

OCENA WPŁYWU ŹRÓDEŁ NA STĘŻENIA ZANIECZYSZCZEŃ POWIETRZA

CZESŁAW KLIŚ, MAREK MATEJCZYK

Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowionych w Katowicach, ul. Kossutha 6, 40-833 Katowice

Keywords: pollutant, concentrations, circular graph of percentiles, source, impact, inflow.

ASSESSMENT OF POLLUTION SOURCES IMPACT ON POLLUTANTS CONCENTRATION IN AIR

This paper presents an identification method of pollution inflow directions based on the circular graphs of percentiles of pollution concentrations and the possibilities of applying these graphs to estimation of pollutant emission. Based on these graphs of particulate matter concentration recorded in winter and summer seasons, the inflows of dust from the direction of fly ash landfill have been compared for summer and winter periods. This analysis enables to assess the relation of concentrations of pollution from secondary particulate matter suspension to concentrations of pollution generated by other sources.

This paper also argues that the 24-hours concentrations, though commonly used, may prove to be an indicator of minor importance to assess air pollution status. On the one hand, excessive 24-hours concentrations impede the identification of the polluter, on the other hand, concentrations generally within permissible limits may occasionally peak dangerously at some sources. As an example, an existing case and a numerical experiment have been presented.

Streszczenie

W pracy przedstawiono metodę identyfikacji kierunków napływu zanieczyszczenia za pomocą wykresów kołowych percentyli stężeń zanieczyszczenia oraz możliwości zastosowania tych wykresów do oceny emisji zanieczyszczenia z różnych źródeł. Wykorzystując wykresy kołowe percentyli stężeń pyłu w okresie letnim i w okresie grzewczym, porównano napływ pyłu w okresie letnim i w okresie grzewczym z kierunku składowiska popiołów lotnych. Analiza ta pozwala oszacować stosunek stężeń powodowanych przez źródła pylenia wtórnego do stężeń powodowanych przez pozostałe źródła.

Ponadto pokazano, że ogólnie stosowane stężenia średniodobowe mogą być mało przydatnym wskaźnikiem stanu zanieczyszczenia powietrza. Przekroczenie dopuszczalnych stężeń średniodobowych nie pozwala na wskazanie sprawcy przekroczeń, a z kolei ich dotrzymanie nie wyklucza krótkotrwałych, bardzo uciążliwych oddziaływań niektórych źródeł. Dla ilustracji przedstawiono przykład rzeczywistej sytuacji oraz eksperyment numeryczny.

