

NAPŁYWY KIERUNKOWE ZANIECZYSZCZEŃ POWIETRZA JAKO JEDNO Z KRYTERIUM OCENY REPREZENTATYWNOŚCI OBSZAROWEJ AUTOMATYCZNYCH STACJI MONITORINGU POWIETRZA

Rafał JASIŃSKI

Politechnika Częstochowska, Wydział Inżynierii i Ochrony Środowiska
ul. Dąbrowskiego 69, 42-200 Częstochowa
raphael@is.pcz.czeast.pl

STRESZCZENIE

Celem pracy było określenie możliwości zastosowania średnich napływów kierunkowych do oceny reprezentatywności obszarowej automatycznych stacji monitoringu powietrza. Do badań wykorzystano dwuletnie dane z wybranych stacji pomiarowych. Średnie jednogodzinne wartości stężeń SO_2 , NO , NO_2 , PM_{10} i CO posegregowano względem kierunków napływów, dzieląc je na 36 sektorów o zakresie 10° . Następnie przeprowadzono analizę rozrzutu otrzymanych wartości. W wyniku przeprowadzonej analizy stwierdzono, że rozrzut średnich wartości stężeń zanieczyszczeń w sektorach kierunkowych może być jednym z kryteriów oceny reprezentatywności obszarowej automatycznych stacji monitoringu powietrza. Jednakże jako miary rozproszenia mogą być stosowane współczynniki zmienności, które są wielkościami niemianowanymi, najczęściej podawanymi w procentach.

1. Wstęp

Poziomy stężenie zanieczyszczeń powietrza, zwłaszcza na terenach miejskich, zazwyczaj są silnie zróżnicowane przestrzennie i szybko zmieniają się w czasie [1]. Reprezentatywność pomiarów poziomych stężeń zanieczyszczeń zmniejsza się w miarę oddalania się od stacji monitoringu. W różnych punktach otoczenia stacji pomiarowej aktualny stan poziomu emisji może kształtować się odmiennie, np. pod wpływem skomplikowanego lokalnego pola wiatru, uzależnionego od zróżnicowania wysokości i zwartości zabudowy lub lokalnego silnego źródła emisji [2].

Wielu badaczy zajmowało się zagadnieniami optymalnej lokalizacji stacji monitorujących zanieczyszczenia powietrza [2-5]. W pracach tych prezentowano metodologię określenia optymalnej liczby stanowisk sieci kontrolujących jakość powietrza i ich rozmieszczenia. Weryfikowano położenie istniejących stacji i sprawdzano możliwości modyfikacji sieci monitoringu powietrza w celu uzyskania najbardziej wiarygodnej informacji o poziomach stężeń poszczególnych zanieczyszczeń na całym terenie jej działania. Metody te opierały się zarówno na dostępnych informacjach o stanie zanieczyszczenia powietrza, jak i na modelach pól emisji w rozpatrywanym rejonie [2-5]. Wraz z postępującą nowoczesną techniką metody te są coraz bardziej skomplikowane i możliwe do zastosowania wyłącznie przy wykorzystaniu zaawansowanych technik modelowania komputerowego. Taki sposób badań pozwala na prowadzenie analiz przyczynowo-skutkowych, ekspertyz problemowych, tworzenie modeli i prognoz aerosanitarnych.

W obowiązujących aktach prawnych dokładnie określono zalecenia, co do lokalizacji poszczególnych typów stacji oraz powierzchnię obszaru, dla którego wyniki pomiarów powinny być reprezentatywne [6]. Poziomy stężenie zanieczyszczeń powietrza, które prowadzone są w określonym miejscu lokalizacji stacji monitoringu powietrza, zwykle uogólnia się do dużych obszarów, całych miejscowości lub regionów. Takie uogólnienie

często jest bezpodstawne. Dla przedstawienia wiarygodności pomiarów przyjmuje się pewną cechę fizyczną, która charakteryzuje wielkość obszaru, dla którego wyniki pomiarów można uznać za reprezentatywne. Za cechę tę przyjęto tzw. skalę przestrzennej reprezentatywności wyników. Związana jest ona ze średnią odległością (d_r) między skrajnymi punktami obszaru, w którym stężenia zanieczyszczeń nie różnią się znacznie od wartości pomierzonych na stacji monitoringu. Różnica ta nie powinna przekraczać 20% stężenia zmierzonego na stanowisku pomiarowym w odniesieniu do wartości średniorocznych lub też sezonowych. Reprezentatywność punktu pomiarowego zależy od gradientu stężeń średnich w jego otoczeniu [7-8].

Reprezentatywność stanowiska pomiarowego możliwa jest do określenia za pomocą obliczeniowych rozkładów średnich stężeń zanieczyszczeń na wybranym obszarze, które uzyskuje się dzięki wykorzystaniu modeli matematycznych. Jest to również możliwe dzięki prowadzeniu okresowych pomiarów na danym obszarze przy zastosowaniu prostych technik lub stacji mobilnych oraz analizie lokalizacji źródeł emisji i warunków dyspersji zanieczyszczeń w wybranym rejonie [7-8]. Do tej pory jednak nie sprecyzowano jednoznacznie, w jaki sposób można obiektywnie ocenić reprezentatywność obszarową już istniejących stacji monitoringu powietrza metodami modelowymi.

