

September 1, 1996

# Kompleksowa ocena jakości powietrza w Nowym Sączu przy pomocy metody obliczeniowo-pomiarowej

Marian Mazur  
Marek Bogacki  
Robert Oleniacz

# KOMPLEKSOWA OCENA JAKOŚCI POWIETRZA W NOWYM SĄCZU PRZY POMOCY METODY OBLICZENIOWO- POMIAROWEJ

Marian MAZUR, Marek BOGACKI, Robert OLENIACZ  
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie  
Zakład Kształtowania i Ochrony Środowiska  
Al. Mickiewicza 30, paw. C-4, 30-059 Kraków

## 1. Wstęp

Ocena stanu zanieczyszczenia powietrza w aglomeracji miejskiej jest zadaniem trudnym i złożonym. W zależności od przyjętego sposobu postępowania ocena ta wymaga przeprowadzenia kompleksowych badań i obliczeń wielkości emisji ze wszystkich źródeł występujących na danym terenie oraz zastosowania modeli propagacji zanieczyszczeń albo też wykonania na szeroką skalę bezpośrednich pomiarów stężeń zanieczyszczeń powietrza. Obie te metody mogą być też zastosowane jednocześnie w celu ich wzajemnej weryfikacji. W referacie przedstawiono metodykę i wyniki takiej kompleksowej oceny zanieczyszczenia powietrza na przykładzie miasta Nowego Sącza i przylegających do niego gmin.

## 2. Metoda obliczeniowa

### 2.1. Obliczenia emisji zanieczyszczeń

Rzetelna ocena wielkości emitowanych zanieczyszczeń z danego obszaru musi uwzględniać wszystkie źródła emisji występujące na tym obszarze. W tym celu na rozważanym terenie zostały zidentyfikowane i kompleksowo zbilansowane zarówno emitory stacjonarne (energetyka komunalna i zawodowa, technologie przemysłowe oraz paleniska domowe), jak i mobilne źródła emisji (komunikacja).

Biorąc pod uwagę charakter emisji oraz przyjętą metodykę obliczeń, źródła te podzielono na: punktowe, powierzchniowe i liniowe. Do źródeł punktowych zaliczono emitory stacjonarne o wysokości kominu co najmniej 20 m, do źródeł liniowych - pojazdy mechaniczne poruszające się wzdłuż głównych tras komunikacyjnych. Pozostałe źródła stacjonarne (emitory o wysokości poniżej 20 m) oraz mniej uczęszczane trasy komunikacyjne zakwalifikowano do emitorów powierzchniowych w postaci obszarów zastępczych emisji [1, 2]. Granice emitorów powierzchniowych wyznaczono niezależnie dla źródeł stacjonarnych i mobilnych, mając na uwadze następujące kryteria:

- emitory stacjonarne - podział administracyjny na dzielnice i gminy, gęstość zaludnienia i stopień zwartości zabudowy, a także warunki topograficzne oraz rozkład przestrzenny źródeł emisji (wyróżniono 21 obszarów),

– emitory mobilne - granice miasta i gęstość sieci ulic (wyróżniono 10 obszarów). Jako substancje charakteryzujące jakość powietrza przyjęto: dwutlenek siarki (SO<sub>2</sub>), dwutlenek azotu (NO<sub>2</sub>), tlenek węgla (CO), pył zawieszony oraz benzo(a)piren (B(a)P).

Podstawę do obliczeń emisji ze źródeł punktowych, zlokalizowanych na terenie Nowego Sącza i gmin ościennych (w sumie 90 emitorów), stanowiły dane Wydziału Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa Urzędu Wojewódzkiego w Nowym Sączu [3]. Emisję z pozostałych źródeł stacjonarnych wyliczono w oparciu o dane dotyczące:

- struktury ogrzewania miasta,
- liczby mieszkańców w poszczególnych dzielnicach i gminach,
- liczby trzody chlewnej na obszarze każdej z gmin.

Podstawą do wyznaczenia emisji zanieczyszczeń w każdym obszarze były wskaźniki statystyczne Państwowego Inspektoratu Gospodarki Paliwowo-Energetycznej w odniesieniu do jednego mieszkańca [1], umożliwiające obliczenie wartości energii cieplnej wytwarzanej w ciągu roku w każdym obszarze. Od obliczonej sumarycznej ilości energii cieplnej odjęto ciepło wytwarzane i dostarczane przez centralne ciepłownie oraz ciepło uzyskiwane z opalania gazem. Wykorzystując materiały statystyczne [4] oraz dane Wojewódzkiego Biura Planowania Przestrzennego w Nowym Sączu obliczono następnie zużycie węgla w poszczególnych obszarach podporządkowanych odpowiednim źródłom powierzchniowym. W oparciu o powyższe dane została określona wielkość emisji zanieczyszczeń poprzez zastosowanie następujących wskaźników [5, 6]:

- SO<sub>2</sub> - 1,6 × S      kg/Mg węgla,
- NO<sub>2</sub> - 1,5          kg/Mg węgla,
- CO - 100            kg/Mg węgla,
- Pył - 1,0 × A        kg/Mg węgla,
- B(a)P - 5            g/Mg węgla.

