

PAWEŁ GORYŃSKI, IRENA SZUTOWICZ, BOGDAN WOJTYNIAK

SZACOWANIE NARAŻENIA LUDNOŚCI NA ZANIECZYSZCZENIA POWIETRZA ATMOSFERYCZNEGO

THE ASSESSMENT OF POPULATION EXPOSURE TO AMBIENT AIR POLLUTION

Zakład Statystyki Medycznej, Państwowy Zakład Higieny
00-791 Warszawa, ul. Chocimska 24
Kierownik: dr P. Goryński

W pracy przedstawiono wyniki pomiarów zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego (SO₂ i pyłu zawieszonego) na terenie Poznania i całej Polski. Przy pomocy krigingu (ARC/INFO) oszacowano poziomy badanych zanieczyszczeń oraz narażenie ludności zamieszkującej na obszarze Poznania i całej Polski. Stwierdzono, że 24% ludności zamieszkuje na terenach o zanieczyszczeniu (SO₂) przekraczającym dopuszczalną normę średnioroczną 32µg/m³.

WSTĘP

Pomiary stężeń zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego w Polsce prowadzone są rutynowo od szeregu lat przez Państwową Inspekcję Sanitarną (PIS) i Państwową Inspekcję Ochrony Środowiska (PIOŚ). Wyniki tych badań publikowane są od kilku lat przez te dwie instytucje w specjalnych opracowaniach [4]. Prezentowane są w nich parametry charakteryzujące stężenie różnych zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego w Polsce. Przedstawiane są także terytorialne zróżnicowania zanieczyszczeń powietrza w kraju i tendencje zmian zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego w ostatnich latach.

W ramach specjalnych badań epidemiologicznych prowadzone są czasem w kraju pomiary zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego na wybranych małych obszarach. Tego typu pomiary z zastosowaniem gęstej sieci tzw. monitorów pasywnych wykonywano w badaniu SAVIAH, które było prowadzone we współpracy z ośrodkami naukowymi w Anglii, Holandii i Czechach [3].

Rutynowo wykonywane pomiary dają dobry obraz geograficznego zróżnicowania poziomów tych zanieczyszczeń i pozwalają na analizę trendów czasowych. Istotnym problemem jest jednak wykorzystanie tych danych do globalnej oceny narażenia ludności Polski na różne zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego.

Celem prezentowanej pracy była próba oszacowania na podstawie rutynowo zbieranych danych narażenia ludności Polski na zanieczyszczenia powietrza SO₂ i pyłem zawieszonym w oparciu o metodykę opracowaną dla małych obszarów.

MATERIAŁ I METODY

W pracy analizowano informacje pochodzące z dwóch źródeł. W pierwszym etapie pracy analizowano informacje pochodzące z polskiej części prowadzonego w czterech krajach europejskich badaniach SAVIAH [2] (Small Area Variations in Air Quality and Health) finansowanego częściowo przez Unię Europejską. Badanie to prowadził w Polsce Zakład Statystyki Medycznej Państwowego Zakładu Higieny a w części terenowej realizowanej w latach 1992–1993 współuczestniczyła Wojewódzka Stacja Sanitarno-Epidemiologiczna w Poznaniu.

Teren badania obejmował pas miasta Poznania biegnący z północnego zachodu na południowy wschód (ryc. 1). Kształt i przebieg pasa badania uwarunkowany był dominującymi w ciągu roku w mieście wiatrami o kierunku z północnego zachodu na południowy wschód. W pasie tym utworzono sieć 80 punktów pomiarowych do oceny stężeń SO_2 w powietrzu atmosferycznym. 54 punkty pomiarowe znajdowały się w pobliżu szkół, których uczniowie objęci byli specjalnymi badaniami ankietowymi dotyczącymi ich stanu zdrowia (głównie występowania objawów ze strony układu oddechowego).



