

Wędrujące toksyny

PIOTR HOLNICKI

ZBIGNIEW NAHORSKI

Instytut Badań Systemowych, Warszawa

Polska Akademia Nauk

Piotr.Holnicki@ibspan.waw.pl

Zbigniew.Nahorski@ibspan.waw.pl

Większość zanieczyszczeń atmosferycznych przemieszcza się na duże odległości, przekraczając granice państw. Depozycja szkodliwych związków może mieć nawet charakter globalny

Pierwszym sygnałem dotyczącym tzw. transgranicznego przepływu zanieczyszczeń powietrza w Europie było stwierdzenie w latach 60. ubiegłego wieku szybko postępującego procesu zakwaszenia i eutrofizacji jezior skandynawskich, czego nie można było wytłumaczyć emisjami

z danego kraju. Przyczyną, jak się wkrótce okazało, były napływ i depozycja kwaśnych zanieczyszczeń, głównie tlenków siarki i tlenków azotu, z innych krajów europejskich, z istotnym udziałem Polski. Podobne procesy spowodowały degradację lasów sudeckich. Zanieczyszczenia obszaru tzw. czarnego trójkąta pochodziły z elektrowni opalanych węglem brunatnym zlokalizowanych na styku granic Polski, Czech i Niemiec. Stało się oczywiste, że zjawiska te mogą być kontrolowane i ograniczane w sposób kompleksowy jedynie w ramach skoordynowanej współpracy międzynarodowej. Pierwszą ważną inicjatywą w tym kierunku było podpisanie „Konwencji o przenoszeniu zanieczyszczeń powietrza na duże odległości” (LRTAP – *Long-Range Transboundary Air Pollution*, Genewa 1979).

Przy tak złożonym zagadnieniu nie sposób obejść się bez modeli komputerowych. Najdłużej (od 1983 roku) wykorzystywanym operacyjnie narzędziem do oceny stanu zanieczyszczenia atmosfery w skali europejskiej jest opracowany



www.sxc.hu

Energetyka i przemysł to jedne z głównych źródeł zanieczyszczenia atmosfery

Zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego

w ramach LRTAP model EMEP. Jego zadaniem jest m.in. kontrola realizacji ustaleń konwencji genewskiej. Model pracuje w centrum obliczeniowym MSC-W w Norweskim Instytucie Meteorologicznym (Oslo).

W Polsce prace nad modelami przenoszenia zanieczyszczeń atmosferycznych rozpoczęto jeszcze w latach 60. ubiegłego wieku. Na zlecenie Ministerstwa Administracji, Gospodarki Terenowej i Ochrony Środowiska przygotowano proste modele rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w atmosferze. Od tej pory opracowano w Polsce lub zaadaptowano kilkadziesiąt programów o zróżnicowanym stopniu zaawansowania, jednak w zdecydowanej większości miały one charakter poznawczy lub były stosowane tylko do pojedynczych epizodów.

Przenoszenie zanieczyszczeń

Zanieczyszczenia dostają się do atmosfery zarówno ze źródeł naturalnych (na przykład erupcja wulkanów, emisja oceanów, zanieczyszczenia organiczne), jak i na skutek działalności człowieka. Mogą występować w różnych postaciach, np. gazowej (SO_2 , CO_2 , NO_x , NH_4 , O_3), trójfazowej (aerozole) lub dwufazowej (zanieczyszczenia pyłowe, mikroorganizmy). Zanieczyszczenia pierwotne, czyli emitowane bezpośrednio ze źródeł, podlegają w atmosferze reakcjom chemicznym, których wynikiem jest powstawanie zanieczyszczeń wtórnych, często nawet groźniejszych dla środowiska. Głównymi gazowymi zanieczyszczeniami wtórnymi są związki azotu: dwutlenek azotu NO_2 powstający z pierwotnego zanieczyszczenia NO i ozon O_3 powstający w wyniku reakcji fotochemicznych. Chociaż wysokie stężenie ozonu jest bardzo pożądane w stratosferze, gdzie stanowi on filtr dla szkodliwego promieniowania ultrafioletowego docierającego do Ziemi, to w troposferze wpływa szkodliwie na zdrowie ludzkie i roślinność, a do tego jest wtedy gazem cieplarnianym. Zmniejszanie stężenia ozonu troposferycznego nie wpły-