Zawartość popiołu (A) i siarki (S) w węglu założono na stałym poziomie: A = 20 %, S = 1,7 %.

Wielkość emisji ze źródeł mobilnych (komunikacji) została określona metodą wskaźnikową [7], opartą na znajomości struktury i natężenia ruchu pojazdów na poszczególnych odcinkach ulic (uwzględniono jedynie ulice położone w granicach administracyjnych Nowego Sącza).

Zastosowano tutaj następującą zależność:

$$E_{ij} = 0,01 \cdot W_{ij} \cdot Z_i \cdot N_i \cdot L$$

gdzie:

E<sub>ij</sub> - emisja liniowa j-tego zanieczyszczenia przez pojazdy z i-tej grupy pomiarowej z danej ulicy (odcinka pomiarowego), [g/h],

W<sub>ij</sub> - wskaźnik emisji jednostkowej j-tej substancji przez i-tą grupę pojazdów, [g/kg paliwa],

- $Z_i$  - średnie zużycie paliwa ustalone dla i-tej grupy pojazdów, [kg/100 km],  
 $N_i$  - natężenie ruchu i-tej grupy pojazdów, [poj./h],  
 $L$  - długość rozpatrywanej ulicy (odcinka pomiarowego), [km].

W obliczeniach wykorzystano wskaźniki emisji zalecane przez Ministra Ochrony Środowiska Zasobów Naturalnych i Leśnictwa do stosowania w przypadku obliczania opłat za wprowadzanie zanieczyszczeń do powietrza z silników spalinowych [7, 8]. Wyszczególniono w nich m.in. pojazdy mechaniczne, poruszające się po drogach kołowych. Zostały one pogrupowane w 13 kategoriach środków transportu w zależności od rodzaju pojazdu i zamontowanego w nim silnika, tak więc pomiary natężenia ruchu odbyły się z uwzględnieniem wspomnianych 13 grup środków transportu. Średnia wielkość zużycia paliwa dla poszczególnych grup pojazdów ustalono na podstawie danych technicznych pojazdów (jazda miejska) w oparciu o szczegółowe pomiary struktury pojazdów występujących w danej grupie na ulicach Nowego Sącza [1, 7].

Przeprowadzone w roku 1993 na ponad sześćdziesięciu głównych ulicach Nowego Sącza pomiary natężenia i struktury ruchu pozwoliły na rozpoznanie wielkości i rodzaju ruchu w tym mieście oraz jego zmienności w czasie (rozkład dobowy, tygodniowy i sezonowy). Umożliwiło to określenie dla każdego odcinka pomiarowego wielkości natężenia ruchu średniodobowego i maksymalnego chwilowego, a w następnej kolejności średniej i maksymalnej emisji zanieczyszczeń. Wielkość ruchu na pozostałych ulicach została określona poprzez wybiórczo prowadzone pomiary natężenia ruchu lub oszacowana na podstawie wyników badań prowadzonych przez różne instytucje w latach ubiegłych.

Obliczona w ten sposób roczna wielkość emisji ze wszystkich rozważanych źródeł położonych na terenie Nowego Sącza i gmin ościennych przedstawiona została w tabelicy 1.

Tab. 1. Wielkość i struktura emisji zanieczyszczeń z terenu Kotliny Sądeckiej (1993 r.)

