BADANIA FIZJOGRAFICZNE NAD POLSKĄ ZACHODNIĄ
Tom XXXIV, Seria A, Geografia Fizyczna
1981

TADEUSZ STRYJAKIEWICZ

PRÓBA MODELOWEGO UJĘCIA ROZKŁADU PRZESTRZENNEGO ZANIECZYSZCZEŃ PYŁOWYCH POWIETRZA NA OBSZARZE MIASTA POZNANIA

ZARYS TREŚCI

Opierając się na danych dotyczących wielkości emisji pyłów, lokalizacji i wysokości emitorów, częstości i prędkości wiatrów, podjęto próbę sformułowania modelu, rekonstruującego rozkład przestrzenny zanieczyszczeń pyłowych powietrza w mieście Poznaniu. Weryfikacji modelu, który może spełniać również funkcję prognostyczną, dokonano na podstawie danych o opadzie pyłu. Artykuł zawiera ponadto analizę stanu zapylenia powietrza w różnych częściach miasta.

WSTĘP

Jednym z przejawów destrukcyjnego wpływu industrializacji i urbanizacji na środowisko geograficzne jest wzrost stopnia zanieczyszczenia atmosfery. Zanieczyszczenie powietrza powodują substancje stałe i gazowe sztucznego pochodzenia, występujące w powietrzu obok naturalnych jego składników, utrudniające spełnianie przez atmosferę jej podstawowej funkcji, jaką jest umożliwianie przemiany materii i energii roślin, zwierząt i człowieka (por. T. Bartkowski, 1975, s. 220; K. Dudek, Z. Zwoliński, 1974, s. 49). Obecność aerozoli sztucznego pochodzenia powoduje pogorszenie warunków higieniczno-zdrowotnych powietrza, zmiany klimatyczne (m. in. zwiększone pochłanianie energii słonecznej, wzrost liczby jąder kondensacji pary wodnej), a także straty ekonomiczne.

Opracowanie niniejsze odnosi się wyłącznie do zanieczyszczeń pyłowych emitowanych z tzw. źródeł wysokich, tj. kominów fabrycznych i większych kotłowni. Sformułowany model jest typowym modelem opisowym (wg Z. Chojnickiego, 1967), przedstawiającym najbardziej ogólne prawidłowości (zmiany systematyczne) rozkładu przestrzennego zapylenia powietrza na obszarze miasta Poznania, nie wyjaśniającym natomiast mechanizmu jego rozprzestrzeniania się i nie uwzględniającym czynników mogących powodować fluktuacje lokalne wielkości zapylenia (np. stref inwersji termicznej).

i — numer kolejny punktu, dla którego obliczane jest potencjalne stężenie pyłu, j — numer kolejny emitora.

2. Stężenie ${}_iW_j$ jest równe sumie ($j=1, \ldots, n$, gdzie n oznacza liczbę źródeł emisji) stężeń określonych wzorem (3) „ważonych" częstością wiatrów wiejących w kierunku ji:

$$ {}_iW_j = 0{,}3185 \sum_{j=1}^{n} \frac{\frac{p_{ji}}{u_{ji}} E_j}{(k_j x_{ij})^2}, \tag{5} $$

${}_iW_j$ — potencjalne średnie roczne stężenie zanieczyszczenia pyłowego w punkcie i przy wietrze wiejącym w kierunku ji z częstością p_{ji} i średnią prędkością u_{ji}, E_j — emisja pyłów z j-tego emitora, x_{ij} — odległość między emitorem a punktem i, dla którego obliczane jest stężenie, k_j — współczynnik dyfuzji atmosferycznej.

