

Wokół równania transportu – kontynuacja.

Model propagacji tlenków siarki (wg. P. Holnicki, *Modele propagacji zanieczyszczeń atmosferycznych w zastosowaniu do kontroli i sterowania jakością środowiska*, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2006)

Przykładem modelu dynamicznego rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń atmosferycznych w skali miejsko-regionalnej jest model propagacji tlenków siarki opisywana za pomocą układu dwóch równań adwekcji-dyfuzji opisujących odpowiednio zanieczyszczenia pierwotne (SO_2) oraz wtórne (SO_4^-):

$$\frac{\partial c_1}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla c_1 - \nabla K \nabla c_1 + (v_{d1} + k_{w1} + k_t) c_1 = (1 - \beta) Q$$

$$\frac{\partial c_2}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla c_2 - \nabla K \nabla c_2 + (v_{d2} + k_{w2}) c_2 - k_t c_1 = \beta Q$$

Dodatkowo należy zdefiniować warunki brzegowe i warunek początkowy.

Oznaczenia:

c_1, c_2 - stężenie zanieczyszczeń pierwotnych oraz wtórnych

\mathbf{v} - wektor pola wiatru

K - współczynnik dyfuzji

Q - uśrednione pole emisji

v_{d1}, v_{d2} - prędkość suchej depozycji dla zanieczyszczeń pierwotnych oraz wtórnych

v_{k1}, v_{k2} - współczynnik wymywania zanieczyszczeń

k_t - współczynnik przemian chemicznych $SO_2 \rightarrow SO_4^-$

β - względny udział SO_4^- / SO_2 w emisji.

Wyznaczanie zasięgu rozprzestrzeniania się chmur gazowych w przypadku skażenia atmosfery gazami toksycznymi.

Modele wykorzystywane przez jednostki operacyjne Państwowej Straży Pożarnej oraz Inspektoraty Ochrony Środowiska. Przykładem takiego programu jest program „Obłok”. (Obok programów „Chmura” i „Gasmal P”).

Wybrane parametry:

- baza charakterystyk właściwości fizyko-chemicznych substancji niebezpiecznych;
- warunki meteorologiczne: kierunek i prędkość wiatru oraz temperatura na różnych wysokościach;
- uwzględnia się różne rodzaje pokrycia terenu, mające wpływ na szybkość przemieszczania się chmury gazowej (współczynnik szorstkości).
- model transportu bazuje na procesach adwekcji i dyfuzji; stąd konieczność podania tych współczynników;

Jako wynik działania programu otrzymuje się rozkład stężenia gazu oraz przekrój obłoku gazu w różnych płaszczyznach. Możliwe jest obliczenie stężenia substancji w dowolnym punkcie przestrzeni.

Modele te bazują na polu wiatru.

Do wyznaczenia pola wiatru wykorzystuje się **modele diagnostyczne** oraz **prognostyczne**.

Meteorologiczny model diagnostyczny pozwala wyznaczać przestrzennie zróżnicowane stacjonarne pola meteorologiczne na podstawie pomiarów z sieci meteorologicznych. Z modeli diagnostycznych uzyskuje się najczęściej pole wiatru. W działaniu modeli diagnostycznych wyróżnia się dwa etapy: celem pierwszego etapu jest wyznaczenie 'początkowego pola wiatru' w punktach siatki obliczeniowej przez interpolację lub ekstrapolację pomiarów prędkości wiatru ze stacji meteorologicznych. Etap drugi obejmuje wyznaczenie 'końcowego pola wiatru' spełniającego narzucone fizyczne wymuszenia. Na tym etapie jest możliwe zastosowanie algorytmów umożliwiającymi uwzględnianie efektów związanych ze skomplikowaną topografią terenu lub ruchy powietrza spowodowane nagrzewaniem i oziębianiem zboczy górskich.

W **meteorologicznym modelu prognostycznym** korzysta się z numerycznego rozwiązania dwuwymiarowych lub trójwymiarowych równań opisujących procesy atmosferyczne. Model ten dostarcza zmiennych w czasie i przestrzeni pól wiatru, turbulencji i innych wielkości meteorologicznych w dowolnych warunkach terenowych.

W działaniu modeli prognostycznych można wyróżnić dwa etapy. Etap pierwszy obejmuje: wybór układu współrzędnych, wybór numerycznej metody całkowania układu równań opisujących procesy atmosferyczne, określenie granic i przeprowadzenie dyskretyzacji obszaru modelowania, wyznaczenie warunków początkowych i warunków brzegowych w obszarze modelowania.

