

PAWEŁ GORYŃSKI, IRENA SZUTOWICZ, BOGDAN WOJTYNIAK, JERZY SZANIECKI¹OCENA ZANIECZYSZCZEŃ POWIETRZA (SO₂ NO₂) PRZY UŻYCIU
MONITORÓW PASYWNYCH²SO₂ AND NO₂ AIR POLLUTION MEASUREMENT WITH USE OF PASSIVE
MONITORSZakład Statystyki Medycznej, Państwowy Zakład Higieny
00-791 Warszawa, ul. Chocimska 24

Pomiary stężeń zanieczyszczeń powietrza prowadzone rutynowo w naszym kraju dokonywane są przeważnie metodami aspiracyjnymi co wymaga odpowiedniego przygotowania stanowiska pomiarowego i jego ciągły nadzór. W ostatnich latach coraz częściej wykorzystuje się tzw. „próbki pasywne” do monitorowania niektórych zanieczyszczeń powietrza zwłaszcza tam gdzie potrzebna jest ocena różnicowania przestrzennego stężeń zanieczyszczeń powietrza. Praca poniższa przedstawia wyniki tego typu pomiarów wykonywanych na terenie miasta Poznania.

W ciągu ostatnich kilkunastu lat obserwuje się w Polsce wzrost zainteresowania problematyką związaną z chorobami układu oddechowego szczególnie u dzieci [4, 6]. Do rozwoju tych chorób w populacji przyczyniają się między innymi narażenia na czynniki środowiskowe, w tym również na zanieczyszczenie powietrza. Ponadto badania prowadzone ostatnio [2] wykazały, że nawet krótkotrwałe kilkudniowe zwiększenie zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego może powodować istotny statystycznie wzrost liczby zgonów w okresie następującym po epizodach podwyższonych stężeń zanieczyszczeń [5].

W warunkach polskich, 77,0% całkowitego zapotrzebowania na energię pochodzi z procesu spalania węgla, a 13,8% – ze spalania ropy naftowej. Sytuacja ta powoduje stałe choć różne w różnych regionach kraju narażenie mieszkańców na zanieczyszczenia powietrza będące rezultatem procesów spalania. Narażenie to ma miejsce także w pomieszczeniach mieszkalnych gdyż dominującym sposobem wentylacji jest otwieranie okien umożliwiające swobodną penetrację zanieczyszczeń powietrza do pomieszczeń. Dodatkowym źródłem zanieczyszczeń powietrza w mieszkaniach są kuchnie (w naszych warunkach przeważnie gazowe) oraz indywidualne ogrzewanie. Wszystko to skłania do prowadzenia badań skutków zdrowotnych zanieczyszczeń powietrza zwłaszcza drobnymi pyłami tlenkami siarki i azotu.

¹ Z Wojewódzkiej Stacji Sanitarno Epidemiologicznej w Poznaniu.

² Praca częściowo finansowana z funduszu Unii Europejskiej – PECO.

Obecnie stosowane rutynowe metody pomiaru zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego m.in. ze względu na koszty uwzględniają niewielką liczbę punktów pomiarowych w aglomeracjach miejskich. Utrudnia to ocenę zróżnicowania stężeń zanieczyszczeń powietrza a tym samym ocenę narażenia mieszkańców różnych rejonów miasta.

W ramach współpracy międzynarodowej Zakład Statystyki Medycznej Państwowego Zakładu Higieny uczestniczył od stycznia 1993 r. do kwietnia 1995 r. w koordynowanym przez Londyńską Szkołę Higieny i Medycyny Tropikalnej programie: Small Area Variations in Air Quality and Health (SAVIAH) [1]; w części terenowej współuczestniczyła Wojewódzka Stacja Sanitarно Epidemiologiczna w Poznaniu. Pozostałymi uczestnikami projektu byli Holendrzy z Instytutu Zdrowia i Środowiska (RIVM) w Bilthoven oraz Czesi z Instytutu Zdrowia Publicznego w Pradze. Ogólnym celem programu było zastosowanie i ocena nowych metod w dziedzinie epidemiologii, geografii, modelowania rozchodzenia się zanieczyszczeń powietrza i wykorzystania statystyk zdrowia dla małych obszarów oraz łączenie danych w Geograficznym Systemie Informacyjnym. Jednym z celów programu SAVIAH było też przetestowanie metodologii pomiaru zanieczyszczeń powietrza w sieci monitorów pasywnych.