3. Ponieważ w modelu uwzględnia się 8 kierunków wiatrów (N, NE, E, SE, S, SW, W, NW), przeto przestrzeń podzielona została na 8 równych sektorów. Przyjęto, że w czasie ciszy zanieczyszczenia rozkładają się wokół emitora koncentrycznie, dlatego do każdego sektora dociera jednakowa ilość zanieczyszczeń. Stąd:

$$ {}_iC_j = \frac{1}{8} \cdot 0{,}3185 p_c \sum_{j=1}^{n} \frac{E_j}{(k_j x_{ij})^2} = 0{,}03975 p_c \sum_{j=1}^{n} \frac{E_j}{(k_j x_{ij})^2}, \tag{6} $$

C_{ij} — potencjalne średnie roczne stężenie zanieczyszczenia pyłowego w punkcie i dla ciszy atmosferycznej, p_c — częstość występowania ciszy, pozostałe oznaczenia jak wyżej.

Powyższy model uwzględnia zależność między wielkością zapylenia a wymienionymi na wstępie głównymi czynnikami ją kształtującymi: bezwzględną wielkością emisji, „ważoną" przez częstość i prędkość wiatru z danego kierunku, oraz odległością od źródła emisji, korygowaną przez współczynnik k, uzależniony z kolei od wysokości komina.

Dane o wielkości emisji pyłów i wysokościach emitorów zebrano w Wydziale Gospodarki Przestrzennej i Ochrony Środowiska Urzędu Miejskiego w Poznaniu oraz w Ośrodku Badań i Kontroli Środowiska. Dane te odnoszą się do 1975 r. i obejmują 72 emitory w 29 zakładach przemysłowych i kotłowniach Poznania. Ponadto sporządzono macierz odległości od źródeł emisji do punktów, dla których oblicza się potencjalne stężenie z zaznaczeniem położenia tych punktów w stosunku do emitorów. Przykładowe fragmenty powyższych zbiorów danych przedstawiają tabele 1 i 2.

W tabeli 3 zestawiono wyniki obserwacji struktury kierunków i prędkości wiatru w 1975 r., dokonanych na stacji meteorologicznej Poznań-Ławica, a udostępnionych przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Poznaniu.

Tabela 1 – Table 1

Lokalizacja i wysokość emitorów oraz wielkość emisji pyłów przez zakłady przemysłowe miasta Poznania (wybrane przykłady)

The localization and height of emitors and dust emission by industry factories in Poznań (selected examples)

Nazwa zakładu Name of factory	Emitory Emitors		Emisja pyłów w kg/h Dust emission in kg/h
	Liczba Number	Wysokość nad powierzchnią topograficzną w m Height above topographic surface in m	
Poznańska Fabryka Maszyn Żniwnych	4	18	4 × 18 } 221
	1	14	15
	2	15	33
	4	20	20 + 3 × 27
Zakłady Metalurgiczne „Pomet"	1	21,5	116 } 271
	1	...	155
Fabryka Kosmetyków „Pollena"	1	40	66
Zakłady Przemysłu Metalowego H. Cegielski	5	40	41,6
Poznańskie Zakłady Papiernicze	1	39	23,4
Poznańskie Zakłady Nawozów Fosforowych – Luboń	1	55	125,6

Źródło: Dane Wydziału Gospodarki Przestrzennej i Ochrony Środowiska Urzędu Miejskiego oraz Ośrodka Badań i Kontroli Środowiska w Poznaniu.

Tabela 2 – Table 2

Lokalizacja źródeł emisji względem punktów pomiaru opadu pyłu (wybrane przykłady)

The localization of emission sources with regard to dust fall measurement points (selected examples)

