

*Karol Kalúz, Iveta Miškolciová*

## **POŚREDNIE METODY OKREŚLANIA SZKODLIWYCH IMISJI**

### **Streszczenie**

Autorzy przybliżają i opisują problemy badania stopnia zanieczyszczenia powietrza.

Wyodrębniając metody bezpośrednie i pośrednie określania koncentracji substancji szkodliwych w powietrzu, skupiają się metodach pośrednich, które wykorzystują metody matematyczne rozprzestrzeniania i transformacji zanieczyszczeń. Przy ich pomocy można również określić prognozy spodziewanych stanów oraz symulować stany *ex post* przy dokumentowaniu imisji w przyszłości. Najważniejszym problemem jest wybór odpowiedniego modelu dla danego zadania oraz reprezentatywności danych wyjściowych.

Autorzy wymieniają stosowane modele w badaniach europejskich, dyskutując ich zastosowanie w badaniach w Bratysławie.

### **WSTĘP**

Zanieczyszczanie powietrza związane jest z rewolucją przemysłową i trwającym do dziś wszechstronnym rozwojem społeczeństwa. Najbardziej zauważalne przejawy degradacji powietrza wprawdzie stopniowo zanikają, ale skutki pozostają. Mówi się nawet o względnym pogorszeniu sytuacji w związku z identyfikacją następstw ukrytych, z diagnostyką nowych substancji zanieczyszczających, jak też z powodu zaostrzenia norm klasyfikujących zanieczyszczenie powietrza.

Na przestrzeni ostatnich dziesięcioleci dąży się do współpracy międzynarodowej oraz porozumienia w sprawie stopniowego obniżania emisji substancji szkodliwych do atmosfery. Republika Słowacka

konsekwentnie wypełnia w tym kierunku przyjęte zobowiązania i dotrzymuje programy obniżania produkcji podstawowych substancji zanieczyszczających. Oprócz pozytywnych rozwiązań, pozwalających na zatrzymanie przeważającej ilości emisji, znaczącą rolę odgrywa również recesja produkcji przemysłowej w Słowacji, której spodziewany rozwój zakładany jest na bezodpadowych technologiach oraz minimalizacji jej negatywnych konsekwencji, m.in. również odnośnie do produkcji zanieczyszczeń.

Z minimalizacją produkcji zanieczyszczeń wiąże się problem diagnostyki i monitoringu emisji i oraz obciążenia emisją, zwłaszcza gęsto zaludnionych przemysłowych aglomeracji. Automatyczne systemy monitorujące, podłączone do regionalnych i międzynarodowych (globalnych) sieci, przeznaczone przede wszystkim do obserwacji humanitarnych aspektów, nie są nawet dla tych celów wystarczające, a dochodzą jeszcze potrzeby monitoringu otwartych przestrzeni rolniczych i leśnych. Metody ilościowe, stosowane do rejestrowania krótkotrwałych stanów maksymalnych, są stosunkowo wymagające, jeśli chodzi o wyposażenie techniczne oraz zaplecze energetyczne. Metody sumujące są niedokładne i oczywiście nie wykrywają sytuacji ekstremalnych, które zniekształcają system granicznych koncentracji oraz krytycznych obciążeń ekosystemów. W tym właśnie obszarze, w którym brak jest pomiarów ciągłych, bądź jakichkolwiek, znajdują zastosowanie modele matematyczne rozproszenia substancji zanieczyszczających atmosferę.

## MATERIAŁY I METODY

**Podstawowe substancje zanieczyszczające.** Na jakość powietrza mają wpływ substancje zanieczyszczające, które są zdefiniowane jako dowolne substancje wprowadzane pośrednio lub bezpośrednio do powietrza w wyniku działalności człowieka i które mają, bądź mogą mieć, szkodliwe oddziaływanie na zdrowie człowieka lub środowisko (Ustawa nr 478/2002 Z. z.). Z dużej liczby substancji zanieczyszczających jest dla celów oceny oraz zarządzania jakością powietrza opracowana lista (dodatek nr 1 cyt. Ustawy), na której znajdują się: tlenek siarki (SO<sub>2</sub>), tlenek azotu (NO<sub>2</sub>) jako tlenki azotu (NO<sub>x</sub>), cząstki stałe PM 10 oraz PM 2,5 (Particulate Matter), ołów (Pb), benzen (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>), poliaromatyczne węglowodory (PAU), kadm (Cd), arsenik (As), nikiel (Ni) oraz rtęć (Hg). Dla wybranych substancji zanieczyszczających są wyznaczone wartości graniczne dla ochrony