Źródło emisji	Ilość emitowanych zanieczyszczeń [Mg/rok]				
	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	CO	Pył	B(a)P
Energetyka przemysłowa	348,321	177,762	1714,455	273,296	0,076
Energetyka komunalna	874,864	273,542	2206,771	701,783	0,164
Technologie przemysłowe	397,816	165,715	940,188	249,43	0,108
Paleniska domowe	718,514	55,035	3056,658	529,316	0,262
Komunikacja	7,596	933,316	3677,872	34,392	0
Razem	2347,111	1605,370	11595,944	1788,217	0,610
Źródło emisji	Struktura emitowanych zanieczyszczeń [%]				
	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	CO	Pył	B(a)P
Energetyka przemysłowa	14,8	11,1	14,8	15,3	12,5
Energetyka komunalna	37,3	17,0	19,0	39,2	26,9
Technologie przemysłowe	17,0	10,3	8,1	13,9	17,7
Paleniska domowe	30,6	3,4	26,4	29,6	43,0
Komunikacja	0,3	58,1	31,7	1,9	0,0
Razem	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Zamieszczone dane odnoszą się do roku 1993, w którym emisja została ostatecznie zinwentaryzowana i uaktualniona. Wynika z niej, że na rozważanym obszarze najwyższą emisją SO<sub>2</sub> i pyłu cechuje się energetyka komunalna (37 i 39 % całkowitej emisji), najczęściej NO<sub>2</sub> i CO emituje komunikacja (kolejno 58 i 32 %), natomiast głównym źródłem B(a)P są paleniska domowe (43 %). Emisja z obszaru gmin przylegających do Nowego Sącza stanowiła średnio ok. 20 % całkowitej emisji z terenu Kotliny Sądeckiej.

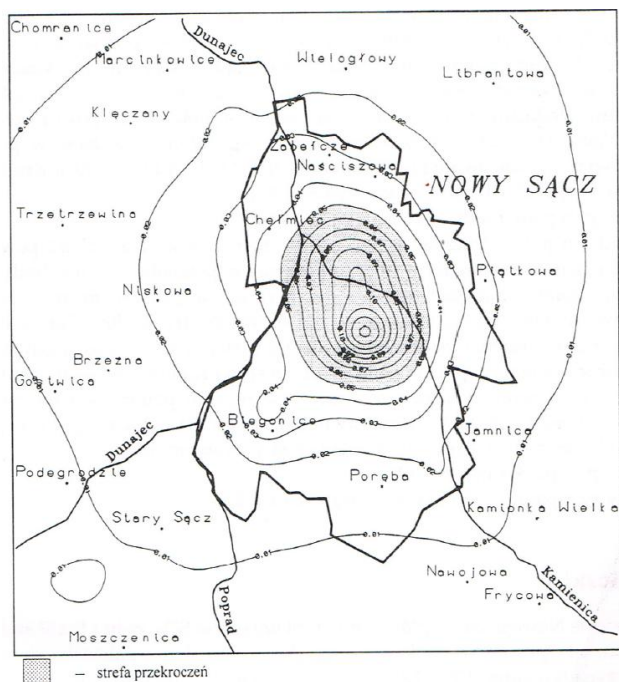
W przypadku komunikacji nie brano pod uwagę emisji spoza terenu Nowego Sącza. Przy ograniczeniu liczby źródeł stacjonarnych i rozpatrywaniu tylko tych, które zlokalizowane są w obrębie granic miasta, uzyskamy rzeczywisty udział komunikacji w całkowitej emisji zanieczyszczeń na mniejszym poziomie, wynoszącym odpowiednio: SO<sub>2</sub> - 0,4 %, NO<sub>2</sub> - 61,5 %, CO - 38,7 %, pył - 2,5 % [7].

## *2.2. Obliczenia rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń*

Określenie wielkości emisji rozważanych zanieczyszczeń i parametrów wyrzutu gazów odlotowych stanowiło podstawę do obliczeń modelowych rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń. Celem symulacji, opartej na obowiązującym w kraju modelu Pasquilla, było określenie przestrzennego rozkładu stężeń średniorocznych i 30-minutowych zanieczyszczeń. W przypadku źródeł stacjonarnych uwzględniono rzeczywiste parametry geometryczne rozpatrywanych emitorów punktowych i własności termiczne emitowanych gazów. Średnią wysokość emisji dla niższych źródeł stacjonarnych, pogrupowanych w zastępcze obszary emitorów powierzchniowych, przyjęto na poziomie 12 m. W przypadku źródeł mobilnych wysokość emisji ustalono na poziomie 0,5 m.

Otrzymane w wyniku przeprowadzonych symulacji rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń przestrzenne rozkłady stężeń średniorocznych i 30-minutowych pozwoliły na teoretyczną ocenę jakości powietrza na rozważanym obszarze, w tym na wyznaczenie granic najbardziej zagrożonych rejonów miasta.

Na rys. 1-2 przedstawiono przykładowo przestrzenne rozkłady stężeń średniorocznych CO i pyłu zawieszonego [1]. Dla wszystkich rozważanych substancji (również dla SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> i B(a)P) otrzymano mniejsze (w przypadku np. SO<sub>2</sub>) lub większe (w przypadku np. B(a)P) strefy przekroczeń najwyższych dopuszczalnych stężeń średniorocznych (D<sub>a</sub>), z maksimami występującymi w rejonie centrum Nowego Sącza.