WPROWADZENIE

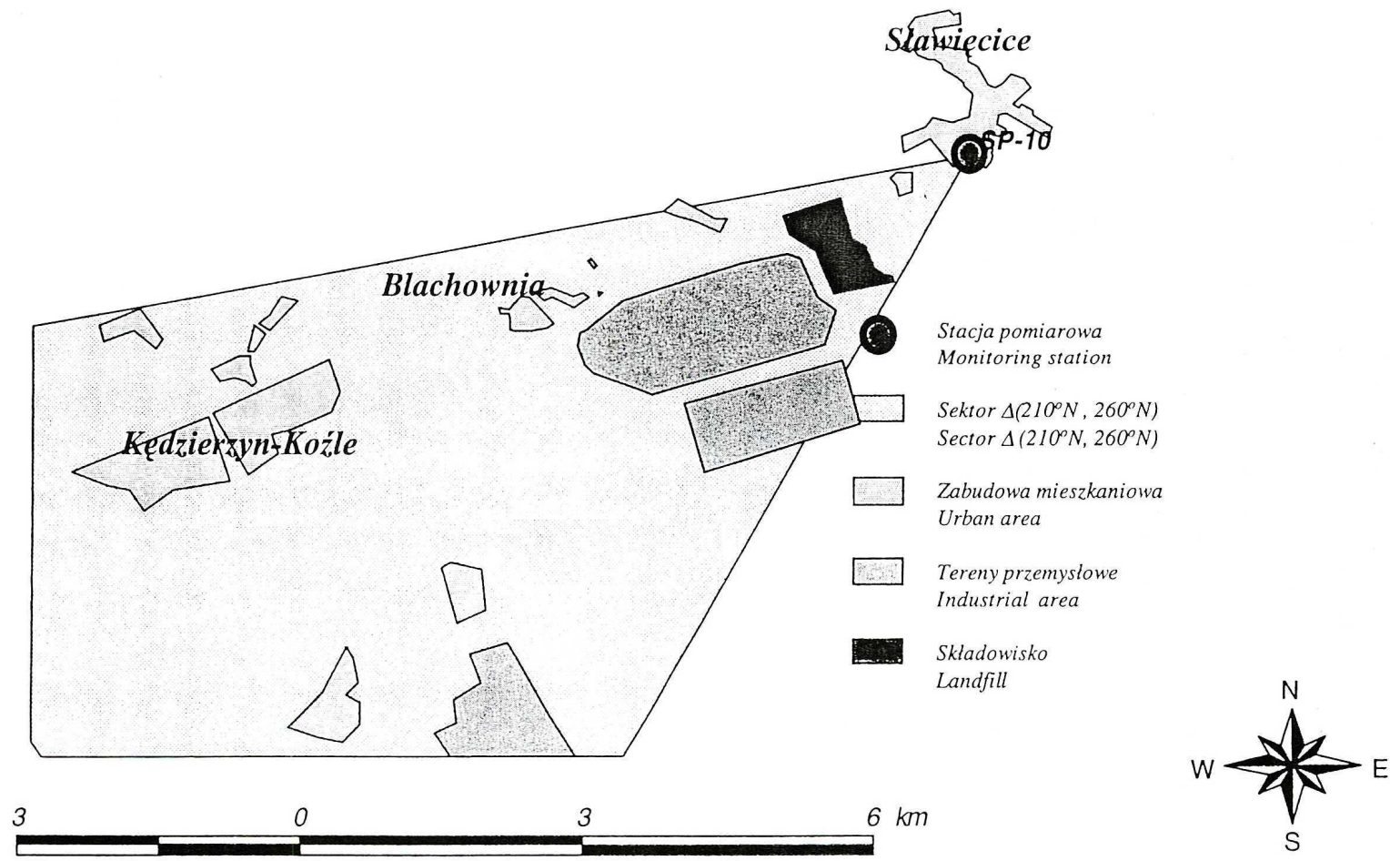
Celem pracy jest przedstawienie sposobu oceny wpływu ustalonych źródeł emisji zanieczyszczenia na poziom mierzonych stężeń tego zanieczyszczenia. Jednocześnie przedstawiono kilka istotnych problemów, pojawiających się w związku z ocenami wpływu na poziom stężeń zanieczyszczeń powietrza źródeł emisji tych zanieczyszczeń. Problemy te najczęściej pojawiają się wówczas, gdy do oceny oddziaływania źródła wykorzystuje się informacje o stężeniach zanieczyszczeń, które są oparte na bezpośrednich pomiarach stężeń o długich czasach uśredniania oraz różę wiatrów. Dla wielu zanieczyszczeń (np. dla pyłu zawieszonego) przyjmuje się, że ocena jakości powietrza może być oparta jedynie na stężeniach średniodobowych, co powoduje problemy przy interpretacji danych.

W ocenach oddziaływania na stan zanieczyszczenia powietrza duże znaczenie przypisuje się kierunkom napływu mas powietrza oraz częstości ich występowania. Z tego powodu mapy sozologiczne z reguły są uzupełniane różą wiatrów. Wykorzystując różę wiatrów często wnioskuje się, że na stężenia chwilowe i średniodobowe większy wpływ mają źródła zanieczyszczeń znajdujące się na przeważających kierunkach wiatrów, a mniejszy wpływ mają źródła znajdujące się w pozostałych sektorach. Jednocześnie w praktyce pomiarowej do oceny oddziaływania źródeł wykorzystuje się średniodobowe i półgodzinne stężenia zanieczyszczeń w oderwaniu od informacji o kierunku napływu zanieczyszczeń. Zdarza się, że po stwierdzeniu przekroczenia dopuszczalnych stężeń średniodobowych, wyciągany jest wniosek, że przekroczenia powodują źródła emisji znajdujące się w pobliżu miejsca pomiaru lub na kierunku przeważających wiatrów.

Dla dowodu, że wymienione wyżej wnioski nie są poprawne, w pracy pokazano przykład, że ani bliskie źródła emisji zanieczyszczenia, ani źródła zanieczyszczenia znajdujące się na głównym kierunku wiatrów nie powodują najwyższych stężeń zanieczyszczenia. W przykładzie przedstawiono sytuację, jaka wystąpiła w Sławięcicach koło Kędzierzyna-Koźła (woj. opolskie) [2, 3].

W odległości ok. 1,5 km na południowy zachód od Sławięcic jest duże składowisko popiołów z elektrowni (rys. 1). Pomiedzy składowiskiem i Sławięcicami rozciąga się pas leśny o szerokości ok. 1 km. W południowo-zachodniej części Sławięcic znajduje się stacja pomiarowa SP-10, należąca do systemu monitoringu zanieczyszczeń powietrza BASKI. Stacja mierzy m.in. 30-minutowe stężenia pyłu zawieszonego i średni wektor wiatru w okresie pomiarowym. Na rys. 1 zaznaczono sektor Δ , o wierzchołku w punkcie SP-10 i ramionach 210°N i 260°N . Wewnątrz sektora Δ znajduje się składowisko. Za nim, w głębi sektora Δ , leży kompleks przemysłowy z emitarami elektrowni, a dalej w kierunku południowo-zachodnim kilka miejscowości.