Wstępne badania potwierdziły tezę, że informacja o reprezentatywności obszarowej danej stacji zawarta jest w danych pomiarowych pochodzących z sieci monitoringu powietrza [9]. Zaobserwowano, że jeśli na niewielkim obszarze o jednolitych warunkach klimatycznych zlokalizowanych jest kilka automatycznych stacji monitoringu powietrza, czynniki globalne i regionalne powodują ten sam efekt zmienności stężeń na wszystkich tych stacjach, natomiast różnice w przebiegach zmienności stężeń poszczególnych zanieczyszczeń, powodowane są przez czynniki lokalne. Większe rozbieżności w przebiegach stężeń danego zanieczyszczenia odnotowanych na poszczególnych stacjach, od przebiegów uśrednionych dla całego obszaru, wskazują na zwiększony wpływ lokalnych czynników, wpływających na poziomy tych stężeń. Przekłada się to bezpośrednio na stopień reprezentatywności obszarowej poszczególnych stacji. Jeśli czynniki lokalne w małym stopniu oddziałują na poziomy stężeń poszczególnych zanieczyszczeń, to wzajemna zgodność tych przebiegów stężeń na wszystkich stacjach w danym obszarze będzie duża. Dalsze badania wskazywały, że w przypadku zastosowania prostych metod statystycznych podobną informację można otrzymać wykorzystując dane tylko z jednej stacji zlokalizowanej w danym rejonie [9].

Kolejnym ważnym kryterium oceny reprezentatywności obszarowej automatycznych stacji monitoringu powietrza może stać się analiza napływów kierunkowych w rejonie lokalizacji stacji pomiarowej. Najbardziej optymalnym wskaźnikiem reprezentatywności obszarowej stacji jest równomierny rozkład napływów kierunkowych poszczególnych zanieczyszczeń powietrza.

Celem pracy jest określenie możliwości zastosowania średnich napływów kierunkowych do określenia w sposób ilościowy obszarowej reprezentatywności automatycznych stacji monitoringu powietrza. Badania podjęte w niniejszej pracy obejmują zastosowanie parametrów statystycznych rozrzutu i współczynników zmienności, które charakteryzują zmienność średnich wartości napływów kierunkowych wybranych zanieczyszczeń powietrza. W dalszej perspektywie wyniki badań będą zastosowane do wyznaczenia nowego uniwersalnego, bezwymiarowego parametru, który może być stosowany przez jednostki administracyjne do informowania o stopniu obszarowej reprezentatywności automatycznych stacji monitoringu powietrza. Dążeniem autora jest, aby parametr ten był parametrem autonomicznym, tj. aby był wyznaczany wyłącznie na podstawie danych pochodzących z systemu monitoringu powietrza.

2. Metodyka

Badania obliczeniowe przeprowadzono wykorzystując dane pochodzące z 4 automatycznych stacji pomiarowych Śląskiego Monitoringu Powietrza z lat 2007-2008, zlokalizowanych w Katowicach, Cieszynie, Dąbrowie Górniczej i Częstochowie. Na wszystkich 4 stacjach mierzone jest tło miejskie.

Stacja pomiarowa w Katowicach zlokalizowana jest w zachodniej części miasta na terenie Instytutu Ekologii Terenów Uprzemysłowionych przy ulicy Kossutha. Otoczenie stacji stanowią: w kierunku północnym bloki mieszkalne, linia kolejowa a dalej Drogowa Trasa Średnicowa i osiedle "Tysiąclecia", w kierunku wschodnim tereny handlowe, w kierunku południowym zabudowa mieszkalna osiedla "Witosa", natomiast w kierunku zachodnim zabudowa mieszkalna, a dalej tereny pokopalniane KWK "Kleofas". Otoczenie stacji pomiarowej w Cieszynie stanowią tereny rekreacyjne i wypoczynkowe (ogródki działkowe), luźna zabudowa jednorodzinna oraz osiedle z blokami czterokondygnacyjnymi. Ogrzewanie budynków z sieci ciepłowniczej oraz indywidualne. Stacja pomiarowa w Dąbrowie Górniczej zlokalizowana jest w południowo-zachodniej części miasta w dzielnicy Gołonóg. Otoczenie stacji w kierunkach północnym wschodnim i południowym stanowią bloki mieszkalne cztero i dziesięciopiętrowe ogrzewane centralnie, natomiast w kierunku wschodnim w odległości ok. 800m droga krajowa nr 1, a dalej tereny przemysłowe Huty "Katowice" i Koksowni "Przyjaźń". Stacja pomiarowa w Częstochowie zlokalizowana jest w północnej części miasta na terenie osiedla mieszkaniowego "Północ". W kierunku północnym zachodnim i wschodnim występuje zabudowa wielorodzinna i obiekty handlowe, w kierunku południowym park i tereny rekreacyjne. Okoliczne domy mieszkalne ogrzewane są z sieci ciepłowniczej [10].

Średnie jednogodzinne wartości stężeń SO_2 , NO , NO_2 , PM_{10} i CO , posegregowano względem kierunków napływów, dzieląc je na 36 sektorów kierunkowych o zakresie 10° . Następnie wartości stężeń danego zanieczyszczenia z poszczególnych sektorów kierunkowych uśredniono. Uzyskano w ten sposób róże napływów zanieczyszczeń, które charakteryzują przeciętne poziomy stężenie danego zanieczyszczenia w sektorach kierunkowych. Następnie metodami statystyki opisowej przeprowadzono analizę rozrzutu (rozproszenia, dyspersji) otrzymanych wartości średnich w 36 sektorach. Jako miary rozrzutu zastosowano: rozstęp R - różnicę pomiędzy wartością największą i najmniejszą, odchylenie przeciętne d jako średnią arytmetyczną bezwzględnych różnic pomiędzy poszczególnymi wartościami cechy a wartością średnią (1),

$$d = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}| \quad (1)$$

wariancję s^2 - jako przeciętne kwadratowe odchylenie poszczególnych wyników od ich średniej (2),

$$s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (2)$$

oraz odchylenie standardowe s jako pierwiastek kwadratowy z wariancji.

Dla porównania stopnia zróżnicowania przebiegów stężeń napływów poszczególnych zanieczyszczeń na wybranych stacjach pomiarowych, obliczono dodatkowo procentowe współczynniki zmienności względem odchylenia standardowego V_s (3) i odchylenia przeciętnego V_d (4),

$$V_s = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100\% \quad (3), \quad V_d = \frac{d}{\bar{x}} \cdot 100\% \quad (4).$$

Wyznaczono również róże wiatrów występujące w rejonie lokalizacji poszczególnych stacji pomiarowych.