Ryc. 1. Wybrane warstwy zdigitalizowanej mapy Poznania z zaznaczonym terenem badania.
Digitalized map of Poznan – selected layers; study area shaded

Pomiary zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego prowadzono przy użyciu tzw. monitorów pasywnych. Próbniki te to otwarte jednostronnie, walcowate pojemniki plastikowe zawierające siatki przesycone substancją chłonną SO_2 . Czas ekspozycji próbników wynosił 2 tygodnie a wyniki przeliczane były na średnie 24 godzinne wyrażone w $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Pomiary zanieczyszczeń dokonywane były 4-krotnie w ciągu roku przy czym w analizie stężeń SO_2 uwzględniono średnie z okresu zimowego (sezon grzewczy).

Badania poziomu zanieczyszczeń powietrza w Poznaniu prowadzono na terenie obejmującym 70% powierzchni miasta (ryc. 1). Podstawę dla prowadzonych analiz stanowiła zdigitalizowana mapa miasta (17 arkuszy 1:10000) obejmująca podstawowe warstwy – drogi i ulice, sieć kolejową, wody, bloki zabudowań, parki, pola itd. Ponadto, na podstawie materiałów Głównego Urzędu Statystycznego zdigitalizowano granice 470 rejonów spisowych (udostępnione przez GUS) w Poznaniu co pozwoliło na wykorzystanie danych Spisu Powszechnego 1988, (m. in. zaludnienia) dla małych obszarów. W toku analizy (m. in. ze względu na małe liczebności badanych dzieci) rejony te połączono po 5 tworząc 89 większych obszarów.

W drugim etapie wykorzystywano dane dotyczące zanieczyszczeń powietrza (SO_2 i drobne pyły) na terenie całego kraju rutynowo zbierane w sieci Państwowej Inspekcji Sanitarnej. Są one opublikowane w opracowaniu pt. „Zanieczyszczenia powietrza w Polsce w 1993 roku” [3]. Metodyka pobierania próbek powietrza i ich analiza laboratoryjna zostały opisane w cytowanej publikacji.

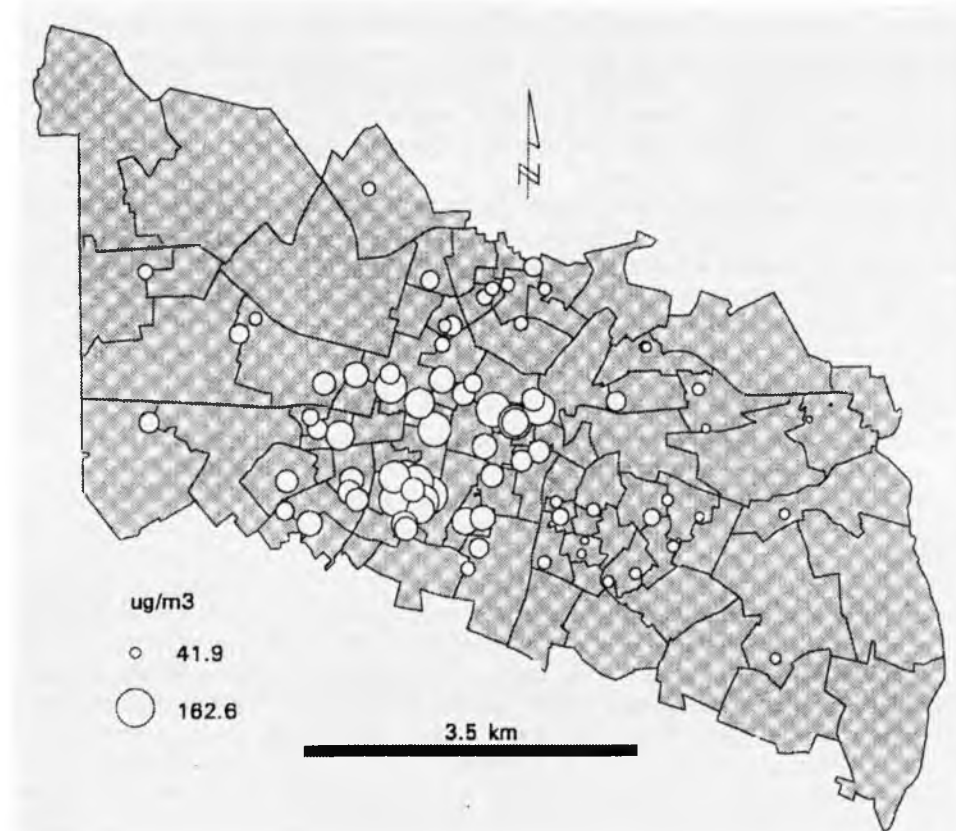
W pracy posłużono się danymi średniorocznymi stężeń SO_2 i pyłu zawieszonego dla poszczególnych rejonów administracyjnych (gmin), w których prowadzone są pomiary. Średnioroczne stężenia były wyliczone z pomiarów średniodobowych analizowanych zanieczyszczeń powietrza.