zdrowia ludzi, ew. ochronę ekosystemów oraz roślinności (Obwieszczenie nr 706/2002 Z.z., dodatek 1). Istotny w tym aspekcie jest ozon ( $O_3$ ) – substancja zanieczyszczająca zwłaszcza w ostatnich latach, dla której określone są docelowe wartości oraz długoterminowe cele, dla zapewnienia efektywnej ochrony zdrowia ludzi oraz środowiska.

Podana lista substancji zanieczyszczających powietrze uwzględnia stopniowo budowany automatyczny system monitoringu (AMS) użytkowany przez SHMÚ w Bratysławie [Szabó, Babušík 1997]. Według cząstkowego projektu monitoringu powietrza, w Republice Słowackiej [SHMÚ 1992] miałyby powstać 67 stacji automatycznych; obecnie jest ich tylko 26 (Sprawozdanie o jakości powietrza, SHMÚ, MŽP, 2004); z tego 24 rejestruje podstawowe zanieczyszczenia ( $SO_2$ ,  $NO_x$ ,  $NO_2$ , CO oraz zapylenie), a dalsze dwie umiejscowione w Bratysławie-Kolibie oraz w Koszycach-Podhradowej, śledzą tylko poziom zanieczyszczenia ozonem w niskich warstwach. Stacje są z reguły zlokalizowane w obszarach zagrożonych, a z uwagi na ich specyfikę, monitorowane są też dodatkowo inne substancje zanieczyszczające ( $C_xH_y$ ,  $H_2S$  oraz inne).

Istotnym elementem systemu monitoringu są stacje włączone do sieci EMEP (Environment Monitoring and Evaluation Programme) – Geneva 1979, 1984 (1979 Umowa Europejskiej Komisji Gospodarczej ONZ o dalekosiężnym zanieczyszczaniu powietrza, przenikającym przez granice państw oraz Program współpracy w zakresie monitoringu i ocena dalekosiężnego przenoszenia zanieczyszczeń w Europie). Po pewnych zmianach zasad wyboru stacji monitorujących wyłoniono ich pięć: Chopok, Topoľníky, Liesek, Stará Lesná oraz Starina. Program pomiaru zawiera pobór oraz analizy składników gazowych, aerozolu atmosferycznego, dziennych oraz miesięcznych opadów [Sprawozdanie SHMÚ 2002].

Spektrum monitorowanych substancji zanieczyszczających jest zgodny z tendencjami europejskimi i światowymi, gdzie obiektem szczególnego zainteresowania są  $O_3$ , PM, CO,  $NO_x$ ,  $SO_2$  oraz ołów w aerozolu [U.S. EPA 2004].

**Meody określania substancji zanieczyszczających w powietrzu.** Metody określania koncentracji substancji szkodliwych w powietrzu można na ogół podzielić na bezpośrednie i pośrednie. Zawsze dobrze jest wziąć pod uwagę przydatność metody do danego pomiaru z punktu widzenia jej dokładności, zakresu pomiarów oraz aktualności.

**Metody bezpośrednie.** Do metod pośrednich zalicza się:

- metodę kolorymetryczną I,
- metodę kolorymetryczną II,
- pomiary SO<sub>2</sub> coulographem,
- metodę polaroidalną,
- metodę sorpcyjno-kumulacyjną pomiaru związków SO<sub>2</sub> w atmosferze,
- metody wykorzystywane w AMS (zautomatyzowany system monitoringu).