3. Wyniki i ich omówienie

Na rys. 1-4, zamieszczono wykresy kołowe róż zanieczyszczeń, ilustrujące przeciętne poziomy stężenia SO_2 , NO, NO_2 , PM10 i CO napływające do poszczególnych stacji pomiarowych w 36 sektorach kierunkowych. Na wykresach pogrubioną linią zaznaczono wartość średnią stężeń.

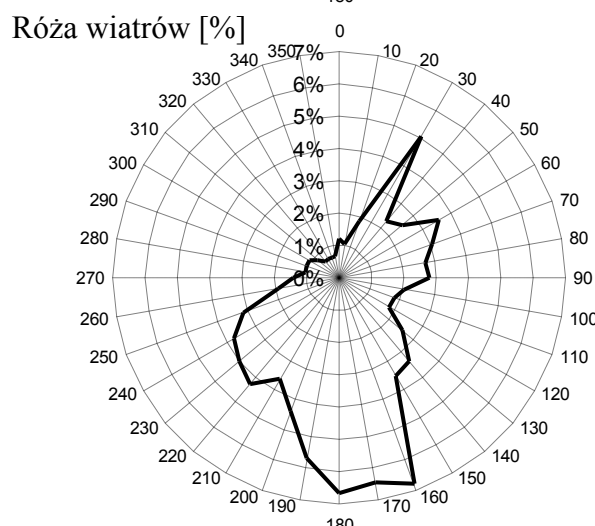
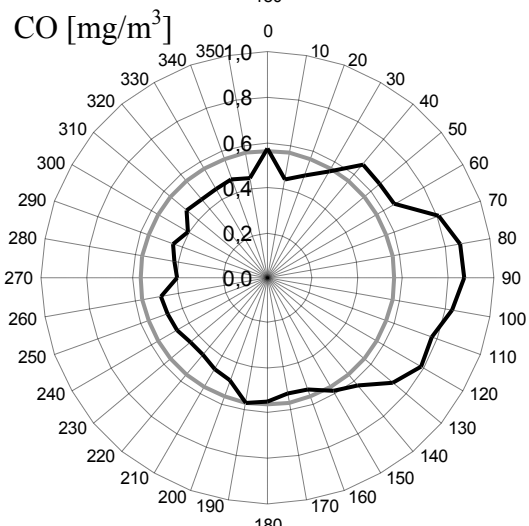
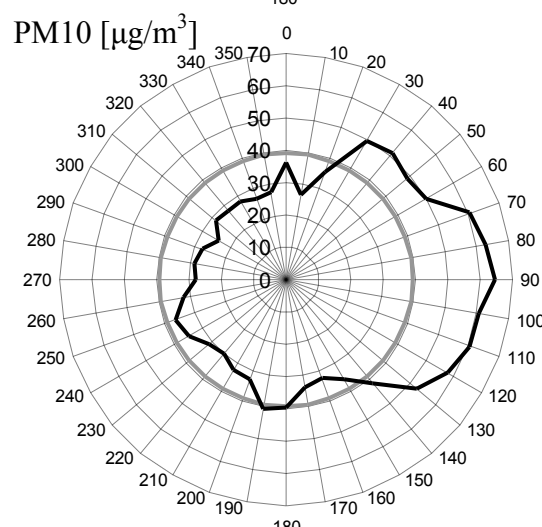
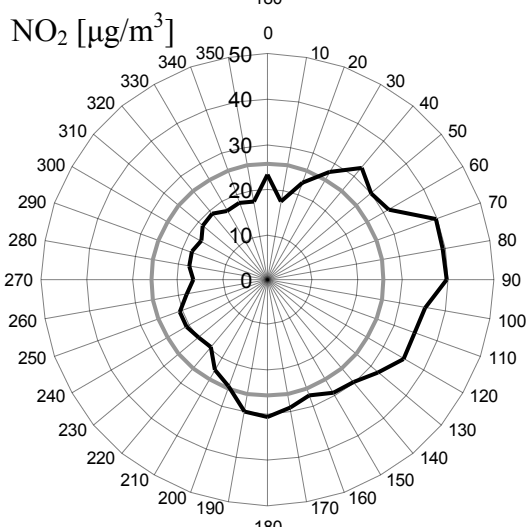
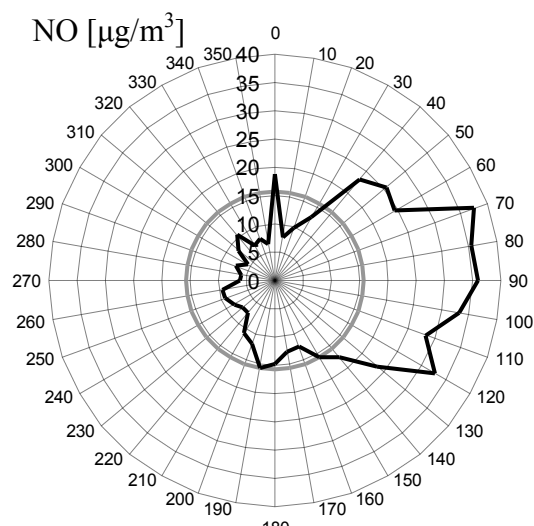
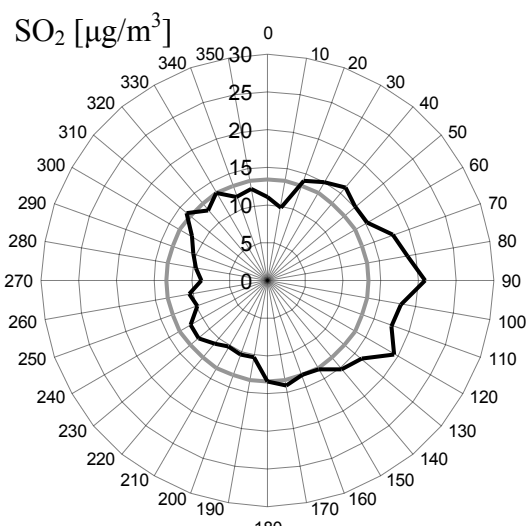
Na poszczególnych stacjach pomiarowych zaobserwowano bardzo zbliżone do siebie kształtem wykresy kołowe stężeń NO_2 , PM10 i CO. W kontekście wykorzystania napływów kierunkowych do oceny obszarowej reprezentatywności stacji pomiarowych można się zatem spodziewać, że dla tych trzech zanieczyszczeń reprezentatywność obszarowa stacji monitoringu będzie porównywalna.