Celem poniższej pracy jest przedstawienie wyników badań zanieczyszczeń powietrza (SO_2 i NO_2) przy pomocy pasywnych monitorów w Poznaniu uzyskanych w wyniku realizacji w/w projektu.

MATERIAŁ I METODY

Terenowa część projektu SAVIAH realizowana była w Poznaniu na obszarze ciągnącym się z północnego zachodu na południowy wschód, (o powierzchni ok. 142 km^2) z dobrze zdefiniowanymi głównymi emitorami przemysłowymi zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego (26 punktów – podstawowych źródeł emisji SO_2).

Do pomiaru stężenia zanieczyszczeń użyto monitorów pasywnych typu: „badge *Willems'a*” i „tube *Palmer's'a*”. Schemat ich budowy przedstawia ryc. 1. Zasady rozstawiania próbników (wysokość, usytuowanie względem drzew, ścian budynków i przewidywanych kierunków ruchu powietrza i in.) zostały określone w protokole obowiązującym wszystkie ośrodki uczestniczące w programie SAVIAH.

Pomiary stężenia SO_2 przeprowadzono niezależnie w tzw.:

– „sieci podstawowej” (ryc. 2) – 4 badania sezonowe (w tym pierwsze pilotowe) z dwutygodniową ekspozycją próbników rozmieszczonych w 82 punktach pomiarowych. Badania te prowadzono w terminach:

badanie 1. – czerwiec 1993. (badanie jako pilotowe zostało wyłączone z analizy),

badanie 2. – listopad 1993 r.,

badanie 3. – luty/marzec 1994 r.,

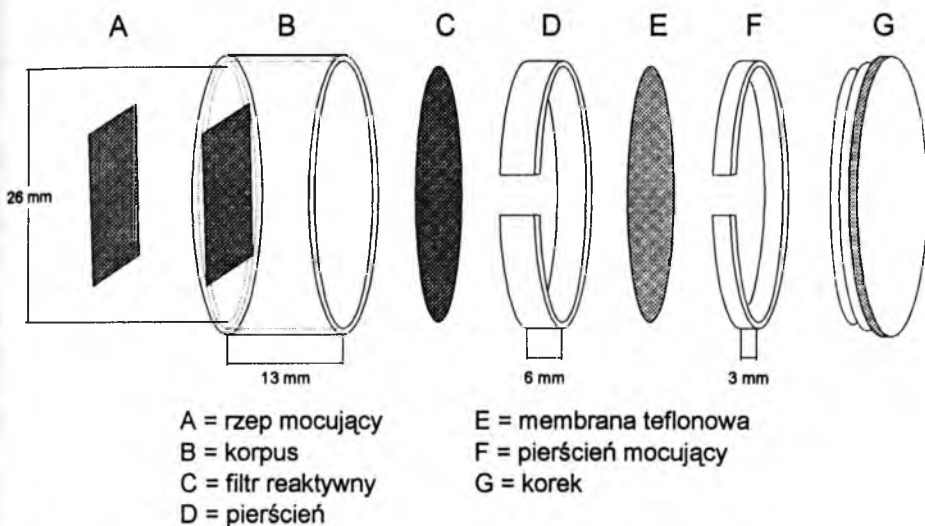
badanie 4. – kwiecień/maj 1994.:

– w „sieci ciągłej” – ciągłe pomiary (przeprowadzone od listopada 1993 r. do sierpnia 1994 r.) z miesięczną ekspozycją próbników rozmieszczonych w 10 punktach pomiarowych.

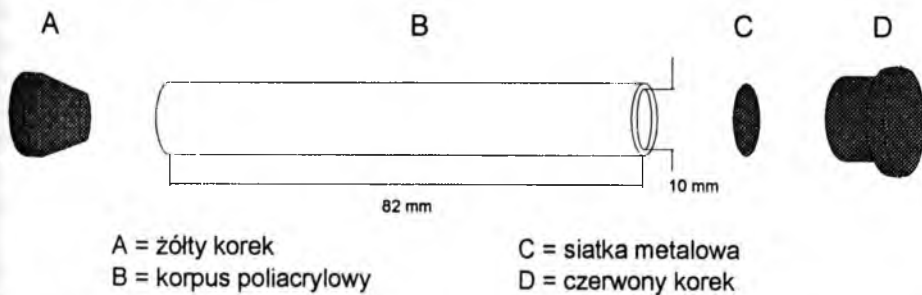
Pomiary stężenia NO_2 prowadzono w układzie przedstawionej powyżej sieci podstawowej z 40 punktami pomiarowymi.

