywistych warunków atmosferycznych. Należy jednak zwrócić uwagę, że nie chodzi tu o precyzyjne określanie warunków atmosferycznych, lecz o wpływ tych warunków na działania bojowe sił powietrznych (przede wszystkim lotnictwa i rakiet) w skali makro.

Dla potrzeb modelowania działań bojowych symulacja stanu pogody w rejonie działań bojowych powinna spełnić oczekiwania wszystkich użytkowników modelu.

4.2. Odzwierciedlanie zmian pogody w czasie

Moduł służący do symulacji zmian pogody powinien działać niezależnie od pozostałego oprogramowania. Jego zadaniem powinno być bieżące

określanie warunków pogodowych panujących w podanych rejonach. Stan pogody oraz liczba rejonów mogą zmieniać się dynamicznie. Moduł ten powinien spełniać następujące funkcje:

- rejestrować zmiany wprowadzane z klawiatury – ingerencja arbitralnego meteorologa;
- realizować bieżącą prognozę pogody na najbliższe godziny;
- wyliczać aktualny stan pogody w określonych rejonach;
- archiwizować na bieżąco zmiany parametrów meteorologicznych.

Wprowadzanie zmiany stanu pogody z klawiatury ma za zadanie dostarczenie danych do symulacji kształtowania się pogody na określonym obszarze. W oparciu o te dane oraz dane stałe moduł METEO powinien być ustalony aktualny stan pogody w poszczególnych rejonach, z częstotliwością jednostki elementarnej (1 kwadrans) oraz dostarczyć, w oparciu o posiadane informacje, prognozę pogody na najbliższe godziny. Prognoza ta mogłaby się nie spełnić, jeśli meteorolog arbitralny w tzw. między czasie wprowadziłby inne parametry pogodowe – ingerencja w stan pogody poprzez np. zmianę kierunku lub prędkości wiatru.

Dane zmienne wymagane podczas symulacji powinny być przygotowane przed realizacją całego przebiegu symulacji, by eliminować improwizację i nieprzemyślane decyzje. W trakcie samej symulacji dane te powinny być automatycznie pobierane do wykonania niezbędnych wyliczeń parametrów pogodowych. Ingerencja meteorologa arbitralnego sprowadzałaby się do

dynamicznej zmiany wybranych parametrów. Zmiany te spowodować powinny inne ukształtowanie się pogody przez określony czas na danym obszarze lub wybranym rejonie. Prognoza pogody polegałaby na automatycznym wyliczaniu stanu pogody na n jednostek czasowych do przodu. Prognoza ta mogłaby by się nie sprawdzić jeśli, w tzw. między czasie arbitralny meteorolog dokonałby ingerencji w parametry pogodowe.

Celem archiwizacji danych powinno być zapamiętanie zmian warunków atmosferycznych w poszczególnych rejonach (punktach) dla potrzeb odtworzenia przebiegu symulacji. Chodzi o to, aby poszczególne fragmenty lub całość symulacji można było powtarzać dowolną liczbę razy.

4.3. Prognozowanie stanu pogody w określonych miejscach i rejonach

Pod pojęciem *prognozowanie* należy rozumieć aktualne określanie parametrów w każdym momencie, jak również prognozowanie pogody na n jednostek czasowych do przodu. Parametry te należy wyliczać dla wszystkich punktów i rejonów, niezależnie od tego czy będą one w danym momencie potrzebne. Do parametrów, które należy zawsze wyliczać należą:

- tworzenie się i zanikanie chmur ;
- położenie chmur opadowych;
- widzialność;
- oblodzenie (zaśnieżenie) pasów startowych (dotyczy lotnisk).

Tworzenie się chmur generowane powinno być automatycznie przez oprogramowanie w oparciu o parametry ustawiane przez arbitralnego meteorologa. Sam proces tworzenia się chmur powinien przebiegać wg ustalonego wcześniej algorytmu. Zanikanie chmur odbywać się powinno poprzez opady. Szybkość ich zanikania powinna być funkcją zależną od: rodzaju chmur, intensywności opadu i czasu opadu. Przemieszczanie się chmur na danym obszarze powinno być zgodne z kierunkiem i prędkością wiatru. Należy przyjąć założenie, że w danej (podstawowej) jednostce czasowej wiatr na całym obszarze wieje z jednakową prędkością i nie zmienia kierunku.

Chmury opadowe powinny mieć kształt prostopadłościanu lub elipsoidy o ostrych granicach (chodzi o zmianę współczynnika zachmurzenia). Chmury te powinny poruszać się zgodnie z wiatrem przez n jednostek czasowych, po czym powinny przestawać istnieć, co oznaczać będzie znaczne polepszenie widoczności w danym rejonie.

Określenie widzialności dla danego punktu lub rejonu sprowadzać powinno się do:

- określenia numeru tygodnia w roku;
- określenia numeru kwadransu w dobie;
- pobranie z tablic danych stałych współczynników widzialności: $\{Wdr\}$ i $\{Wk\}$;
- pobranie z tablic danych zmiennych symboli poszczególnych warstw chmur dla danego rejonu (sprawdzenie czy nie ma opadu) i w oparciu

o te symbole pobranie z tablic danych stałych współczynników cząstkowych dla tych warstw lub współczynnika dla opadów;

- określenie (wyliczenie) widzialności – który jest iloczynem określonych powyżej współczynników i stałej widzialności maksymalnej.

Dla lotnisk należy sprawdzać warunki opadowo-temperaturowe, polegające na określeniu wpływu temperatury na powstawanie lub zanikanie oblodzenia (zaśnieżenia) oraz wystąpienia w określonym przedziale czasowym stosownego opadu. Ponadto należy opracować funkcję powstawania oblodzenia lub zaśnieżenia pasów oraz czasookresy ich usuwania zależne od opadów i temperatury.

Prognozowanie pogody powinno odbywać się według identycznego scenariusza jak określanie aktualnego stanu pogody przy założeniu, że parametry pogodowe są stałe, to znaczy wiatr się nie zmienia, nie pojawiają się nowe grupy chmur, chmury opadowe znikają, według wcześniej określonego scenariusza, a temperatura zmienia się według funkcji właściwej dla danej doby. Powinny być ustalone czasy prognozowania, np. na godzinę, na sześć godzin, na dwanaście godzin, na następną dobę. Czasy te powinny być ustalone dla całego scenariusza rozgrywanej gry.