Kierunki napływów stężeń SO_2 różnią się od wykresów pozostałych zanieczyszczeń. Zwłaszcza na stacji pomiarowej w Częstochowie dominuje kierunek północno-wschodni, gdzie stężenia SO_2 są ponad dwukrotnie wyższe od wartości średniej.

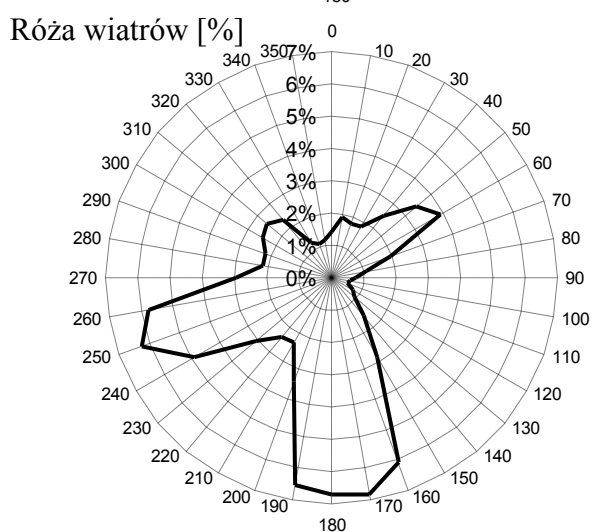
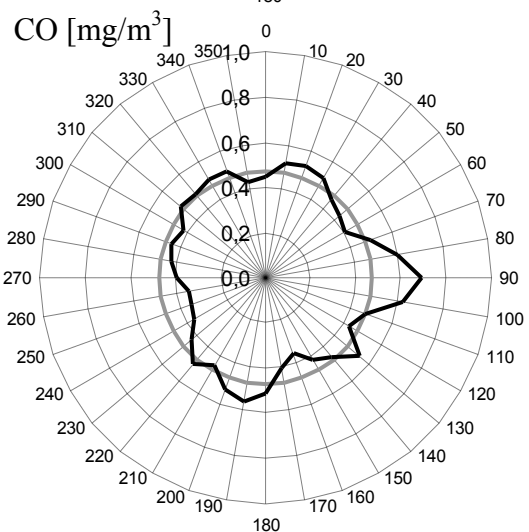
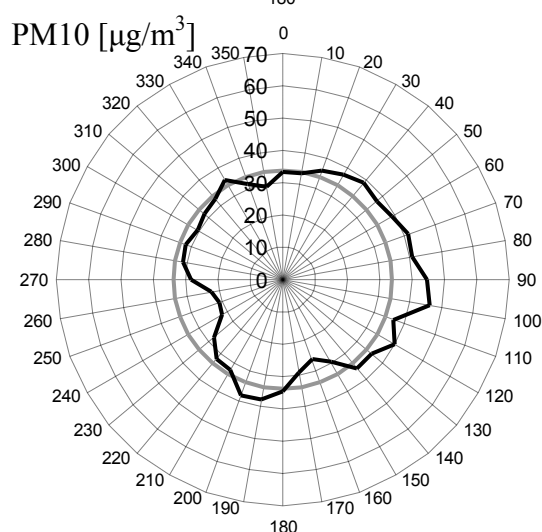
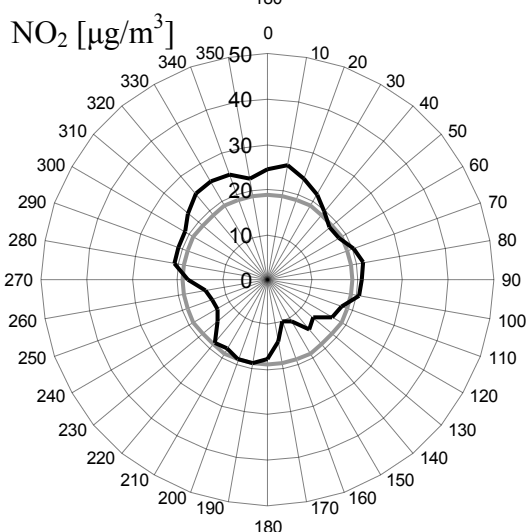
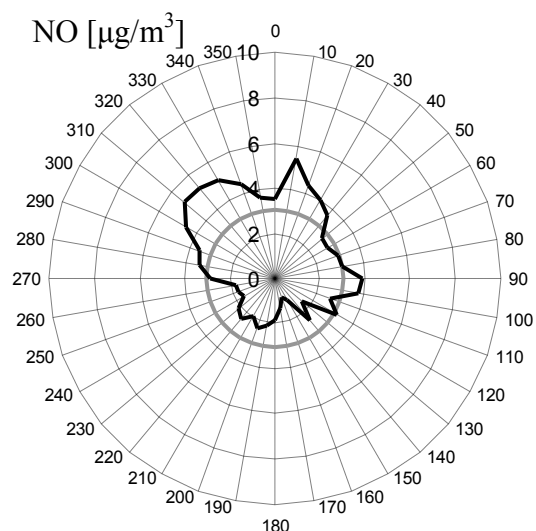
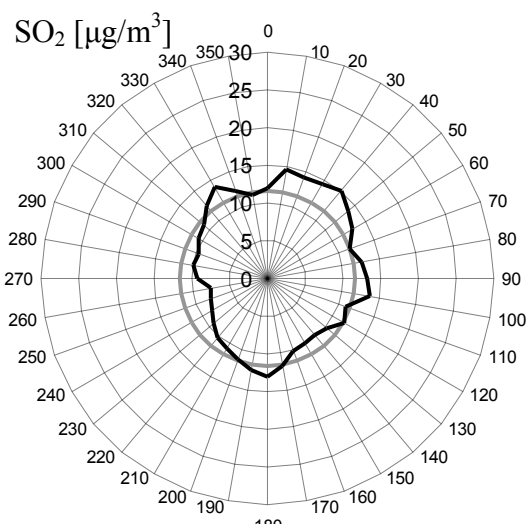
Wykresy kołowe stężeń NO znacznie różnią się od wykresów pozostałych zanieczyszczeń. Można wskazać kierunki dominujące napływu tego zanieczyszczenia, zwłaszcza na stacjach pomiarowych w Dąbrowie Górniczej i Częstochowie. NO jest zanieczyszczeniem nietrwałym i szybko utlenia się w powietrzu do NO_2 . Niskie poziomy stężenia NO świadczą o braku w najbliższym otoczeniu stacji silnych źródeł emisji tego gazu. Znacznie najniższe wartości stężeń NO odnotowano na stacji pomiarowej w Cieszynie, średnio $3,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, podczas gdy w Katowicach średnie stężenie napływowe NO wynosiło $15,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Na stacji pomiarowej w Cieszynie zaobserwowano również najbardziej równomiernie rozłożone średnie stężenia napływowe wszystkich analizowanych zanieczyszczeń w sektorach kierunkowych.