W ramach badania pilotowego, przeprowadzonego w czerwcu 1993 r., przetestowano przydatność próbników. Badanie ukazało, iż wobec mniejszej wariancji uzyskanych wartości koncentracji [.] do pomiarów stężenia SO_2 przydatniejsze są monitory typu „badge” zaś do pomiarów

Willem's badge



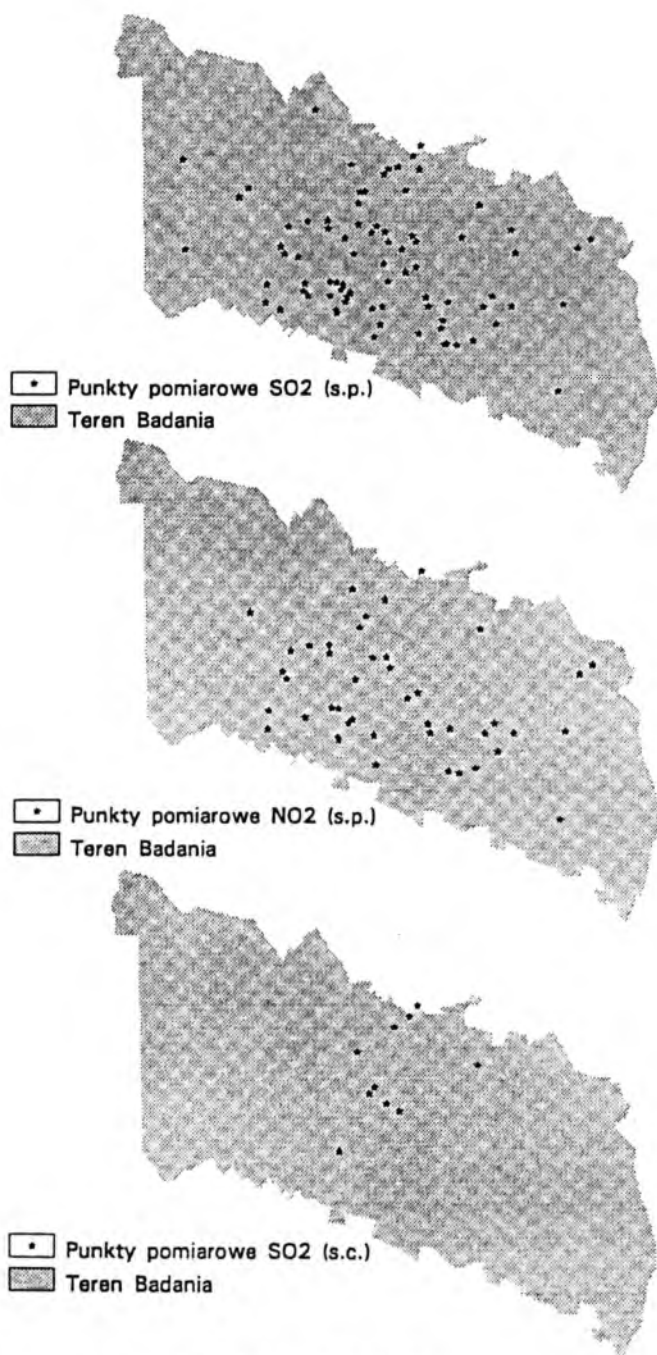
Palmes tube



Ryc. 1. Budowa monitorów pasywnych: u góry – „Willem's badge”, u dołu – „Palmes tube”
Passive samples construction: Willem's badge – up, Palmes tube – down

NO₂ – tuby Palmes'a. Powyższe przyporządkowanie: substancja badana/rodzaj próbnika – stosowano konsekwentnie w pozostałych badaniach.

Analizy laboratoryjne wykonywano w laboratorium Uniwersytetu w Wageningen (Holandia) z wyjątkiem analiz tub Palmes'a dla SO₂ wykorzystanych w badaniu pilotowym; analiz tych dokonano w Warren Spring Laboratory (Wielka Brytania).



Ryc. 2. Rozmieszczenie punktów pomiarowych badania:

s.p. – sieć podstawowa, s.c. – sieć ciągła

Monitoring sites distribution in the study area: s.p. – basic network, s.c. – longitudinal network

WYNIKI I ICH OMÓWIENIE

A) Próbniki.