**Metody pośrednie.** Pośrednie metody określania koncentracji zanieczyszczenia powietrza, wykorzystujące modele matematyczne rozprzestrzeniania i transformacji zanieczyszczeń, spełniają cały szereg funkcji. Oprócz uzupełniania metod bezpośrednich poprzez określanie aktualnej sytuacji imisji na obszarach nie monitorowanych, pełnią też funkcję prognozowania spodziewanych stanów (średnich, maksymalnych), wpływu zastosowania nowych źródeł w podanym zakresie oraz symulacji stanów „ex post“ przy dokumentowaniu imisji w przeszłości. Najważniejszą sprawą jest wybór modelu odpowiedniego do danego zadania i mierzonej substancji oraz jak najwyższy stopień reprezentacyjności danych wejściowych. Z tym wiąże się również wybór programów wspomagających oraz algorytmów.

Modele opisujące transport i rozpraszanie substancji zanieczyszczających w atmosferze można podzielić według różnych kryteriów [Moussiopoulos i in. 1996]:

- kryterium przestrzennego (globalne, kontynentalne, regionalne, lokalne),
- kryterium czasu (model epizodyczny, model do obliczeń krótko- lub długotrwałych charakterystyk zanieczyszczenia powietrza, modele stacjonarne i niestacjonarne itp.)
- kryterium sposobu numerycznego rozwiązywania równań (model Eulera, Lagrange’a)
- kryterium sposobu implementacji różnych procesów (chemia, radioaktywność, suchy i mokry depozyt)
- kryterium złożoności modelu (od modeli prostych do bardzo złożonych)

Według podanych zasad, konkretne modele można podzielić na polecane (ogólnie stosowane w danych warunkach) oraz modele uzupełniające (specyficzne – *case-by-case*).

Do preferowanych można zaliczyć następujące modele:

- **Model BLP** (Buoyant Line and Point Source Dispersion Model) – Schulman, Scire (1980)
- **CALINE 3** (California Line Source Model) – Benson (1979)
- **CALPUFF** – California Puff Model (Scire et al. 2000)
- **GTDMPPLUS** – Complex Terrain Dispersion Model Plus Algorithmus for Unstable Situation (Perry et al. 1989)
- **EDMS** – Emissions and Dispersion Modeling System (FAA, 1997)
- **ISC 3** – Industrial Source Complex Model (EPA, 1995)
- **OCD** – Offshore and Coastal Dispersion Model (Di Cristofaro, Hanna, 1989).

Z podanych modeli, objętych w MDS (Modelowy System Dokumentacyjny) EEA (Europejska Agencja Środowiskowa), SHMÚ w Bratysławie stosuje modele ISC oraz CALINE pod nazwą MODIM (Modelowanie imisji) – ISC [Szabó 1997] oraz CEMOD (Model cało powierzchniowy) – CALINE [Szabó 2003]. Program MODIM jest ogólnie dostępny, zaś CEMOD jest przez SHMÚ stosowany z wykorzystaniem mezometeorologicznego modelu ALADIN oraz NEIS (Narodowy system inwentaryzacji emisji RS).

Modele uzupełniające można liczyć w setkach.

## WYNIKI I DYSKUSJA

Oprócz ogólnego (obowiązkowego) wykorzystania modeli do określenia koncentracji substancji zanieczyszczających powietrze w miejscach, w których nie dokonuje się pomiarów oraz do prognozowania, ew. rekonstrukcji stanu powietrza, coraz częściej pojawiają się, zwłaszcza w powiązaniu z monitoringiem, próby opisywania stanu dalszych składowych środowiska przyrodniczego. Chodzi głównie o skażenie, jak też niszczenie naziemnych oraz wodnych ekosystemów, gdzie stosowanie modeli wymaga oczywiście ich modyfikacji i konkretnych aplikacji, przy czym zasadniczą rolę odgrywa suchy i mokry depozyt zanieczyszczeń z powietrza oraz ich transformacja w zależności od warunków meteorologicznych.

