

IDENTYFIKACJA KIERUNKÓW NAPŁYWU ZANIECZYSZCZEŃ POWIETRZA Z WYKORZYSTANIEM POMIARÓW O KRÓTKIM CZASIE UŚREDNIANIA

CZESŁAW KLIŚ, MIECZYŚLAW ŻEGLIN

Institut Ekologii Terenów Uprzemysłowych w Katowicach,
ul. Kossutha 6, 40-833 Katowice

Keywords: vector of pollution inflow, turbulent diffusion coefficient, averaging time, SO₂ and NO₂ concentration.

IDENTIFICATION OF THE DIRECTIONS OF THE AIR POLLUTION INFLOW USING MEASUREMENTS OF SHORT AVERAGING TIME

In this paper a method of analyzing air pollution data in an optional automatic measuring station, allowing for identification of the directions of the pollution inflow has been presented. The method is based on four parameters provided by the measuring station: pollution concentration, wind direction, wind speed and fluctuation of the wind directions. For the description of the wind direction fluctuation in 30-minutes' periods a coefficient of relative turbulent diffusion $\sigma(3, 30)$ was used, which is defined as a deviation of 3-minutes' wind vectors from the 30-minutes' vector. The presented method was applied for identification of the inflow directions of SO₂ and NO₂ using the measuring data from a telemetric system OPSIS at the Institute for Ecology of Industrial Areas in Katowice-Załęże.

Streszczenie

W pracy przedstawiono metodę identyfikacji kierunków napływu zanieczyszczeń powietrza na podstawie danych o zanieczyszczeniu powietrza z automatycznej stacji pomiarowej. Metoda ta polega na wykorzystaniu czterech wielkości dostarczanych przez stację pomiarową: stężenia zanieczyszczenia, kierunku i prędkości wiatru oraz wahań wektora wiatru. Wahaniami wektora wiatru w okresach 30-minutowych zostały scharakteryzowane za pomocą współczynnika względnej dyfuzji turbulencyjnej $\sigma(3, 30)$, definiowanego jako odchylenia 3-minutowych wektorów wiatru od 30-minutowego wektora wiatru. Metodę wykorzystano do identyfikacji kierunków napływu dwutlenku siarki i dwutlenku azotu, na podstawie danych pomiarowych telemetrycznego systemu OPSIS, zlokalizowanego na terenie Instytutu Ekologii Terenów Uprzemysłowych w Katowicach-Załężu.

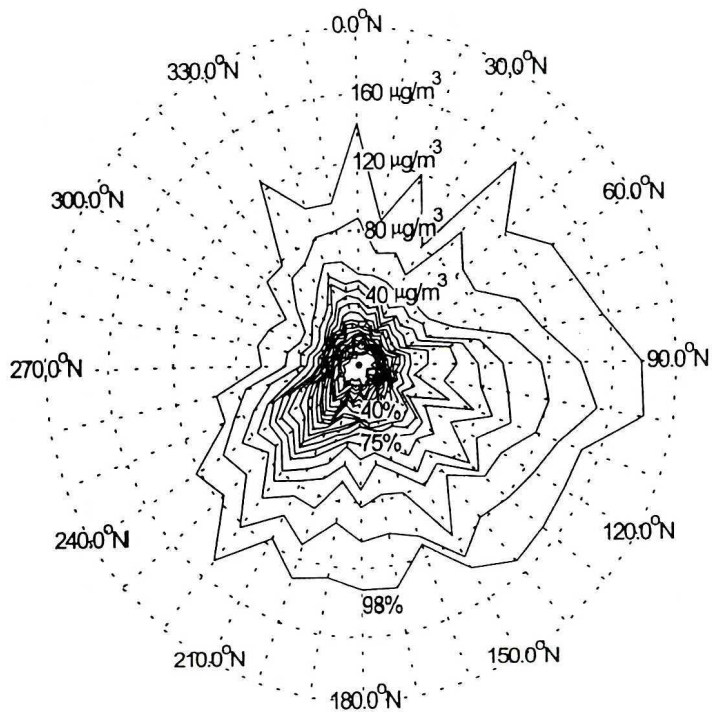
WPROWADZENIE

Na przełomie lat 1989–1990, w ramach monitoringu zanieczyszczeń powietrza dla Huty Częstochowa prowadzonego przez oddział Instytutu Ochrony Środowiska w Katowicach, opracowano system lokalizacji źródeł emisji zanieczyszczeń powietrza (działający podobnie jak system radiolokacji identyfikujący położenie źródeł sygnałów radiowych). System wykorzystywał 24-godzinne stężenia zanieczyszczeń z sieci stacji pomiarowych rozproszonych na terenie miasta oraz 3-godzinne dane o kierunku i prędkości wiatru na stacji meteorologicznej w Częstochowie. W latach 1993–1997 badano przepływ zanieczyszczeń powietrza w rejonie Kędzierzyna-Koźła (por. [4]). W analizach wykorzystywano dane z automatycznych stacji monitoringu BASKI, należących do Zakładów Azotowych Kędzierzyn, Zakładów Chemicznych Blachownia i Elektrowni Blachownia. Za pomocą tych danych szacowano m.in. napływ zanieczyszczeń ze Śląska i Bramy Morawskiej oraz wyznaczano położenie punktowych i obszarowych źródeł emisji znajdujących się w otoczeniu kilkudziesięciu kilometrów od Kędzierzyna. Do identyfikacji kierunków napływu zanieczyszczeń powietrza wykorzystywano wykresy kołowe percentyli stężeń pyłu zawieszonego, dwutlenku siarki, tlenków azotu względem kierunku napływu (różne zanieczyszczenia).