W warunkach przepływu stacjonarnego fizyczny opis zjawiska molekularnej dyfuzji gazu, zachodzącej we wnętrzu próbника, podaje prawo *Ficka*. Prawo to można zapisać w postaci:

$$C = Q/A \times t \times L/D \quad (1)$$

gdzie: C jest koncentracją gazu, Q – całkowitą masą substancji badanej zgromadzoną w czasie t na aktywnych elementach próbника o powierzchni A; wielkość Q otrzymuje się z analizy laboratoryjnej przy wykorzystaniu techniki jonochromatografii dla „badgy” oraz spektrofotometrii dla „tub”. Pozostałe wielkości to:

L – droga dyfuzji,

D – współczynnik dyfuzji gazu w powietrzu.

W przypadku „tub” równanie (1) można zastosować bezpośrednio. Wobec nieoznaczności drugiego z ilorazów w równaniu (1) – dla „badgy”, do równania na koncentrację, wprowadza się empiryczną wielkość – Rt (całkowita oporność). Uwzględniając:

$$Rt = C_{ref}At/Q$$

gdzie A,t,Q – jak wyżej, zaś C_{ref} – koncentracja referencyjna, równanie (1) przyjmuje postać:

$$C = Q/A \times t \times Rt$$

Przez analogię do równania (1) wielkość Rt ma charakter *quasi* stałej materiałowej i nie powinna zależeć od miejsca pomiaru. Jej wprowadzenie implikuje konieczność referencyjnej kalibracji metody przy każdej sesji pomiarowej; stanowi to pewną słabość metody. Niemniej jednak wśród zalet pomiaru zanieczyszczeń powietrza przy użyciu monitorów pasywnych wymienia się:

1. niezależność od elektryczności/elektryfikacji umożliwiającą użycie próbników prawie wszędzie;
2. prostotę użycia umożliwiającą tworzenie gęstej sieci pomiarowej; pomiar rozpoczyna się przez zdjęcie odpowiedniej zatyczki i kończy jej nałożeniem.

W Tabeli I zebrano wyznaczone wartości Rt dla poszczególnych faz badania. Do referencyjnej kalibracji wykorzystano odpowiednie koncentracje uzyskane metodą aspiracyjną (dane WSSE w Poznaniu). Wielkość Rt wykazuje istotne zróżnicowanie sezonowe przy braku zmienności przestrzennej co jest zgodne z przedstawioną uprzednio opinią o braku zależności tego parametru od miejsca pomiaru przy równoczesnej jego zależności od czasu.

Rozkłady stężeń SO₂ i NO₂ w poszczególnych badaniach przedstawiono na ryc. 3 i 4. Jak widać, wraz z rozwojem okresu grzewczego obserwujemy przesunięcie środka ciężkości rozkładu (wartości średniej) w stronę wyższych wartości koncentracji SO₂. Przy czym, główne frakcje koncentracji kształtują się następująco:

w badaniu 2, – 80% wyników przypada na wartości poniżej 88,8 µg/m³ (poniżej piątego kwintyla);

w badaniu 3, – 80% wyników przypada na wartości poniżej 133 µg/m³ (poniżej piątego kwintyla);

w badaniu 4, – 80% wartości leży poniżej 4,2 µg/m³.

Odpowiednio zmieniały się także średnie koncentracje SO₂ ze wszystkich punktów pomiarowych w układzie sieci podstawowej, kształtowały się one w poszczególnych

Tabela I. Wartości Rt w kolejnych badaniach w punktach pomiarowych, w których wykonywane były również pomiary metodą aspiracyjną
 Rt values in measurement sites where the aspiration method and the passive samplers have been used in subsequent surveys.

Wyszczególnienie	Stanowiska pomiarowe			średnia	CV*
	A	B	C		
Badanie 1	248	256	210	238	10.3
Badanie 2	553	497	586	545	8.3
Badanie 3	552	599		561	9.7
Badanie 4		114		114	

* Współczynnik zmienności

okresach pomiarowych na poziomie: 60, 110, 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Jak widać w okresie grzewczym (wartość środkowa) średnia koncentracja była znacznie wyższa od pozostałych.