W pierwszej części pracy porównano oddziaływania składowiska i innych źródeł pyłu. Najpierw przeanalizowano stężenia 24-godzinne pyłu zawieszonego w Sławięcicach, a następnie stężenia 30-minutowe pyłu zawieszonego na-



Rys. 1. Lokalizacja składowiska popiołów lotnych
Location of the fly ash landfill

plywającego z kierunku składowiska i pozostałych kierunków. W analizie tej wykazano, że mimo wysokich stężeń średniodobowych pyłu zawieszonego na stacji SP-10, najwyższe stężenia 30-minutowe pyłu zawieszonego nie były związane z napływem z kierunku składowiska. Dowodzi to, że nie składowisko było przyczyną przekraczania dopuszczalnych stężeń średniodobowych pyłu zawieszonego w Sławięcicach.

W dalszej części pokazano, jak identyfikować główne kierunki napływu pyłu zawieszonego, korzystając z wykresów kołowych percentyli stężeń pyłu zawieszonego i jak można wskazać, gdzie znajdują się źródła emisji zanieczyszczenia najbardziej wpływające na stopień zanieczyszczenia powietrza.

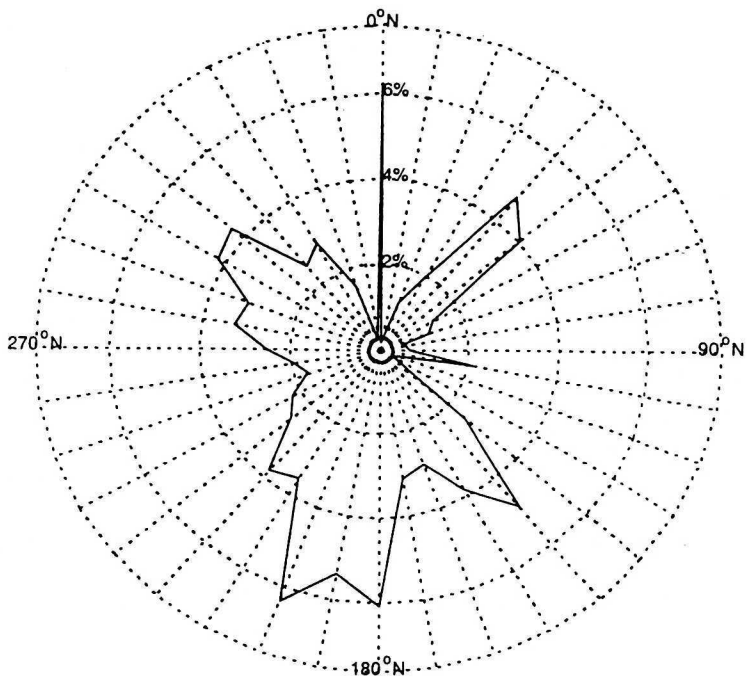
Następnie porównano stężenia pyłu w Sławięcicach w okresie letnim i okresie grzewczym. Porównanie stężeń pyłu w obu tych okresach pozwala na oszacowanie relacji stężeń pyłu zawieszonego powodowanych przez pylenie wtórne i przez źródła pyłu działające jedynie w okresie grzewczym.

Na koniec podano przykład sytuacji, w której oddziaływania bardzo uciążliwego źródła mogą nie powodować przekroczeń obowiązujących norm.

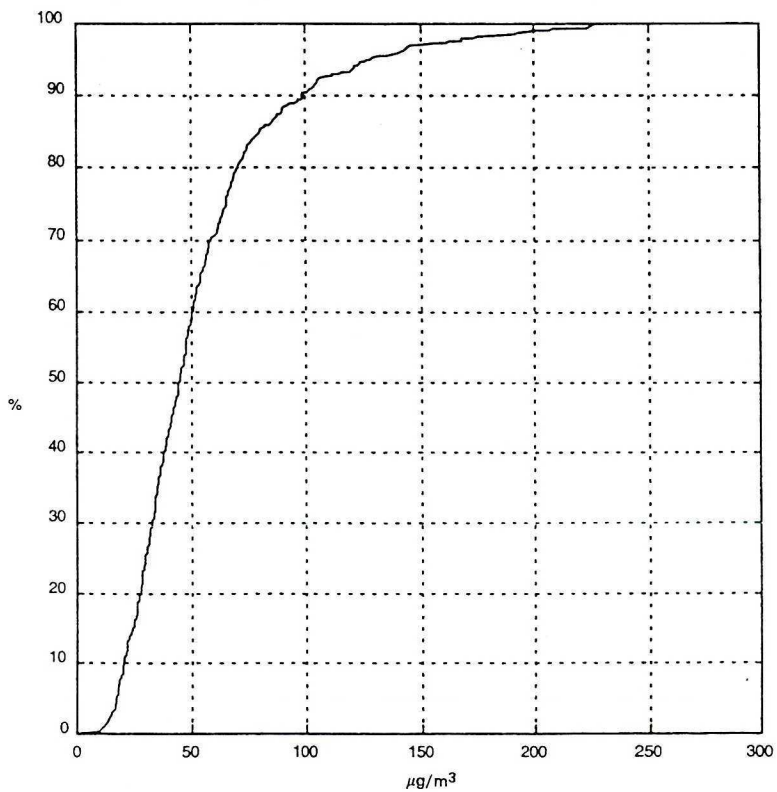
PORÓWNANIE ODDZIAŁYWANIA SKŁADOWISKA POPIOŁÓW LOTNYCH Z ODDZIAŁYWANIEM INNYCH ŹRÓDEŁ PYŁU