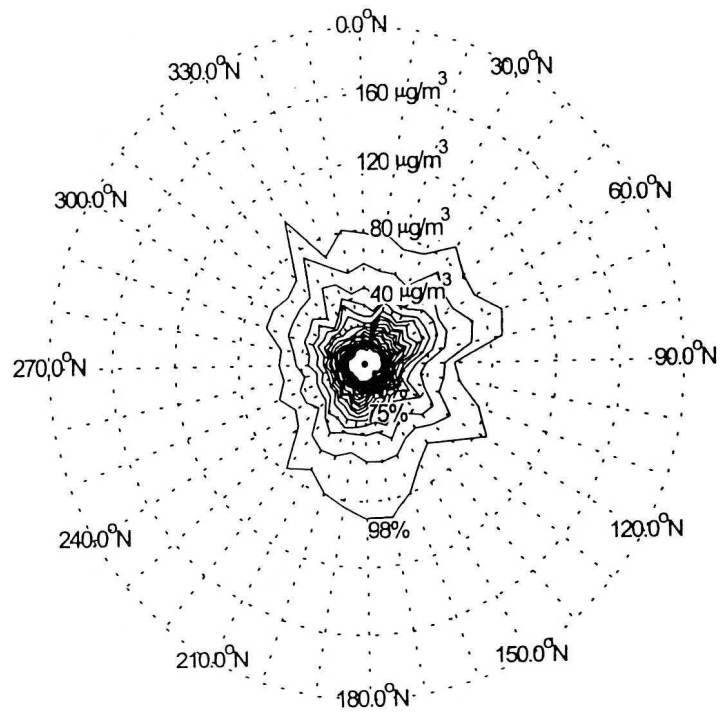
Jeżeli stężenia 30-minutowe badanego zanieczyszczenia są mierzone jednocześnie z pomiarem kierunku wiatru, to stężenia te można grupować pod względem średniego kierunku wiatru w czasie pomiaru. Liczba średnich kierunków wiatru przyjmowana do klasyfikacji może być ustalana dowolnie: 8, 12, 36 kierunków wiatru. Klasę stężeń S_α dla kierunku $\alpha = 0^\circ, 10^\circ, \dots, 350^\circ$ tworzą stężenia 30-minutowe, które wystąpiły w tych okresach 30-minutowych, w czasie których średni kierunek napływu mas powietrza różnił się od kierunku α o mniej niż 5° . Zbiór stężeń S_α jest próbą zmiennej losowej S_α . Percentylem rzędu p stężeń S_α w sektorze α jest liczba $\pi(\alpha, p)$ taka, że stężenia mniejsze niż $\pi(\alpha, p)$ stanowią p procent S_α . Zauważmy, że gdy percentyl $\pi(\alpha, p)$ rzędu p stężeń zanieczyszczenia w sektorze α jest większy od percentyli tego samego rzędu w sąsiednich sektorach, to w sektorze α stężenia wyższe niż $\pi(\alpha, p)$ występują częściej niż w sąsiednich sektorach. Wynika stąd, że z kierunku α napływa bardziej zanieczyszczone powietrze niż z kierunków sąsiednich.

Na rysunku 1a pokazano wykresy w układzie biegunowym wartości $\pi(\alpha, p)$ ($\alpha = 0, 10, \dots, 350$) percentyli rzędu $p = 98, 95, 90, \dots, 50$ stężeń dwutlenku siarki zarejestrowane w okresie od 17 kwietnia do 30 listopada 1997 roku na stacji pomiarowej w Chorzowie, należącej do Regionalnego Monitoringu Zanieczyszczeń Powietrza. Dane pomiarowe udostępnił autorom OBiKŚ w Katowicach. Na wykresie zwraca uwagę to, że 98-percentyl stężeń S_{90} i S_{100} jest większy niż $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$, podczas gdy ten sam percentyl stężeń $S_{270} - S_{300}$ jest 3 razy mniejszy. Powyższa obserwacja upoważnia do stwierdzenia, że w sektorze $90 - 100^\circ\text{N}$ względem stacji pomiarowej znajdują się źródła dwutlenku siarki o większej emisji niż źródła dwutlenku siarki w sektorze $270 - 300^\circ\text{N}$.

a)



b)



Rys. 1. Wykresy kołowe percentyli (98, 95, 90, 85, ..., 50) stężeń dwutlenku siarki: (a) na stacji RMZP w Chorzowie w okresie od 17 kwietnia do 30 listopada 1997 roku i (b) na stacji OPSIS w Katowicach w okresie od 17 kwietnia do 30 listopada 1999 roku

Circular graphs of percentiles (98, 95, 90, 85, ..., 50) of sulphur dioxide concentration: (a) at the RMZP monitoring station in Chorzów between 17th of April and 30th of November 1997 and (b) at the OPSIS monitoring station in Katowice between 17th of April and 30th of November 1999

Analiza statystyczna zmiennych $S_0, S_{10}, \dots, S_{350}$ pokazuje jeszcze inne kierunki napływu dwutlenku siarki.

Często jednak zdarza się tak, że z powodu występujących przeszkód terenowych w pewnych sektorach napływu względem stacji pomiarowej, wahania kierunku wiatru w okresach pomiarowych są duże. W efekcie, zanieczyszczenia z tego samego źródła docierają do stacji pomiarowej z różnych kierunków i są przypisywane sąsiednim sektorom. Utrudnia to wskazanie rzeczywistego kierunku napływu zanieczyszczenia. Przykładowo na rysunku 1b pokazano wykres kołowy percentyli stężeń dwutlenku siarki na stacji OPSIS w Katowicach-Załężu, z okresu od 17 kwietnia do 30 listopada 1999 roku. Stacja OPSIS znajduje się około 4 km na południe od stacji RMZP w Chorzowie. Porównując wykresy na rys. 1a i 1b, można zauważyć, że wiele sektorów napływu jest zgodnych. Jednakże napływ z kierunku południowo-zachodniego obserwowany na stacji OPSIS jest mniej zróżnicowany i występuje w znacznie szerszym sektorze niż na stacji RMZP.

WYKORZYSTANIE WSPÓŁCZYNNIKÓW DYFUZJI TURBULENCYJNEJ DO SELEKCJI DANYCH O PRZEPLYWIE ZANIECZYSZCZEŃ POWIETRZA

WSPÓŁCZYNNIK WZGLĘDNEJ DYFUZJI TURBULENCYJNEJ WEKTORA WIATRU

Szybko następujące po sobie zmiany kierunku wiatru są często powodowane przez pojedyncze przeszkody terenowe, takie jak budynki czy drzewa. Przeszkody te wywołują wiry turbulencyjne niewielkich rozmiarów. Anemometr rejestruje te wiry jako wahania wektora wiatru o krótkim czasie uśredniania (pulsacje wiatru, por. [5]). Wiry małych rozmiarów powodują przede wszystkim intensywne mieszanie mas powietrza, mają jednak niewielki wpływ na kierunek przepływu zanieczyszczeń w okresach 30-minutowych. O zmianach kierunku przepływu mas powietrza wpływających na meandrowanie smugi zanieczyszczeń świadczą wahania wektora wiatru o czasie uśredniania dłuższym niż jedna minuta. W dalszych rozważaniach przyjęto 3-minutowy czas uśredniania.

