

Stefan Reichhart

O PROGNOZIE POTENCJALNYCH WARUNKÓW ZANIECZYSZCZENIA ATMOSFERY

ON FORECASTING OF ATMOSPHERIC POLLUTION POTENTIAL

Wzrastająca liczba mieszkańców świata, jak również szybki i niekontrolowany rozwój megamiast wywołują pilną potrzebę informacji, przewidywania i wczesnego ostrzegania o pojawianiu się niebezpiecznych zanieczyszczeń powietrza. Takie próby powinny być i często już są kierowane do narodowych służb meteorologicznych. Operacyjny oddźwięk na taką potrzebę może być spotykany w rzeczywistości głównie poprzez prognozę potencjalnych warunków zanieczyszczenia atmosfery, opartą na produktach numerycznych, mezoskalowych modeli, odpowiednio rozwijających się i dostosowanych do spełniania wymagań użytkowników.

WSTĘP

Rosnące zmiany w jakości sprzężenia zwrotnego pomiędzy oddziaływaniem środowiska naturalnego (a atmosferycznego w szczególności) na człowieka i odwrotnie, będą miały miejsce w sytuacji, gdy obserwuje się, jak w ostatniej dekadzie, przyspieszony wzrost miast w krajach rozwijających się. Niekontrolowany napływ ludności doprowadził do narodzin dużych metropolii – megamiast. W roku 2000 liczba miast powyżej 1 mln mieszkańców wzrośnie 3-krotnie w porównaniu z 52 takimi miastami w 1982 r. Prognozuje się ponadto, że w roku 2050 prawie 60% populacji na świecie będzie żyło w miastach.

Ten wzrost liczebności mieszkańców miast będzie prowadził – oczywiście – do powiększenia obszarów zurbanizowanych i zwiększenia intensywności oddziaływania klimatu miejskiego. Ze względu na zmiany w użytkowaniu gruntów, bilansie wodnym i bilansie promieniowania oraz energii oddziaływania tych czynników ulegną modyfikacji. Ponadto nastąpią zmiany w „klimacie chemicznym” przyziemnych warstw atmosfery na skutek emisji zanieczyszczeń ze źródeł przemysłowych i transportu samochodowego.

W zasadzie „koktajl” zanieczyszczeń powietrza w atmosferze miejskiej może dramatycznie się zmienić w konsekwencji globalnego ocieplenia oraz zmniejszania zawartości ozonu stratosferycznego. Na skutek działania źródeł antropogenicznych zwiększy się ilość ozonu, NO_2 i innych składowych, a zwłaszcza węglowodorów ze źródeł naturalnych (wegetacja).

Stąd negatywne oddziaływanie zanieczyszczeń powietrza (stres) będzie wzrastać w miastach, szczególnie strefy tropikalnej i zwrotnikowej.

BRAKI ISTNIEJĄCYCH ROZWIĄZAŃ ANALITYCZNYCH

Z punktu widzenia meteorologii zagadnienie zanieczyszczenia atmosfery można rozpatrywać na drodze analizy mikrometeorologicznej lub na drodze badania stosunków klimatycznych czy też w skali mezometeorologicznej.

Badania mikrometeorologiczne, zarówno teoretyczne, jak i doświadczalne, opierają się na teorii turbulencji i dyfuzji atmosferycznej, rozwiniętej pierwotnie przez Suttona. Posługiwanie się jednak konkluzjami z tej teorii wynikającymi, przy wyciąganiu często bardzo daleko idących wniosków dotyczących zagrożenia terenów przez zanieczyszczenia atmosfery, wymaga bardzo dużej ostrożności, czego niestety nie obserwuje się w szeregu opracowaniach mających charakter praktyczny. Zapomina się bowiem o podstawach tej teorii, o metodzie badawczej, którą posługuje się mikrometeorologia (Sutton 1953, 1960).

W badaniach mikrometeorologicznych warunki, w jakich znajduje się powietrze atmosferyczne, w rozpatrywanym okresie, przyjmuje się jako znane z założenia. Badacz zajmuje się wyłącznie pewnym określonym, założonym w jego teorii stanem atmosfery oraz tylko tym czasem, w którym ten określony i zdefiniowany stan atmosfery trwa. Tak więc otrzymane wyniki odnoszące się wyłącznie do tego zdefiniowanego stanu i okresu będą bezwartościowe, gdyż pozbawione są podstaw fizycznych przy zaistnieniu warunków innych od założonych. I tylko w wypadku, gdy będziemy mieli do czynienia w atmosferze ze stanem postulowanym, wyniki pomiarów będą zgodne z wartościami otrzymanymi na drodze teoretycznej. Z doświadczenia wiemy jak rzadko jednak warunek ten jest spełniony.

