

Wojciech Mill

**OCENA TRANSGRANICZNEGO  
NAPŁYWU WYBRANYCH ZANIECZYSZCZEŃ  
POWIETRZA NA OBSZAR POLSKI**

**ASSESSMENT OF TRANSBOUNDARY FLUXES  
OF AIR POLLUTION ON POLAND**

**Słowa kluczowe:** zanieczyszczenia transgraniczne, programy ochrony powietrza, programy komputerowe w ochronie powietrza.

**Keywords:** transboundary pollution, air protection programs, computer software in air protection.

The purpose of the study was to identify actual and projected transboundary fluxes of SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub> and particulate matter PM<sub>10</sub> as well as their spatial distribution on Poland with regard to the administrative division. Based on acquired information a permanent database has been developed offering numerical and graphical forms of concentration and deposition balances of the considered pollutants to support the development of air protection programs for administrative units exposed to transboundary fluxes. The developed databases are managed by a version of the SONOX computer program, especially produced within this project, called SONOX-POP. This program offers a spatial visualization of potential transboundary fluxes and arranges budgets and periodical reports to assist the air protection programs. Both the database and the software are downloadable from the web site of the Ministry of Environment.

## **1. WPROWADZENIE**

Ocena tła napływowego jest elementem składowym programów ochrony powietrza, których obowiązek sporządzania wynika z dyrektywy 96/62/WE z dnia 27 września 1996 r. w sprawie oceny i zarządzania jakością powietrza. Polska

transponuje tę dyrektywę przez ustawę – Prawo ochrony środowiska (Dz U z 2001 r. nr 62, poz. 627 z późn. zm.) oraz akty wykonawcze z nią związane. Rozporządzenie z dnia 27 kwietnia 2001 r. w sprawie wymagań, jakim powinny odpowiadać naprawcze programy ochrony powietrza określa zakres informacji niezbędnych do tworzenia tych emisji. Należą do nich m.in. aktualne poziomy emisji zanieczyszczeń w skali krajowej, wojewódzkiej i powiatowej oraz prognozy zmian tych emisji w wyniku realizacji zobowiązań międzynarodowych (konwencje i protokoły) i przepisów prawa Unii Europejskiej (tzw. dyrektywy pułapowej), a także krajowych i sektorowych strategii rozwoju. W celu uzyskania tych informacji Ministerstwo Środowiska powołało zespół ekspertów, stawiając mu za zadanie opracowanie zasad sporządzania wojewódzkich programów naprawczych ochrony powietrza oraz opracowania metodyk tworzenia lub uzyskiwania niezbędnych informacji. Jedną z takich informacji jest wielkość masy rozważanych zanieczyszczeń deponowanych na obszar Polski spoza granic kraju. Na tej podstawie określa się udział stężeń i ładunków zanieczyszczeń pochodzących z emisji zagranicznej w ogólnym poziomie zanieczyszczenia powietrza na obszarach województw, powiatów i gmin.

Celem pracy była ilościowa identyfikacja bieżących i prognozowanych wielkości napływu  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NH}_3$  i pyłów ( $\text{MP}_{10}$ ) z zagranicy oraz zasięgu ich rozprzestrzeniania na obszar Polski w odniesieniu do jednostek administracyjnych kraju. Narzędziem niezbędnym do numerycznych i graficznych przetwarzań był komputerowy program SONOX-POP, opracowany w ramach prezentowanej tu pracy.

## **2. AKTUALNE I PROGNOZOWANE DANE EMEP O NAPŁYWACH TRANSGRANICZNYCH**

Formalnie ustanowionym źródłem informacji o transgranicznych przepływach zanieczyszczeń powietrza na obszarze Europy jest Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-Range Transmission of Air Pollutants in Europe (EMEP). Jest to międzynarodowa organizacja utworzona na mocy jednego z protokołów Konwencji w sprawie transgranicznego zanieczyszczenia powietrza na dalekie odległości, funkcjonująca przy Norwegian Meteorological Institute w Oslo, Norwegia. Głównym zadaniem EMEP jest opracowywanie i dostarczanie krajom zaliczanym do Europejskiej Komisji Gospodarczej ONZ (w tym Polski) oraz Konwencji, miarodajnych informacji naukowych, wspomagających międzynarodową współpracę w zakresie rozwiązywania problemów transgranicznego zanieczyszczenia powietrza.