Dla NO_2 główne frakcje koncentracji klasyfikuje się także odpowiednio:

w badaniu 2, – 80% wartości przypada na wartości poniżej 34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (poniżej piątego kwintyla);

w badaniu 3, – 80% wyników przypada na wartości poniżej 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (poniżej piątego kwintyla);

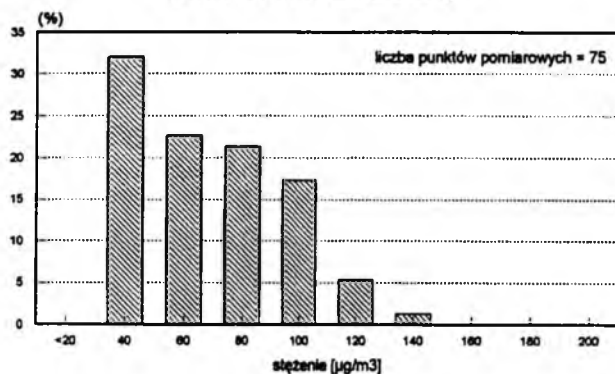
w badaniu 4, – 100% wartości nie przekracza 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Ryc. 5 obrazuje średnie zróżnicowanie stężeń badanych zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego we wszystkich punktach pomiarowych. Punkty pomiarowe zostały uszeregowane wg wartości średnich stężeń SO_2 i NO_2 . Przedstawione dla każdego punktu odchylenie standardowe jest miarą zróżnicowania pomiarów wykonywanych we wszystkich badaniach. Jak łatwo zauważyć w przypadku SO_2 wraz ze wzrostem stężenia zanieczyszczenia zwiększała się również zmienność jego poziomu natomiast w przypadku NO_2 zróżnicowanie stężeń nie zależało od ich poziomu (w okresach objętych badaniem).

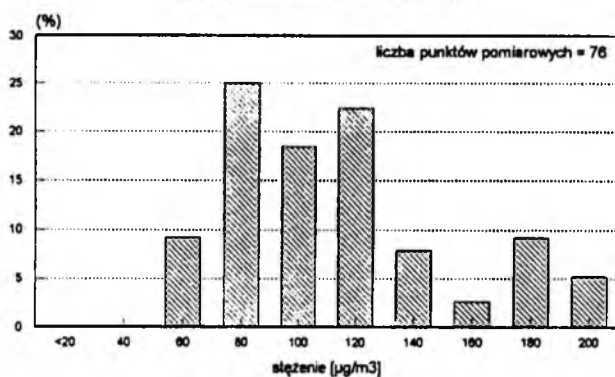
Należy zaznaczyć, że w trakcie planowania sieci do pomiarów zanieczyszczeń powietrza z zastosowaniem monitorów pasywnych należy się liczyć z pewnymi trudnościami związanymi z właściwym rozmieszczeniem próbników, które musi uwzględniać wymagania merytoryczne (wysokość umocnienia) oraz względy praktyczne. W toku prowadzonych przez nas badań okazało się na przykład, że niektóre próbki (liczba) zostały zdewastowane przez ludzi lub uszkodzone przez ptaki.

Prezentowana metoda monitorowania zanieczyszczeń powietrza pozwala na uzyskanie obrazu przestrzennego zróżnicowania koncentracji na wybranym terenie. Rycina 6 przedstawia koncentrację SO_2 w tej części obszaru Poznania, gdzie prowadzono opisywane badania. Wyniki te posłużyły do oszacowania narażenia ludności miasta na różne stężenia dwutlenku siarki [3].

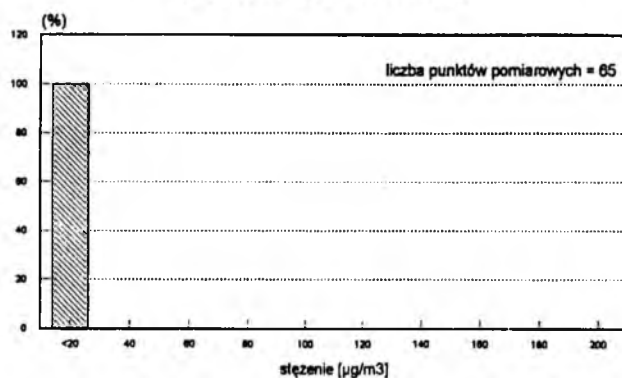
Rozkład stężeń SO₂
(sieć podstawowa - badanie 2)



Rozkład stężeń SO₂
(sieć podstawowa - badanie 3)