Znając odchylenia 3-minutowego wektora wiatru od średniego wektora wiatru w okresie 30-minutowym, można oszacować kąt, w którym meandrowała smuga rejestrowana przez stację monitoringu. Dzięki temu można wskazać potencjalne miejsca, gdzie zanieczyszczenie zostało wprowadzone do atmosfery. Jest oczywiste, że im większe były wahania 3-minutowego wektora wiatru w 30-minutowym okresie pomiarowym, tym mniej dokładnie można wskazać położenie źródeł emisji. Dlatego, aby ograniczyć wpływ tego typu zakłóceń, należałoby odfiltrować okresy pomiarowe, w czasie których wystąpiły duże wahania wektora wiatru o 3-minutowym czasie uśredniania. W tym celu każdy 30-minutowy okres pomiarowy powinien być opisany trzema wielkościami:

- średnim stężeniem zanieczyszczenia w okresie pomiarowym,

- średnim wektorem wiatru w okresie pomiarowym,
- wahaniami 3-minutowego wektora wiatru w stosunku do średniego wektora wiatru w półgodzinnym okresie pomiarowym (por. [1], [6]).

Załóżmy, że okres pomiarowy T jest podzielony na k odcinków czasu o długości t , a każdemu okresowi t -minutowemu t_i ($i = 1, \dots, k$) jest przyporządkowany wektor $\mathbf{v}_i = \mathbf{v}(t_i)$. Przez \mathbf{v}_T oznaczmy średni wektor w całym okresie T : $\mathbf{v}_T = (\mathbf{v}_1 + \dots + \mathbf{v}_k)/k$. Będziemy przyjmować, że miarą wahaniami wektorów $\mathbf{v}_1, \dots, \mathbf{v}_k$ w okresie pomiarowym T jest liczba definiowana wzorem:

$$\sigma(\mathbf{v}, t, T) = \frac{\sqrt{\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \|\mathbf{v}_i - \mathbf{v}_T\|^2}}{\|\mathbf{v}_T\|},$$

gdzie: symbol $\|\cdot\|$ oznacza długość wektora. W przypadku wektora wiatru \mathbf{v} wahanie $\sigma(\mathbf{v}, t, T)$ nazywamy współczynnikiem względnej dyfuzji turbulencyjnej i oznaczamy $\sigma(t, T)$ (por. [2]).

Znając 3-minutowe wektory wiatru możemy każdemu 30-minutowemu okresowi pomiarowemu przyporządkować liczbę $\sigma(3, 30)$. W ten sposób każdy 30-minutowy okres pomiarowy t jest scharakteryzowany: średnim wektorem wiatru $\mathbf{v}(t)$ w okresie pomiarowym, współczynnikiem względnej dyfuzji turbulencyjnej $\sigma(t) = \sigma(3, 30)$ oraz średnim stężeniem mierzonego zanieczyszczenia $s(t)$.

Każdy system monitoringu zanieczyszczeń powietrza, prowadzący pomiary stężeń 30-minutowych oraz pomiary średniego wektora wiatru, może (po odpowiedniej modyfikacji procedury wyznaczania parametrów wiatru średniego) wyznaczać również współczynnik względnej dyfuzji turbulencyjnej.

Powiemy, że w danym okresie pomiarowym określonym parametrami $(\mathbf{v}(t), \sigma(t), s(t))$ napływało zanieczyszczenie umożliwiające zidentyfikowanie kierunku źródła emisji tego zanieczyszczenia, jeżeli średnie stężenie zanieczyszczenia $s(t)$ w tym okresie było wyższe od pewnego ustalonego stężenia minimalnego s , średnia szybkość wiatru $\|\mathbf{v}(t)\|$ była wyższa od ustalonej szybkości minimalnej \mathbf{v} , a współczynnik względnej dyfuzji turbulencyjnej $\sigma(t)$ nie przekroczył pewnej wartości granicznej σ . Praktyka wskazuje, że dla identyfikacji napływu zanieczyszczenia z większych źródeł punktowych wystarczy przyjęcie progowej wartości stężenia s na poziomie 50-percentyla stężeń oraz progowej prędkości wiatru $\mathbf{v} = 1$ m/s. Niżej pokazano, jak wartości graniczne σ współczynnika względnej dyfuzji turbulencyjnej $\sigma(3, 30)$ wpływają na dokładność wskazania kierunku napływu zanieczyszczenia.

WEKTOR NAPŁYWU ZANIECZYSZCZENIA

Wielkością dobrze charakteryzującą przepływ zanieczyszczenia jest średnia gęstość pędu cząstek zanieczyszczenia, definiowana jako iloczyn stężenia zanieczyszczenia i wektora prędkości cząstek zanieczyszczenia. Wektor przeciwny do wektora gęstości pędu będziemy nazywać wektorem napływu zanieczysz-

czenia. Zauważmy, że długość wektora napływu zanieczyszczenia jest równa natężeniu przepływu masy zanieczyszczenia przez jednostkową powierzchnię prostopadłą do wektora wiatru.

Dla każdego zanieczyszczenia można utworzyć zbiór 30-minutowych wektorów napływu danego zanieczyszczenia. W przypadku, gdy system pomiarowy podaje stężenia zanieczyszczeń jedynie dla okresów 30-minutowych, to wahanie 3-minutowego wektora napływu zanieczyszczenia w okresie 30-minutowym jest równe współczynnikowi względnej dyfuzji turbulencyjnej.