Struktura organizacyjna EMEP opiera się na wielu centrach, z których dwa, tj. Meteorological Synthesizing Centre-West (MSC-W) i Chemical Coordina-

ting Centre (CCC), są odpowiedzialne za monitoring i modelowanie transgranicznych przepływów kwasogennych zanieczyszczeń powietrza w Europie. Podstawowym zadaniem MSC-W jest wykonywanie obliczeń transgranicznego, atmosferycznego transportu i depozycji takich zanieczyszczeń powietrza, jak: związki siarki i azotu oraz ozon przygruntowy, na obszarze całej Europy.

Obliczenia rocznych pól stężeń i depozycji, jak również macierzy „kraj-dosiatki” (country-to-grid) dla zanieczyszczeń kwasogennych są wykonywane rutynowo od 20 lat dla siarki i od 13 lat dla azotu. Do 1998 r. z powodzeniem stosowany był dwu-wymiarowy model Lagrange’a [Eliassen i Saltbones 1983; Barret i Berge 1996], funkcjonujący w rozdzielczości przestrzennej determinowanej okiem siatki o wymiarze  $150 \times 150$  km. Istotną wadą tego modelu było zbyt uproszczone odwzorowanie pionowej struktury transportu, co utrudniało parametryzację atmosferycznego transportu zanieczyszczeń ponad warstwą mieszania. W celu pokonania tego ograniczenia rozpoczęto od 1993 r. w MSC-W budowę trójwymiarowego modelu eulerowskiego, działającego z rozdzielczością przestrzenną  $50 \times 50$  km. Budowę tę zakończono w 1999 r. Najważniejsze udoskonalenia modelu wykonane w latach 1998 i 1999 szczegółowo opisuje w specjalnej publikacji współtwórca modelu Olendrzyński [1999]. Do udoskonalień tych należą m.in. szczegółowa analiza równań zachowania masy zanieczyszczeń, co doprowadziło do modyfikacji modułu przemian chemicznych, oraz usunięcie błędów kodu programowego. Testy porównawcze funkcjonowania modeli eulerowskiego i lagrangeowskiego wykazały, że model eulerowski operuje z większą dokładnością w większości przeprowadzonych testów [Bartnicki i Tarason 1998]. Ostatecznie w 1999 r. eulerowski model transgranicznego transportu związków siarki i azotu w Europie, o nazwie MADE, został przekazany przez MSC-W do EMEP w celu wykorzystania operacyjnego.

Jednocześnie z modelami transgranicznego transportu zanieczyszczeń kwasogennych w MSC-W rozwijane były modele fotoutleniaczy. Najnowszą wersją takiego modelu jest eulerowski model MACHO [Jonson i in. 1997, 1998, 2001]. Obydwa omawiane modele, a także modele powstałe wcześniej – jako tworzone niezależnie od siebie, różniły się znacznie nawet w opisie tych samych procesów fizykochemicznych. Specjaliści MSC-W postanowili uporządkować struktury tych modeli i dokonać ich unifikacji na podstawie wspólnej cechy, którą był eulerowski system odniesienia. W ten sposób powstał jednolity system modelowy UNIFIED, którego wersje, adresowane do procesów zakwaszania i generowania ozonu przygruntowego, różnią się tylko interpretacją procesów chemicznych, zachodzących w trakcie transportu atmosferycznego.

Dane dotyczące przestrzennego rozkładu, na obszarze Polski, stężeń i depozycji  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NH}_3$  i  $\text{PM}_{10}$  w rozdzielczości przestrzennej  $50 \times 50$  km, pochodzących z emitorów krajowych i zagranicznych otrzymano z MSC-W/EMEP.

Pochodzą one z obliczeń wykonanych przy pomocy najnowszej wersji eulerowskiego modelu UNIFIED i dotyczą lat 1980–2003 oraz prognozy na rok 2010. Ponadto, w celu zaadresowania przestrzennego rozkładu stężeń i depozycji wynikających z transgranicznego napływu z krajów, w których emisja przyczyniła się do ich powstania, wykorzystano bilanse źródło – odbiornik (source – receptor) wykonane także przez EMEP.