Na początku lat dziewięćdziesiątych XX w. składowisko popiołów tworzyły 3 stawy osadowe eksploatowane naprzemiennie. Z uwagi na stosowaną wówczas technologię podwyższania wałów osadników, składowisko okresowo było źródłem znacznego pylenia. Przy większych wiatrach w pobliżu składowiska widoczne były obłoki pyłu. W tym czasie w Sławięcicach wiatry z kierunku składowiska występowały przez 15,6% czasu. Różę wiatrów w Sławięcicach przedstawiono na rys. 2.

Stężenia średniodobowe pyłu zawieszonego rejestrowane od drugiej połowy 1992 r. do końca 1993 r. przez stację pomiarową SP-10 były następujące: maksymalne stężenie średniodobowe pyłu zawieszonego wynosiło aż $310,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a 98 percentyl stężeń 24-godzinnych pyłu zawieszonego wynosił $175,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, natomiast mediana stężeń pyłu zawieszonego wynosiła zaledwie $43,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dystrybuantę stężeń średniodobowych pyłu zawieszonego na stacji pomiarowej SP-10 przedstawia rys. 3. Z wykresu tego wynika, że w Sławięcicach przez 14 dni w roku średniodobowe stężenie pyłu przekraczało obowiązujące wówczas stężenie dopuszczalne $120 \mu/\text{m}^3$. Z rozkładu kierunku wiatrów na stacji pomiarowej SP-10 wynika, że przez ok. 1400 godzin w roku do Sławięcic napływały masy powietrza z sektora Δ , w którym znajduje się składowisko. Wydawałoby się, że bliskie sąsiedztwo składowiska popiołów lotnych i fakt, że przez 1400 godzin w roku do Sławięcic napływały masy powietrza z kierunku składowiska dostatecznie potwierdza tezę, że to składowisko powoduje najwyższe stężenia pyłu zawieszonego w Sławięcicach. Jednak dokładniejsza analiza pokazała, że taki wniosek nie był prawdziwy. Analiza danych o 30-minuto-



Rys. 2. Róża wiatrów w Sławięcicach
The wind rose in Sławięcice



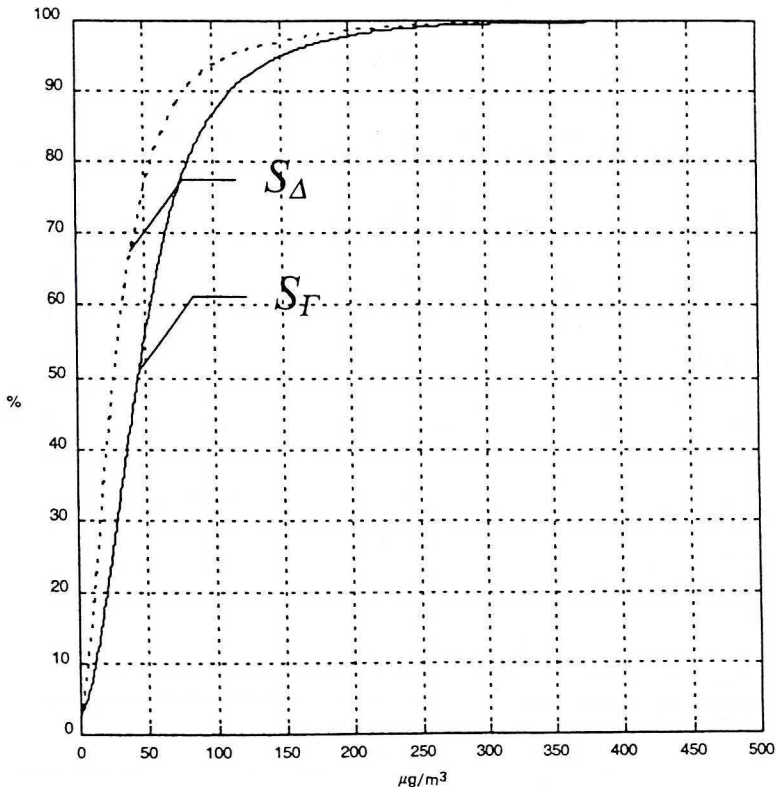
Rys. 3. Dystrybuanta 24-godzinnych stężeń pyłu zawieszonego
Cumulative distribution function of 24-hour particulate matter concentration