Wykresy kołowe zanieczyszczeń nie pokrywają się kształtem z różami wiatrów wyznaczonymi dla danej stacji. Oznacza to, że róże zanieczyszczeń w 10° sektorach kierunkowych mogą być obiektywnymi wskaźnikami rozproszenia poziomów stężeń napływających ze wszystkich sektorów, nie tylko z kierunków dominujących pod względem częstości występowania wiatru.

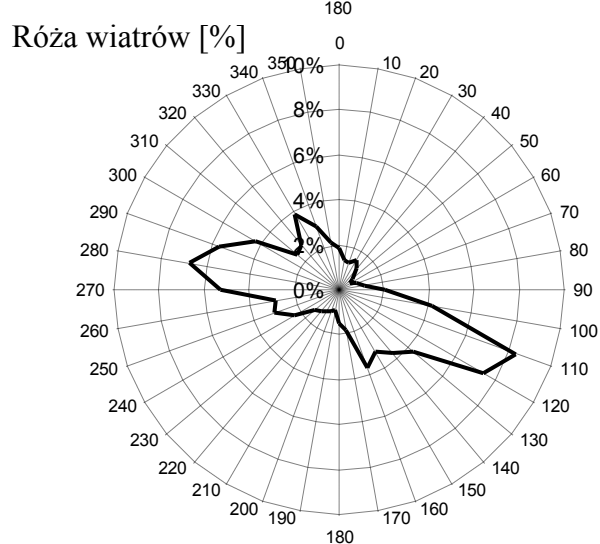
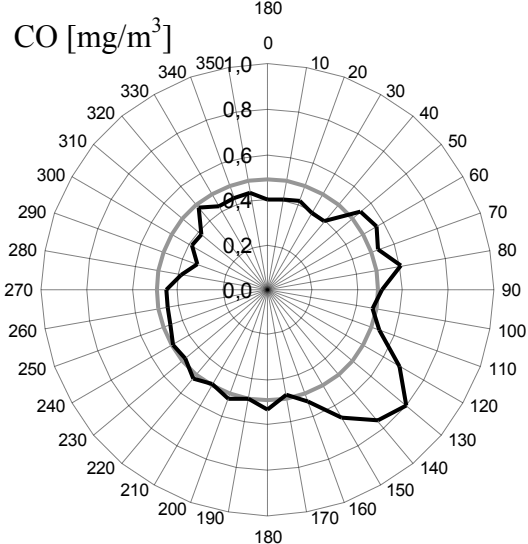
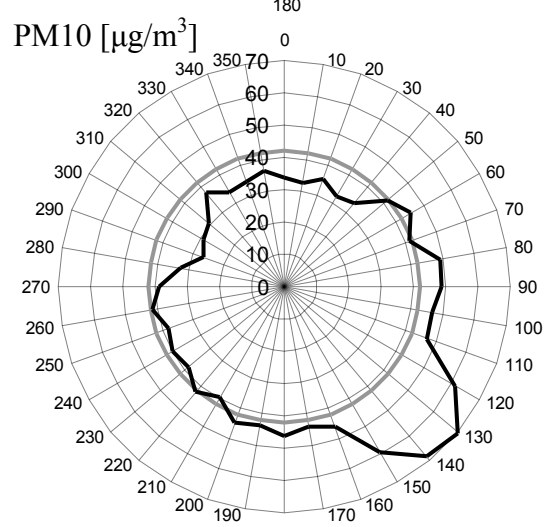
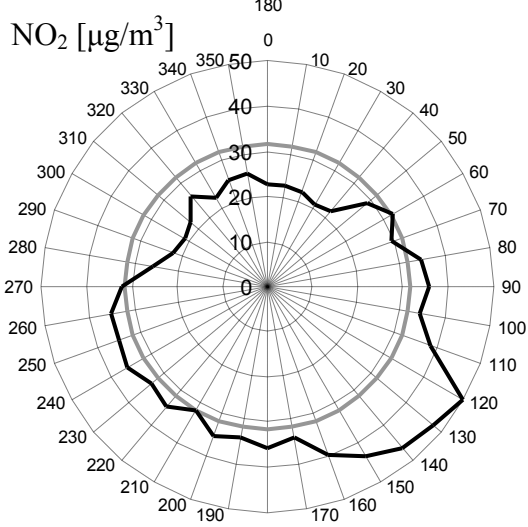
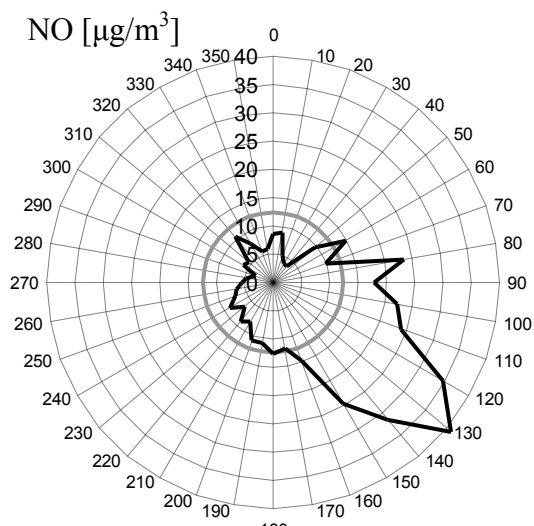
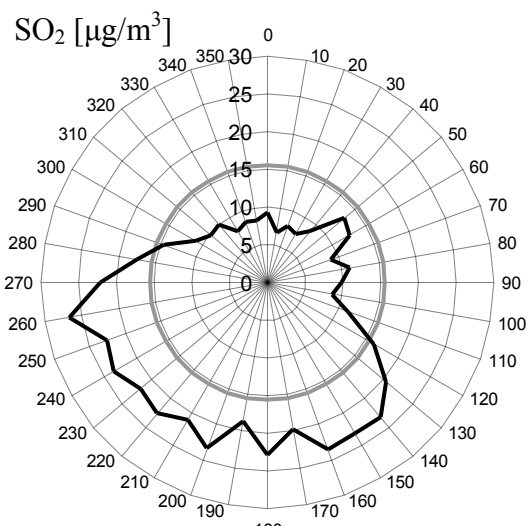
W tabelach 1-5 zestawiono wyniki analizy statystycznej rozrzutu otrzymanych wartości średnich napływów kierunkowych w 36 sektorach. Miary rozrzutu charakteryzują próbę ze względu na zmienność obserwowanych wartości. Są one zawsze nieujemne. Wartości bliskie zeru oznaczają, że obserwacje w próbie mają niewielkie zróżnicowanie. Zgodnie z wcześniejszym założeniem wartości miar rozproszenia są liczbowym wskaźnikiem równomierności napływów stężeń danego zanieczyszczenia w sektorach kierunkowych. Wyższe wartości miar rozproszenia świadczą o dużym zróżnicowaniu stężeń napływających z sektorów kierunkowych i świadczą o gorszych warunkach reprezentatywności obszarowej danej stacji. Miary rozproszenia są wartościami o wymiarze, jaki miały dane wejściowe (z wyjątkiem wariancji). W przypadku porównywania stacji, na których występowały różne przeciętne poziomy stężenia, miary te nie dają obiektywnych wyników. Im wyższe przeciętne stężenie danego zanieczyszczenia, tym wyższe są wartości miar rozproszenia.