Pozostałe dane zmienne jak: temperatura i podstawa chmur powinny być szacowane na bazie stałych procedur. Temperatura powinna się zmieniać skokowo od minimalnej do maksymalnej (i odwrotnie) w kilku krokach. Czasy

minimum i maksimum powinny być stałe, zależne wyłącznie od wschodów i zachodów słońca. Dla przykładu temperatura maksymalna powinna być 4 godziny przed zachodem słońca, a minimalna pół godziny przed wschodem słońca. Podstawa chmur powinna zależeć od rodzaju chmur oraz od ingerencji arbitralnego meteorologa, który w zależności od rodzaju dolnej warstwy chmur mógłby ją zmieniać w określonych zakresach.

Z klasycznej meteorologii wyodrębniła się meteorologia lotnicza, która przede wszystkim jest zorientowana na zabezpieczenie w informację meteorologiczną lotnictwa. Personal meteorologiczny zajmuje się zapewnieniem bieżących prognoz meteorologicznych dla potrzeb ruchu lotniczego. W odróżnieniu od meteorologii klasycznej, badającej cały obszar kraju lub regionu, meteorologia lotnicza kieruje swoje zainteresowania ku określonym punktom i rejonom. Punktami tymi są lotniska, a w szczególności pasy startowe, zaś rejonami są trasy przelotu lub obszary, w których przelatywają statki powietrzne (głównie samoloty). Ponadto niecałkowicie inny sposób wykonywania pomiarów jak w meteorologii klasycznej. Nie wszystkie parametry są jednakowo istotne, niektóre parametry takie jak ciśnienie czy widzialność są wielkrotnie mierzone i analizowane. Bardzo ważna jest lokalizacja przyrządów pomiarowych. Chodzi tu o zapewnienie mierzonej wartości jak największą zgodność z warunkami rzeczywistymi panującymi na wyznaczonym obszarze lotniska. Ze względu chociażby na topografię, wyniki pomiarów pogodowych mogą się różnić w

5. Służby meteorologiczne

W związku z dążeniem autorów do nadania opracowaniu możliwie szerokiej wiedzy kontekstowej, zawarto w nim również opis służb meteorologicznych występujących w Polskich Siłach Powietrznych, a także problematykę normalizacji i standaryzacji pomiarów i obiegu informacji meteorologicznej między poszczególnymi ośrodkami.

Z klasycznej meteorologii wyodrębniła się meteorologia lotnicza, która przede wszystkim jest zorientowana na zabezpieczenie w informację meteorologiczną lotnictwa. Personel meteorologiczny zajmuje się zapewnieniem bieżących prognoz meteorologicznych dla potrzeb ruchu lotniczego. W odróżnieniu od meteorologii klasycznej, badającej cały obszar kraju lub regionu, meteorologia lotnicza kieruje swoje zainteresowania ku określonym punktom i rejonom. Punktami tymi są lotniska, a w szczególności pasy startowe, zaś rejonami są trasy przelotu lub obszary, w których przebywają statki powietrze (głównie samoloty). Ponadto nieco inny jest sposób wykonywania pomiarów jak w meteorologii klasycznej. Nie wszystkie parametry są jednakowo istotne, niektóre parametry takie jak ciśnienie czy widzialność są wnikliwie mierzone i analizowane. Bardzo ważna jest lokalizacja przyrządów pomiarowych. Chodzi tu o zapewnienie mierzonym wartością jak największą zgodność z warunkami rzeczywistymi panującymi na wyznaczonym obszarze lotniska. Ze względu chociażby na topografię, wartości parametrów pogodowych mogą się różnić w

różnych częściach lotniska. Również w meteorologii lotniczej specyficzny jest charakter prognoz. Najważniejsze są dane o bieżącej sytuacji meteorologicznej i prognozy krótkoterminowe na najbliższe godziny czy dany dzień, zaś prognozy długoterminowe są mniej istotne²³.

Bardzo ważna dla bezpieczeństwa ruchu lotniczego jest szybkość przekazywania i dekodowania depech meteorologicznych. W nich zawarte są często informacje i ostrzeżenia o nietypowych lub niebezpiecznych zjawiskach meteorologicznych. W odróżnieniu od meteorologii klasycznej, personel w meteorologii lotniczej pełni dyżury, dostarczając na bieżąco niezbędne informacje o stanie pogody, bez przerwy. Oczywiście dla wypełnienia swych zadań służby te korzystają z ogólnie dostępnych informacji meteorologicznych jak również same przekazują niezbędne dane do sieci ogólnej. Dla uzyskania możliwie pełnej informacji o sytuacji meteorologicznej prowadzone są obserwacje nie tylko na ziemi, lecz również w powietrzu. Obserwacje w górnych warstwach atmosfery dokonywane są z samolotów rejsowych, a także wysyłanych celowo na tak zwany oblot pogody.

Zadania meteorologii wojskowej nieznacznie różnią się od meteorologii lotnictwa cywilnego. W tym przypadku analizy i prognozy pogody obejmują nie tylko lotniska i trasy przelotów, lecz również rejony ewentualnych walk lub

²³ Jafemik H., Wilczek Z., Ziarko J., Meteorologiczna osłona działań lotnictwa, Dom Wydawniczy Bellona, Warszawa 2000.

wykonywanych zadań bojowych. Ponadto analizy pogody obejmują prognozy wpływu pogody na możliwości i efektywność wykonywanych zadań. Dotyczy to nie tylko skuteczności samych działań bojowych, lecz także możliwości dokonywania obserwacji lotniczej i rozpoznania, np. wizualnego wybranych obiektów naziemnych i nawodnych²⁴.

5.1. Struktura służb meteorologicznych²⁵

Naczelną organizacją meteorologiczną jest Światowa Organizacja Meteorologiczna (WMO). Jest to wyspecjalizowana agenda Organizacji Narodów Zjednoczonych (ONZ), zajmująca się problemami związanymi z meteorologią, klimatologią i hydrologią. Zadaniem tej organizacji jest kierowanie rozwojem i doskonaleniem światowej meteorologii i prowadzenie związanej z tym działalności.