Pomiary stężeń SO_2 w Polsce wykonywane są w ponad 500 punktach położonych w różnych rejonach kraju przy czym większa liczba punktów pomiarowych znajduje się na terenach o podwyższonej emisji SO_2 , na południu kraju. Analiza prowadzona była wg jednostek administracyjnych (gmin), w których położone były punkty pomiarowe. W przypadku istnienia kilku punktów pomiarowych w gminie za poziom stężenia przyjmowano wartość średnią ze wszystkich punktów (ogółem pomiary prowadzone są w 264 gminach w kraju). Wartości stężeń przypisano centroidom jednostek administracyjnych.

Modelowanie wyników dotyczących zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego przeprowadzono w systemie ARC/INFO za pomocą metody krigingu [1]. W ogólności kriging jest metodą oceny parametru zróżnicowanego w przestrzeni przy uwzględnieniu współzależności między obserwacjami. Może on też służyć jako optymalna procedura interpolacyjna oparta na postulatcie minimalizacji wariancji różnicy wartości parametru i jego estymatora. Procedura krigingu oparta jest na charakterystyce zmienności funkcji (wariogramu) ilustrującej zróżnicowanie wartości parametru w zależności od jego odległości od punktu do punktu pomiaru. Dla danych empirycznych wariogramy mogą być wyrażone za pomocą prostych funkcji analitycznych, traktowanych wówczas jako funkcje/modele zmienności. W pracy stosowano opcję Ordinary Kriging ze sferycznym modelem zmienności, uzyskując warstwy (izopowierzchnie) stężeń SO_2 . W tym ujęciu każdej z gmin (lub każdemu z rejonów) przyporządkowano średnią ważoną wartość stężenia SO_2 , przy czym współczynniki wagowe zdefiniowano jako iloraz pól: określonej frakcji izopowierzchni oraz całkowitej powierzchni gminy (rejonu).

WYNIKI

Stężenie zanieczyszczeń powietrza w okresie grzewczym w punktach pomiarowych na obszarze objętym badaniami w Poznaniu przedstawiono na ryc. 2. Poziom stężenia wahał się w przedziale od 41,9 do 162,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. W miesiącach poza sezonem grzewczym stężenia te są znacznie niższe gdyż wyłączone są główne źródła zanieczyszczeń. Największe stężenia obserwowano na obszarze śródmieścia gdzie istnieje dużo lokalnych



Ryc. 2. Średnie wartości stężeń SO₂ (w µg/m³) w powietrzu atmosferycznym w punktach pomiarowych w Poznaniu, dane dla okresu jesienno-zimowego 1992/1993.