KLASYFIKACJA WEKTORÓW NAPŁYWU ZANIECZYSZCZENIA

Dla każdego zestawu parametrów granicznych s , v i σ , zbiór wyselekcjonowanych wektorów napływu zanieczyszczenia $P_{\sigma,s,v} = \{s(t)v(t) : \sigma(3,30) < \sigma, s(t) > s, \|v(t)\| > v\}$ możemy przedstawić graficznie. Na rysunku 2a pokazano wykres zbioru $P_{\sigma,s,v}$ dla $s = 18 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $v = 1 \text{ m/s}$ i $\sigma = 0,30$, wektorów napływu dwutlenku siarki do rejonu Katowic-Załęża.

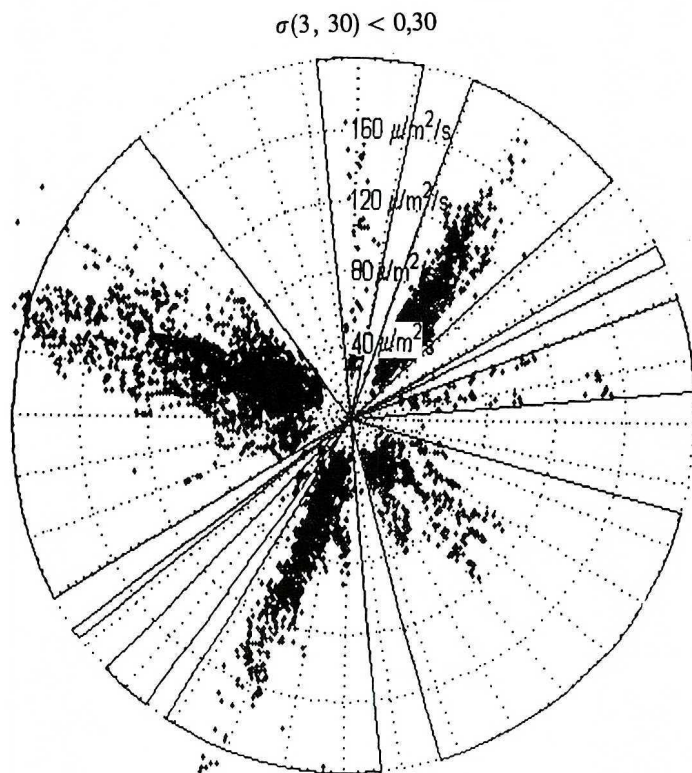
Porównując wykres przedstawiony na rys. 2a i wykres kołowy percentyli stężeń przedstawiony na rys. 1b, można zauważyć, że 90 percentyl S_{330} jest większy niż $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a jednocześnie w sektorze 330°N nie występują żadne wektory napływu o wahanii mniejszym niż 0,3. Wynika stąd, że w tym sektorze występują wektory napływu o bardzo dużych wahaniami. Na ich podstawie ustalenie rzeczywistego położenia źródła emisji dwutlenku siarki jest niemożliwe.

W celu zidentyfikowania kierunków napływu zanieczyszczenia zbiór wektorów napływu $P_{\sigma,s,v}$ jest dzielony na klasy. W pracy zastosowano klasyfikację wektorów napływu przy ustalonej rozdzielczości δ , tj. przy ustalonym kącie rozdzielającym kierunki napływu (por. [3]). Oparto ją na następującym kryterium: dwa wektory n_1 i n_2 należą do klasy napływu N , jeżeli między nimi istnieją takie wektory napływu $m_1, \dots, m_k \in N$, że kąty pomiędzy kolejnymi wektorami ciągu $n_1, m_1, \dots, m_k, n_2$ są mniejsze niż δ .

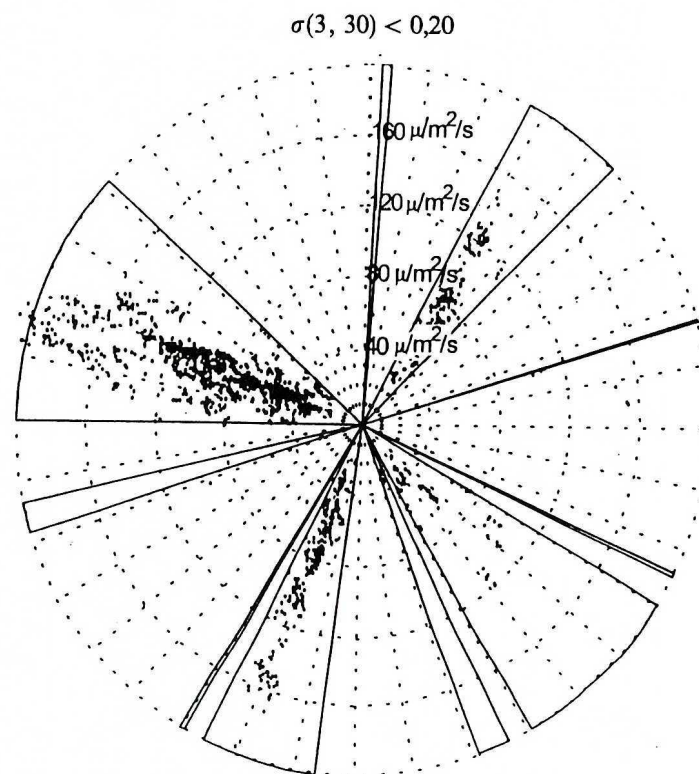
Przyjmując rozdzielczość klasyfikacji $\delta = 3^\circ$, zbiór wektorów napływu $P_{0,30,18,1}$ rozpada się na 9 klas napływu przedstawionych w tabeli 1. Każda z klas napływu wyznacza pewien sektor. Najwięcej wektorów ze zbioru $P_{0,30,18,1}$ jest w sektorze $239-320^\circ \text{N}$ (46,2%), a następnie w sektorze $173-211^\circ \text{N}$ (23,7%) i sektorze $19-48^\circ \text{N}$ (18,7%). Należy przewidywać, że w tych sektorach znajdują się największe źródła emisji zanieczyszczenia.