Rys. 1. Rozkład przestrzenny stężeń średniorocznych tlenku węgla w Kotlinie Sądeckiej [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ]



Rys. 2. Rozkład przestrzenny stężeń średniorocznych pyłu zawieszonego w Kotlinie Sądeckiej [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ]

Maksymalne kształtują się na poziomie:

- SO<sub>2</sub> - ok. 0,035 mg/m<sup>3</sup> (D<sub>a</sub> = 0,032 mg/m<sup>3</sup>),
- NO<sub>2</sub> - ok. 0,065 mg/m<sup>3</sup> (D<sub>a</sub> = 0,05 mg/m<sup>3</sup>),
- CO - ok. 0,25 mg/m<sup>3</sup> (D<sub>a</sub> = 0,12 mg/m<sup>3</sup>),
- pył - ok. 0,13 mg/m<sup>3</sup> (D<sub>a</sub> = 0,05 mg/m<sup>3</sup>),
- B(a)P - ok. 17 ng/m<sup>3</sup> (D<sub>a</sub> = 1,0 ng/m<sup>3</sup>).

W przypadku stężeń 30-minutowych (maksymalnych) również uzyskano stosunkowo wysokie wartości dla większości rozpatrywanych zanieczyszczeń.

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że źródła, które mają główny udział w emisji zanieczyszczeń, dominują również w kształtowaniu jakości powietrza w danym rejonie. Przy czym emitory niskie (komunikacja, paleniska domowe) bardziej wpływają na stan zanieczyszczenia powietrza tuż nad powierzchnią terenu, niż emitory wysokie, których oddziaływanie rozpraszane jest na większej przestrzeni. Przykładowo udział komunikacji w całkowitej emisji CO i NO<sub>2</sub> z terenu Kotliny Sądeckiej wynosi kolejno 32 i 58 %, natomiast emisja CO i NO<sub>2</sub> pochodząca z tego źródła kształtuje się odpowiednio na poziomie ok. 65-80 oraz 85-95 % w zależności od położenia rozpatrywanego punktu.

### 3. Metoda pomiarowa

W celu weryfikacji obliczeń prowadzono metodą losową 24-godzinne pomiary stężeń dwóch wybranych zanieczyszczeń: pyłu zawieszonego i B(a)P, w okresie od lutego do października 1993 r. ze średnią częstotliwością dwa razy w miesiącu. Były one wykonywane równolegle w 3 reprezentatywnych punktach pomiarowych z zastosowaniem identycznej metodyki i aparatury [1, 9]. Do poboru próbek pyłu z powietrza wykorzystywano filtry firmy Staplex oraz aspiratory AP-700. Analizę chemiczną pyłu na zawartość WWA prowadzono chromatografem gazowym firmy Hewlett-Packard model 5890 z detektorem masowym MSD 5970.

Uzyskane serie pomiarów dobowych zostały uśrednione dla okresu roku. Porównanie wyników obliczeń z wynikami pomiarów bezpośrednich zawarto w tabelicy 2.

Tab. 2. Porównanie wyników obliczeń stężeń średniorocznych B(a)P i pyłu zawieszonego z wynikami pomiarów bezpośrednich

Lokalizacja punktu *	Stężenie pyłu zawieszonego [μg/m <sup>3</sup> ]		Stężenie B(a)P [ng/m <sup>3</sup> ]	
	Obliczone	Zmierzone	Obliczone	Zmierzone
Os. Helena, ul. Kosmonautów	45	97	4	7,8
Sądeckie Zakłady Eksploatacji Kruszywa, al. S. Batorego	65	80	7	7,8
Baritpol SA, ul. Węgierska	40	82	3	4,3

\* - Os. Helena - północno zachodnia część miasta, SZEK - centrum miasta, Baritpol SA - południowa część miasta

Z porównania tego wyniku, że w każdym punkcie pomiarowym zarówno stężenia B(a)P jak i pyłu zawieszonego otrzymane w wyniku pomiarów są wyższe od stężeń obliczonych, na co może składać się szereg przyczyn: błąd w obliczeniach i szacowaniu emisji zanieczyszczeń, niedoskonałość modelu propagacji zanieczyszczeń, jak również nieuwzględnianie w obliczeniach źródeł emisji położonych poza Kotliną Sądecką, a w przypadku komunikacji - poza granicami Nowego Sącza. Najbardziej zbliżone do rzeczywistych są stężenia uzyskane w punkcie pomiarowym zlokalizowanym przy Sądeckich Zakładach Eksploatacji Kruszywa:

- w przypadku B(a)P różnica wynosi 10 %,
- w przypadku pyłu różnica wynosi 19 %.