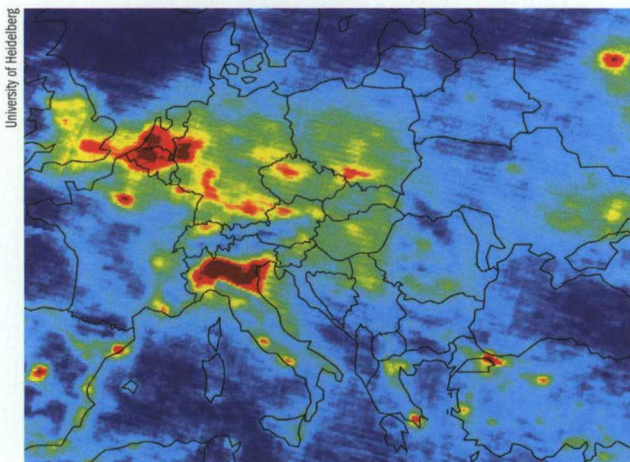
wa na stężenie ozonu stratosferycznego, gdyż w zasadzie nie mieszają się one. Ze względu na łatwe wiązanie się z NO czas życia ozonu w warstwie przyziemnej jest dosyć krótki. Jednak w wyższych warstwach troposfery może on mieć czas życia od kilku dni nawet do dwóch tygodni. W tym czasie może przebyć znaczne odległości i, gdy spły- nie niżej, silnie wpływać na istniejące tam stężenie.

Coraz więcej studiów epidemiologicznych w tej dziedzi- nie wskazuje na istotny wpływ stężenia drobnych pyłów PM_{10} , a w szczególności $\text{PM}_{2.5}$, na zwiększenie zachoro- walności na choroby układu oddechowego i układu krążenia oraz związaną z tym podwyższoną śmiertelność. Pyły mogą być pierwotne lub wtórne, być zarówno pochodzenia antro- pogenne, jak i biogenne, organiczne i nieorganiczne. Pyły antropogenne są emitowane z procesów spalania paliw, z procesów przemysłowych, z transportu, a także z rolnictwa. Drobne pyły, podobnie jak gazy, przemiesz- czają się na duże odległości. Prócz tego niektóre związki gazowe tworzą aerozole zawierające pyły o bardzo małych średnicach. Technologie ograniczające emisje gazów wpły- wają wobec tego również na emisję pyłów. Dlatego opracowanie strategii redukcji drobnych pyłów możliwe jest tylko w powiązaniu ze strategiami dla gazów.

Modele i ich zastosowania

Kontrola i planowanie jakości środowiska nie ogranicza się jedynie do monitorowania przekroczeń wymaganych standardów. Coraz częściej formułowane są zadania do- tyczące wyznaczania pewnych strategii redukcji emi- sji. W ramach Unii Europejskiej prowadzi się badania nad określeniem i wdrożeniem strategii redukcji emisji zanieczyszczeń pozwalającej w maksymalnym stopniu zmniejszyć istniejące zagrożenia dla ekosystemów i zdro- wia człowieka. Opracowywane są modele zintegrowanej oceny (*Integrated Assessment Models, IAM*) łączące w sobie modele emisji zanieczyszczeń, ich rozprzestrzeniania się w atmosferze (z uwzględnieniem wzajemnych interakcji poszczególnych związków, przemian chemicznych, zmian stanu skupienia itp.), wrażliwości poszczególnych ele- mentów środowiska i zdrowia ludzkiego na poszczególne zanieczyszczenia, opcji ochronnych i kosztów redukcji emisji. Rozwiązania takie pozwalają w sposób ilościowy ocenić efektywność ekonomiczną konkretnych rozwiązań w dziedzinie ochrony środowiska i porównywać różne sce- nariusze, np. pod kątem alternatywnych technologii wytwarzania energii, wykorzystania alternatywnych źródeł, dostępnych metod ograniczania emisji oraz ich kosztów.