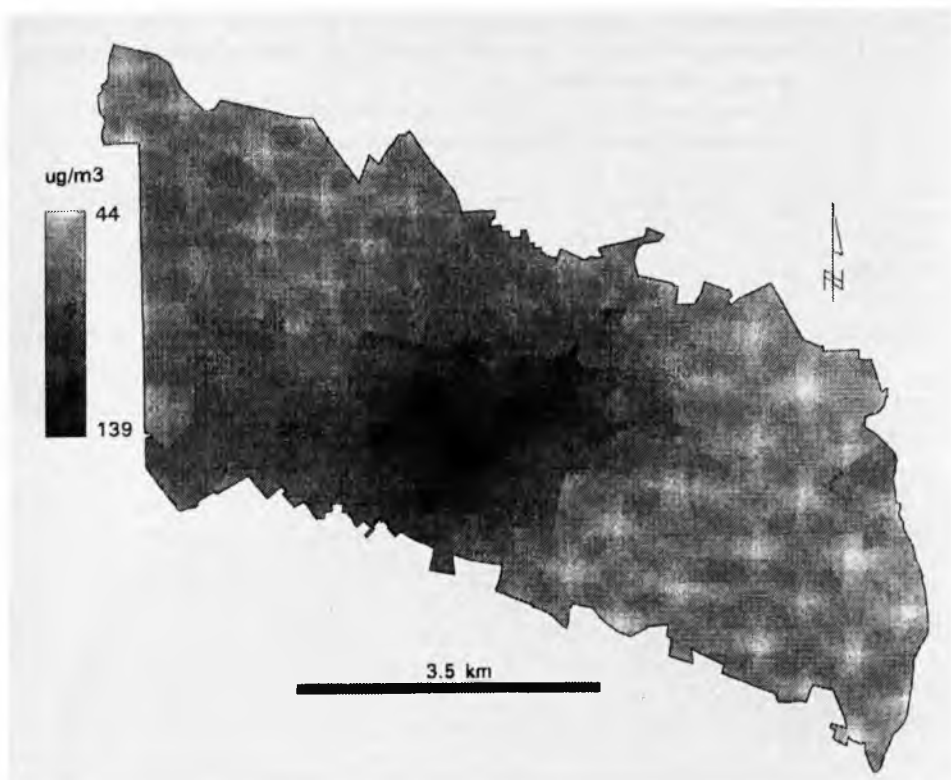
Mean SO₂ concentration in monitoring points in Poznań – heating season 1992/1993 (in µg/m³)

źródeł emisji dwutlenku siarki (kotłownie i indywidualne paleniska domowe). Uzyskane wyniki posłużyły do modelowania zanieczyszczeń powietrza na całym obszarze objętym badaniami (ryc. 3).

Jak stwierdzono wcześniej teren badania w Poznaniu podzielono na małe obszary (rejony spisowe), dla których uzyskano dane o liczbie zamieszkałej ludności. Największą gęstość zaludnienia obserwuje się w centrum miasta, gdzie również występuje najwyższy poziom zanieczyszczeń.

Nałożenie mapy gęstości zaludnienia na mapę modelowanych zanieczyszczeń powietrza w systemie ARC/INFO pozwoliło na oszacowanie odsetka osób narażonych na określone stężenia dwutlenku siarki w miejscu zamieszkania na terenie objętym badaniami (tab. I). Można stwierdzić, że około 30% ludności narażone było na zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego SO₂, przekraczające 100µg/m³.

Znajomość współrzędnych miejsca zamieszkania 4400 dzieci objętych badaniem stanu zdrowia, pozwoliła na oszacowanie narażenia tych dzieci na dwutlenek siarki.