Najwyższym organem organizacji jest Światowy Kongres Meteorologiczny. Kongres zbiera się raz na cztery lata w celu określenia ogólnej polityki w sferze, którą się zajmuje, podejmuje decyzje o planach, budżecie, kodach meteorologicznych oraz podstawowych procedurach działalności operacyjnej.

Kolejnym hierarchicznie podporządkowanym organem jest Rada Wykonawcza. Składa się ona z dyrektorów narodowych służb

²⁴ Op. Cit.

²⁵ System Monitoringu i Osłony Kraju, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa 1999.

meteorologicznych i/lub hydrologicznych. Rada ta raz w roku analizuje działalność organizacji i stopień zrealizowania zadań przyjętych przez Kongres. Dla koordynacji i zabezpieczenia interesów regionalnych związanych z meteorologią i innymi obszarami zainteresowań organizacji powołano Asocjacje Regionalne.

Do rozpatrywania specyficznych problemów związanych z zadaniami organizacji powołano Komisje Techniczne. Komisje te składają się z ekspertów nominowanych przez państwa członkowskie. Siedziba główna WMO i Sekretariat znajduje się w Genewie (Szwajcaria). Jest to centrum administracyjne, informacyjne i koordynujące prace organizacji.

Poniżej struktur międzynarodowych występują narodowe służby meteorologiczne. Celem narodowych służb meteorologicznych i hydrologicznych jest wspomaganie działalności ekonomicznej i socjalnej państwa. W Polsce do koordynacji i wspierania służb meteorologicznych jak również zobowiązań międzynarodowych w zakresie meteorologii i hydrologii utworzono Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW). Obecnie IMGW jest jednostką badawczo-rozwojową wspierającą działalność wzajemnie powiązanych służb meteorologicznych i hydrologicznych. W IMGW znajduje się Centrum Prognoz Meteorologicznych i Hydrologicznych. Działalność Centrum Prognoz Meteorologicznych i Hydrologicznych wspierana jest przez Regionalne Ośrodki Prognoz Meteorologicznych i Hydrologicznych znajdujące się w Białymstoku, Gdyni, Katowicach, Krakowie, Poznaniu, Szczecinie i

Wrocławiu. Dla efektywnego zbierania o sytuacji meteorologicznej i hydrologicznej stworzono sieć obserwacyjno-pomiarową IMGW. W skład tej sieci wchodzi między innymi:

- ◆ stacje meteorologiczne, w tym lotniskowe biura meteorologiczne, wykonujące np. co godzinę obserwacje i pomiary,
- ◆ samodzielne Lotniskowe Biura Meteorologiczne (LBM), (również wykonujące, np. co godzinę obserwacje i pomiary parametrów niezbędnych dla lotnictwa),
- ◆ radary meteorologiczne,
- ◆ posterunki lądowe, wodne, morskie wykonujące pomiary (np. raz dziennie).

Wszystkie posterunki, stacje i biura zajmują się zbieraniem, przetwarzaniem i analizowaniem danych potrzebnych do wypracowania prognoz pogody.

5.2. Zadania jednostek meteorologicznych

Głównymi celami Światowej Organizacji Meteorologicznej (WMO) są:

- ◆ koordynowanie światowej współpracy w organizacji sieci stacji meteorologicznych i innych;
- ◆ nadzór nad systemami wymiany informacji meteorologicznych i innych danych niezbędnych do realizacji zadań organizacji;

- ◆ promowanie standaryzacji form i postaci informacji meteorologicznych;
- ◆ patronowanie rozwojowi zastosowań meteorologii w lotnictwie oraz innych gałęziach i dziedzinach gospodarczych;
- ◆ koordynowanie działalności naukowo-badawczej, szkolenia kadr w zakresie meteorologii i współpracy między służbami meteorologicznymi i hydrologicznymi.

Ogólne zadania WMO zostały określone w aktualnie obowiązującej Konwencji o Światowej Organizacji Meteorologicznej. Podstawowym zadaniem tej organizacji jest dążenie do osiągania maksymalnych korzyści i efektów zastosowania danych meteorologicznych i innych, a przede wszystkim zapewnienie ochrony ludzi i dobytku przed klęskami żywiołowymi.

Dla doskonalenia osłony meteorologicznej i hydrologicznej na całym świecie oraz zapewnienia rozwoju naukowo-badawczego WMO powołało specjalne programy, w tym Program Światowej Służby Pogody. Programy te dotyczą pozyskiwania przekazywanych danych i utrzymania na odpowiednim poziomie zasobów materialnych i kadrowych oraz środków technicznych niezbędnych do ich działalności.

Z punktu widzenia meteorologii najważniejszy jest Program Światowej Służby Pogody. Celem Programu Światowej Służby Pogody nadzór nad rozwojem i funkcjonowaniem systemów umożliwiających zbieranie, przetwarzanie i przesyłanie danych. Systemy te zapewniają narodowym

służbom meteorologicznym i hydrologicznym dostęp do informacji niezbędnych do prowadzenia efektywnej osłony społeczności i gospodarek narodowych. Podstawowym zadaniem Światowej Służby Pogody jest dostarczanie odpowiednich danych z obserwacji, analiz, prognoz i innych opracowań dla sprostania potrzebom wszystkich członków Światowej Organizacji Meteorologicznej. Najważniejszym systemem jest Globalny System Obserwacyjny. Jest to kompleksowy system, w którego skład wchodzi naziemne i satelitarne podsystemy obserwacyjne. Aktualnie na rzecz tego systemu pracują:

- ◆ stacje meteorologiczne,
- ◆ statki prowadzące dobrowolne obserwacje mórz i oceanów,
- ◆ na morzach aktywnych są rozmieszczone boje meteorologiczne,
- ◆ w powietrzu samoloty przekazują dane podczas lotu,
- ◆ na orbitach krążą satelity meteorologiczne.