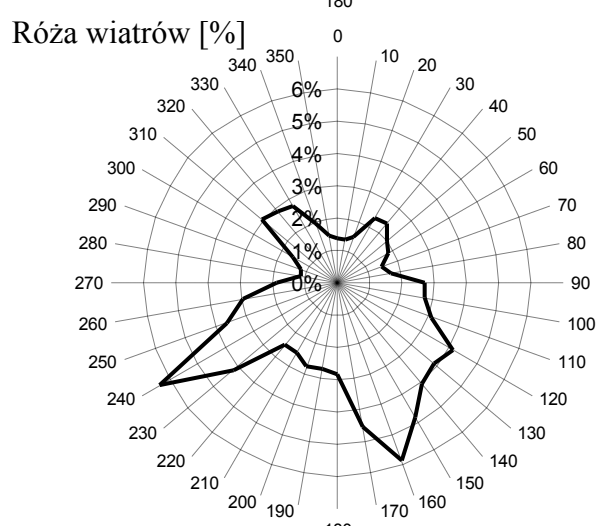
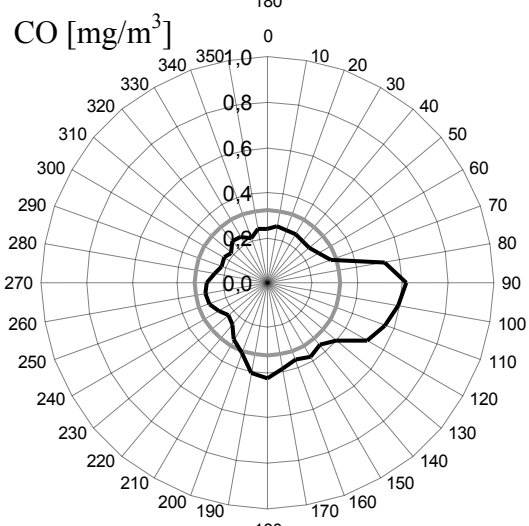
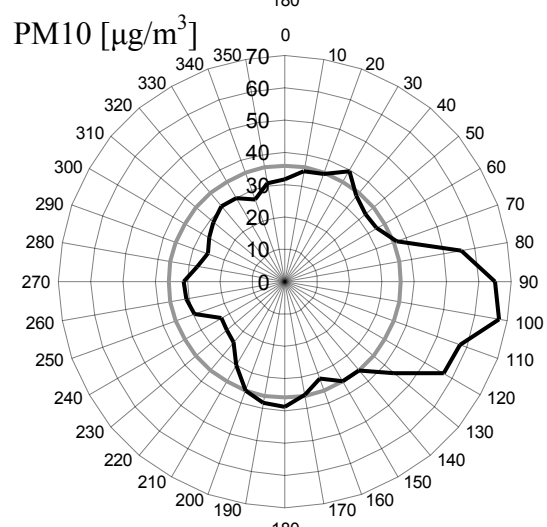
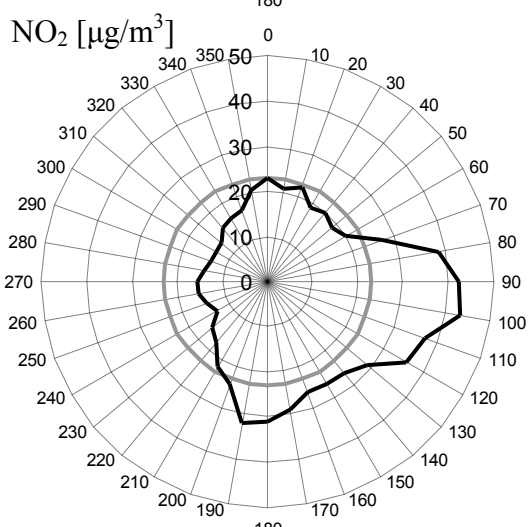
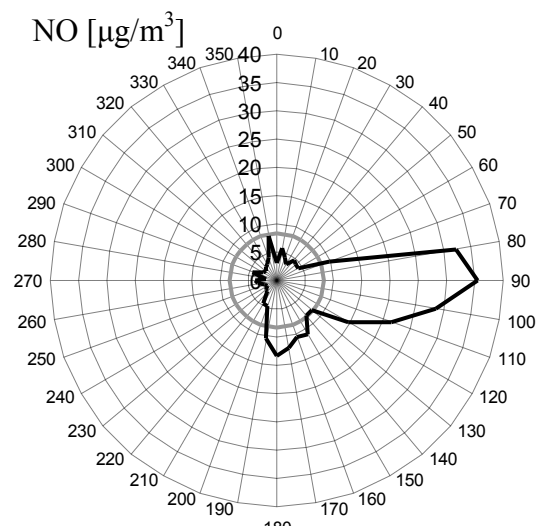
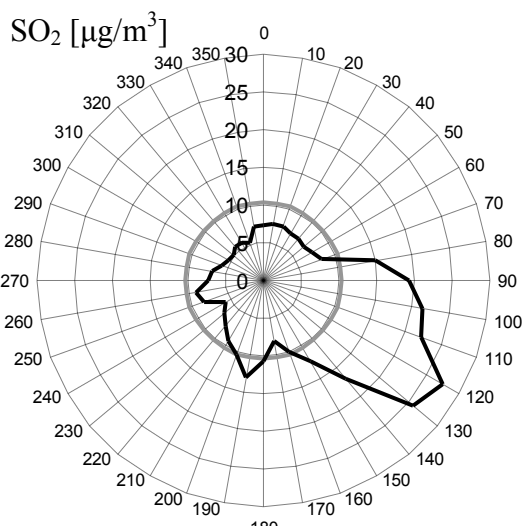
Rys. 1. Wykresy kołowe róż zanieczyszczeń ilustrujące przeciętne poziomy stężenie SO₂, NO, NO₂, PM10 i CO, napływające w 10° sektorach kierunkowych oraz róża wiatrów występująca w rejonie lokalizacji automatycznej stacji monitoringu powietrza w Katowicach (2007-2008)