Zmniejszenie wartości σ zmniejsza liczbę wektorów napływu w zbiorze $P_{\sigma,s,v}$. W przedstawionym przykładzie, przy $\sigma = 0,20$ liczba sektorów napływu wzrasta do 14 (Tab. 2). Jednocześnie sektory napływu są węższe (Rys. 2b). W sektorze $269-311^\circ \text{N}$ jest 66,6% wektorów napływu ze zbioru $P_{0,20,18,1}$, w sektorze $186-205^\circ \text{N}$ – 15,0%, a w sektorze $27-44^\circ \text{N}$ – 11,6%. Sektory napływu zanieczyszczenia dla malejącego ciągu współczyn-

a)



b)



Rys. 2. Wykresy wektorów napływu $P_{0,30,18,1}$ i $P_{0,20,18,1}$ dwutlenku siarki na stacji OPSIS w Katowicach
 Graphs of inflow vectors $P_{0,30,18,1}$ and $P_{0,20,18,1}$ of sulphur dioxide at the OPSIS monitoring station in Katowice

Tabela 1. Sektory napływu dwutlenku siarki na stacji OPSIS dla $\delta = 3^\circ$ i zbioru wektorów $P_{0,30, 18, 1}$

Inflow sectors of sulphur dioxide at the OPSIS monitoring station for $\delta = 3^\circ$ and the set of inflow vectors $P_{0,30, 18, 1}$

Sektor Sector	Kąt wektorów napływu w sektorze napływu Angle of inflow vectors in the inflow sector				Prawdopodobieństwo sektora Probability of the sector
	min. min. [°N]	maks. max. [°N]	średni mean [°N]	wahanie oscillation [°]	
1	19,54	48,17	34,76	4,66	0,187
2	61,13	64,34	62,57	1,66	0,000
3	70,34	85,10	78,36	4,36	0,010
4	104,32	163,21	137,89	12,55	0,086
5	173,63	211,48	197,75	6,03	0,237
6	215,73	224,67	218,87	2,52	0,004
7	231,72	233,50	232,70	0,72	0,001
8	239,35	320,11	288,02	12,17	0,462
9	352,98	371,03	1,98	3,35	0,013

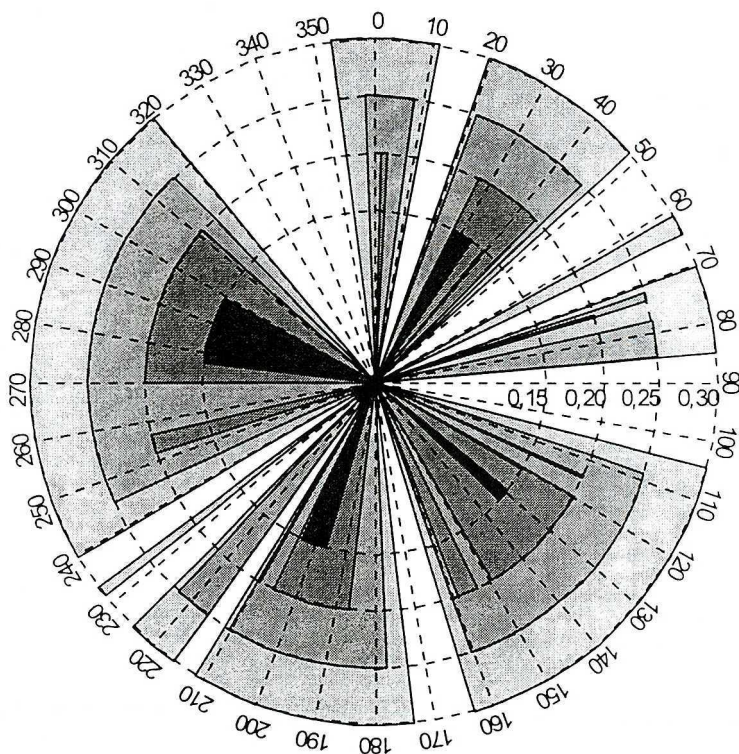
Tabela 2. Sektory napływu dwutlenku siarki na stacji OPSIS dla $\delta = 3^\circ$ i zbioru wektorów $P_{0,20, 18, 1}$

Inflow sectors of sulphur dioxide at the OPSIS monitoring station for $\delta = 3^\circ$ for the set of inflow vectors $P_{0,20, 18, 1}$

Sektor Sector	Kąt wektorów napływu w sektorze napływu Angle of inflow vectors in the inflow sector				Prawdopodobieństwo sektora Probability of the sector
	min. min. [°N]	maks. max. [°N]	średni mean [°N]	wahanie oscillation [°]	
1	1,85	3,53	2,48	0,70	0,004
2	27,24	44,72	34,03	3,91	0,116
3	72,62	73,26	72,84	0,35	0,002
6	114,03	114,94	114,63	0,52	0,002
7	119,81	149,30	133,78	8,24	0,044
8	153,65	158,88	156,39	1,62	0,007
9	186,45	205,97	199,49	3,26	0,150
10	209,49	210,32	209,85	0,43	0,002
13	251,84	256,77	255,34	2,14	0,003
14	269,72	311,38	288,42	6,24	0,666

ników względnej dyfuzji turbulencyjnej są coraz węższe. Dzięki temu można precyzyjniej rozdzielić różne kierunki napływu zanieczyszczenia.