Jednym z elementów Programu Światowej Służby Pogody jest Program Meteorologii Lotniczej. Zadania Programu Meteorologii Lotniczej wiążą się z zadaniami Komisji Meteorologii Lotniczej. Zadaniem Programu Meteorologii Lotniczej między innymi są:

- ◆ współpraca z Międzynarodową Organizacją Lotnictwa Cywilnego;

- ◆ współpraca z Programem Światowej Służby Pogody w zakresie zwiększania dokładności prognoz dla lotnictwa, lokalnych i na trasach przelotu;
- ◆ prowadzenie badań naukowych ukierunkowanych na doskonalenie zastosowań meteorologii w działalności lotnictwa;
- ◆ opracowywanie materiałów niezbędnych do szkolenia specjalistycznego pilotów i innych użytkowników lotniczej informacji meteorologicznej.

Wraz z rozwojem sił powietrznych rośnie zapotrzebowanie na zabezpieczenie meteorologiczne, a zwłaszcza na prognozy krótkoterminowe.

Celem działania narodowych służb meteorologicznych i hydrologicznych jest wspomaganie ekonomicznej i socjalnej działalności w swoich krajach. Głównym zadaniem tych służb jest pozyskiwanie i przetwarzanie danych meteorologicznych i hydrologicznych oraz opracowywanie prognoz w różnych skalach czasowo-przestrzennych i uprzedzanie o możliwościach wystąpienia niebezpiecznych zjawisk meteorologicznych i hydrologicznych.

Żaden kraj nie może polegać wyłącznie na własnych siłach. Każda służba narodowa, prowadząc działania na obszarze swojego kraju, pracuje również na użytek służb wielu innych państw. Dla zapewnienia sprawnego przekazywania danych ściśle związane ze sobą wszystkie systemy pogodowe. Narodowe sieci

stacji obserwacyjno-pomiarowych połączone są w jeden globalny system pomiarowy.

Najważniejszą funkcją narodowych służb meteorologicznych i hydrologicznych związaną z długoterminowym planowaniem jest zbieranie, archiwizowanie przetwarzanie, interpretowanie i właściwe wykorzystanie danych meteorologicznych.

Podstawowym źródłem informacji są stacje meteorologiczne. Wyróżnia się następujące rodzaje stacji meteorologicznych:

- ◆ synoptyczne (lądowe i morskie);
- ◆ lotniskowe;
- ◆ klimatologiczne;
- ◆ agrometeorologiczne;
- ◆ specjalne.

Stacje synoptyczne dokonują obserwacji meteorologicznych dla celów meteorologii synoptycznej. Jest to meteorologia związana z opisem aktualnej pogody, przedstawianych na mapach.

Stacje lotniskowe są zlokalizowane na lotniskach. Dokonują one obserwacji związanych z zapotrzebowaniem lotnictwa. Stacje te mogą dokonywać obserwacji synoptycznych i klimatologicznych.

Dane meteorologiczne dla celów klimatologii zbiera się na stacjach klimatologicznych. Dane o klimacie zbierane są również na wybranych stacjach synoptycznych i lotniskowych. Klimat jest związany z długookresowymi

właściami pogody, dlatego dla badań klimatycznych można wykorzystać dane z dowolnych stacji meteorologicznych.

Stacje agrometeorologiczne zorientowane są na opracowaniu danych meteorologicznych dla rolnictwa. Na stacjach tych dokonuje się specjalnych obserwacji środowiska, jak również obserwacji natury biologicznej. Stacje specjalne są przeznaczone do śledzenia szczególnych zdarzeń meteorologicznych, jak np. pomiar promieniowania.

Obserwacje wykonywane są o określonych terminach. Standardowy czas obserwacji jest uzgodniony międzynarodowo i znajduje się w zaleceniach Światowej Organizacji Meteorologicznej. Czas ten jest określany przez daną służbę meteorologiczną. Zalecane jest, aby terminy były możliwie bliskie terminom standardowym. Terminy standardowe ustalane są wg czasu Greenwich (GMT), (ang. Greenwich Mean Time). Dla obserwacji przyziemnych standardowymi terminami są: 00.00, 06.00, 12.00 i 18.00 wg czasu GMT. W podanych terminach powinno być mierzone ciśnienie atmosferyczne, natomiast pozostałe obserwacje powinny być dokonane w ciągu 10 minut [min] przed terminem. Ponadto ustalono terminy obserwacji pośrednich w następujących godzinach: 03.00, 09.00, 15.00 i 21.00, również czasu GMT.

Dane z pomiarów i obserwacji przekazywane są do sieci meteorologicznej w postaci depeasz. Depeszą jest zakodowany meldunek o aktualnym stanie pogody w danym rejonie. Każda stacja meteorologiczna poza zbieraniem danych o pogodzie ma obowiązek w określonych godzinach przekazywać

depesze do sieci. Do kodowania danych w depeszach używa się międzynarodowych kluczy meteorologicznych. Wyróżnia się następujące rodzaje depesz meteorologicznych:

- ◆ SYNOP zwykły;
- ◆ SYNOP zmodyfikowany,
- ◆ SHIP,
- ◆ METAR,
- ◆ SPECI.

Depesze typu SYNOP wysyłane są przez stacje lądowe, depesze typu SHIP nadawane są ze statków prowadzących obserwacje i pomiary meteorologiczne. Dla potrzeb lotnictwa wykorzystywane są depesze lotnicze typu METAR, zwane depeszami rutynowymi. Oprócz depesz rutynowych występują depesze specjalne typu SPECI, a także specjalnie wybrane. Depesze te zorientowane są przede wszystkim na zabezpieczenie w informacje meteorologiczne lotnictwa. Zawierają one treści przydatne dla samolotów, w tym prognozę lądowania. Depesze specjalne są wybranymi depeszami zawierające informacje o niebezpiecznych zjawiskach atmosferycznych. Depesze lotnicze są przekazywane do lotniczych biur meteorologicznych, a także do samolotów.