Najczęstsze są przypadki uszkodzeń ekosystemów leśnych ze względu na ich długowieczność i to bardziej w związku z identyfikacją źródła (rozmiar samego uszkodzenia jest monitorowany wg stopnia defoliacji) niż z identyfikacją przypadkowych sytuacji awaryjnych. Często są również przypadki określenia udziału źródła w widocznym bądź ukrytym wpływie imisji na receptor.

Przykładem jednostkowego (epizodycznego) wydarzenia zajmują się np. Radojevič i Hasan [1999] w odniesieniu do gospodarstwa leśnego z występowaniem ekstremalnych koncentracji znanych substancji zanieczyszczających (powyżej  $600 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) w okresie lutego-kwieceń 1998 w Brunei. Odwrotnym przykładem jest ocena zanieczyszczeń powietrza w odniesieniu do lasów Europy Wschodniej i Środkowej [Ellsworth i in. 1973].

Często oceniane są również wpływy zanieczyszczonego powietrza na inne ekosystemy. I tak np. Sanderman [1998] ocenia wpływy na biomasę leśną oraz produkcję rolniczą (plony ziarna), zaś Syri i in. [2002] wpływami na lasy i jakość wód w Finlandii.

Rzadziej oceniane są sytuacje o charakterze lokalnym, jak dorzecze rzeki Dambovita w Rumunii [Adler i in. 1999], lub modelowanie zmiany jakości wód w jeziorach fińskich [Syri 2002].

Różnorodne są zastosowania modeli w rolnictwie. Ma to związek ze zmiennością źródeł [Yong-Cheng Chen i in. 1998]. Powszechnie jest modelowanie śledzenia skutków pochodzących z produkcji zwierzęcej [Scott i in. 2003], w połączeniu z ulatnianiem się zanieczyszczeń z pasz lub kompostu [Kulca a kol. 2002], zanieczyszczenia biologicznego i jego zasięgu [Jin i in. 2003], lub substancji ochronnych [Cryer, Wsesenbeeck, 2001].

Osobną kwestią jest wykorzystanie modeli zanieczyszczania powietrza w skażeniu gleb. Specyfika tego problemu wynika z pozycji gleby w systemie gleba-woda-powietrze [Kalúz, 1987, 2000; Holobradý, 1988; Hronec, 1996, 1999; Tóth, 1997; Kulich, 1998 i in.). W wodzie i powietrzu skutek ruchu, powstających prądów i w efekcie mieszania, dochodzi do obniżania koncentracji skażenia, a w glebie takich możliwości nie ma. Nie bez znaczenia jest też fakt, że woda (w Słowacji przede wszystkim pochodząca z opadów) i powietrze „oczyszczają się” kosztem gleby [Kalúz 2003a, b].

Modelowanie matematyczne zanieczyszczenia powietrza jest odpowiednio również w identyfikacji zanieczyszczeń antropogenicznych [Kalúz i in. 2003] i to głównie w połączeniu z monitoringiem sanitarnego stanu gleb [Linkeš 1994; Vilček 1997; Bielek 1999]. W tym przypadku również należy podkreślić konieczność stosowania odpowiedniego modelu ew. jego modyfikacji.

## PODSUMOWANIE

Wykorzystanie modeli matematycznych rozproszenia zanieczyszczenia w powietrzu jest ściśle związane z ich dokładnością i przydatnością dostarczonej informacji, która jest funkcją parametrów na wejściu. Standardy światowe są zależne od algorytmów częściowych danych na wejściu, z pewną unifikacją typowych epizodów oraz współczynników empirycznych. Zapewnia to wprawdzie porównywalność wyników pod warunkiem standaryzacji opisywanych zjawisk; jednocześnie jednak, stosowanie modeli jako „czarnych skrzynek” nie uwzględnia specyfiki przebiegających procesów, a ich weryfikacja może być nieadekwatna. Dlatego należy szczegółowo poznać strukturę oraz algorytm modelu, warunki jego stosowania, granice dokładności oraz możliwe rozproszenie wyników jako funkcję dokładności danych wejściowych. Powyższe spełniają modele zalecane przez EPA, pod warunkiem adekwatności danych wejściowych. Dla specyficznych przypadków można wykorzystać modele „case by case” z wcześniej zdefiniowanymi warunkami.