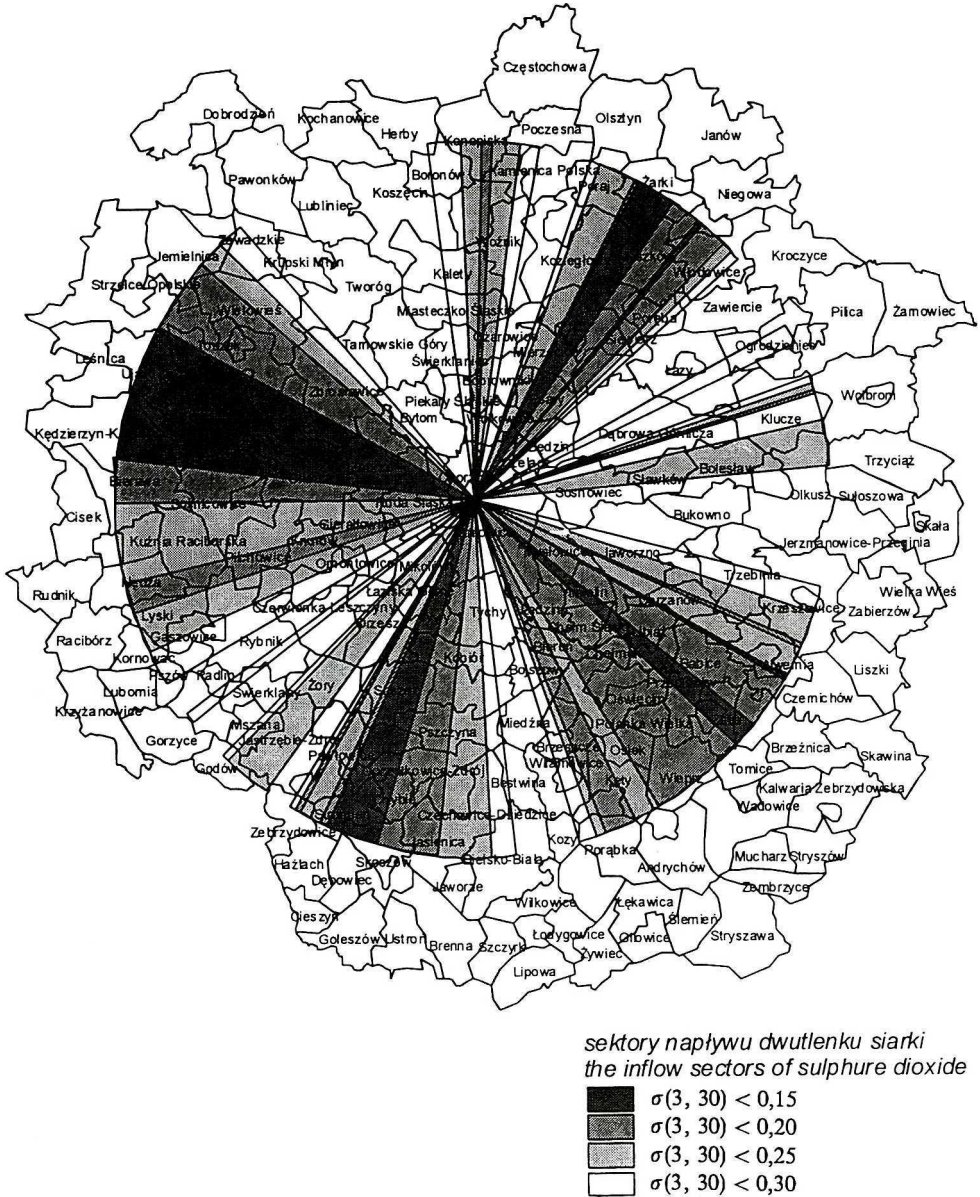
Sektory napływu dla różnych wartości współczynnika względnej dyfuzji turbulencyjnej σ można przedstawić na jednym wykresie, wiążąc promień wycinka kołowego reprezentującego dany sektor napływu, ze współczynnikiem σ . Otrzymujemy wówczas sekwencję wycinków kołowych o zmniejszających się promieniach, coraz dokładniej wskazujących rzeczywisty kierunek napływu zanieczyszczenia (Rys. 3).



Rys. 3. Wykresy sektorów napływu dwutlenku siarki dla $\sigma = 0,15$, $\sigma = 0,20$, $\sigma = 0,25$ i $\sigma = 0,30$ na stacji monitoringu OPSIS w Katowicach

Graphs of inflow sectors of sulphur dioxide for $\sigma = 0,15$, $\sigma = 0,20$, $\sigma = 0,25$ and $\sigma = 0,30$ at the OPSIS monitoring station in Katowice

Cieniując sektory napływu można uzyskać podobny efekt – im bardziej skoncentrowany strumień zanieczyszczenia (mniejszy współczynnik dyfuzji σ), tym ciemniejszy kolor sektora. Wykres z cieniowanymi sektorami napływu na tle granic gmin pokazano na rysunku 4.



Rys. 4. Sektory napływu dwutlenku siarki o różnych współczynnikach względnej dyfuzji turbulencyjnej na stacji monitoringu OPSIS w Katowicach

The inflow sectors of sulphur dioxide with different relative diffusion coefficients at the OPSIS monitoring station in Katowice

WYKORZYSTANIE SYSTEMU OPSIS DO IDENTYFIKACJI KIERUNKÓW NAPŁYWU DWUTLENKU SIARKI I DWUTLENKU AZOTU W REJON KATOWIC-ZAŁĘŻA

OPIS TELEMERYCZNEGO SYSTEMU POMIAROWEGO OPSIS

System pomiarowy OPSIS zainstalowany na terenie IETU w Katowicach [7] rejestruje wyniki pomiarów w sposób ciągły i umożliwia elastyczny dobór czasu pomiaru, również z bardzo krótkimi czasami uśredniania. Dzięki temu można go wykorzystać do wyznaczania względnych współczynników dyfuzji turbulencyjnej dla szerokiego zakresu czasów uśredniania.

Telemeryczny system pomiarowy OPSIS mierzy stężenia gazów, opierając się na technice różnicowej optycznej spektrofotometrii absorpcyjnej, bazującej na prawie Lamberta-Beera. Promień światła emitowany z nadajnika biegnie ścieżką pomiarową (optymalna długość 300–800 m) i kierowany jest do odbiornika. Źródłem światła w nadajniku jest lampa ksenonowa, emitująca niemal ciągle widmo światła (200–500 nm), w którym wiele substancji gazowych ma swoje specyficzne spektra absorpcyjne. Podczas drogi przez powietrze natężenie promienia światła ulega zmianom, w wyniku rozpraszania i absorpcji na cząsteczkach gazów i cząstkach stałych. Z odbiornika wychwycone światło jest prowadzone światłowodem do analizatora optycznego, będącego centralną jednostką systemu OPSIS. Analizator składa się ze spektrometru, systemu detekcji, układów elektronicznych do obsługi siatki dyfrakcyjnej, systemu wykrywania oraz komputera do wyliczeń i obróbki sygnału.