Rys. 2. Wykresy kołowe róż zanieczyszczeń ilustrujące przeciętne poziomy stężenia SO_2 , NO , NO_2 , PM_{10} i CO , napływające w 10° sektorach kierunkowych oraz róża wiatrów występująca w rejonie lokalizacji automatycznej stacji monitoringu powietrza w Cieszynie (2007-2008)



Rys. 3. Wykresy kołowe róż zanieczyszczeń ilustrujące przeciętne poziomy stężenie SO_2 , NO , NO_2 , PM_{10} i CO , napływające w 10° sektorach kierunkowych oraz róża wiatrów występująca w rejonie lokalizacji automatycznej stacji monitoringu powietrza w Dąbrowie Górniczej (2007-2008)



Rys. 4. Wykresy kołowe róż zanieczyszczeń ilustrujące przeciętne poziomy stężenie SO₂, NO, NO₂, PM10 i CO, napływające w 10° sektorach kierunkowych oraz róża wiatrów występująca w rejonie lokalizacji automatycznej stacji monitoringu powietrza w Częstochowie (2007-2008)

Tabela 1. Wyniki analizy statystycznej rozrzutu wartości stężeń SO₂, NO, NO₂, PM10 i CO w 36 sektorach kierunkowych dla Katowic, Cieszyna, Dąbrowy Górniczej i Częstochowy (2007-2008)