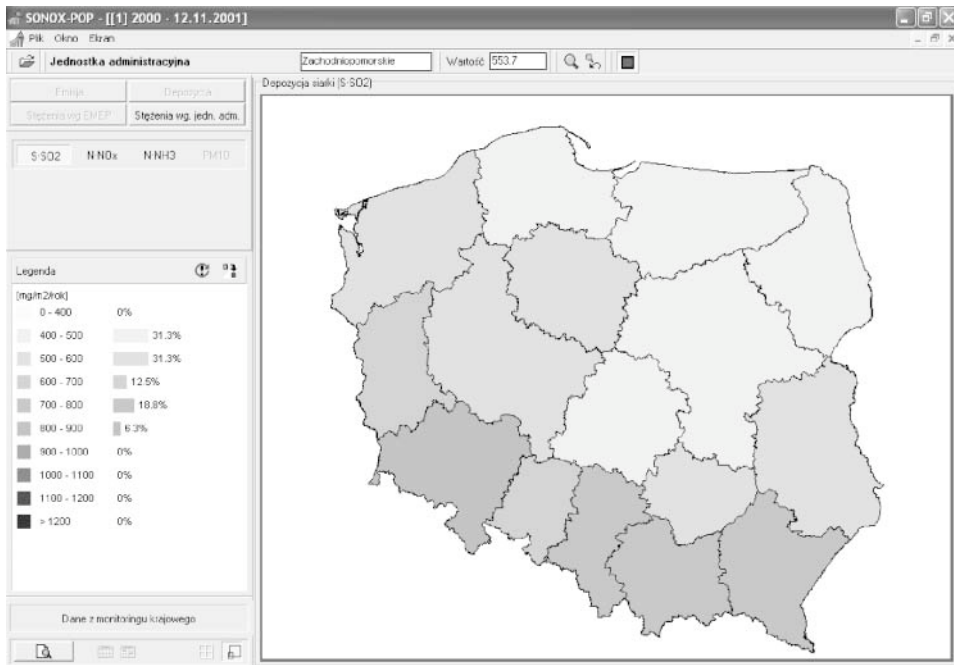
Wzmiankowane dane zostały dostarczone w formie plików tekstowych w formacie ASCII. W celu wykorzystania tych danych w środowisku programu SONOX-POP, dane te zostały przetworzone na odpowiednie formaty i włączone do właściwego modułu programu.

Na podstawie uzyskanych informacji utworzono permanentną bazę danych, oferującą numeryczne i graficzne bilanse stężeń i depozycji wymienionych zanieczyszczeń, do wykorzystania w konstruowaniu naprawczych programów ochrony powietrza w województwach pozostających w zasięgu tego rodzaju napływu.

### 3. PROGRAM SONOX-POP

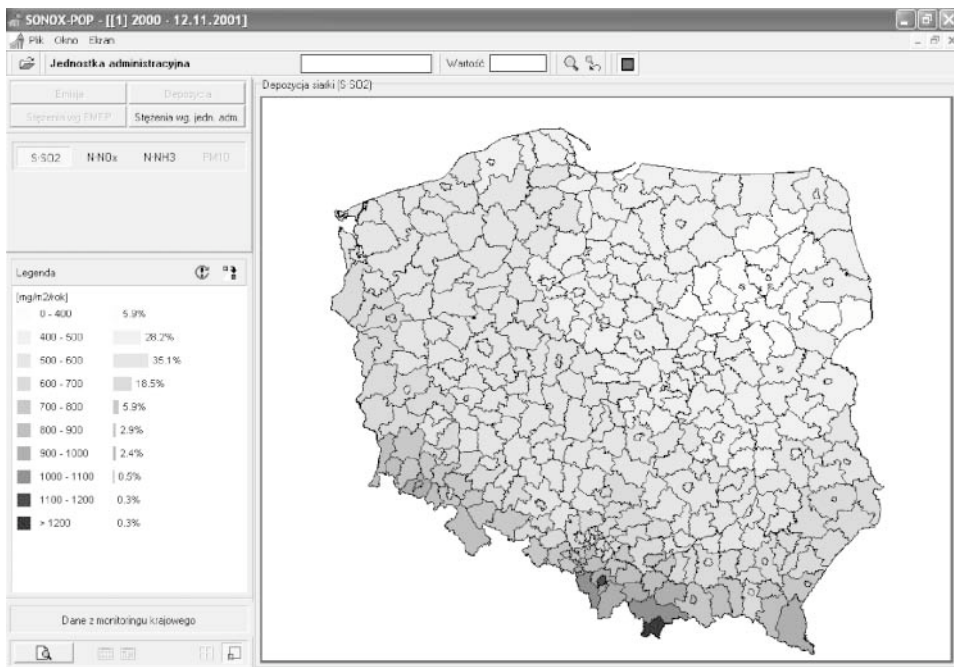
Osiągnięcie celu prezentowanej pracy wymagało, oprócz akwizycji danych wejściowych, wyspecjalizowanych działań w zakresie zarządzania bazami danych, przetwarzania numerycznych, przetwarzania kartograficznych oraz statystycznej i graficznej prezentacji danych wynikowych. Narzędziem tych działań jest program komputerowy SONOX-POP, który został opracowany przez odpowiednią modyfikację wcześniejszej wersji programu SONOX [Mill i Schlama 2001].