System OPSIS dostarcza średnie wartości stężeń zanieczyszczeń powietrza i parametrów meteorologicznych: prędkości i kierunku wiatru oraz temperatury powietrza. Dodatkowo dla stężeń OPSIS podaje odchylenie standardowe w okresie pomiarowym i poziom światła. Użytkownik może otrzymać wyniki pomiarów uśredniane w bardzo szerokim zakresie – dla stężeń zanieczyszczeń powietrza od 3 do 1440 minut, a dla danych meteorologicznych od 2 do 1440 minut.

Dla zadanego czasu uśredniania OPSIS wyprowadza następujące dane meteorologiczne: kąt średniego wektora wiatru, odchylenie standardowe kierunku wiatru, oraz średnią szybkość wiatru w okresie pomiarowym. Odchylenie standardowe kąta wiatru jest wyznaczane wewnętrznie dla bardzo krótkiego czasu uśredniania związanego z bezwładnością wiatromierza. Dlatego odchylenie kierunku wiatru podawane przez OPSIS świadczy przede wszystkim o szybkości mieszania mas powietrza, a w mniejszym stopniu o wahaniach kierunku ich przepływu.

IDENTYFIKACJA KIERUNKÓW NAPŁYWU DWUTLENKU SIARKI I DWUTLENKU AZOTU DLA STACJI OPSIS Z WYKORZYSTANIEM WSPÓŁCZYNNIKA WZGLĘDNEJ DYFUZJI TURBULENCYJNEJ

Metodę identyfikacji kierunków napływu zanieczyszczenia przedstawioną w poprzednim rozdziale wykorzystano do rozpoznania kierunków napływu dwutlenku siarki i dwutlenku azotu do rejonu Katowic-Załęża, na podstawie

danych pomiarowych uzyskanych z systemu OPSIS w okresie od 17 kwietnia do 30 listopada 1999 roku.

Każda 30-minutowa seria pomiarowa została uzupełniona współczynnikiem względnej dyfuzji turbulencyjnej $\sigma(3, 30)$.

Założono, że identyfikacja kierunków napływu obu zanieczyszczeń będzie przeprowadzona z rozdzielczością $\delta = 3^\circ$. Wartość progową stężenia przyjęto na poziomie 50-percentyla wszystkich stężeń 30-minutowych, który w przypadku dwutlenku siarki wynosi $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a w przypadku dwutlenku azotu – $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Minimalną prędkość wiatru ustalono na $v = 1 \text{ m/s}$. Rozważano cztery współczynniki dyfuzji turbulencyjnej: $\sigma = 0,15, 0,20, 0,25, 0,30$.

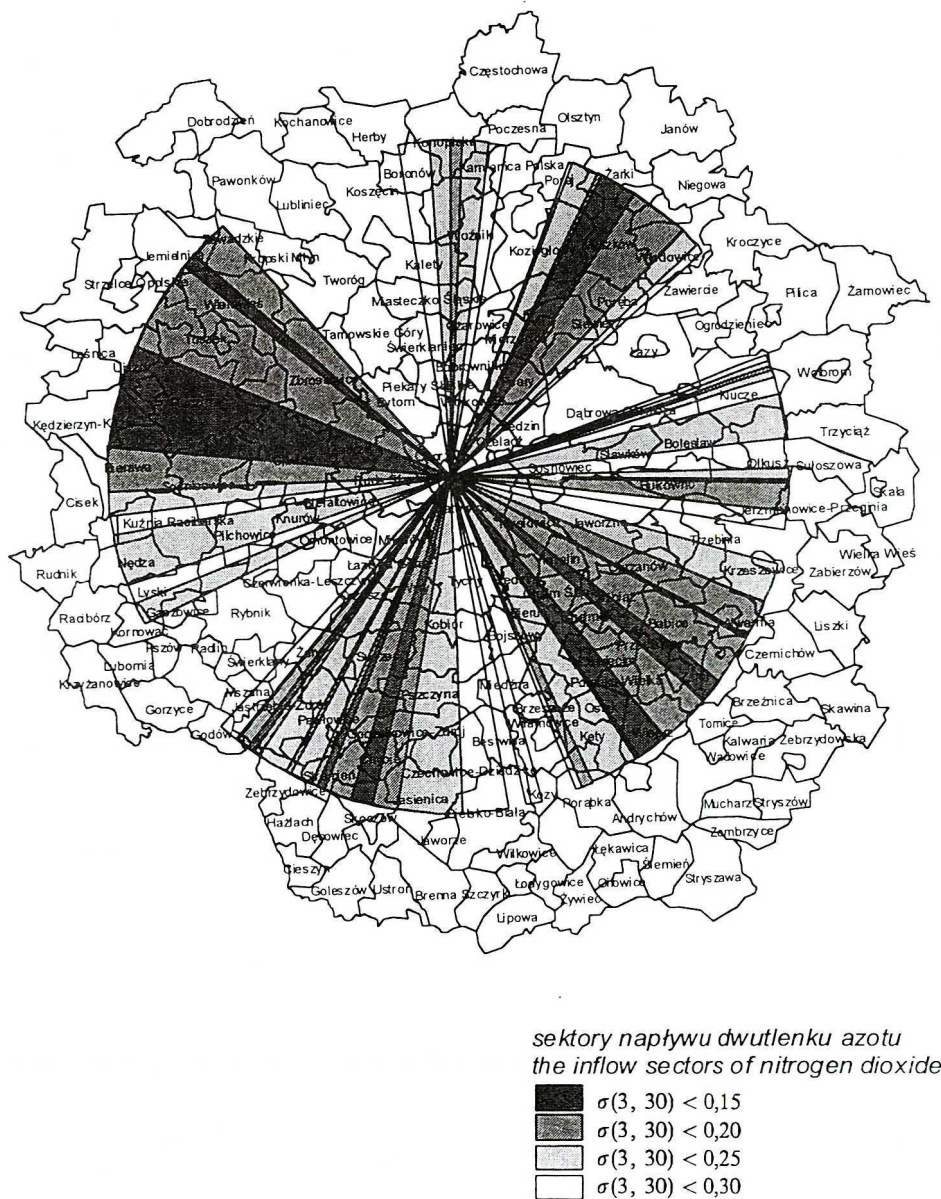
Dla dwutlenku siarki otrzymujemy cztery zbiory wektorów napływu: $S_{0,15, 18, 1} \subset S_{0,20, 18, 1} \subset S_{0,25, 18, 1} \subset S_{0,30, 18, 1}$. Sektory napływu dwutlenku siarki na tle granic gmin w otoczeniu Katowic pokazano na rysunku 4. Porównując rysunki 1b i 4 można zauważyć, że sektory napływu dwutlenku siarki zaznaczone na rysunku 4 ciemnym kolorem szarym znacznie precyzyjniej wskazują kierunki napływu tego zanieczyszczenia, niż wykresy kołowe procentyli stężeń pokazane na rysunku 1b.