Depesze meteorologiczne odbierane są przez biura meteorologiczne, gdzie są one rozszyfrowywane. Następnie wyniki z tych depesz nanoszone są na mapy pogody. Najczęściej używaną mapą synoptyczną jest mapa ciśnienia

zredukowanego do średniego poziomu morza, na której wykreślane są linie łączące miejsca o jednakowym ciśnieniu zwane izobarami. Na mapie tej nanosi także pozostałe informacje uzyskane z depesz. Wszystkie zjawiska atmosferyczne kodowane są na mapie przy pomocy symboli. Tak więc mapa synoptyczna jest obrazem pogody panującej na stacjach meteorologicznych. W oparciu o dane z depesz i opracowane na ich podstawie mapy biura meteorologiczne przygotowują lokalne prognozy pogody. Pogoda dla całego kraju opracowywana jest przez Centrum Prognoz Meteorologicznych i Hydrologicznych. Centrum to wspierane jest przez Regionalne Ośrodki Prognoz Meteorologicznych i Hydrologicznych.

5.3. Obieg informacji meteorologicznej

Dla sprawnego przekazywania danych meteorologicznych stworzono ogólnosiwiatową sieć zwaną Globalny System Telekomunikacyjny (GTS), (ang. Global Telecommunication System). Jego celem jest zapewnienie sprawnej łączności w celu szybkiego i wiarygodnego zbierania oraz przekazywania danych będącą pochodną m.in.: obserwacji, analiz, prognoz. Obecnie działający system globalny ukształtowany został na przestrzeni kilku lat. System ten stworzono dla potrzeb narodowych służb meteorologicznych i hydrologicznych. Posiada on łącza naziemne i satelitarne. System ten jest zorganizowany trójpoziomowo:

- ◆ Główna Sieć Telekomunikacyjna;

- ◆ Regionalne Meteorologiczne Sieci Telekomunikacyjne;

- ◆ Narodowe Meteorologiczne Sieci Telekomunikacyjne.

Główna Sieć Telekomunikacyjna łączy Światowe Centra Meteorologiczne, które znajdują się w Melbourne, Moskwie i Waszyngtonie. Regionalne Meteorologiczne Sieci Telekomunikacyjne zapewniają zbieranie danych i ich dystrybucję wraz z innymi niezbędnymi w Regionie informacjami (prognozy, ostrzeżenia itp.). Regionalne Węzły Telekomunikacyjne pełnią funkcje interfejsów między Regionalnymi Meteorologicznymi Sieciami Telekomunikacyjnymi, a Główną Siecią Telekomunikacyjną. Narodowe Meteorologiczne Sieci Telekomunikacyjne umożliwiają Narodowym Centrum Meteorologicznym zbieranie i dystrybucję danych na poziomie narodowym. Dla ochrony przed nielicencjonowanym dostępem do danych podjęto decyzję, że dostęp do satelitarnych kodowanych transmisji danych będą posiadały wyłącznie narodowe służby meteorologiczne.

W Polsce nadrzędną instytucją jest IMGW, który prowadzi w ramach swych obowiązków meteorologiczno-hydrologiczną osłonę społeczeństwa i gospodarki narodowej. Wiele z tych zadań realizowane jest na rzecz Sił Zbrojnych, a głównie lotnictwa. IMGW prowadzi także system ostrzegania przed żywiołowymi działaniami sił przyrody, takich jak huragany, sztormy, gradobicia, katastrofalne opady, powodzie, skażenia itp. Podstawowym elementem systemu osłony hydrometeorologicznej, prognozowania i ostrzegania są centralne i regionalne oraz lotniskowe biura prognoz. Niektóre biura prognoz

specjalizują się w określonym rodzaju prognoz, na przykład Biuro Prognoz Lotniczych specjalizuje się w osłonie lotnictwa komunikacyjnego. Niemniej jednak większość biur prowadzi osłonę wszystkich działów gospodarki. W procesie osłony lotnictwa wykorzystywane są także dane z sieci stacji lotniskowych Wojsk Lotniczych i Obrony Powietrznej oraz Marynarki Wojennej.

6. Działanie modułu METEO

6.1. Zobrazowanie sytuacji meteorologicznej w modelu

Pełne zobrazowanie sytuacji meteorologicznej nie jest wymagane dla poprawnego funkcjonowania modelu, ale zobrazowanie niezbędnych informacji METEO będzie jednym z elementów zwiększających jego funkcjonalność. Na podstawie zaprezentowanych struktur służb meteorologicznych, wstępnej selekcji poszczególnych parametrów meteorologicznych pod kątem ich wpływu na działania powietrzne, a przede wszystkim określenia skuteczność wykonania zadań bojowych przedstawiamy podstawowe funkcje METEO, które powinny być zaimplementowane w modelu działań powietrznych. Przyszłych użytkowników modelu zapewne nie interesuje szczegółowe przedstawianie wartości wyselekcjonowanych parametrów meteorologicznych. Szczegółowe informacje te nie tylko nie wniosą nowej jakości, lecz mogą spowodować zmniejszenie przejrzystości i przyjazności opracowania²⁶. Również sądzimy, że poszczególni użytkownicy będą w różnym stopniu zainteresowani szczegółowością opisu aktualnej pogody i jej prognozy (np. krótkoterminowej). Z tych powodów proponujemy udostępnienie wszystkim użytkownikom możliwość wyboru poziomu szczegółowości zobrazowania sytuacji

²⁶ Parametr ten projektanci – programiści określają jako przyjazny dla użytkownika (ang. friendly-to-user).

meteorologicznej²⁷. Powinna istnieć możliwość dynamicznej zmiany poziomu zobrazowania sytuacji meteorologicznej w zależności od potrzeb każdego z użytkowników. Proponuje się następujące poziomy zobrazowania:

- ◆ ogólny;
- ◆ standardowy;
- ◆ szczegółowy.

Moduł meteorologiczny powinien ściśle współpracować z modułem symulacji działań bojowych, aby w czasie pseudorzeczywistym określać pogodę i jej prognozę dla wszystkich punktów i obszarów objętych grą. Efektem tego powinna być wyselekcjonowana informacja określająca warunki atmosferyczne w danym obszarze działań bojowych. Informację tę, na poziomie ogólnym, należy przedstawiać w postaci uogólnionych parametrów, jednoznacznie określających porę dnia i stan pogody. Parametry te powinny przyjmować jedną z wartości: {DZWA, DTWA, NZWA, NTWA}. Ponadto każde z lotnisk funkcjonujących w grze powinno posiadać dwustanowy wskaźnik gotowości do użycia. Z punktu widzenia pewnej grupy użytkowników nie jest istotne, co jest powodem określonej sytuacji meteorologicznej bądź braku gotowości lotniska do przyjęcia lub wysłania samolotów. Wgląd w te parametry powinien być ciągły.