wych stężeniach pyłu zawieszonego i kierunkach wiatru ze stacji pomiarowej SP-10 [1] wykazała, że obraz napływu pyłu do Sławięcic przedstawia się zupełnie inaczej.

Zarejestrowane stężenia pyłu zawieszonego można podzielić na dwa zbiory:

- S_{Δ} – 30-minutowe stężenia pyłu zawieszonego występujące przy wiatrach o kierunku napływu z sektora Δ ;
- S_{Γ} – 30-minutowe stężenia pyłu zawieszonego występujące przy napływie mas powietrza z sektora Γ , będącego dopełnieniem sektora Δ .

Najwyższe 30-minutowe stężenie pyłu zawieszonego przy napływie z sektora Δ wynosiło $\max(S_{\Delta}) = 779,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a w pozostałych przypadkach $\max(S_{\Gamma}) = 945,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 98 percentyl stężeń wynosił $P_{98}(S_{\Delta}) = 176,06 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i $P_{98}(S_{\Gamma}) = 205,93 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a mediana stężeń pyłu zawieszonego w sektorach Δ i Γ wynosiła: $P_{50}(S_{\Delta}) = 26,80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i $P_{50}(S_{\Gamma}) = 43,90 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Na rys. 4 pokazano dystrybuanty stężeń S_{Δ} i S_{Γ} . Porównując oba wykresy widać, że stężenia S_{Γ} były o ok. 20% wyższe niż S_{Δ} . Przy tym należy pamiętać, że pył zawieszony napływający z sektora Δ pochodził nie tylko ze składowiska, ale również z



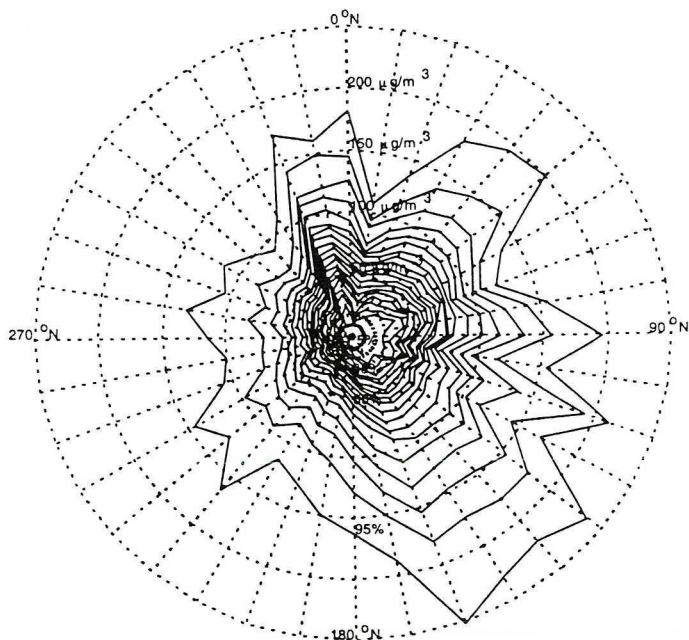
Rys. 4. Dystrybuanty 30-minutowych stężeń pyłu zawieszonego: linia przerywana – napływ zanieczyszczeń z kierunku składowiska, linia ciągła – napływ z pozostałych kierunków
Cumulative distribution function of 30-minute particulate matter concentration: dot line – inflow from landfill direction, continuous line – inflow from other direction

wszystkich źródeł znajdujących się w sektorze Δ . Dowodzi to, że składowisko nie powodowało tak wysokich stężeń pyłu na stacji SP-10. Aby stwierdzić, skąd napływały do Sławęcic stężenia pyłu zawieszonego wyższe niż z kierunku składowiska, przeanalizowano rozkłady stężeń pyłu zawieszonego w dziesięciostopniowych sektorach.