Ryc. 3. Modelowane stężenia SO_2 (w $\mu\text{g}/\text{m}^3$) w powietrzu atmosferycznym na terenie objętym badaniami w Poznaniu w okresie jesienno zimowym 1992/1993.
Modelled SO_2 concentration (kriging) in the study area in Poznań – heating season 1992/1993 (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Jak widać z tabeli I około 1/4 dzieci w wieku 8–9 lat w Poznaniu na obszarze objętym badaniem była narażona w sezonie grzewczym na dwutlenek siarki w powietrzu atmosferycznym o stężeniu przekraczającym $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Wyniki badania SAVIAH wskazują równocześnie, że narażenie na stężenia dwutlenku siarki o tym poziomie jest związane ze zwiększonym ryzykiem wystąpienia niekorzystnych objawów ze strony układu oddechowego (kaszel, astma).

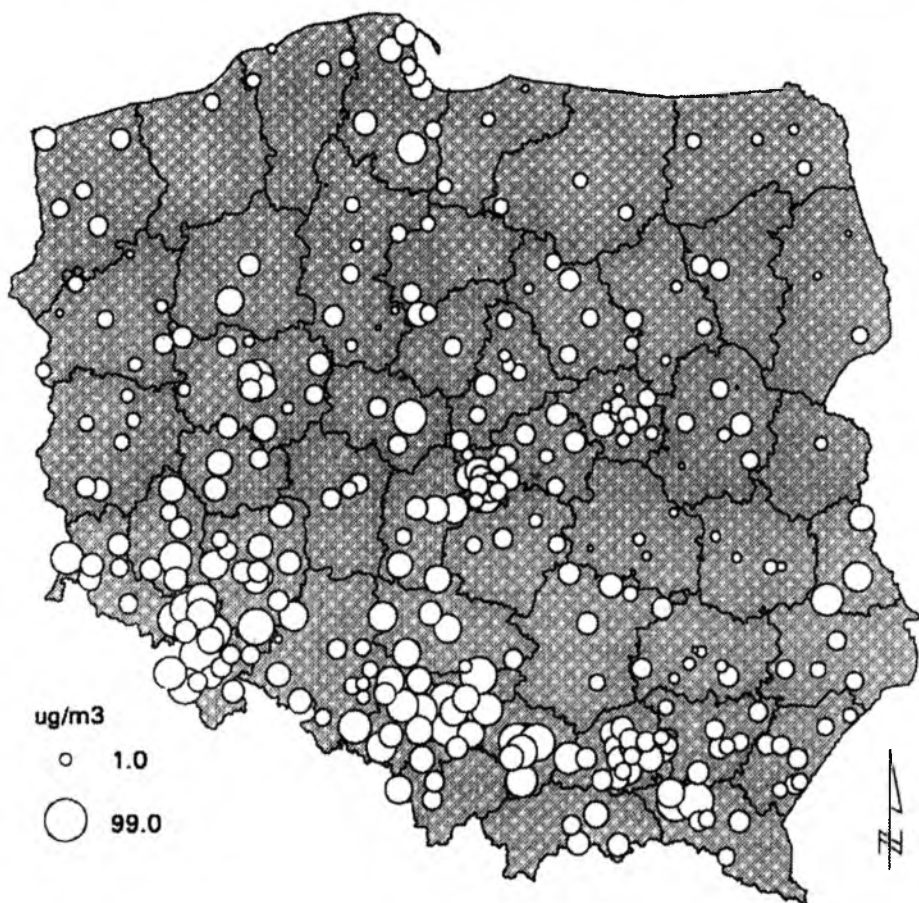
Średnioroczne stężenia SO_2 w powietrzu atmosferycznym w Polsce w 1993 r. ważyły się w granicach od 1 do $99 \mu\text{g}/\text{m}^3$ przy czym największe zanieczyszczenie obserwowano na południu kraju i w dużych aglomeracjach miejskich – ryc. 4. Stosując procedurę krigingu modelowano oszacowane stężenia SO_2 na terenie całego kraju – ryc. 5.