Punkt ten jest zlokalizowany w centrum miasta, a więc za jakość powietrza w tym miejscu w decydującym stopniu powinny odpowiadać lokalne źródła emisji. W pozostałych punktach różnice stężeń są już wyższe, co może świadczyć o napływie na teren miasta zanieczyszczeń spoza obszaru Kotliny Sądeckiej. Przyjmując założenie, że otrzymane różnice w stężeniach zmierzonych i obliczonych wynikają jedynie z faktu nieuwzględnienia napływu zanieczyszczeń spoza Kotliny Sądeckiej, można stwierdzić, że źródła położone poza rozpatrywanym obszarem kształtują jakość powietrza w Nowym Sączu średnio w ok. 42 % w przypadku pyłu zawieszonego i w ok. 30 % w przypadku B(a)P.

#### **4. Wnioski**

1. Na terenie Nowego Sącza i pozostałych gmin Kotliny Sądeckiej głównymi Źródłami emisji SO<sub>2</sub>, pyłu i B(a)P są źródła stacjonarne (przede wszystkim energetyka komunalna i paleniska domowe). W przypadku emisji CO i NO<sub>2</sub> dominują źródła mobilne (komunikacja).
2. Najbardziej zagrożone jest centrum Nowego Sącza, gdzie występuje strefa przekroczeń dopuszczalnych stężeń wszystkich głównych zanieczyszczeń powietrza. W kształtowaniu ponadnormatywnych poziomów stężeń CO i NO<sub>2</sub> dominujący udział ma motoryzacja. Decydujący wpływ na wielkość emisji B(a)P ma emisja z sektora bytowego i przemysłu, natomiast w przypadku SO<sub>2</sub> i pyłu energetyka komunalna.
3. Występuje wyraźna zależność pomiędzy gęstością ulic i wielkością natężenia ruchu a kształtowaniem się poziomów stężeń podstawowych zanieczyszczeń komunikacyjnych. Wyraźne związki zauważalne są również pomiędzy obszarami o zwiększonej koncentracji palenisk domowych i wielkością stężeń B(a)P.
4. Stosowanie metod numerycznych modelowania propagacji zanieczyszczeń pozwala na stosunkowo rzetelną ocenę aktualnego i prognozowanego stanu jakości



powietrza, co potwierdzają wyniki pomiarów bezpośrednich przeprowadzonych w celu weryfikacji obliczeń teoretycznych.

## 5. Literatura

- [1] Mazur M. i inni: Ocena stanu zanieczyszczenia miasta Nowego Sącza. Zakład Kształtowania i Ochrony Środowiska AGH. Kraków 1993. Praca niepublikowana.
- [2] Mazur M., Bogacki M., Oleniacz R.: Zastosowanie metody obliczeniowo-pomiarowej do oceny stanu zanieczyszczenia powietrza w Nowym Sączu. Inżynieria Środowiska 1996, tom 1.
- [3] Wydział Ochrony Środowiska Zasobów Naturalnych i Leśnictwa UW w Nowym Sączu: Inwentaryzacja źródeł emisji zanieczyszczeń powietrza. OS.I.0124/A/33/93. Praca niepublikowana.
- [4] Wojewódzki Urząd Statystyczny w Nowym Sączu: Podstawowe dane statystyczne według miast i gmin za 1991 r. Nowy Sącz 1992.
- [5] Koniecznyński J., Szeliga J., Pasoń A.: Emisja PAH w sektorze bytowym. Ochrona Powietrza 1992, nr 6.
- [6] MOŚZNiL: Wskaźniki emisji zanieczyszczeń powietrza. PZoa/0631/1700/91. Warszawa 1991.
- [7] Mazur M., Oleniacz R., Oleniacz-Biernat B.: Zastosowanie modelowania matematycznego do oceny stanu zanieczyszczenia powietrza powodowanego przez motoryzację. Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów 1995, nr 6.
- [8] MOŚZNiL: Obliczanie opłat za wprowadzanie zanieczyszczeń do powietrza z silników spalinywych. PZmot./063/3/93. Warszawa, 01.02.1993.
- [9] Mazur M., Bogacki M., Oleniacz R.: Zanieczyszczenie powietrza Kotliny Sądeckiej przez przemysł elektrodowy. Aura 1996, nr 2.