IDENTYFIKACJA KIERUNKÓW NAPŁYWU PYŁU

Do identyfikacji kierunków napływu zanieczyszczeń można wykorzystać wykresy kołowe percentyli stężeń danego zanieczyszczenia [1, 4]. Rys. 5 przedstawia wykresy kołowe percentyli stężeń pyłu zawieszonego rzędów $p = 5, 10, \dots, 95\%$ na stacji monitoringu w 10-stopniowych sektorach napływu pyłu. Każdemu 10-stopniowemu sektorowi napływu mas powietrza $K\alpha$ o kącie środkowym $\alpha = 0, 10, \dots, 350^\circ\text{N}$ i każdej liczbie p przyporządkowano wartość $P_p(S_\alpha)$ równą percentylowi rzędu p stężeń pyłu zawieszonego S_α w sektorze $K\alpha$. Wykresy kołowe $P_p(S_\alpha)$ w układzie biegunowym tworzą łamane przedstawione na rys. 5. Z wykresu można wprost odczytać wartość percentyla danego rzędu stężeń pyłu w wybranym sektorze napływu.

Zbiór percentyli stężeń danego zanieczyszczenia w ustalonym sektorze określa dystrybuantę jego stężeń przy napływie mas powietrza z sektora. Zna-



Rys. 5. Percentyle stężeń pyłu zawieszonego dla 10-stopniowych sektorów napływu zanieczyszczeń
Percentiles of 30-minute particulate matter concentration in the 10° inflow sectors

jąc kierunek napływu mas powietrza w danym okresie półgodzinnym można podać charakterystykę statystyczną stężenia w tym okresie.

Z analizy wykresu na rys. 5 wynika, że wartości percentyli $P_p(S_\alpha)$ wewnątrz sektora Δ ($210^\circ - 260^\circ\text{N}$) były wyższe niż na jego brzegu dla $70\% \leq p \leq 90\%$. Taki rozkład stężeń pyłu w funkcji kierunku napływu zanieczyszczenia wskazuje, że z centralnej części sektora Δ napływały większe ilości pyłu niż z rejonów znajdujących się przy brzegu sektora. Stężenia S_Δ nie były wysokie: 95 percentyl stężeń pyłu w sektorze Δ , $P_{95}(S_\Delta)$, nie przekraczał $164 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a 90 percentyl stężeń pyłu w tym sektorze był mniejszy niż $95,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

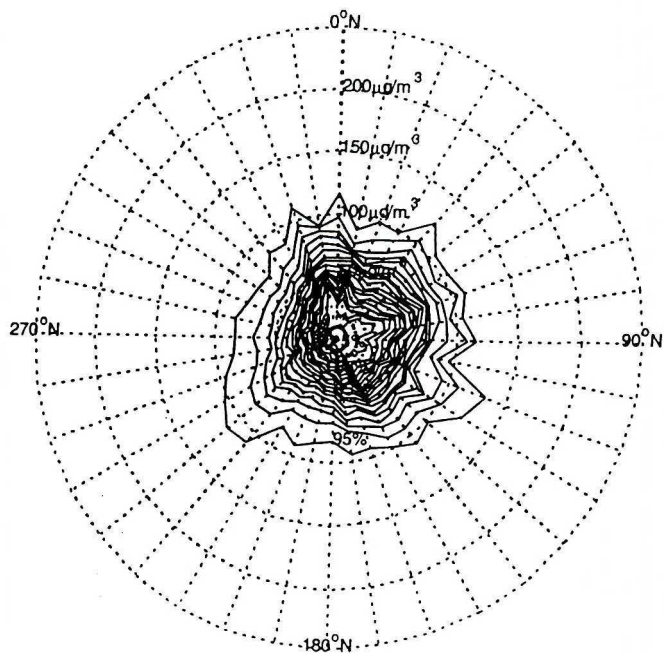
Badając pozostałe sektory napływu można zauważyć, że dla większości 10-stopniowych sektorów pomiędzy 340°N i 180°N napływ pyłu był większy niż z sektora Δ . Nie ulega wątpliwości, że część pyłu zawieszonego, jaki towarzyszył napływowi z północy i wschodu, pochodziła ze źródeł lokalnych, głównie z lokalnych palenisk domowych, gdyż stacja pomiarowa znajduje się w południowo-zachodniej części miasta. Jednak pozostałe ilości pyłu zawieszonego pochodziły z odleglejszych źródeł. Najwyższe stężenia pyłu zawieszonego, dwukrotnie wyższe niż S_Δ , występowały w sektorze $130^\circ\text{N} - 170^\circ\text{N}$.