²⁷ Uwzględnienie tego warunku powoduje, że nie istotne staje się umiejscowienie użytkownika w strukturze hierarchicznej.

Poziom standardowy należy uaktywniać na życzenie użytkownika, dla wskazanego obszaru. Uaktywnienie poziomu standardowego powinno spowodować dodatkowe graficzne zobrazowanie warunków atmosferycznych, na aktualnie wyświetlaną sytuację operacyjno-taktyczną, albo prognozę krótkoterminową obejmującą następujące parametry:

- widzialność;
- stan zachmurzenia;
- prędkość i kierunek wiatru;
- temperaturę.

Informacje zawarte na poziomie standardowym będą przydatne dla dowódców podejmujących decyzje do pojęcia określonych działań lub wykonania zadania. Chodzi o to, aby przy podejmowaniu decyzji brać pod uwagę istniejące warunki atmosferyczne, a także aby wpływ tych warunków przekładał się na efekty działań bojowych.

Poziom szczegółowy powinien być dostępny dla określonych użytkowników (specjalistów-meteorologów) analizujących istniejącą sytuację meteorologiczną i wypracowujących własne prognozy pogody lub dokonujących korekty parametrów meteorologicznych dla potrzeb gry. Na poziomie tym oprócz zobrazowania graficznego powinny być wyświetlone w sposób jawny wartości wszystkich parametrów meteorologicznych dla wybranego punktu (lotniska) lub rejonu.

Prognozę pogody należy przedstawiać podobnie jak zobrazowanie sytuacji meteorologicznej na poziomie standardowym. Do graficznego zobrazowania sytuacji meteorologicznej należy używać standardowych znaków (symboli) graficznych wykorzystywanych przez meteorologów podczas nanoszenia prognoz pogody na mapy synoptyczne.

6.2. Funkcje modułu meteorologicznego

Moduł meteorologiczny stanowić będzie spójne oprogramowanie działające niezależnie od oprogramowania realizującego symulację działań bojowych wykonywanych przez lotnictwo. Moduł ten korzystać powinien ze wspólnej bazy danych wykorzystywanej dla potrzeb gry. W module tym należy wyróżnić dwie grupy funkcji, a mianowicie:

- wprowadzanie danych początkowych;
- bieżąca aktualizacja sytuacji meteorologicznej w grze.

Dane początkowe, w tym dane stałe (np. widzialność, stan zachmurzenia, prędkość i kierunek wiatru, temperaturę), będą wprowadzane do wspólnej bazy podczas przygotowywania scenariusza gry. W trakcie symulacji działań bojowych (gry) moduł meteorologiczny będzie działał w tle. Jego zadaniem będzie wykonywanie stosownych obliczeń dla potrzeb gry. Odbywać się to będzie poprzez pobieranie z wspólnej bazy określonych informacji i na ich podstawie dokonywanie aktualizacji tej bazy. Wyniki tych obliczeń wykorzystywane będą przez decydentów (dowódców) podczas podejmowania

decyzji jak również przez moduł symulacji działań bojowych do korekty efektów tych działań.

Grupa funkcji dotycząca wprowadzania danych początkowych objąć powinna:

- wprowadzanie i aktualizację danych stałych do tablic (np. widzialność, stan zachmurzenia, prędkość i kierunek wiatru, temperaturę);
- wprowadzanie sytuacji meteorologicznej przy inicjacji gry;
- przygotowywanie scenariusza zmian pogody w czasie gry.

Dane te powinny być wprowadzane w sposób dogodny dla użytkownika.

Należy unikać sytuacji, w której każda dana elementarna musi być wprowadzona z klawiatury (poprzez mysz). Dla zautomatyzowania, a przede wszystkim skrócenia czasu wprowadzania danych początkowych proponuje się wprowadzenie mechanizmów umożliwiających:

- powielanie wprowadzonych danych;
- kopiowanie wcześniej wprowadzonych grup danych;
- domyślne wyliczanie wartości.

Dla skrócenia czasu wprowadzania danych początkowych oprogramowanie powinno również umożliwić ich wprowadzanie z kilku końcówek jednocześnie.

W trakcie gry moduł meteorologiczny powinien na bieżąco prowadzić obliczenia dla wszystkich punktów i rejonów na całym obszarze objętym grą. Obliczenia dotyczyć powinny aktualnej sytuacji meteorologicznej oraz

prognozy krótkoterminowej. W tym zakresie musi być pełna wymiana danych z modulem głównym, realizującym symulację działań bojowych. Chodzi o to, aby moduł meteorologiczny miał pełen wykaz wraz z opisami punktów i rejonów istotnych z punktu widzenia prowadzenia gry (tzw. wzgląd badawczy), natomiast moduł główny miałby dostęp do aktualnych parametrów (danych) meteorologicznych. Pozwoli to na bieżące zobrazowanie sytuacji meteorologicznej lub jej prognozy, jak również uwzględnienie wpływu pogody na przebieg i efekty działań bojowych symulowanych w grze.

6.3. Oprogramowanie działające w tle

Symulacja działań bojowych sił powietrznych wymaga współbieżnej realizacji wielu procesów wykonywanych w tym samym czasie. Procesy te nie zawsze muszą być zależne od głównego procesu gry. Przykładem takiego procesu jest symulacja zjawisk meteorologicznych określanych potocznie jako pogoda. Należy zwrócić uwagę, że działania bojowe nie mają żadnego wpływu na kształtowanie się pogody, natomiast warunki atmosferyczne mają znaczący wpływ na przebieg i efekty tych działań. Pogoda jest tym czynnikiem, którego pomijać lub bagatelizować nie należy (szerszą argumentację na ten temat przedstawiono we wstępie). Zależność ta powinna mieć swoje odzwierciedlenie w grze. Oznacza to niezależne działanie oprogramowania symulującego zmiany pogody przy jednoczesnym uwzględnianiu aktualnych warunków atmosferycznych w module głównym.