Dla badań w skali kraju lub regionu kraju absolutnie niezbędna jest dokładniejsza inwentaryzacja źródeł emisji, a także dokładniejsze modelowanie dyspersji zanieczysz- czeń zwłaszcza ze źródeł LCP (*Large Combustion Plants*) oraz przyjęcie drobniejszej siatki dla źródeł rozproszo- nych. Większe kraje powinny mieć również zapewnioną współpracę krajowego modelu z modelami dla poszcze-



Poglądowy rozkład średniorocznej wartości stężeń NO_2 w roku 2004 (metoda pomiaru: VDC - Vertical Column Density)



EADS Astrium

Zdjęcie aparatury Evsat (ESA) obserwującej atmosferę ziemską

gólnych prowincji (w Polsce wojewódzkimi), działającymi w odpowiednio mniejszej skali przestrzennej. Dopiero te modele będą mogły służyć do planowania programów naprawczych, gdyż muszą one być implementowane dla konkretnego obszaru. Za pośrednictwem modelu ogólnokrajowego uzyskuje się koordynację procesów przepływu zanieczyszczeń między prowincjami.

Biorąc pod uwagę zalety takiego systemu, niektóre państwa zaczęły budować krajowe systemy komputerowe do zintegrowanej oceny zanieczyszczeń (IAM). O wadze zagadnienia świadczy duże zainteresowanie siecią europejską NIAM (*Network for Integrated Assessment Modelling* - www.niam.scarp.se), mającą na celu wymianę doświadczeń oraz ustalenie standardów dla takich systemów. Do sieci należą zespoły z Austrii, Belgii, Finlandii, Hiszpanii, Holandii, Irlandii, Kanady, Niemiec, Szwecji, Wielkiej Brytanii, Włoch, a także z Polski: z AGH, Instytutu Badań Systemowych PAN, Instytutu Ekologii Terenów Przemysłowych, Zakładu Ochrony i Kształtowania Środowiska, Politechniki Warszawskiej, Politechniki Gdańskiej i Uniwersytetu Wrocławskiego.

Inwestycje w ochronie środowiska mogą być niezwykle kosztowne, natomiast ich brak może spowodować dotkliwe długotrwałe skutki. Ponieważ środki będące w dyspozycji są zwykle ograniczone, należy je wykorzystać w sposób racjonalny, to jest przynoszący maksymalne skutki ochronne przy minimum koniecznych inwestycji, a to może właśnie zapewnić zastosowanie zintegrowanego modelowania.

Pomimo prowadzonych wielu prac cząstkowych w dziedzinie modelowania zanieczyszczeń powietrza Polska nie dysponuje narzędziami symulacyjnymi o odpowiednich parametrach (dyskretyzacja obszaru, inwentaryzacja emisji z poszczególnych źródeł) do zintegrowanego zarządzania jakością powietrza atmosferycznego.

Prowadzone w Polsce działania dotyczące ograniczania emisji zanieczyszczeń średnioskalowych (np. dwutlenek siarki, tlenki azotu, pyły), a w szczególności w odniesieniu do stężeń pyłu, nie pozwalają na spełnienie obowiązujących standardów, dlatego może okazać się konieczne uruchomienie kosztownych programów naprawczych. Aby możliwa była realistyczna ocena wpływu poszczególnych źródeł zanieczyszczeń oraz wybór optymalnych strategii ograniczenia wielkości emisji, Polska powinna dysponować krajowym modelem zintegrowanym IAM, dostosowanym do skali przestrzennej kraju i uwzględniającym wszystkie istotne dla tej skali parametry. Niestety, opracowanie takiego systemu modeli obejmujących całościowo zagadnienia emisji zanieczyszczeń, rozprzestrzeniania się ich w atmosferze, skutków dla zdrowia ludzi oraz dla przyrody, a w końcu komputerowego wspomaganie podejmowania decyzji w zakresie zwalczania zanieczyszczeń atmosfery wymaga nakładów finansowych. Są kompetentne zespoły i ogólna chęć współpracy przy opracowywaniu takiego systemu, ale brakuje funduszu, który chciałby sfinansować odpowiedni projekt. ■

Chcesz wiedzieć więcej?

- Holnicki P., Nahorski Z., Źochowski A. (2000). *Modelowanie procesów środowiska naturalnego*. Warszawa: Wydawnictwa WSISiZ.
- Holnicki P. (2006). *Modelowanie propagacji zanieczyszczeń atmosferycznych w zastosowaniu do kontroli i sterowania jakością środowiska*. Warszawa: Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT.
- Jacobson M. (2005). *Fundamentals of Atmospheric Modeling*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Juda-Rezler K. (2000). *Oddziaływanie zanieczyszczeń powietrza na środowisko*. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
- Markiewicz M.T. (2004). *Podstawy modelowania rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w powietrzu atmosferycznym*. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.