Posługując się danymi Głównego Urzędu Statystycznego utworzono mapę ludności Polski wg gmin, którą nałożono na mapę modelowanych stężeń SO_2 co pozwoliło na oszacowanie rozkładu narażenia ludności Polski na dwutlenek siarki w powietrzu atmosferycznym. Jak wiadomo obowiązująca średnioroczna wartość dopuszczalna dla dwutlenku siarki wynosi $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Z przedstawionego oszacowania (tab. II) wynika,

Tabela I Oszacowanie rozkładu narażenia na SO₂ w powietrzu atmosferycznym mieszkańców Poznania i dzieci 8-9 letnich na obszarze objętym badaniem w sezonie grzewczym 1993

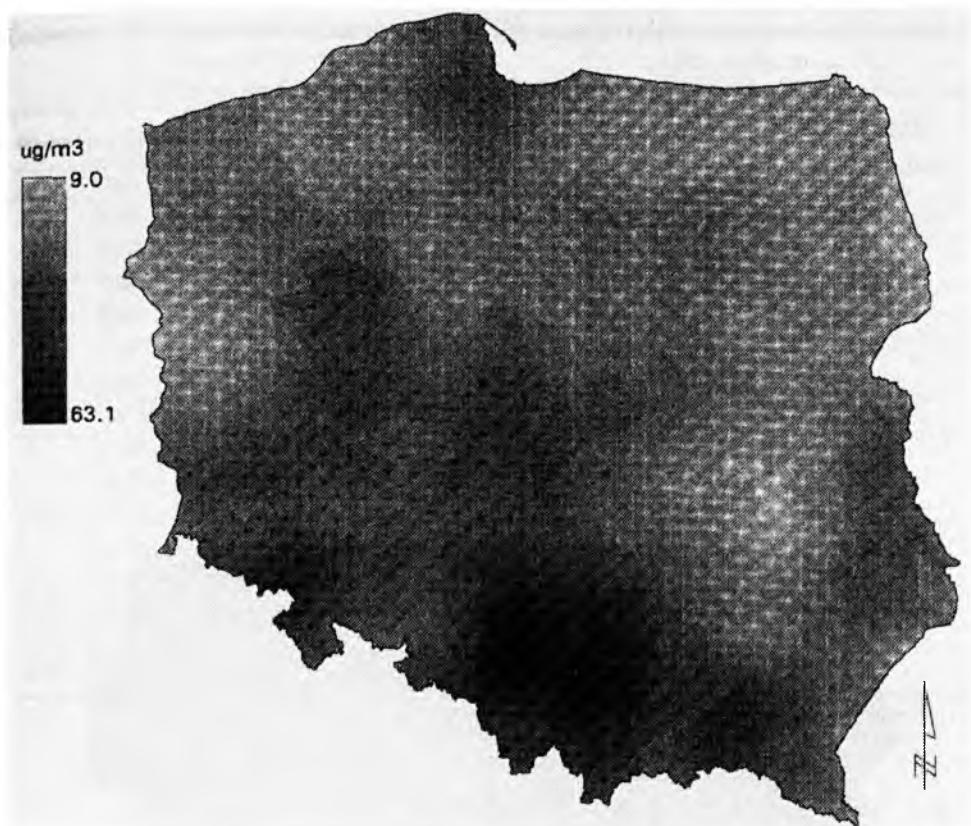
SO₂ exposure distribution of Poznań population and children aged 7-8 years in the study area in 1992/1993 heating season.

Stężenie SO ₂ μg/m ³	Odsetki mieszkańców	Odsetki skumulowane	Odsetki dzieci 8-9 l.	Odsetki skumulowane
40-60	24,4	24,4	32,6	32,6
60-80	25,7	50,1	23,0	55,6
80-100	19,2	69,3	18,9	74,5
100-120	19,5	88,8	16,8	91,3
120-	11,2	100,0	8,7	100,0
Razem	100,0	-	100,0	-



Ryc. 4. Średnioroczne stężenia SO₂ w powietrzu atmosferycznym w Polsce w gminach gdzie prowadzone były pomiary w 1993 r.