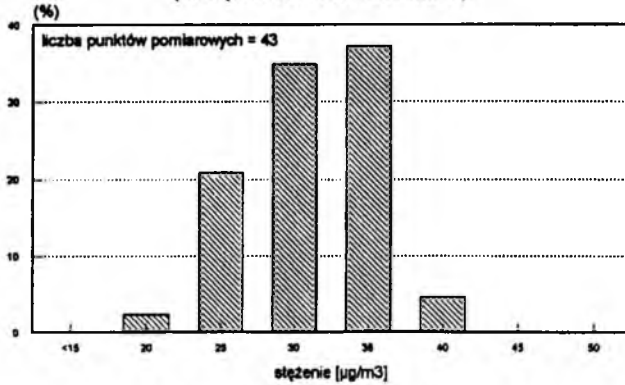


Rozkład stężeń SO₂
(sieć podstawowa - badanie 4)

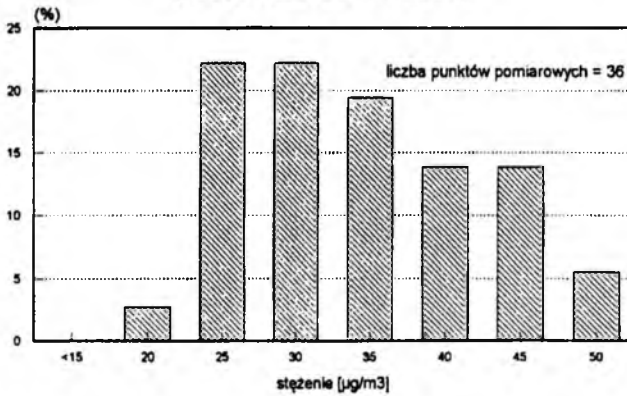


Ryc. 3. Rozkład stężeń SO₂ w kolejnych badaniach.
SO₂ concentration distribution in successive surveys.

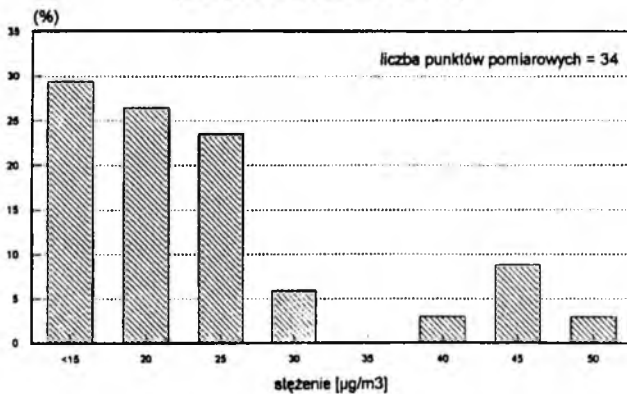
Rozkład stężeń NO₂ (sieć podstawowa - badanie 2)



Rozkład stężeń NO₂ (sieć podstawowa - badanie 3)

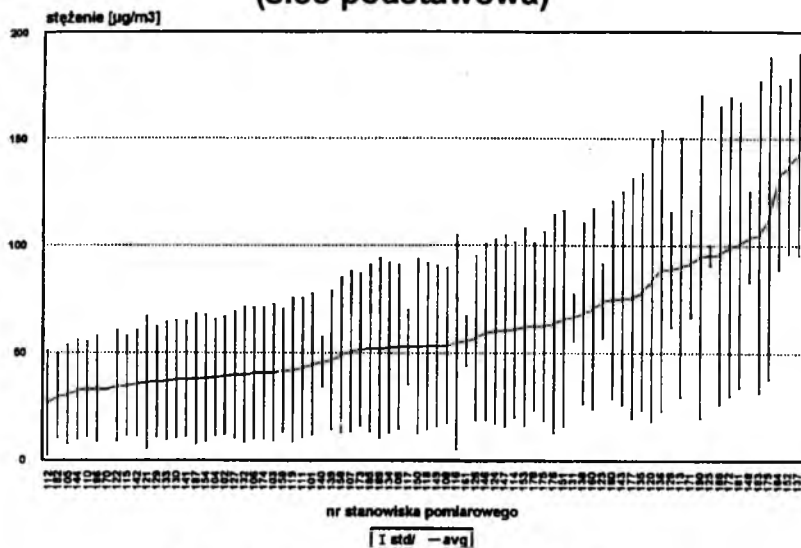


Rozkład stężeń NO₂ (sieć podstawowa - badanie 4)