PORÓWNANIE STĘŻEŃ PYŁU ZAWIESZONEGO POWODOWANYCH PRZEZ PYLENIE WTÓRNE ZE STĘŻENIAMI POWODOWANYMI PRZEZ ŹRÓDŁA DZIAŁAJĄCE WYŁĄCZNIE W OKRESIE GRZEW CZYM

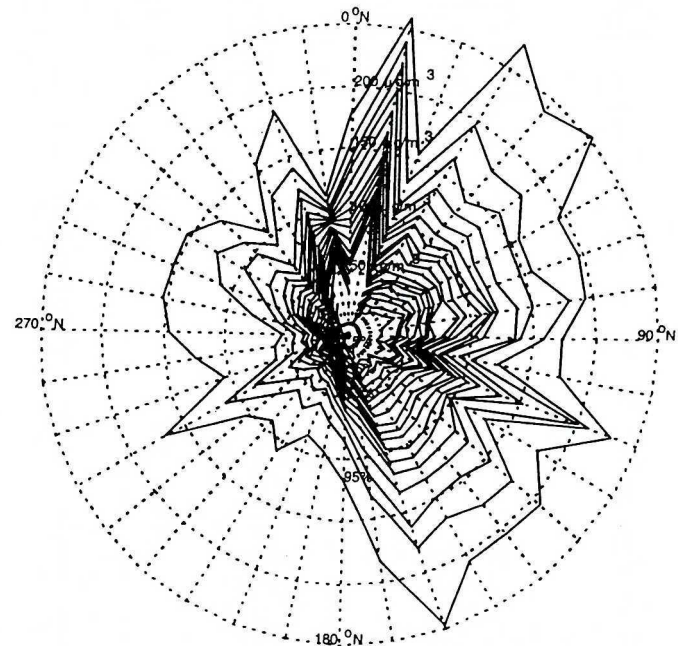
Stężenia pyłu zawieszonego powodowane przez wtórne pylenie składowiska można oddzielić od stężeń powodowanych przez emisję pyłu z innych źródeł wykorzystując fakt, że warunki sprzyjające pyleniu wtórnemu częściej występują w okresie letnim niż w sezonie grzewczym.

Na rys. 6 porównano wykresy kołowe percentyli stężeń pyłu zawieszonego w funkcji kierunku napływu mas powietrza w Sławięcicach w okresie letnim i w okresie grzewczym. Rys. 6a przedstawia percentyle stężeń pyłu zawieszonego w okresie letnim 1993 roku, a rys. 6b percentyle stężeń pyłu w okresie grzewczym 1993/1994. Występują istotne różnice między obu wykresami. Stężenia pyłu zawieszonego w okresie grzewczym były znacznie wyższe niż stężenia pyłu w okresie letnim. W okresie letnim stężenia pyłu występujące przy napływie mas powietrza od strony składowiska były porównywalne z najwyższymi stężeniami występującymi w tym okresie w innych sektorach. Całkowicie odmiennie stężenia pyłu zawieszonego kształtowały się w okresie grzewczym. W porównaniu ze stężeniami w okresie letnim widoczny jest 2–3-krotny wzrost stężeń pyłu zawieszonego we wszystkich kierunkach w sektorze Γ . Natomiast stężenia pyłu zawieszonego w sektorze Δ zmniejszyły się nieco z powodu zmniejszenia pylenia składowiska. Na tym tle wyraźnie zaznaczyły się wyższe stężenia pyłu zawieszonego wokół tylko jednego kierunku 240°N . Kierunek ten dokładnie wyznacza emitor elektrowni znajdujący się na terenach przemysłowych.

a)



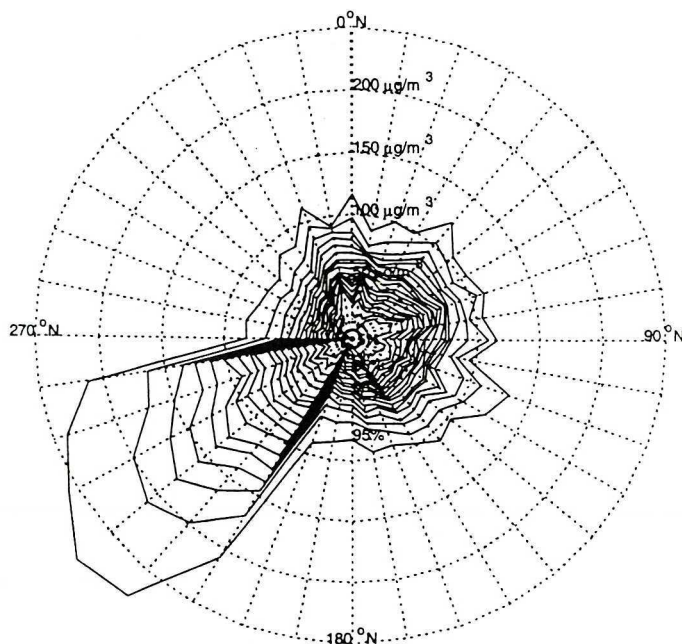
b)