W drugim etapie znajdowane jest przybliżone rozwiązanie układu równań różniczkowych cząstkowych wyrażających procesy atmosferyczne.

W ten sposób doszliśmy do **numerycznej prognozy pogody**.

W modelach numerycznych pola meteorologiczne są opisywane przez skończoną liczbę punktów. Obliczenia wykonywane są w punktach nazywanych węzłami siatki. Odległość w poziomie pomiędzy sąsiednimi węzłami definiuje poziomą rozdzielczość modelu. Im jest ona mniejsza tym rozdzielczość jest lepsza i więcej szczegółów może być uwzględnionych w modelu. Aby można było prawidłowo przewidzieć pogodę należy przeprowadzić obliczenia nie tylko dla powierzchni Ziemi, ale również dla wyższych poziomów atmosfery. Na to co się dzieje przy powierzchni Ziemi mają zwłaszcza duży wpływ procesy zachodzące w najniższej części atmosfery nazywanej *warstwą graniczną* (w zależności od warunków meteorologicznych warstwa ta może mieć zasięg od kilkuset metrów do kilku kilometrów, chociaż średnio przyjmuje się za jej wysokość 1 km). Liczba poziomów i ich rozkład w pionie definiują pionową **rozdzielczość modelu**.

Procesy zachodzące w atmosferze charakteryzują się szerokim zakresem skal przestrzennych. O ile ruchy wielkoskalowe mogą być dosyć dobrze opisane przez model, to procesy charakteryzujące się małą skalą mogą być albo opisane niedokładnie, albo znaleźć się *poza zdolnością rozdzielczą modelu*. Procesy zachodzące w małej skali często mają jednak duże znaczenie i nie można ich pominąć. Dlatego stosuje się **parametryzacje**, które mają na celu uwzględnienie wpływu procesów małej skali na zjawiska o większej skali. Przykładem zjawiska wymagającego parametryzacji jest *konwekcja*, która jest ważnym procesem w pionowej wymianie ciepła i wilgotności w atmosferze. Jej skala (1-10 km) jest znacznie mniejsza niż rozdzielczość obecnie używanych modeli.

Stosowane modele numeryczne można podzielić na: **modele globalne** (pokrywające całą kulę ziemską), **modele regionalne** i **modele mezoskalowe**. Wszystkie modele charakteryzują się określoną rozdzielczością. Najlepiej gdy ta rozdzielczość jest jak największa. Zwiększenie

rozdzielczości oznacza zmniejszenie kroku siatki, a to prowadzi do wzrostu liczby punktów, w których należy przeprowadzić obliczenia.

Idealnym rozwiązaniem byłby **model globalny pracujący z dużą rozdzielczością**. Jednak w takim modelu byłoby bardzo dużo punktów, w których należałoby liczyć prognozę. Obecnie nie możemy sobie na to pozwolić ze względu na ograniczenia tak czasowe jak i wynikające z mocy komputerów.

Często stosowanym sposobem rozwiązania tego problemu jest koncepcja zagnieżdżania modeli. Tzn. model globalny liczony jest z niezbyt dużą rozdzielczością (dużym krokiem siatki), następnie model obejmujący mniejszy obszar liczony jest z większą rozdzielczością, z kolei inny model jest liczony dla jeszcze mniejszego obszaru i z jeszcze większą rozdzielczością od poprzedniego. Każdy z modeli o dokładniejszej skali otrzymuje dla swoich wartości brzegowych atmosferyczne zmienne stanu z modelu o większej skali.

Uwagi:

Meteorologiczny model prognostyczny to bardzo poważna sprawa i raczej nie dla amatorów. O ile modele wcześniej przez nas omawiane mogą z powodzeniem być wykorzystywane przez laików, to zdecydowanie nie dotyczy to modeli meteorologicznych. Zarówno z powodu zasobów komputerowych jak i złożoności całego procesu. Inną sprawą jest korzystanie z wyników dostarczanych przez takie modele.

Istnieje i jest wykorzystywanych wiele modeli numerycznych (np. w IMGW modele Aladin, w ICM modele UMPL i Coamps).

Model numeryczny UMPL (*Unified Model for Poland Area*), działający operacyjnie w ICM od maja 1997 roku, jest mezoskalową wersją opracowanego w Wielkiej Brytanii i stosowanego przez Brytyjską Służbę Meteorologiczną modelu prognostycznego Unified Model (UM).