Annual average of SO₂ daily concentration by smallest administrative unit (gmina) in Poland in 1993 (in μg/m³).



Ryc. 5. Średnioroczne stężenia SO_2 w powietrzu atmosferycznym w Polsce w 1993 r – dane modelowane (kriging).
Modelled (kriging) SO_2 concentration in Poland in 1993 (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

że około 15,8% ludności Polski narażone jest na stężenia SO_2 przekraczające obowiązującą średnioroczną normę.

Podobną procedurę jak dla dwutlenku siarki zastosowano dla pyłów zawieszonych, których poziom monitorowany jest w tych samych punktach co SO_2 (ryc. 6).

Stwierdzono, że 26% ludności Polski narażone jest na stężenia przekraczające dopuszczalną normę $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (tab. III).

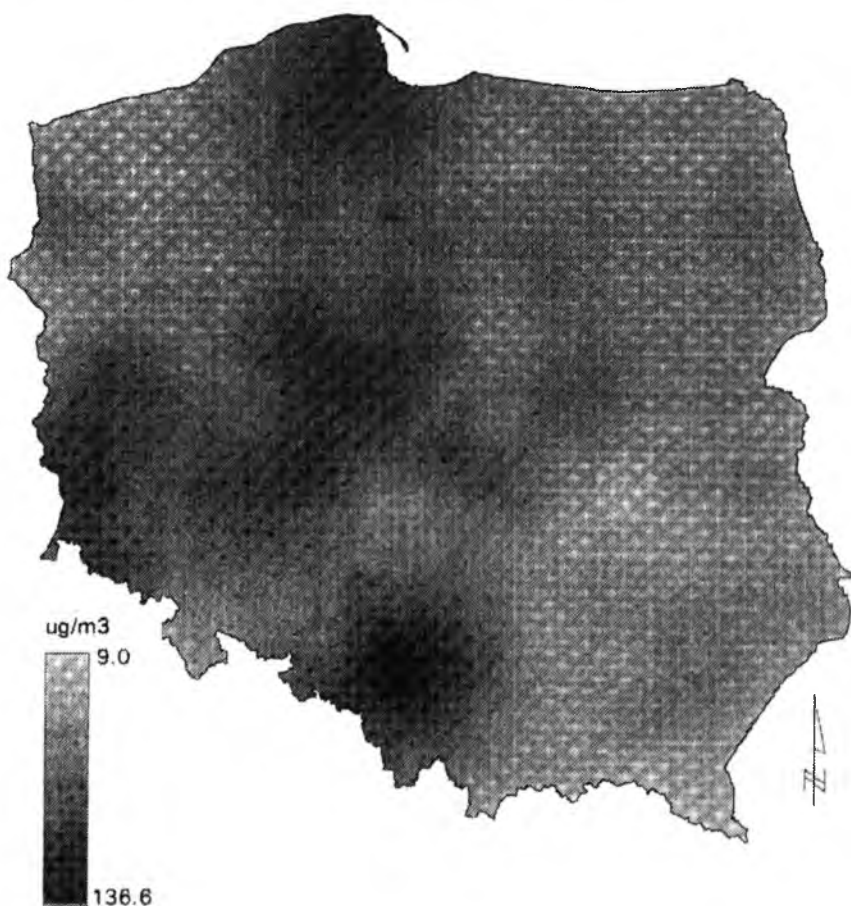
W toku prowadzonej analizy stwierdzono, że 67% ludności nie jest narażone na przekroczenia norm średniorocznych badanych zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego jednak prawie 17% ludności zamieszkuje na terenach gdzie przekroczone są średnioroczne normy zarówno dla pyłu zawieszonego jak i dwutlenku siarki.

PODSUMOWANIE

Ocena narażenia ludności na zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego jest sprawą skomplikowaną i brak dotychczas prostej metodyki, która pozwoliłaby na wykorzys-

Tabela II Rozkład narażenia ludności Polski na dwutlenek siarki w powietrzu atmosferycznym w 1993 r.
SO₂ exposure distribution of the population in Poland in 1993.