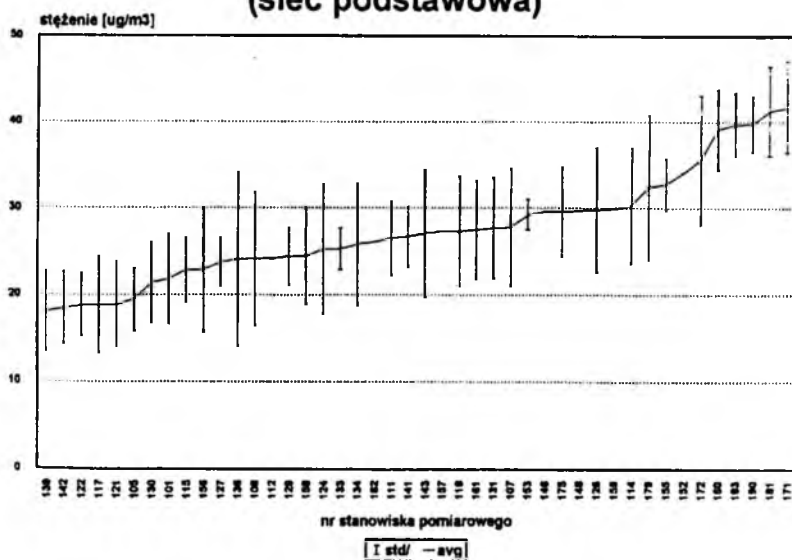


Ryc. 4. Rozkład stężeń NO₂ w kolejnych badaniach.
NO₂ concentration distribution in successive surveys.

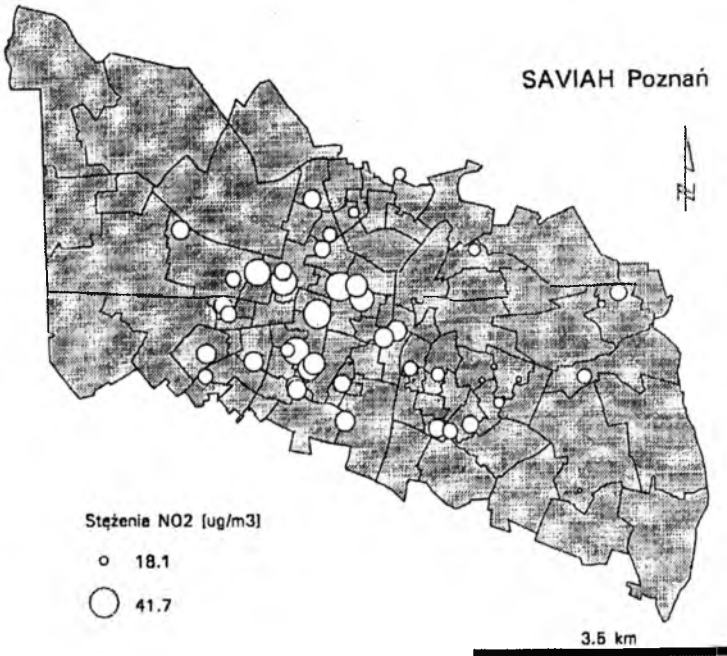
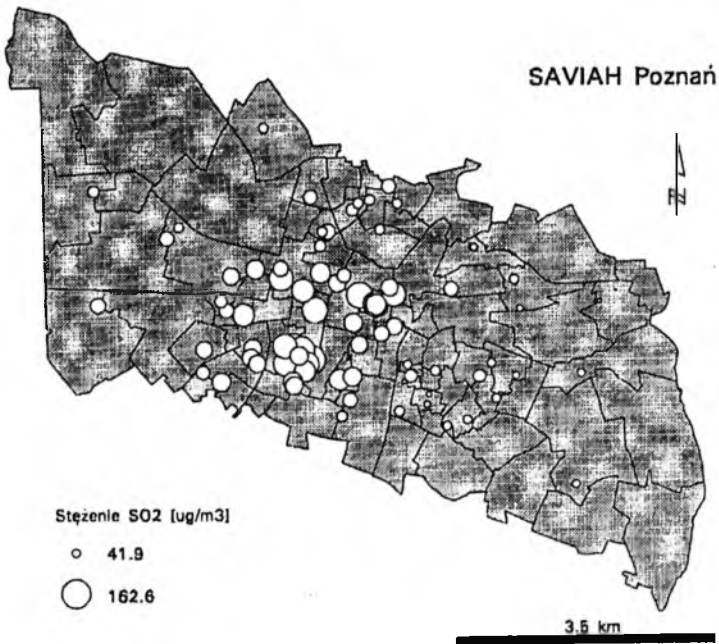
Średnie stężenie SO₂ (sieć podstawowa)



Średnie stężenie NO₂ (sieć podstawowa)



Ryc. 5. Średnie stężenia SO₂ i NO₂ na poszczególnych stanowiskach pomiarowych.
Mean SO₂ and NO₂ concentration by the measuring site.