Punkt pomiarowy Measurement point		Źródło emisji Emission source					
		PFMŻ	„Pomet"	„Pollena"	HCP	PZP Malta	PZNF Luboń
Ogród Botaniczny	x_{ij}	6,2	6,1	6,8	4,5	6,1	8,1
	a_{ij}	SE	E	SE	S	SE	S
Pl. Bernardyński	x_{ij}	3,0	4,3	4,2	3,1	2,4	6,5
	a_{ij}	S	NE	S	SW	E	SW
Ostrów Tumski	x_{ij}	4,1	2,5	5,5	4,5	3,1	8,2
	a_{ij}	S	E	S	SW	SE	SW
Malta	x_{ij}	3,9	2,0	5,7	6,1	1,0	8,6
	a_{ij}	SW	NW	SW	W	W	SW
Dolna Wilda	x_{ij}	2,1	4,7	2,7	2,2	3,3	5,8
	a_{ij}	SE	NE	S	SW	E	SW
MTP	x_{ij}	4,0	5,0	4,6	2,5	4,3	6,0
	a_{ij}	SE	E	S	S	E	S

x_{ij} – odległość w km (distance in km), a_{ij} – kierunek (direction).
Źródło: Obliczenia własne.

Tabela 3 – Table 3

Struktura wiatrów w mieście Poznaniu w 1975 r. wg pomiarów wykonanych na stacji meteorologicznej Poznań - Ławica

The wind structure in Poznań in 1975 according to measurements taken in the meteorological station Poznań - - Ławica

Kierunek Direction	Częstość Frequency (suma roczna = 1)	Średnia prędkość wiatru w km/h Mean wind velocity in km/h
N	0,068	12,60
NE	0,129	13,46
E	0,106	12,96
SE	0,110	11,41
S	0,072	9,11
SW	0,150	13,28
W	0,186	19,73
NW	0,136	15,37
Cisza	0,043	–

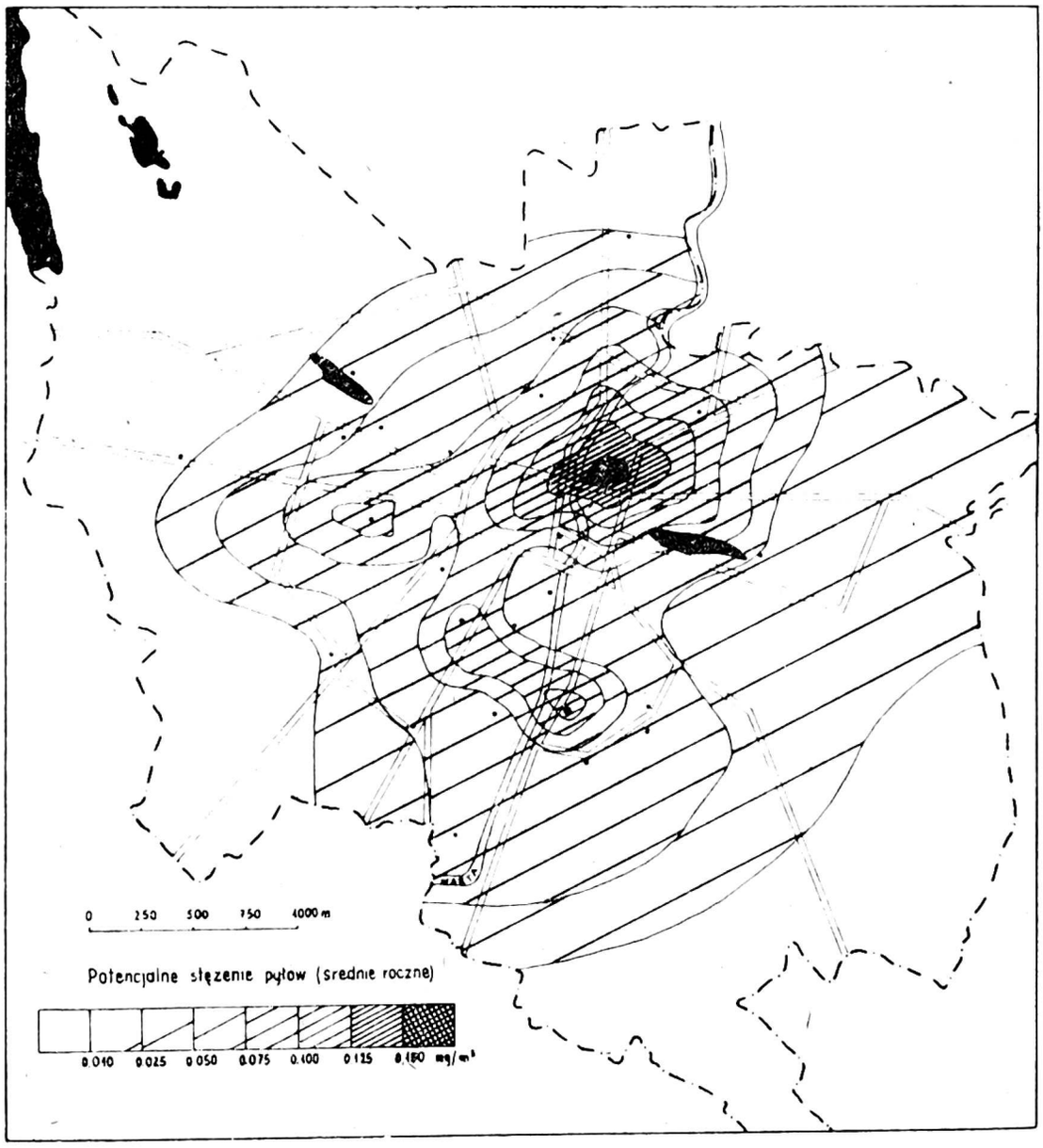
Źródło: Dane Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Poznaniu.