Program SONOX zbudowano na zamówienie Ministerstwa Środowiska, jako komputerowe narzędzie oceny krajowych strategii redukcji emisji zanieczyszczeń powietrza w aspekcie skutków ekologicznych. Nowa wersja tego programu, nazwana SONOX-POP (Programu Ochrony Powietrza), została zaprojektowana, jako instrument wspierający budowę lokalnych programów ochrony powietrza, w zakresie ilościowego szacowania wielkości emisji związków siarki i azotu na rozważany obszar, pochodzących z napływów transgranicznych. Podstawowym zadaniem programu SONOX-POP jest udostępnianie twórcom naprawczych programów ochrony powietrza na szczeblach województw, powiatów a nawet gmin, danych o wielkości emisji zanieczyszczeń powietrza pochodzących z napływu transgranicznego. Program ten pozwala oceniać napływy transgraniczne na poszczególne województwa (rys. 1), powiaty (rys. 2) i gminy (rys. 3). Podaje w przystępny sposób roczne wartości importowanych stężeń i depozycji wymienionych zanieczyszczeń, zarówno w formie zestawień tabelarycznych, jak i wykresów graficznych.



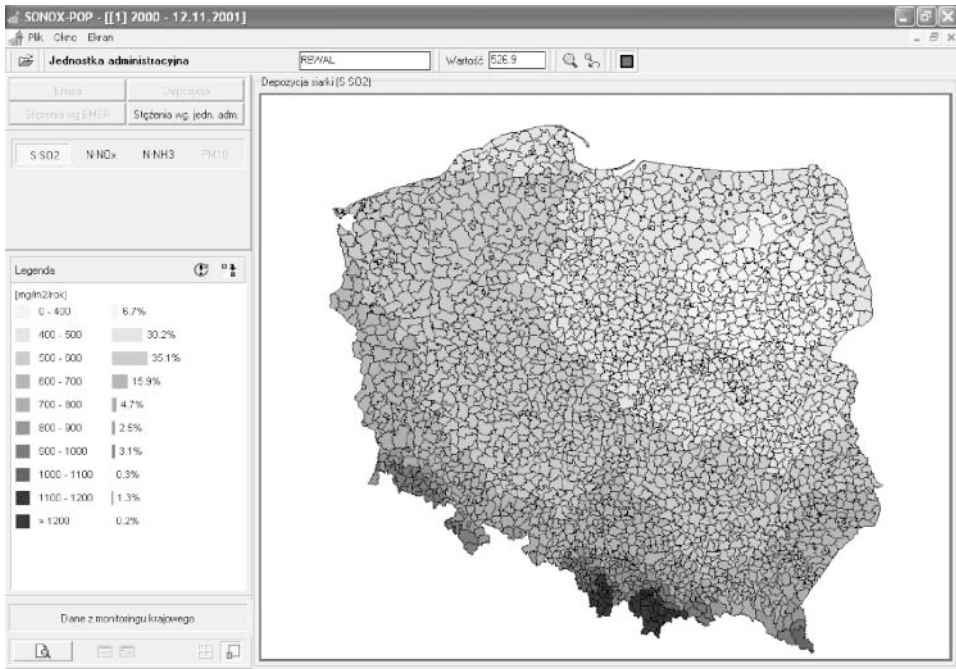
Rys. 1. Przestrenny rozkład depozycji siarki na obszar województw w 2000 r.

Fig. 1. Spatial distribution of sulfur deposition on voivodships in 2000



Rys. 2. Przestrenny rozkład depozycji siarki na obszar powiatów w 2000 r.