Zanieczyszczenie	Parametr statystyczny	Jedn.	Katowice	Cieszyn	Dąbrowa Górnicza	Częstochowa
SO ₂	Średnia arytmetyczna \bar{x}	µg/m ³	13,5	11,5	15,5	10,4
	Rozstęp R	µg/m ³	12,2	7,6	19,8	22,1
	Odchylenie przeciętne d	µg/m ³	2,6	1,6	6,0	4,5
	Wariancja s^2	–	9,8	3,8	41,8	35,4
	Odchylenie standardowe s	µg/m ³	3,1	2,0	6,5	6,0
	Współczynnik zmienności V_s	%	23,3	16,9	41,8	57,3
	Współczynnik zmienności V_d	%	19,0	13,9	38,6	43,0
NO	Średnia arytmetyczna \bar{x}	µg/m ³	15,8	3,0	12,4	8,4
	Rozstęp R	µg/m ³	32,2	4,5	37,7	33,4
	Odchylenie przeciętne d	µg/m ³	8,2	1,0	6,9	6,0
	Wariancja s^2	–	98,4	1,5	85,6	71,3
	Odchylenie standardowe s	µg/m ³	9,9	1,2	9,3	8,4
	Współczynnik zmienności V_s	%	62,8	41,2	74,6	100,7
	Współczynnik zmienności V_d	%	51,8	34,0	56,1	71,0
NO ₂	Średnia arytmetyczna \bar{x}	µg/m ³	25,5	18,7	31,5	22,9
	Rozstęp R	µg/m ³	23,0	15,6	28,8	30,3
	Odchylenie przeciętne d	µg/m ³	6,4	3,5	6,4	6,9
	Wariancja s^2	–	53,5	17,9	61,9	73,0
	Odchylenie standardowe s	µg/m ³	7,3	4,2	7,9	8,5
	Współczynnik zmienności V_s	%	28,6	22,6	24,9	37,3
	Współczynnik zmienności V_d	%	25,1	18,4	20,2	30,1
PM10	Średnia arytmetyczna \bar{x}	µg/m ³	39,3	33,7	42,1	36,0
	Rozstęp R	µg/m ³	40,5	25,5	43,8	44,6
	Odchylenie przeciętne d	µg/m ³	10,5	4,7	7,4	7,7
	Wariancja s^2	–	153,7	34,9	103,3	123,0
	Odchylenie standardowe s	µg/m ³	12,4	5,9	10,2	11,1
	Współczynnik zmienności V_s	%	31,5	17,6	24,2	30,8
	Współczynnik zmienności V_d	%	26,8	13,8	17,7	21,5
CO	Średnia arytmetyczna \bar{x}	mg/m ³	0,56	0,47	0,49	0,32
	Rozstęp R	mg/m ³	0,47	0,35	0,47	0,41
	Odchylenie przeciętne d	mg/m ³	0,12	0,06	0,07	0,09
	Wariancja s^2	–	0,02	0,01	0,01	0,01
	Odchylenie standardowe s	mg/m ³	0,14	0,08	0,10	0,12
	Współczynnik zmienności V_s	%	25,2	16,1	20,8	36,1
	Współczynnik zmienności V_d	%	20,7	12,5	14,9	29,3

Współczynniki zmienności V_s i V_d są wielkościami niemianowanymi, dlatego w przypadku porównywania stacji, na których występują zróżnicowane przeciętne poziomy stężeń danego zanieczyszczenia, parametry te mogą być wykorzystane do obiektywnej oceny równomierności napływu kierunkowego zanieczyszczeń za daną stacją.

W przypadku wykorzystania współczynnika zmienności V_d jako wskaźnika rozrzutu wartości stężeń w sektorach kierunkowych, spośród 4 prezentowanych stacji najbardziej równomierne napływy stężeń SO₂, NO, NO₂, PM10 i CO wstępują na stacji pomiarowej w Cieszynie. Najgorsze warunki pod względem równomierności napływów kierunkowych stężeń SO₂, NO, NO₂ i CO występują na stacji pomiarowej w Częstochowie, a w przypadku stężeń PM10 na stacji pomiarowej w Katowicach

4. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań można sformułować następujące wnioski:

1. Rozrzut średnich wartości stężeń zanieczyszczeń w sektorach kierunkowych może być jednym z kryteriów oceny reprezentatywności obszarowej automatycznych stacji monitoringu powietrza.
2. Statystyczne miary rozproszenia typu: rozstęp, odchylenie przeciętne, wariancja, odchylenie standardowe, nie nadają się do obiektywnej oceny równomierności napływów kierunkowych zanieczyszczeń na stacje pomiarowe, ze względu na ich zależność od przeciętnych poziomów stężeń.
3. Preferowanym wskaźnikiem statystycznym, który w sposób obiektywny określi stopień równomierności napływów kierunkowych zanieczyszczeń na stacje pomiarowe jest współczynnik zmienności V_s lub V_d .

Praca naukowa została wykonana w ramach badań własnych Politechniki Częstochowskiej BW 402-201/06.

Literatura

1. Jasiński R.: The Types of Seasonal Changes in Daily Concentration of Some Air Pollutants in the Region of Upper Silesia Agglomeration. Environment Protection Engineering, 2006, vol. 32, nr 4, 85-90
2. Kimbrough S., Vallero D., Shores R., Vette A., Black K., Martinez V.: Multi-criteria decision analysis for the selection of a near road ambient air monitoring site for the measurement of mobile source air toxics. Transportation Research Part, 2008, D 13, 505-515
3. Mofarrah Abdullah, Husain Tahir: A holistic approach for optimal design of air quality monitoring network expansion in an urban area. Atmospheric Environment, 2010, vol. 44, 3, 432-440
4. Venegas, L.E.; Mazzeo, N.A.: Design methodology for background air pollution monitoring site selection in an urban area. International Journal of Environment and Pollution, 2004, vol. 20, 1-2, 10 (11), 185-195
5. Venegas L.E., Mazzeo N.A.: Modelling of urban background pollution Buenos Aires City (Argentina). Environmental Modelling & Software, 2006, 21, 577-586
6. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 17 grudnia 2008 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu (Dz. U. Nr 5, poz. 31)
7. Mitosek G. (red): Zasady projektowania elementów sieci monitoringu zanieczyszczenia atmosfery, Sieci nadzoru ogólnego nad jakością powietrza w miastach i aglomeracjach miejsko-przemysłowych. Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska, Warszawa, 1991
8. Mitosek G. (red), Zasady projektowania elementów sieci monitoringu zanieczyszczenia atmosfery, Sieci alarmowe w aglomeracjach miejsko-przemysłowych. Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska, Warszawa, 1991
9. Jasiński R., Kliś Cz., Hławiczka S.: Wzorzec zmienności stężeń zanieczyszczeń powietrza jako miara oceny obszarowej reprezentatywności stacji monitoringu powietrza, cz I. Założenia metodyczne. Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów, 2004, vol. 38, 3, 77 – 82. cz. II. Zastosowanie praktyczne. Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów, 2007, vol. 41, 6, 157-165
10. Stacje automatycznego systemu monitoringu jakości powietrza w województwie śląskim, <http://stacje.katowice.pios.gov.pl/iseo/>, przeglądane dn. 14.04.2010r.