Oprogramowanie odpowiedzialne za symulację zmian pogody w grze powinno realizować następujące zadania:

- bieżącą aktualizację scenariusza kształtowania się pogody w oparciu o dane wprowadzane z klawiatury (poprzez mysz);
- zmianę parametrów meteorologicznych w dowolnym punkcie lub rejonie;
- bieżącą obsługę zjawisk atmosferycznych, takich jak: zmiany zachmurzenia, opady, burze;
- cykliczne (co kwadrans) uaktualnianie warunków atmosferycznych we wszystkich punktach i rejonach;
- interakcyjne przygotowywanie zobrazowań graficznych wskazanych punktów lub rejonów;
- prognozowanie pogody (na żądanie) dla wybranego punktu lub rejonu;
- zmianę parametrów meteorologicznych zgodnie z przygotowanym scenariuszem.

Do zmiany scenariusza kształtowania się pogody upoważniony powinien być arbitralny meteorolog z wszelkimi uprawnieniami (zalogowany jako koordynator) i działający z niezależnej końcówki. Celem tych zmian powinno być stymulowanie nieprzewidzianych zjawisk atmosferycznych jak również nieprzewidziane (w prognozach) załamania się lub poprawa pogody na wybranym obszarze. Ponadto powinna istnieć możliwość wybiórczej zmiany warunków atmosferycznych dla wskazanego punktu lub rejonu, np.

niespodziewany opad śniegu pomimo dodatniej temperatury. Oczywiście oprogramowanie powinno uniemożliwiać dowolną zmianę tych warunków, aby uchronić grę przed nedorzecznymi zjawiskami atmosferycznymi, np. pomimo dodatniej temperatury wystąpiło oblodzenie pasa startowego.

Bieżąca obsługa zjawisk atmosferycznych sprowadzać się powinna do:

- śledzenia czasu trwania zjawiska;
- bieżącego uaktualniania współrzędnych tego zjawiska zgodnie z kierunkiem i prędkością wiatru.

Obsługę występujących zjawisk należy realizować cyklicznie dla każdej jednostki czasowej (kwadransu) zgodnie z czasem systemowym. Po obsłużeniu tych zjawisk należy analogicznie uaktualniać parametry meteorologiczne dla wszystkich punktów i rejonów. Parametry te są niezbędne dla określenia warunków atmosferycznych na całym obszarze, a także dla określania prognozy pogody. Po zrealizowaniu powyższych zadań należy uaktualniać scenariusz zmian pogody zgodnie z czasem operacyjnym.

Należy zwrócić uwagę, aby oprogramowanie (moduł meteorologiczny) posiadał wyższy priorytet niż moduł główny, ponieważ dla danej chwili niezbędne jest posiadanie we wspólnej bazie aktualnych danych opisujących stan pogody dla uwzględnienia ich zarówno podczas podejmowania decyzji przez dowódców, jak i dla korekty efektów działań bojowych, rozpoznawczych i innych.

Podsumowanie

Skuteczne prowadzenie działań powietrznych jest niewątpliwie również pochodną umiejętności odpowiedniego personelu w sferze analiz i ocen meteorologicznych. Zatem model umożliwiający uwzględnianie zależności powietrznego wymiaru działań w kontekście warunków meteorologicznych jest wyjątkowo pożądanym narzędziem nie tylko wspomagającym szkolenie, ale również przy podejmowaniu racjonalnych i trafnych decyzji. Stan pogody jest istotną zmienną mającą wpływ na proces decyzyjny, zatem nie uwzględnianie tego aspektu w modelach symulacyjnych byłoby przekłamaniem rzeczywistości, a sam model symulacyjny mógłby być dyskredytowany ze względu na kryterium adekwatności.

Motywacją do podjęcia badań nad odzwierciedlaniem elementów meteorologicznych w modelu działań powietrznych, był brak spójnych i komplementarnych opracowań z tego zakresu. Wyniki badań w tej dziedzinie są porzucane po wielu wydawnictwach, zatem wydawało się w pełni uzasadnione wyodrębnienie z tej obszernej literatury najbardziej reprezentatywnej wiedzy, która znajduje zastosowanie przy konstruowaniu systemu informatycznego. Autorzy starali się również sformować z prezentowanych idei swego rodzaju teorię, która konsekwentnie w następujących po sobie rozdziałach była transformowana do problemów praktycznych. Opracowanie to jest wypadkową doświadczeń autorów przy opracowywaniu modeli symulacyjnych.

Głównym celem czwartej części badań (etapu IV), było przedstawienie autorskiego rozwiązania ujęcia elementów meteorologicznych w symulacyjny modelu działań powietrznych. Tłem przedstawionych rozwiązań była szeroka wiedza kontekstowa, niezbędna dla właściwego interpretowania proponowanych rozwiązań. Ponadto w opracowaniu poruszono szereg istotnych zagadnień dotyczących podstaw teoretycznych umożliwiających generowanie zjawisk atmosferycznych wskazujących na kierunki dalszych badań, a w przypadku posiadania odpowiedniej klasy sprzętu, ale również ich implementacji w modelu. Wydaje się, iż tempo rozwoju nowoczesnych technologii informatycznych pozwoli w niedalekiej przyszłości w pełni symulować zjawiska pogodowe. W opinii autorów najbardziej dynamicznie będzie następował rozwój symulatorów i gier wojennych w kierunku atrakcyjności i wierności odwzorowywania graficznego. Kierunek największych zmian będzie związany z zapewnieniem ciekawych efektów specjalnych i wiernej grafiki - w stosunku do rzeczywistości. Obecnie zarówno teoretyczne podstawy, jak i dysponowany aparat matematyczny wydają się znacznie wyprzedzać możliwości sprzętowe do ich zaimplementowania²⁸.

W prezentowanym opracowaniu, ze względu na jego syntetyczność, nie zostały dogłębnie przedstawione wszystkie problemy modelowania zjawisk meteorologicznych. Wydaje się, iż obiecującym kierunkiem dalszych badań

²⁸ Uwaga ta dotyczy możliwości sprzętowych, jakimi dysponują autorzy.

może być automatyzacja procesów zbierania i dystrybucji danych meteorologicznych dla dedykowanych odbiorców. Ponadto obszarem badawczym może być opis źródeł informacji, terminów i częstości aktualizacji danych, zakresu i miejsca przetwarzania danych meteorologicznych, wreszcie same algorytmy przetwarzania informacji meteorologicznej.