Fig. 2. Spatial distribution of sulfur deposition on poviats in 2000



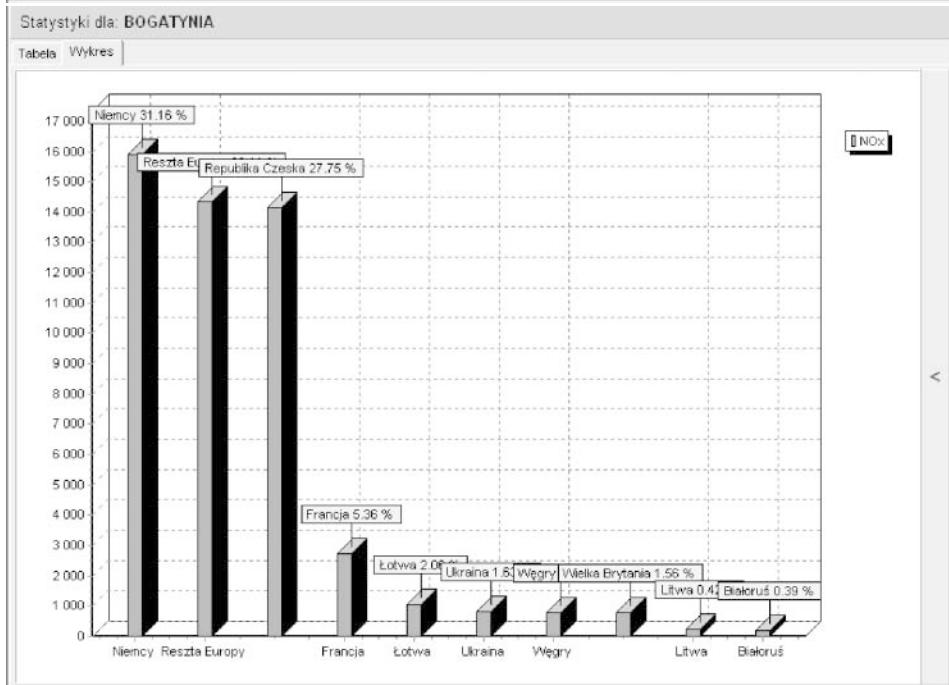
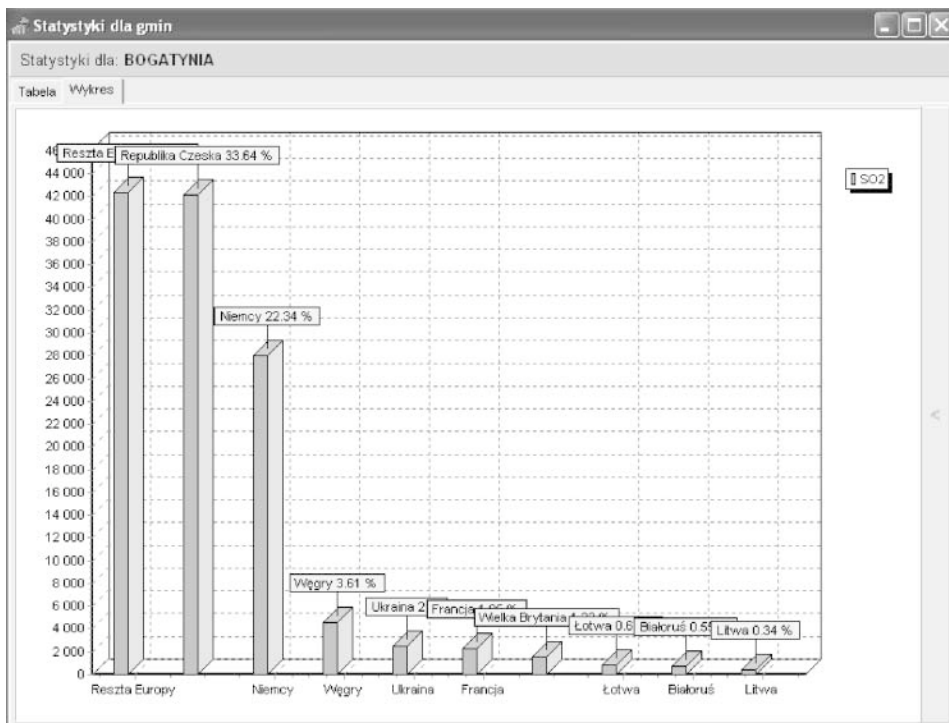
Rys. 3. Przestrzenny rozkład depozycji siarki na obszar gmin w 2000 r.