Stężenie SO ₂ μg/m ³	Ludność w tys.	Odsetki	Odsetki skumulowane
-10	667	1,8	1,8
10-20	15473	40,7	42,5
20-30	11490	30,3	72,8
30-40	4527	11,9	84,7
40-50	2830	7,5	92,2
50-60	2316	6,1	98,3
60-70	663	1,7	100,0
Razem	3796	100,0	-



Ryc. 6. Średnioroczne stężenia pyłu zawieszonego w powietrzu atmosferycznym w Polsce w 1993 r. – dane modelowane (kriging).

Modelled (kriging) suspended particulate matter concentration in Poland in 1993 (in μg/m³).

Tabela III Rozkład narażenia ludności Polski na pyły zawieszone w powietrzu atmosferycznym w 1993 r.
Suspended particulate matter exposure distribution of the population in Poland in 1993.

Stężenie $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Ludność w tys.	Odsetki	Odsetki skumulowane
-10	98	0,3	0,3
10-20	4114	10,8	11,1
20-30	11731	30,9	42,0
30-40	7397	19,5	61,5
40-50	4771	12,5	74,0
50-60	3543	9,3	83,4
60-70	1284	3,4	86,8
70-80	466	1,2	88,0
80-90	667	1,8	89,7
90-100	537	1,4	91,2
100-110	722	1,9	93,1
110-120	936	2,5	95,5
120-130	1091	2,9	98,4
130-140	609	1,6	100,0
Razem	37966	100,0	-

tanie rutynowo zbieranych danych monitoringowych do tego celu. Należy ponadto zaznaczyć że różne rodzaje zanieczyszczeń mogą wymagać różnych sposobów modelowania, jednak wydaje się, że zaproponowany w tym opracowaniu sposób szacowania narażenia ludności na SO_2 i pyły zawieszone może stanowić podstawę do dalszych prac nad tym problemem. Na poparcie tego stwierdzenia można dodać, że zbliżoną do prezentowanej w niniejszej pracy metodykę szacowania poziomów zanieczyszczeń powietrza (SO_2 , NO_2) stosowano w Programie Monitoringu przenoszenia zanieczyszczeń powietrza na duże odległości w Europie, realizowanym w ramach EKG ONZ [2].

P. Goryński, I. Szutowicz, B. Wojtyniak

THE ASSESSMENT OF POPULATION EXPOSURE TO AMBIENT AIR POLLUTION

Summary

The air pollution concentrations of SO_2 and suspended particulate matter in 1993 in one Polish city Poznan and over entire Poland have been modeled and mapped. The data for Poznan were obtained during special epidemiological study by means of a dense network of passive samples and the data for Poland were obtained from the routine network operated by Sanitary Epidemiological Stations. The modeling employed the kriging method of ARC/INFO computer package. It was found that about 1/3 of Polish population was exposed to the SO_2 and/or SPM level that exceeded annual recommended values. In Poznan 25% of children aged 8-9 years were exposed to SO_2 level above 100 during heating season 1992/1993.

PIŚMIENNICTWO

1. ARC/INFO Users Guide, Environmental Systems Research Institute INC. 1991. – 2. *Barrett K., Seland O. i in.*: European Transboundary Acidifying Air Pollution; EMEP/MSC-W Report 1/95; Oslo 1995. – 3. *Goryński P., Wojtyniak B., Roszkowska H., Szutowicz I., Szaniecki J.*: Badania zanieczyszczeń powietrza i niektórych aspektów stanu zdrowia dzieci w Poznaniu – doniesienie wstępne *Przeg. Epid.* 1994, 48, 301. – 4. Zanieczyszczenia powietrza w Polsce w 1994 roku: Biblioteka monitoringu środowiska, Warszawa 1995.

Otrzymano: 1996.09.01