Podstawienie do wzoru (5) odpowiednich wartości częstości (p_{ji}) i prędkości (u_{ji}) wiatru zależy od wzajemnego położenia emitora pyłów w stosunku do punktu, dla którego obliczane jest potencjalne stężenie. Technicznie problem ten rozwiązano przez kolejne przykładanie do każdego takiego punktu zorientowanego oktantu z zaznaczonymi kierunkami wiatrów, dzielącego przestrzeń na 8 sektorów. W zależności od tego, w jakim polu oktantu znalazło się źródło emisji, otrzymywało odpowiednie dla danego kierunku wartości p_{ji} i u_{ji}.

WERYFIKACJA MODELU I ANALIZA STANU ZAPYLENIA POWIETRZA W M. POZNANIU

Weryfikacja modelu na podstawie wartości rzeczywistego stężenia pyłów jest niemożliwa z braku danych, stąd zastępczo wykorzystano dane o opadzie pyłu uzyskane w Stacji Sanitarno-Epidemiologicznej m. Poznania (wielkości opadu pyłu dla wybranych punktów pomiarowych zamieszczono w tabeli 4). Weryfikacja ta stała się możliwa dzięki obliczaniu potencjalnego stężenia dla tych samych punktów, w których dokonuje się pomiaru opadu pyłu. Liczba punktów wynosi 30, a ich lokalizację przedstawiono na rys. 2 i 3. Wyznaczono zależność między wartościami potencjalnego stężenia (v) i opadu pyłu (y), określoną równaniem regresji prostoliniowej:

$$y = 587{,}06v + 50{,}04, \qquad (7)$$
$$(\pm 40{,}83)\,(\pm 7{,}63)$$

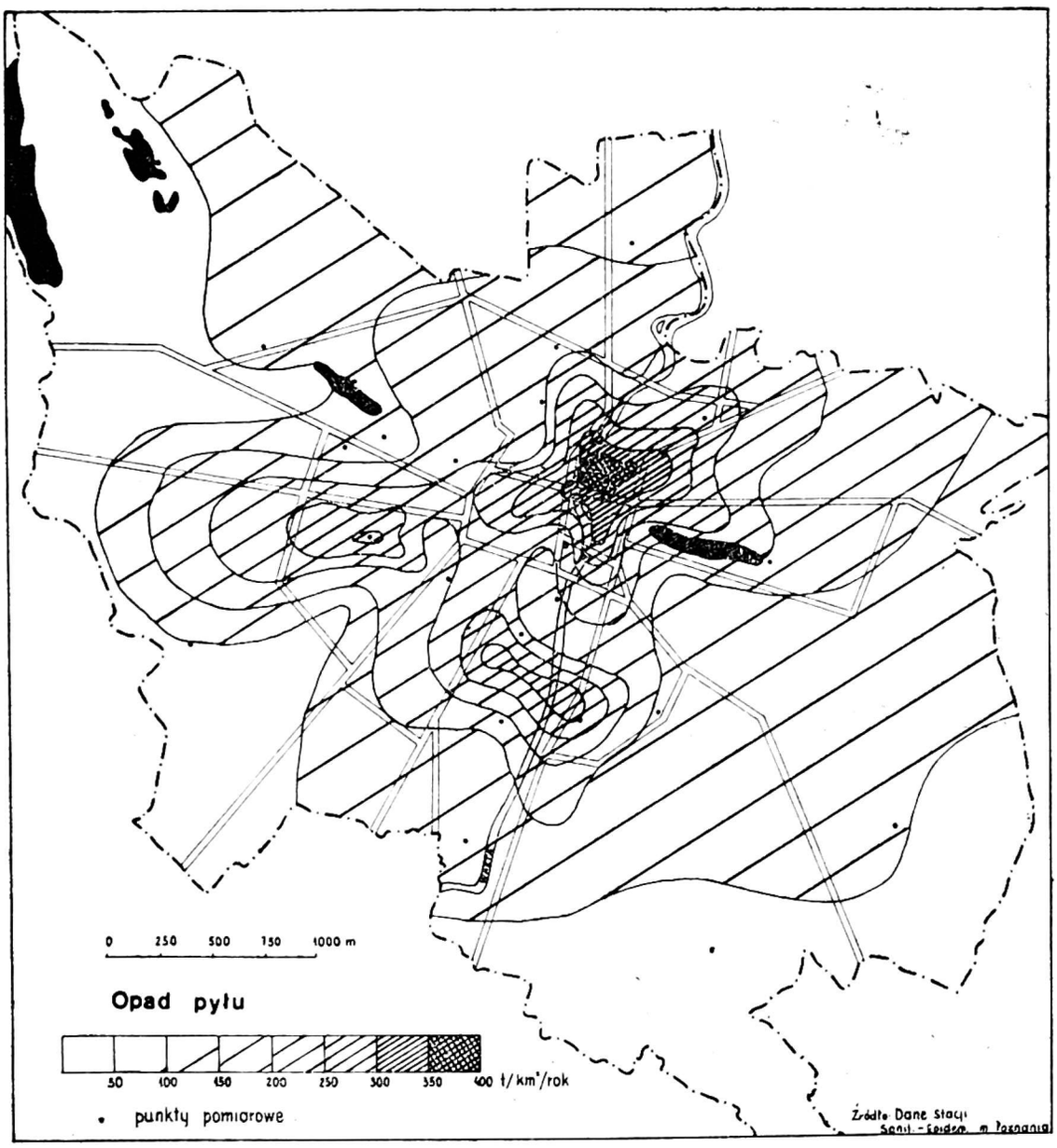


Rys. 2. Rozkład potencjalnego zanieczyszczenia pyłowego powietrza na obszarze miasta Poznania

Współczynnik determinacji $r^2 = 0{,}86$ oznacza, że 86% całkowitej zmienności opadu pyłu jest wyjaśnione przez zmienną niezależną równania, tj. potencjalne stężenie pyłu.