*Opracowanie powstało jako część projektu badawczego VEGA, reg. č. 1/1323/04: „Wpływ zanieczyszczeń powietrza na produkty rolnicze w aktualnych warunkach emisji”*

## BIBLIOGRAFIA

- Adler M. J., Stancaline G., Raducu C. *Integrating tracer with remote sensing techniques for determining dispersion coefficients of the Dambovitza*. Romania, Proceedings of a Internat. Symposium IOGG 99, Birmingham, UK, 1999, p. 75–81.
- Elesworth D. S., Oleksin J. *Evaluating the risk air pollution to forest in central and eastern Europe*. Proceeding of the NATO, Saulberg, Germany 1996, p. 121–131.
- Jing G., Engle A. J., Liu A. *A preliminary study on coastal water quality monitoring and modeling*. Journal of Environmental Science and Health, part A: Toxic Hazardous Substances and Environmental Engineering, no. 3, 2003, p. 493–509.
- Kalúz K. *Hodnotenie koeficientov obmedzení na imisne ohrozenom pôdnom fonde, Bioklimatologické pracovné dni 2003*. Funkcia energetickej a vodnej bilancie v bioklimatologických systémoch, SPU Nitra, CD, 2003, ISBN 80-8069-244-0
- Kalúz K. *Poškodzovanie poľnohospodárskych plodín v aktuálnych imisných podmienkach*. Zb. Udržateľné poľnohospodárstvo a rozvoj vidieka, SPU Nitra, 2003, s. 367–368, ISBN 80-8069-246-7.
- Kalúz K., Miškolciová I., Novotná, B. *Imitted antropogenetic borders identification in the land*. Phytosphedon (Bratislava), vol. 2, 2003, p. 36–38.

- Kulcu R., Yaldiz O., Ozden K. *The effect of vertical air flow channel type of aeration mechanism on CO<sub>2</sub> and heat dispersion in composting reactors*. Proceedings 8-th International Congress on Mechanization and Energy in Agriculture, Ege University, Faculty of Agriculture, Bornova-Izmir, Turkey, 2002, p. 274–278.
- Syri S, Karvosenoja N., Lehtila A., Laurilla T, Lindfors, V.; Tuovinen J. P. *Modeling the impacts of the Finnish Climate Strategy on air pollution Atmospheric – Environemnt*. No. 19, 2002, p. 3059–3069.
- Szabó G. *Metodika výpočtu znečistenia ovzdušia zo stacionárnych zdrojov*. Zb. prác SHMÚ Bratislava, zv. 40, 1997, s. 155.
- Szabó, G., Babušik I. *Návrh kritérií budovania siete automatického imisného monitoringu*. Zb. prác SHMÚ zv. 40, Kvalitatívne a kvantitatívne hodnotenie úrovne znečistenia ovzdušia, SHMÚ Bratislava 1997, s. 106–155 ISBN 80-900558-9-3.

doc. Ing. Karol Kalúz, CSc.,  
Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre,  
Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra,  
e-amil : Karol.Kaluz@uniag.sk

Recenzent: *Prof. dr hab. Jerzy Gruszczyński*

*Karol Kalúz, Iveta Miškolciová*

## INDIRECT METHODS OF DETERMINATION OF IMMISION

### SUMMARY

Mathematical pollute diffusion into atmosphere models utilization is connected with their accurateness and their notice capability, which is a function of their input parameters. Worldwide standards are fixed to the algorithms of parcial inputs with certain unification of typic sequences and empirical coefficients. Otherwise these guarantee results comparability in condition of describe phenomenon's standardization; but simultaneously in "black box" models utilization, they do not respect the running processes individuality and their verification could be no-address to surface. Therefore it is necessary to know the detail structure and model algorithm, conditions of its utilization, boundaries accurateness and possible results diffusion as a function of accurateness inputs. This condition fulfils models recommended by EPA, in a condition of adequat inputs and for specific events are using "case by case" models with beforehand-defined conditions.

**Key words:** air pollution, mathematical models