Niezbędne przy tym jest, by jednoznacznie była zdefiniowana zarówno skala przestrzenna (pozioma i pionowa), jak również skala czasowa. Trudno tworzyć bowiem zadowalające modele statystyczne bez spełnienia powyższego warunku ze względu na duże i gwałtowne nieregularności i niejednorodności podścielającej powierzchni zabudowy miejskiej.

Tak więc proponowane metody słuszne są wyłącznie w warunkach wyidealizowanych. Szczególnie – co należy podkreślić – nie można oczekiwać, by dostarczyły one realnych wniosków w warunkach, gdy:

- a) nie spełniony jest warunek izotropowości atmosfery;
- b) ruch powietrza jest nie zdefiniowany (np. przy występowaniu ciszy);
- c) obserwuje się stałą lub obojętną równowagę termodynamiczną atmosfery;
- d) istnieją lokalne zakłócenia w przepływie powietrza, np. w bliskości przeszkód terenowych czy budynków;

e) przepływ powietrza ograniczony jest np. brzegami doliny czy też zakłócony lokalną cyrkulacją wywołaną zróżnicowanym nagrzewaniem i ochładzaniem w wyniku fizjografii terenu.

Trzeba przy tym pamiętać, że mamy do czynienia z obszarem zabudowanym. Termiczna i dynamiczna struktura atmosfery miejskiej powodują większą złożoność dyfuzji w obszarach zurbanizowanych, a tym samym trudności w jej opisie matematycznym. Topografia i zagospodarowanie powierzchni gruntu modyfikują poziome i pionowe gradienty wiatrów oraz generują turbulencję dynamiczną. Poziom turbulencji jest więc wyższy niż w obszarze pozamiejskim. Przyrost prędkości wiatru z wysokością jest znacznie wolniejszy w porównaniu z obszarami poza miastem, stąd współczynniki przyrostu prędkości z wysokością są różne.

W dodatku wiatr w obszarze zabudowanym modyfikowany jest ukierunkowaniem ulic, wielkością, gęstością i wysokością zabudowy, rozmieszczeniem budynków o różnej wielkości w stosunku do kierunku wiatru. Miejskie pole wiatru charakteryzuje się mniejszą prędkością, ale i większą zmiennością prędkości i turbulencji w porównaniu z obszarem nie zabudowanym.

Tak więc obszary miejskie tworzą strefę przejściową zmian wiatru, temperatury i charakterystyk turbulencji pomiędzy powierzchnią zabudowy a niezakłóconym przepływem nad „kopułą powietrza miejskiego”, tzw. miejską warstwą graniczną.

W sumie więc dotychczasowe metody analityczne zawodzą całkowicie, zwłaszcza w warunkach inwersji w dolnej atmosferze, a więc przy stanie atmosfery szczególnie niebezpiecznym z rozważanego tu punktu widzenia, przy których właśnie obserwowano większość znanych wypadków maksymalnej, długotrwałej, zwiększającej się z doby na dobę koncentracji zanieczyszczeń powodującej nawet ofiary w ludziach (Reichhart 1963, 1968).

POJĘCIE POTENCJALNYCH WARUNKÓW ROZPRZESTRZENIANIA SIĘ ZANIECZYSZCZEŃ

Wydaje się, iż największym brakiem metody mikrometeorologicznej, a tym samym wielu z istniejących wzorów na dyfuzję w atmosferze, jest fakt, że nie dają one pełnej, sumarycznej charakterystyki zagrożenia terenu różnymi zanieczyszczeniami, nie pozwalają na uchwycenie pełnego bilansu zanieczyszczenia atmosfery. Stosowane bezkrytycznie, często zupełnie