Fig. 3. Spatial distribution of sulfur deposition on communes in 2000

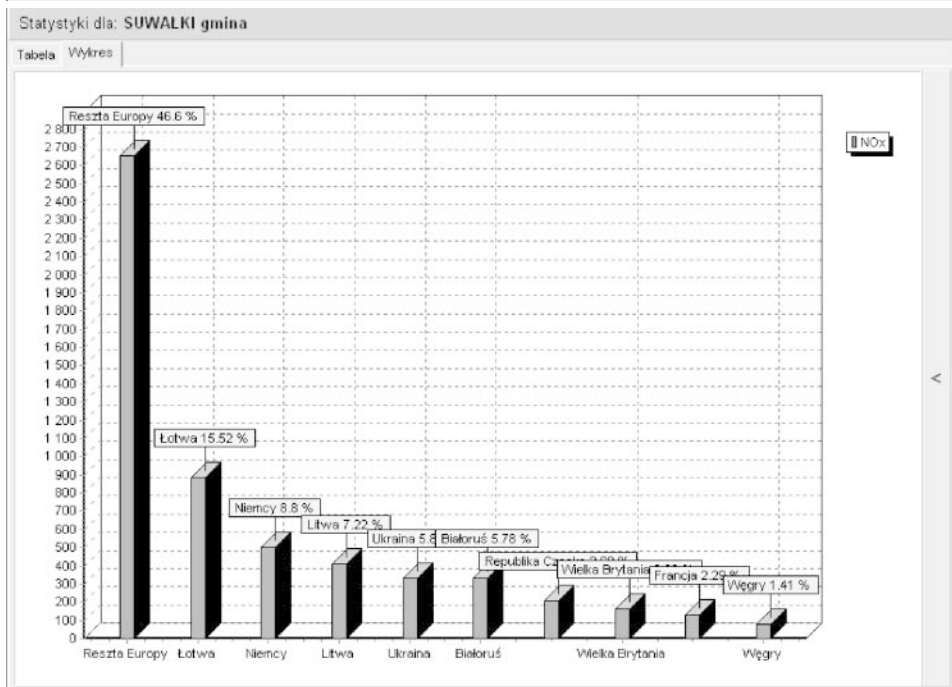
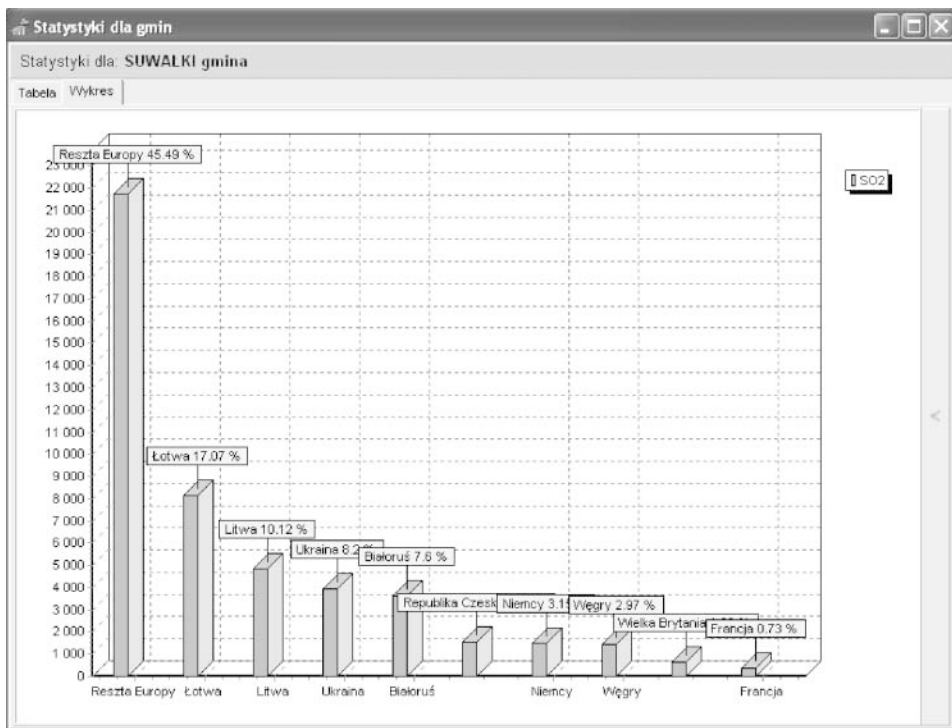
Funkcjonowanie programu SONOX-POP zilustrowano na przykładzie dwóch gmin odznaczających się zróżnicowanym położeniem w stosunku do zagranicznych źródeł emisji  $\text{SO}_2$  i  $\text{NO}_x$  – gminy Bogatynia, położonej w południowo-zachodnim obszarze przygranicznym oraz gminy Suwałki. Na rysunku 4 i 5 pokazano udziały pochodzącej z zagranicy depozycji  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  w wytypowanych gminach.