Rys. 6. Percentyle stężeń pyłu zawieszonoego dla 10-stopniowych sektorów napływu zanieczyszczeń: a) w okresie letnim, b) w okresie grzewczym
Percentiles of 30-minute particulate matter concentration in the 10° inflow sectors: a) for summer season, b) for heating season

PRZYKŁAD WYSOKIEGO PYLENIA WTÓRNEGO, KTÓRE NIE POWODUJE PRZEKROCZENIA DOPUSZCZALNYCH STĘŻEŃ ŚREDNIODOBOWYCH

Zastosowanie stężeń średniodobowych do oceny stopnia zanieczyszczenia powietrza ma jeszcze jedną negatywną konsekwencję. Przy dotrzymaniu średniodobowych stężeń dopuszczalnych, jest możliwa bardzo wielka emisja z pojedynczych źródeł, przy której źródła te są ewidentnie uciążliwe dla otoczenia. Aby pokazać, do jakiego stopnia jest to możliwe, przeprowadzono następujący eksperyment numeryczny: stężenia pyłu zawieszonego na stacji pomiarowej SP-10 w okresie letnim S_A' , napływające z kierunku składowiska zwiększono 2,5-krotnie, a pozostałe stężenia S_R' pozostawiono bez zmiany. Otrzymano w ten sposób zmodyfikowane stężenia $S_M = 2,5 \cdot S_A' \cup S_R'$. Na rys. 7 pokazano wykresy percentyli zmodyfikowanych stężeń pyłu zawieszonego S_M . Przy tak sztucznie zwiększonym pyleniu składowiska, stężenia pyłu zawieszonego występujące przy napływie mas powietrza od strony składowiska znacznie przekraczałyby wszystkie pozostałe stężenia, co wskazywałoby na szczególnie dużą uciążliwość składowiska: 99,8 percentyl stężeń S_M wynosiłby aż $450 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Jednocześnie, mimo dużej uciążliwości składowiska, 98 percentyl stężeń średniodobowych pyłu zawieszonego wynosiłby tylko $118 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i byłby niższy od $D_{2,4}$, co oznaczałoby, że na stacji pomiarowej byłyby dotrzymane normy jakości powietrza.



Rys. 7. Percentyle zmodyfikowanych stężeń pyłu $S_M = 2,5 \cdot S_A' \cup S_R'$ w okresie letnim
Percentiles of modified particular matter concentration $S_M = 2,5 \cdot S_A' \cup S_R'$ in summer season

WNIOSKI

1. Za pomocą wykresów kołowych percentyli stężeń zanieczyszczeń można:
 - a) zidentyfikować główne kierunki napływu zanieczyszczeń,
 - b) wskazać, gdzie znajdują się źródła emisji zanieczyszczeń najbardziej wpływające na stopień zanieczyszczenia powietrza,
 - c) oszacować udział źródeł w stężeniach zanieczyszczeń.
2. Porównanie wykresów kołowych stężeń pyłu w okresie letnim i w okresie grzewczym pozwala na oszacowanie relacji stężeń powodowanych przez źródła pylenia wtórnego (występującego znacznie częściej w okresie letnim) i stężeń powodowanych przez źródła pyłu działające jedynie w okresie grzewczym.
3. Średniodobowe i 30-minutowe stężenia zanieczyszczenia, oderwane od informacji o kierunku napływu zanieczyszczeń, nie pozwalają na poprawną ocenę oddziaływania źródeł emisji tego zanieczyszczenia na jakość powietrza w punkcie pomiaru.
4. Przekroczenie stężeń dopuszczalnych (chwilowych lub średniodobowych) w rejonie stacji pomiarowej nie jest wystarczającą przesłanką do stwierdzenia, że potencjalnie duże źródło zanieczyszczenia znajdujące się w sąsiedztwie kształtuje poziom stężeń tego zanieczyszczenia.

LITERATURA

- [1] Kliś Cz., M. Matejczyk: *Ocena stanu zanieczyszczenia powietrza w roku 1993 w rejonie Kędzierzyna-Koźła na podstawie danych z automatycznego monitoringu BASKI*, IETU, Katowice 1994.
- [2] Matejczyk M., C. Kliś, M. Korcz: *Ocena oddziaływania na środowisko składowiska popiołów po podwyższeniu rzędnej do 216 m*, IETU 1992.
- [3] Matejczyk M., C. Kliś: *Weryfikacja oceny oddziaływania na środowiska składowiska popiołów w oparciu o wyniki pomiarów BASKI wraz z określeniem strefy oddziaływania składowiska na jakość powietrza*, IETU, Katowice 1993.
- [4] *Zasady projektowania elementów sieci monitoringu zanieczyszczenia atmosfery – stacje alarmowe w aglomeracjach miejsko-przemysłowych*, Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa 1991.

Wpłynęło: 27 marca 2001, zaakceptowano do druku: 25 maja 2001.