Na rysunku 4 można wyróżnić sektory napływu zwartych strumieni dwutlenku siarki z rejonu Miasteczka Śląskiego, Oświęcimia, Łazisk oraz szeroki strumień z kierunku Chorzowa-Batorego, Zabrze i Gliwic. Ponadto zaznacza się napływ bardziej rozproszonego strumienia dwutlenku siarki z kierunku Dąbrowy Górniczej, Jaworzna, Tych i Rybnika. Silnie rozproszone strumienie dwutlenku siarki ($0,25 < \sigma(3, 30) < 0,3$) pojawiają się prawie przy wszystkich kierunkach napływu mas powietrza.

Analogiczny wykres sektorów napływu dwutlenku azotu w rejon stacji OPSIS ($N_{0,15, 16, 1} \subset N_{0,20, 16, 1} \subset N_{0,25, 16, 1} \subset N_{0,30, 16, 1}$) został pokazany na rysunku 5. Wykres ten różni się nieco od wykresu napływu dwutlenku siarki, ale sektory napływu najmniej zaburzonych strumieni obu zanieczyszczeń (dla $\sigma = 0,15$) są prawie identyczne. W kierunku południowo-zachodnim można wyróżnić kilka wąskich sektorów napływu dwutlenku azotu w miejsce jednego szerszego sektora napływu dwutlenku siarki. Z kolei w kierunku północno-zachodnim jest wyraźnie zaznaczony sektor napływu dwutlenku azotu, który nie odpowiada sektorowi napływu zwartego strumienia dwutlenku siarki.

WNIOSKI

Przedstawiona w pracy metoda identyfikacji kierunków napływu zanieczyszczenia powietrza może być zastosowana do analizy danych z automatycznych stacji pomiarowych, które prowadzą pomiary stężeń z 30-minutowym czasem uśredniania, a pomiary kąta i prędkości wiatru z co najmniej 3-minutowym czasem uśredniania. Obecnie do identyfikacji kierunków napływu zanieczyszczeń najczęściej wykorzystuje się tzw. wykresy teleskopowe, różne zanieczyszczeń lub wykresy kołowe procentyli stężeń. Firmowy program do analizy danych z systemu OPSIS wykonuje wykresy teleskopowe stężeń.



Rys. 5. Sektory napływu dwutlenku azotu o różnych współczynnikach względnej dyfuzji turbulencyjnej na stacji monitoringu OPSIS w Katowicach

The inflow sectors of nitrogen dioxide with different relative diffusion coefficients at the OPSIS monitoring station in Katowice

W wielu przypadkach na podstawie tych analiz nie można dostatecznie dobrze rozróżnić kierunków napływu zanieczyszczeń powietrza.

Do charakteryzacji napływu zanieczyszczenia zaproponowano nowe podejście. Wykorzystuje ono zdefiniowany wektor napływu zanieczyszczenia dla stacji pomiarowej. Wektor napływu zanieczyszczenia ma długość równą iloczynowi stężenia zanieczyszczenia i szybkości wiatru, a kierunek przeciwny do kierunku wiatru. Wektory napływu zanieczyszczenia wskazują trajektorie cząstek zanieczyszczenia docierające do stacji pomiarowej. Małe wahanie 3-minutowego wektora napływu zanieczyszczenia w okresie 30-minutowym oznacza skupione trajektorie cząstek, pozwalające dokładnie wskazać kierunek źródeł emisji badanego zanieczyszczenia. Wahania wektora napływu zanieczyszczenia w okresie 30-minutowym można szacować za pomocą względnego współczynnika dyfuzji turbulencyjnej wektora wiatru.

Wektory napływu o bliskich kątach tworzą sektory napływu, w których znajdują się punktowe i obszarowe źródła emisji zanieczyszczenia. Dobierając odpowiednią wartość graniczną współczynnika dyfuzji turbulencyjnej, możemy zawęzić sektor napływu i precyzyjnie wskazać położenie źródła punktowego. Współczynniki względnej dyfuzji turbulencyjnej mogą być wyliczone jednocześnie z wyznaczaniem średniego wektora wiatru.

LITERATURA

- [1] Fisher N.I.: *Problems with the Current Definitions of the Standard Deviation of Wind Direction*, Journal of Climate and Applied Meteorology, **26**, 1522–1529 (1987).
- [2] Hławiczka S., Cz. Kliś: *Wpływ parametru czasu na postrzeganie zjawiska rozwoju smugi zanieczyszczeń w powietrzu*, Archiwum Ochrony Środowiska, **3–4**, 59–72 (1996).
- [3] Hunt E.B.: *Artificial Intelligence*, Academic Press, New York 1975.
- [4] Kliś Cz., M. Matejczyk: *Ocena stanu zanieczyszczeń powietrza w latach 1992–1996 w rejonie Kędzierzyna-Koźła na podstawie danych z automatycznego monitoringu BASKI, IETU*, Katowice 1994–1997.
- [5] Sorbjan Z.: *Turbulencja i dyfuzja w dolnej atmosferze*, Państwowe Wydawnictwa Naukowe, Warszawa 1983.
- [6] Warakomski W.: *Z badań nad zmiennością kierunku wiatru*, Przegląd Geograficzny, **3**, 207–217 (1991).
- [7] Żeglin M., M. Borowska: *Application of Telemetric Technique DOAS to Air Pollution Measurements by OPSIS System in Poland. Symposium Proceedings: Third International Symposium and Exhibition on Environmental Contamination in Central and Eastern Europe*, Warsaw '96, Poland, Chapter 3, 144–146, Florida State University, USA, 1997.

Wpłynęło: 4 kwietnia 2000, zaakceptowano do druku: 24 października 2000.