Na podstawie obliczonych wartości potencjalnego stężenia pyłu wykreślona została drogą interpolacji mapa powierzchni jednakowego potencjalnego zapylenia (rys. 2), na podstawie zaś danych Stacji Sanitarno-Epidemiologicznej — mapa opadu pyłu (rys. 3). Porównanie tych map, a także porównanie teoretycznych i rzeczywistych wartości opadu pyłu (zob. tabela 4) pozwala stwierdzić, że obraz modelowy jest zasadniczo podobny do obrazu uzyskanego na drodze obserwacji. Na obu mapach zaznaczają się miejsca szczególnie dużej koncentracji zanieczyszczeń: jedno — w rejonie Ostrowa Tumskiego, Chwaliszewa, Komandorii z przedłużeniem w kierunku Śródmieścia, drugie — na Starołęce, trzecie — na Grunwaldzie w rejonie ul. Przybyszewskiego.

We wszystkich tych rejonach opad pyłu przekracza dopuszczalną normę 250 t/km²/rok, osiągając maksimum na Ostrowie Tumskim — 393 t/km²/rok. Obszary o największej koncentracji zanieczyszczeń pokry-



Rys. 3. Opad pyłu na obszarze miasta Poznania (1975 r.)

wają się z rejonami lokalizacji zakładów przemysłowych o dużej emisji pyłów. Potwierdza to tezę o dominującej roli emisji przemysłowej w zanieczyszczaniu atmosfery. Tereny o znacznym opadzie pyłów w granicach 150 - 200 t/km²/rok (przy średniej dla miasta Poznania 127 t/km²/ /rok) znajdują się między ulicami Dzierżyńskiego i Głogowską oraz w rejonie ulic: Bułgarskiej, Świerczewskiego, Grunwaldzkiej. Najmniejsze zapylenie notuje się na terenie dzielnicy Jeżyce oraz na obszarach peryferyjnych miasta, zwłaszcza w ośrodkach rekreacyjnych (Strzeszynek, Rusałka). Tu należy zwrócić uwagę, że obraz teoretyczny zapylenia w częściach peryferyjnych bardziej odbiega od obrazu rzeczywistego niż w centrum. Jest to spowodowane nie tyle niedoskonałością modelu, ile zbyt małą liczbą punktów, dla których dokonuje się obserwacji i obliczeń, co utrudnia interpolację i wykreślanie izolinii. Poza tym brak danych spowodował, że model uwzględnia tylko jeden zakład leżący poza granicami Poznania, tj. Poznańskie Zakłady Nawozów Fosforowych w Luboniu, a przecież na zanieczyszczenie obszarów peryferyjnych wpływają też zakłady leżące poza określonym administracyjnie obszarem miasta.

Tabela 4 – Table 4

Opad pyłu w wybranych punktach pomiarowych w mieście Poznaniu
The dust fall in selected measurement points in Poznań

Lokalizacja punktu pomiarowego Localization of measurement point	Opad pyłu w t/km²/rok Dust fall in t/km²/year		Wartości opadu pyłu wyznaczone teoretycznie Estimated dust fall values	Reszty z regresji Residuals from regression
	1970 r.	1975 r.		
POZNAŃ	169,0	127,0		
Jeżyce:	95,0	72,3		
Rusałka	90,0	50,0	75,7	–25,7
Dąbrowskiego	142,0	70,5	88,4	–18,4
Ogród Botaniczny	91,2	80,8	110,9	–20,1
Stare Miasto:	260,0	130,0		
Św. Wojciecha	240,0	251,0	249,0	1,6
Plac Bernardyński	157,0	130,0	141,2	–11,2
Nowe Miasto:	254,0	160,0		
Ostrów Tumski	289,0	393,0	365,8	27,2
Malta	69,0	81,0	93,8	–12,8
Starołęcka	495,0	297,0	301,5	–4,5
Wilda:	138,0	146,0		
Bema	112,0	118,0	107,5	10,5
Dolna Wilda	113,0	153,0	126,8	26,2
Grunwald:	146,0	125,0		
Albańska	134,0	74,7	76,9	–2,2
MTP	187,0	158,0	130,1	27,9
Kolejowa	195,0	155,0	117,8	37,2

Źródło: Dane Stacji Sanitarno-Epidemiologicznej miasta Poznania.