mechanicznie, mogą prowadzić do zbyt optymistycznych ocen stopnia zagrożenia terenu, bowiem z braku dokładnych danych pomiarowych opierają się na mniej lub bardziej spekulatywnych danych uzyskiwanych ze standardowych opracowań meteorologicznych nie dostosowanych do tego celu. Chodzi nam przecież nie tylko o zanieczyszczenia emitowane z poszczególnych źródeł przemysłowych (tzw. źródła punktowe), ale również będące produktami spalania do celów grzewczych (źródła powierzchniowe), a przede wszystkim spalania materiałów pędnych (źródła liniowe), które swą ilością nawet w silnie uprzemysłowionych ośrodkach przy znacznie rozwiniętej trakcji samochodowej transportu i komunikacji, wielokrotnie przewyższają zanieczyszczenia pochodzenia przemysłowego. Należy przy tym pamiętać, że mamy do czynienia z zanieczyszczeniami pierwotnymi pochodzącymi z: palenisk domowych (dym, SO_2), przemysłowych źródeł ciepła i energii, produkcji przemysłowej środków transportu (np. NO_x , CO, pyły (głównie $< 10 \mu\text{m}$), metale ciężkie – ołów i rtęć) oraz zanieczyszczeniami wtórnymi – powstającymi w atmosferze w wyniku przekształceń chemicznych zanieczyszczeń pierwotnych (np. O_3 , NO_2 , kwas siarkowy, azotowy i wiele innych).

W sumie słabsze prędkości wiatru i silna wyspa ciepła powodują, że cały obszar miejski działa jak pojedyncze źródło objętościowe, a przy silnych wiatrach w regionie poza miastem ta „miejska smuga zanieczyszczeń” może przemieszczać się z wiatrem na duże odległości.

Dlatego też bardziej celowe byłyby opracowania zmierzające do określenia potencjalnego zanieczyszczenia atmosfery danego obszaru czy regionu geograficznego. Termin ten zawiera zdolność atmosfery do rozpraszania zanieczyszczeń, która jest funkcją parametrów meteorologicznych i topograficznych. Stąd potencjalne zanieczyszczenia atmosfery danej miejscowości czy regionu może być analizowane bez względu na obecność lub też brak źródeł zanieczyszczeń. Podstawowymi parametrami są tu:

- wysokość warstwy mieszania ograniczona w pionie inwersją temperatury,
- mezoskalowe wskaźniki dyfuzji w warstwie mieszania,
- prognoza stagnacji układu ciśnienia (Holzworth 1972, 1974; Munn 1972).

NOWE MOŻLIWOŚCI ROZWIĄZAŃ

Polegają one na wykorzystaniu numerycznych mezoskalowych modeli prognostycznych pozwalających na operacyjną analizę i prognozę stanu atmosfery w czasie rzeczywistym (co 3 godz.). Produkty tych modeli, zwłaszcza przy szczegółowej parametryzacji i uwzględnieniu fizjografii terenu

oraz stanu podłoża, pozwalają nie tylko na prognozę warunków potencjalnych, ale również uwzględnienie tła zanieczyszczeń oraz importu transgranicznego w badanym regionie. Dobrym przykładem takiego rozwiązania może być system TRAMPER – Tropospheric Realtime Applied Meteorological Procedure for Environmental Research – procedury zastosowań w czasie rzeczywistym danych meteorologicznych do badań środowiska, opracowany w Instytucie Meteorologii Uniwersytetu w Berlinie (Reimer i in. 1995). System ten służy do analizy, opisu i prognozy epizodów dużego zanieczyszczenia atmosfery, jak również koncentracji ozonu w warstwie granicznej. Szczególnie istotny jest tu program TRIP – TRacer Image Package – Interaktywny program wizualizacji. Zawiera on moduły:

- a) TRACER – tory cząstek i smugi dymu;
- b) IMAGER – obrazy satelitarne (METEOSAT, NOAA), połączenie obrazów satelitarnych z analizowanymi danymi meteorologicznymi;
- c) ANALYZER – przekroje pionowe, obraz przestrzenny żądanych pól parametrów oraz wysokość warstwy mieszanania.

Tak więc system łączy w sobie:

- analizę podstawowych zmiennych w troposferze;
- analizę zmiennych w warstwie granicznej (m. in. wysokość warstwy mieszanania, strumienie ciepła) oraz parametrów chmur z wykorzystaniem obserwacji synoptycznych w czasie rzeczywistym;
- trajektorie przemieszczania się cząstek dla wybranych lokalizacji i źródeł emisji na różnych wysokościach oraz obraz przemieszczania się smug dymów;
- Eulerowski model transportu (REM 3), szczególnie dla regionalnych scenariuszy symulacyjnych;
- aktualną prognozę statystyczną dolnego ozonu dla wybranych lokalizacji.