Wykresy na rysunkach 4 i 5 prawidłowo odzwierciedlają proporcje poszczególnych krajów w kształtowaniu wielkości depozycji, w zależności od położenia rozważanych gmin. A więc w gminie Bogatynia przeważający udział w depozycji siarki i azotu mają Republika Czeska i Niemcy. Depozycja w obszarze Suwałk pochodzi głównie z Litwy, Białorusi i Ukrainy.

Utworzona baza danych zawierająca wielkości stężeń i depozycji siarki, azotu utlenionego, azotu zredukowanego oraz pyłów, a także program instalacyjny programu SONOX-POP są umieszczone na stronie internetowej Ministerstwa Środowiska. Stamtąd były pobierane przez pracowników Wojewódzkich Inspektoratów Ochrony Środowiska oraz Wydziałów Ochrony Środowiska Urzędów Wojewódzkich w celu wykorzystania przy sporządzaniu wojewódzkich programów naprawczych ochrony powietrza.



**Rys. 4.** Udziały deponycji SO<sub>2</sub> i NO<sub>x</sub> z emisji zagranicznej w gminie Bogatynia w 2000 r. [t/rok]  
**Fig. 4.** Contribution of SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> transboundary deposition in Bogatynia commune in 2000 [t/a]



Rys. 5. Udziały depozycji SO<sub>2</sub> i NO<sub>x</sub> z emisji zagranicznej w gminie Suwałki w 2000 r. [t/rok]  
 Fig. 5. Contribution of SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> transboundary deposition in Suwałki commune in 2000 [t/a]



## PIŚMIENNICTWO

- Barret K., Berge E. 1996: Transboundary air pollution in Europe, EMEP/MSC-W Report 1/96. The Norwegian Meteorological Institute, Oslo, Norway.
- Bartnicki J., Tarrason L. 1998: Comparison of the Lagrangian and the Eulerian model performance, EMEP/MSC-W Report 1/98. Part 1. The Norwegian Meteorological Institute, Oslo, Norway.
- Eliassen A., Saltbones J. 1983: Modelling of long-range transport of sulfur over Europe: a two year model run and some model experiments, Atmospheric Environment 17, 1457–1473.
- Jonson J.E., Jakobsen H.A., Berge E. 1997: Status of the development of the regional scale photo-chemical multi-layer Eulerian model, EMEP/MSC-W Note/97. The Norwegian Meteorological Institute, Oslo, Norway.
- Jonson J.E., Tarrason L., Sundet J.K., Bernsten T., Unger S. 1998: The Eulerian 3-D oxidant model: Status and evaluation for summer 1996 results and case-studies, EMEP/MSC-W Report 2/98. The Norwegian Meteorological Institute, Oslo, Norway.
- Jonson J.E., Sundet J.K., Tarrason L. 2001: Model calculations of present and future levels of ozone and ozone precursors with a global and regional model, Atmospheric Environment, 35, 525–537.
- Mill W, Schlama A. 2001: Nowe podejście do oceny ekologicznych skutków zanieczyszczenia powietrza – program SONOX, Zeszyty Naukowe Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku Białej, Seria 1, Nr 1, s. 44–52.
- Olendrzyński K. 1999: Operational EMEP Eulerian acid deposition model, EMEP/MSC-W Report 4/99. The Norwegian Meteorological Institute, Oslo, Norway.
- Skotak K., Iwanek J., Mitosek G., Prządka Z. 2001: Ocena stanu zanieczyszczenia powietrza w Polsce w roku 2000.

*Dr hab. Wojciech Mill*

*Instytut Ochrony Środowiska, Pracownia Modelowania Kompleksowego  
41-106 Siemianowice Śl., ul. Grunwaldzka 7B/2  
tel./fax: 032 2281482, e-mail: mill@silesia.top.pl*