Reszty z regresji określonej równaniem (7) pozwalają na znalezienie obszarów, gdzie na wielkość zapylenia wpływają w stopniu większym lub mniejszym niż przeciętnie inne czynniki niż uwzględnione w modelu. Przykładowo dla punktów: MTP i Kolejowa — zob. tabela 4 — wysokie dodatnie wartości reszt świadczą, że zapylenie obliczone teoretycznie jest niższe niż w rzeczywistości. Jest to spowodowane tym, że model nie uwzględnia zanieczyszczeń powodowanych przez trakcję parową PKP, które w tym rejonie odgrywają większą niż przeciętnie w skali miasta rolę. I na odwrót: niższe od teoretycznych wartości zapylenia w punktach: Ogród Botaniczny, Rusałka, Cytadela, Malta, Strzeszynek, wskazują, że najprawdopodobniej istnieją czynniki osłabiające zanieczyszczenie. Tym czynnikiem w przytoczonych przykładach jest szata roślinna.

ZALETY, OGRANICZENIA I PRZYDATNOŚĆ PRAKTYCZNA MODELU

Główną zaletą modelu jest możliwość jego zastosowania do celów prognostycznych, m. in. w planowaniu lokalizacji zakładów przemysłowych, urządzeń redukujących zanieczyszczenia pyłowe, osiedli mieszka-

niowych. Przykładowo można na jego podstawie określić, jak zmieni się rozkład przestrzenny zapylenia po wybudowaniu w danym miejscu zakładu lub kotłowni o znanej emisji pyłów lub po wyposażeniu już istniejących źródeł emisji w filtry oczyszczające. Oczywiście do celów prognostycznych należy brać pod uwagę dane nie z okresu jednorocznego, lecz średnie z wielolecia. Opracowanie metodyki oceny wpływu lokalizacji nowych zakładów przemysłowych i innych źródeł emisji na zmianę istniejącego stanu zanieczyszczenia powietrza J. Juda (1971, s. 258) uważa za jedną z najpilniejszych potrzeb planowania przestrzennego.

Opisywany model pozwala na określenie „udziału" poszczególnych źródeł emisji w pogarszaniu jakości powietrza. Może okazać się to przydatne dla kształtującej się współcześnie ekonomiki środowiska, zwłaszcza przy ustalaniu sankcji finansowych za naruszenie czystości powietrza. Nie można bowiem zakładać, przy kumulowaniu się zanieczyszczeń pyłowych pochodzących z różnych źródeł, że koszty społeczne degradacji rozkładają się na wszystkie te źródła proporcjonalnie do bezwzględnej wielkości emisji.

Obok niewątpliwych zalet, model ma też szereg ograniczeń, których przedstawienie wskaże jednocześnie kierunek dalszych prac nad jego zbliżeniem do rzeczywistości. Z czynników przyrodniczych model uwzględnia tylko jeden — wiatr, pomijając mniej ważne, ale nie bez znaczenia, zwłaszcza w terenie silnie zróżnicowanym, takie jak: morfologię, szatę roślinną, termikę i wilgotność powietrza i pewne cechy swoiste topoklimatu (np. inwersja temperatur). Trzeba tu jednak zaznaczyć, że uwzględnienie tego ostatniego czynnika jest ograniczone słabym zaawansowaniem obserwacji topoklimatycznych. Model nie uwzględnia rodzaju pyłu oraz zmienności sezonowej poziomu zanieczyszczeń. Operuje wartościami średnimi, a przecież dla charakterystyki zanieczyszczenia powietrza istotne znaczenie mają też wartości ekstremalne. Interesująca byłaby również weryfikacja modelu oparta na pomiarach rzeczywistych stężeń (a nie opadu pyłu). Pomiar stężenia ma tę zaletę, że w mniejszym stopniu rejestruje tzw. zapylenie wtórne, nie uwzględnione w modelu.