Ryc. 6. Średnie koncentracje SO₂ i NO₂ na terenie objętym badaniem.
Mean SO₂ and NO₂ concentration in the study area.

PODSUMOWANIE

Monitory pasywne do pomiarów zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego pozwalają na objęcie gęstą siecią pomiarową stosunkowo dużych obszarów przy niedużym koszcie w porównaniu z metodami tradycyjnymi. Pozwala to na uzyskanie wyników umożliwiających oszacowanie rozkładów zanieczyszczeń przy pomocy geograficznych metod informacyjnych GIS i w konsekwencji na ocenę narażenia ludności na zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego. W Wielkiej Brytanii metoda monitorów pasywnych jest z powodzeniem stosowana do monitorowania zanieczyszczeń powietrza na dużych obszarach kraju.

Mankamentem metod pasywnych pomiaru koncentracji zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego jest stosunkowo długi okres ekspozycji, który uniemożliwia ocenę krótkotrwałych czasem znacznych skoków poziomów zanieczyszczeń. Równocześnie brak jest obecnie w naszym kraju norm umożliwiających bezpośrednią ocenę poziomów zanieczyszczeń uzyskanych z monitorów pasywnych.

Wydaje się, że w przyszłości monitorowanie zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego na terenach miejskich gdzie istnieje stosunkowo duże zróżnicowanie poziomów koncentracji na niewielkim obszarze mogłoby łączyć metody automatyczne pozwalające na precyzyjne pomiary koncentracji chwilowych i metody pasywne dające możliwość oceny zróżnicowania poziomów zanieczyszczeń i określania stopnia narażenia mieszkańców różnych rejonów miasta.

P. Goryński, I. Szutowicz, B. Wojtyniak, J. Szaniecki

SO₂ AND NO₂ AIR POLLUTION MEASUREMENT WITH USE OF PASSIVE MONITORS

Summary

Air pollution concentration measurement in Poland are routinely carried on using aspiration methods. This technique required suitable measurement point preparation and its monitoring. During last years passive monitors are used more and more frequently for some air pollutants concentrations measurement. The above mentioned method is recommended when spatial differentiation of air pollution are analyzed. Results of such measurements carried of in the area of Poznań are presented in this contribution.

PIŚMIENNICTWO

1. Elliott P., Briggs D., Lebert E., Goryński P., Kriz B.: Small area variations in air quality and health (the SAVIAH Study): Design and methods. *Epidemiology* 1995, 6, 4, Suppl. S. 32.
2. Katsouanni, G. Touloumi, C. Spix, J. Schwartz, F. Balducci, S. Medina, G. Rossi, B. Wojtyniak B.: Short term effects of ambient sulphur dioxide and particulate mater on mortality in 12 European Cites: results from time series data from APHEA project. *BMI*, 7 June, 1997, Vol 314, p 1658-1663.
3. Goryński P., Szutowicz I., Wojtyniak B.: Szacowanie narażenia ludności na zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego. *Roczn. PZH*, 1997, 48, 1. 38-46.
4. Wojtyniak B., Goryński P., Roszkowska H., Szutowicz I., Szaniecki J.: Czynniki środowiska domowego a występowanie objawów ze strony układu oddechowego u dzieci. *Przeg. Epid.*, 1995, 494.

5. *Wojtyniak B, Rabczenko B., Piekarski T.:* Short – term effect of air pollution on mortality in Poland. Epi marker, July 1997.
6. *Zejda J., Zlotowska R., Skiba M., Razniak M., Matuszewski:* Effect of ambient air pollution on peak expiratory flow rate – results of the panel study in children living in the silesian industrial zone. ISEE/ISEA, Central and Eastern European Chapter. Conference and Workshop. Host Factors in Environmental Epidemiology. Cracow, June 11–14, 1995. 183–191.

Otrzymano: 1997.12.01.