ZAKOŃCZENIE

Jednym z wniosków-zaleceń odbytego niedawno spotkania ekspertów WMO nt. Zanieczyszczenia atmosfery w miastach i rola narodowych służb meteorologicznych (1997, WMO, GAW, No 115) dotyczy zbadania możliwości formułowania prognoz i informacji dotyczących jakości powietrza atmosferycznego i ogłaszania ostrzeżeń o możliwości wystąpienia wysokich stężeń. Cel ten realizowany jest już z powodzeniem w niektórych krajach rutynowo, właśnie poprzez prognozy potencjalnych warunków zanieczyszczenia atmosfery dla dużych regionów, jak również w skali mezo- dla obszarów zurbanizowanych. Są one niejednokrotnie uzupełniane charakterystykami obserwowanego

stanu zanieczyszczeń lokalnych (tło) oraz transportu zanieczyszczeń z obszarów przyległych.

Należy podkreślić, że rozwój nauki i zastosowań obserwacji w skali subsynoptycznej oraz prognoz mezoskalowych dla obszarów zurbanizowanych uległ gwałtownemu przyspieszeniu. Nowe techniki obserwacyjne (radar dopplerowski, lidar, radar akustyczny itp.) dostarczają danych mezoskalowych, poprzednio niedostępnych, a umożliwiających bardziej szczegółową parametryzację modeli numerycznych.

Również rozwijające się badania w zakresie mezoskalowych modeli numerycznych, struktury miejskiej warstwy granicznej oraz chemicznej transformacji zanieczyszczeń dostarczają nowych narzędzi badawczych i informacji umożliwiających ocenę stanu atmosfery.

LITERATURA

- Holzworth G. C., 1969, *Large Scale Weather Influences on Community Air Pollution Potential in the United States*, J. Air Poll. Cont. Assoc., No 19
- Holzworth G. C., 1972, *Mixing Heights, Wind Speeds, and Potential for Urban Air Pollution Throughout the Contiguous United States*, [w:] US E.P.A. Office of Air Programs Publication, No AP-101, North Carolina, USA
- Holzworth G. C., 1974, *Climatological Aspects of the Composition and Pollution of the Atmosphere*, WMO, Techn. Note, No 139, Geneva
- Munn R. E. (Ed.), 1972, *Dispersion and Forecasting of Air Pollution*, WMO, Techn. Note, No 121, Geneva
- Niemeyer L. E., 1960, *Forecasting Air Pollution Potential*, Month. Wea. Rev., Vol. 88, Washington, USA
- Parczewski W., 1965, *Rola wiodących czynników meteorologicznych w rozprzestrzenianiu się tlenków siarki w atmosferze*, Wiad. Służby Hydrol. i Meteor. z. 59
- Reichhart S., 1963, *Zanieczyszczenie atmosfery w świetle warunków meteorologicznych, ze szczególnym uwzględnieniem parametrów anemometrycznych*, [w:] *Konf. Nauk.-Techn. „Ochrona atmosfery, wód i gleby a planowanie przestrzenne”*, cz. 2, NOT, Wrocław
- Reichhart S., 1968, *Charakterystyka warunków klimatycznych rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń na przykładzie Wrocławia*, [w:] *Konf. Nauk.-Techn. PZITS Oddział Wrocław*, nr 75
- Reimer E., Stern R. Weiss W., Berendorf K., 1995, *Meteorological diagnostics for regional air pollution analysis in summertime*, [w:] *Symp. PTGeof. i IMGW „Ocena i stan środowiska przyrodniczego Polski i innych krajów”*. Jachranka 10–13 października 1995
- Report of the Meeting of the Taskforce on TRUCE. 1997*, WMO World Climate Programme Application and Services (WCASP) – 40 (Geneva, 14–16 Oktober 1996)
- Report of the Meeting of Experts on Atmospheric Urban Pollution and the Role of NMCs. 1997*, WMO Global Atmosphere Watch, No 115 (Geneva, 7–11 Oktober 1996)
- Sutton O. G., 1953, *Micrometeorology*, Mc Graw-Hill Book Co., London
- Sutton O. G., 1960, *Atmospheric Turbulence*, Methuen Co., London

Instytut Meteorologii i Gospodarki
Wodnej w Warszawie

SUMMARY

Growing world population as well as rapid and uncontrolled development of megacities evoke urgent demand for information, forecasting and early warnings of dangerous air pollution episodes. Such requests will be, and often already are directed to national meteorological services. Operational response to such requests could be met in reality mainly by forecasting of atmospheric pollution potential, based on the products of mesoscale numerical models, properly developed and adapted to meet users requirements.