Jest rzeczą zrozumiałą, że na skutek złożonego splotu zależności między poszczególnymi elementami środowiska geograficznego, nawet po wprowadzeniu do modelu dodatkowych zmiennych, nie da się wyeliminować całkowicie pierwiastka niepewności i w niektórych przypadkach wartości teoretyczne mogą dość znacznie odbiegać od wartości obserwowanych, przy czym przyczyną różnic może być nie tylko niedoskonałość modelu, lecz również błędy pomiaru. Z faktu istnienia tych różnic nie wynika bynajmniej wniosek o niecelowości i nieprzydatności prób modelowej rekonstrukcji wybranych problemów środowiska geograficznego. Model przedstawiony powyżej, jak widać chociażby z porównania załączonych map, pozwala — mimo zastosowanych uproszczeń — na uchwycenie, a także przewidywanie pewnych ogólnych prawidłowo-

ści rozkładu przestrzennego zanieczyszczeń pyłowych powietrza w warunkach „standardowych", na obszarach o znacznej jednorodności fizjograficznej, w dłuższym (co najmniej rocznym) okresie czasu.

Instytut Geografii
Uniwersytetu im. A. Mickiewicza w Poznaniu

LITERATURA

Bartkowski T., 1975: Ochrona zasobów przyrody i zagospodarowanie środowiska geograficznego, Warszawa — Poznań.

Chojnicki Z., 1967: Modele matematyczne w geografii ekonomicznej (Sum.: Mathematical models in economic geography). Przegl. Geogr., t. 39, z. 1.

Dudek K., Zwoliński Z., 1974: Zanieczyszczenie pyłowe powietrza w Poznaniu i jego związek ze strukturą wiatru. Problemy Studenckiego Ruchu Naukowego, nr 1 (17), Warszawa.

Juda J., 1971: Problemy środowiska człowieka. Głos w dyskusji. Biuletyn KPZK, z. 68, s. 257 - 259.

Juda J., Chróściel S., 1974: Ochrona powietrza atmosferycznego, Warszawa.

A MODEL OF THE SPATIAL DISTRIBUTION OF AIR POLLUTION BY DUST IN POZNAŃ

Summary

The objective of the paper is to present a model of systematic variation in spatial distribution of dust pollution in the air in Poznań area. The model is based on assumptions about pollution spread in the atmosphere (Juda, Chróściel 1974, see Fig. 1 and Formula (3)), with multiplicity of emission sources and wind frequency distribution being also allowed for. Thus the model shown here defines average air pollution over a longer period of time, at least a year, and may also be of prognostic value. Its final mathematical form is found using the formulae (4), (5) and (6). The definition of interrelations between potential annual concentration values (v) calculated using these formulae and dust fallout estimates (y), which is expressed in terms of rectilinear regression equation (7), permits model verification (cf. Figs 2 and 3). The paper also presents the analysis of air dustiness in Poznań and specifies the possibilities of model application to spatial planning.

Institute of Geography
Adam Mickiewicz University in Poznań

EXPLANATION OF FIGURES

Fig. 1. The pattern of pollution spread, emitted from a point emission source (after Chróściel)

Fig. 2. The distribution of potential air pollution by dust in Poznań

Fig. 3. Dust fallout in Poznań in 1975

NOTATION IN FORMULAE

${}_iV_j$ — potential entire mean annual concentration of dust pollution in the point i,
${}_iW_j$ — potential mean annual concentration of dust pollution in the point i, with wind direction ji, its frequency p_{ji} and at mean velocity u_{ji},
${}_iC_j$ — potential mean annual concentration of dust pollution in the point i for atmospheric calm,
p_c — frequency occurrence of calm,
E_j — the emission of dust from j emitter ($j=1, \ldots, n$, where n = a number of emission sources),
x_{ij} — the distance between j emitter and the point i for which concentration is calculated,
k_j — atmospheric diffusion coefficient.