Podsumowując całość prac badawczych etapu IV oceniamy, że przyjęte cele zostały osiągnięte. Wiedząc, że problematyka modelowania zjawisk meteorologicznych jest niezwykle złożona, do badań potrzebowaliśmy szerokiej wiedzy kontekstowej, znajomości wyższej matematyki oraz umiejętności sprawnego posługiwania się nowoczesnymi narzędziami informatycznymi.

Autorzy mają nadzieję, iż proponowane przez nich rozwiązania staną się inspiracją do optymalizowania procedur działań powietrznych.

Wnioski i postulaty:

- Dzięki dopełniającym się walorom członków zespołu badawczego (dogłębna wiedza operacyjno-taktyczna z zakresu działań powietrznych i umiejętności informatyczne) była możliwość realizacji wielu skomplikowanych wątków badań. Wynika z tego, że zespoły interdyscyplinarne pozwalają na wyjątkowo szybką ekspozycję badań.
- Wydaje się, iż w przedsięwzięciach zorientowanych docelowo na produkt informatyczny zawsze uczestnikiem zespołu powinien być informatyk, albowiem formalizacja języka przebiega znacznie sprawniej, gdy realizuje to bezpośrednio projektant-programista.
- Prezentowane propozycje w publikowanych opracowaniach etapów: I, II, III i IV należy traktować jako jeden z możliwych punktów odniesienia dla znajdowania obiektywnej prawdy naukowej.

Zdajemy sobie sprawę, że szereg problemów nie znalazło jeszcze swoich rozstrzygnięć w niniejszym opracowaniu. W dalszym ciągu autorzy niejednoznacznie określili:

- ◆ skąd będą pozyskiwane w modelu dane o wschodach i zachodach słońca?;
- ◆ czy model ma się odwoływać do baz danych meteorologicznych z kilku poprzednich lat?;

- ◆ czy uśredniać wartości poszczególnych parametrów i reprezentować je w modelu?;
- ◆ w jaki sposób zapewnić zmianę warunków meteorologicznych dla wszystkich uczestników gry symulacyjnej?;
- ◆ czy sterowanie wszystkimi zjawiskami METEO w modelu ma być ręczne czy automatyczne (poprzez zaimplementowanie odpowiednich algorytmów w programie)?

Te i szereg innych dylematów na etapie koncepcji/pomysłu nie da się jednoznacznie rozstrzygnąć. W zależności od wyboru kompilatora, sprzętu, ograniczeń czasowych i środków finansowych przeznaczonych na ten cel będą zależały szczegółowe rozwiązania. Nie mniej jednak zasadnicze idee przedstawione w poszczególnych rozdziałach nie powinny ulec zmianom.

Bibliografia

1. Blinn J., Light reflection functions for simulation of clouds and dusty surfaces, *Computer Graphics*, 16, 1982.
2. Foley, van Dam, Feiner, Hughes: *Computer Graphics: Principles and Practice*, Second Edition, Wesley Publishing Company, Inc., 1990.
3. Gardner G.Y., Visual simulation of cloud,. *Computer Graphics*, 19, 1985.
4. Halama A., *Obrona przeciwlotnicza w specyficznym środowisku walki*, AON, Warszawa, 1998.
5. Halama A., *Obrona powietrzna ogólnowojskowego związku taktycznego w szczególnych warunkach fizycznogeograficznych* , rozprawa doktorska, AON, Warszawa, 1996.
6. Jafernik H., Wilczek Z., Ziarko J., *Meteorologiczna osłona działań lotnictwa*, Dom Wydawniczy Bellona, Warszawa 2000.
7. Kajiya J., Ray tracing volume density, *Computer Graphics*, 18, 1984.
8. Klejnowska E., Klejnowski R., *Uwarunkowania meteorologicznej osłony lotnictwa*, WLOP 206/95, Poznań 1995.
9. Knuth D, *Sztuka programowania*, Tom 1, 2, 3, WNT, Warszawa 2002.
10. *Procedury służb żeglugi powietrznej, Operacje statków powietrznych*, Ministerstwo Transportu i Gospodarki Morskiej, Główny Inspektorat Lotnictwa Cywilnego, Tom I – *Procedury lotu (PL 9168 t.1)*, wydanie drugie, Warszawa 1997.

11. Państwowy Instytut Hydrologiczno-Meteorologiczny, Kurs meteorologii ogólnej, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1969.
12. Liberty J., Księga eksperta C++, Helion, Gliwice, 2002.
13. Regulamin Lotów lotnictwa Wojskowego Rzeczypospolitej Polskiej (RL-2000), WLOP 311/2001, Poznań 2001.
14. Retallack B. J., Podstawy meteorologii, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa 1991.
15. Sadowski Z., Meteorologia wojskowa i lotnicza, WAT, Warszawa 1977.
16. Starkel L.: Geografia Polski. Środowisko przyrodnicze. WN PWN, Warszawa 1991.
17. System Monitoringu i Osłony Kraju, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa 1999.
18. Zdrodowski B., Zych J. Model działań powietrznych, etap I, Model taktycznych działań powietrznych, AON, Warszawa 2002.
19. Zdrodowski B., Zych J. Model działań powietrznych, etap II, Rozpoznanie i zarządzanie zasobami w modelu działań powietrznych, AON, Warszawa 2002.
20. Zdrodowski B., Zych J. Model działań powietrznych, etap III, Teren w modelu działań powietrznych, AON, Warszawa 2003.
21. Zych J., II Międzynarodowa Konferencja: Media a edukacja, eMPI2, Poznań, 1998.

22. Zych. J., IX Konferencja Naukowa - Sterowanie i regulacja w radiolokacji i obiektach latających "Komputerowa gra symulacyjna - wybrane elementy pola walki" (Jelenia Góra 16-18 czerwca 1998).
23. Zych. J., Model walki sił obrony powietrznej szczebla taktycznego, Rozprawa doktorska AON, Warszawa, 2002.

