

Wiesława PRZEWOŹNICZUK, Małgorzata KLENIEWSKA

Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska SGGW

Zakład Meteorologii i Klimatologii

Department of Hydraulic Engineering and Environmental Recultivation WAU

Division of Meteorology and Climatology

Identyfikacja kierunków napływu dwutlenku siarki na teren osiedla akademickiego SGGW

Identification of the sulphur dioxide inflow direction on WAU campus area

Wprowadzenie

Podstawowe zadania systemu monitoringu jakości powietrza atmosferycznego to:

- ocena stopnia skażenia powietrza,
- identyfikacja obszarów, na których przekraczane są przyjęte normy jakości powietrza,
- dostarczanie danych, niezbędnych dla programów naprawczych, zmierzających do zachowania norm jakości powietrza na obszarach, na których normy te są przekraczane.

Zadania te wynikają z dokumentów regulujących status i rolę zarządzania środowiskiem w państwie i wspólnocie krajów europejskich (Walczewski i in. 2000) i mogą być zrealizowane jedynie w sytuacji jednocześnie wykonywanych pomiarów stężenia zanieczyszczeń w powietrzu atmosferycznym oraz ele-

mentów meteorologicznych. Przy sporządzaniu planów zagospodarowania przestrzennego czy planowaniu nowych inwestycji również należy wziąć pod uwagę warunki meteorologiczne panujące na danym obszarze. Jednak nie wszystkie stacje monitoringu zanieczyszczeń powietrza wyposażone są w aparaturę rejestrującą przebieg podstawowych elementów meteorologicznych.

Stacja monitoringu atmosfery, prowadzona przez Zakład Meteorologii i Klimatologii SGGW, występująca w systemie monitoringu jakości powietrza województwa mazowieckiego pod nr 6 i nazwą „Nowoursynowska”, znajduje się na terenie osiedla akademickiego SGGW w Ursynowie. Wykonywane są na niej pomiary stężenia SO₂, NO, NO₂, NO_x, CO, CO₂, pyłu zawieszonego, odczynu pH i przewodnictwa elektrolitycznego opadów atmosferycznych

oraz pomiary podstawowych elementów meteorologicznych.

Na mocy ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 roku – Prawo ochrony środowiska (DzU nr 62, poz. 627) wojewódzki inspektor ochrony środowiska dokonuje co roku oceny poziomu substancji w podlegających mu strefach. Klasyfikacji stref dokonuje się oddzielnie ze względu na ochronę zdrowia i ochronę roślin. Na podstawie sporządzonej oceny określa się przynależność stref do jednej z trzech klas: klasa A – poziom substancji nie przekracza poziomu dopuszczalnego, klasa B – poziom chociaż jednej substancji mieści się między poziomem dopuszczalnym a poziomem dopuszczalnym powiększonym o margines tolerancji i klasa C – chociaż jedna substancja przekracza poziom dopuszczalny powiększony o margines tolerancji (Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 6 czerwca 2002 r., DzU 2002 r. nr 87, poz. 796). W 2003 roku miasto stołeczne Warszawa znajdowało się w strefie klasy B, ponieważ przekroczone zostały dopuszczalne wartości stężenia jednogodzinnego SO_2 ze względu na ochronę zdrowia (Roczna ocena... 2004), które wynosi $350 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Wspomniana ustawa stanowi, że w strefach, w których wystąpiły przekroczenia stężenia dopuszczalnego należy określić program ochrony powietrza, mający na celu osiągnięcie dopuszczalnych poziomów substancji.

Ważnym elementem programu ochrony powietrza może być rozpoznanie strumieni zanieczyszczeń za pomocą bezpośrednich pomiarów oraz identyfikacja źródeł znacznie wpływających na wartość stężenia (Kliś i Matejczyk 2002). Dla scharakteryzowania kierun-

ków przepływu powietrza na danym obszarze stosuje się róże wiatrów. Mogą one obrazować rozkład częstości występowania wiatru o danym kierunku (częstościowa róża wiatrów) bądź rozkład częstości występowania wiatru o danym kierunku w różnych przedziałach prędkości (kierunkowo-prędkościowa róża wiatrów, 3-wymiarowa). Można też sporządzić tzw. zanieczyszczeniową różę wiatrów, która przedstawia średnie stężenie występujące przy danym kierunku wiatru, lub 3-wymiarową różę zanieczyszczeń, przedstawiającą średnie stężenie przy różnych prędkościach wiatru i różnych kierunkach. Jednak znacznie lepszą od średnich charakterystyką statystyczną stężeń są percentyle zanieczyszczeń. Wykresy kołowe percentyli są najprostszą metodą identyfikacji kierunków napływu zanieczyszczeń. Analiza taka jest możliwa, jeśli w miejscu, gdzie mierzone jest stężenie zanieczyszczenia, jednocześnie wykonywane są pomiary kierunku wiatru. Ważny jest przy tym czas uśredniania wyników pomiaru – im czas uśredniania jest dłuższy, tym informacja o napływie zanieczyszczeń jest mniej dokładna (Kliś i Matejczyk 2002).

Materiał i metoda

Próbie identyfikacji kierunków napływu dwutlenku siarki, a zarazem zlokalizowania głównych źródeł emisji przeprowadzono na podstawie danych ze stacji monitoringu atmosfery Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego, położonej w Ursynowie – południowej dzielnicy Warszawy. Przeanalizowano 10-minutowe wartości stężenia dwutlenku siarki oraz prędkości i kierunek wiatru z okresu od 1 X 2002 roku do

31 IX 2004 roku. Na potrzeby analizy materiał pomiarowy podzielono na półroczna ciepłe (IV–IX) 2003 i 2004 oraz chłodne (X–III) 2002/2003 i 2003/2004.

W celu sporządzenia wykresu kołowego percentyli stężenia zanieczyszczenia S na danej stacji pomiarowej otoczenie stacji podzielono na równe sektory o kącie środkowym α , stanowiącym $1/16$ kąta pełnego. Stężenia dwutlenku siarki, występujące przy napływie powietrza z kierunku odpowiadającego danemu sektorowi α tworzą próbę statystyczną zmiennej losowej $S\alpha$, dla której obliczono percentyle rzędu $p = 50, 60, 70, 80, 90, 95, 98$. Percentyl jest kwantylem rzędu $k/100$, gdzie $k = 1, 2, \dots, 99$. W odniesieniu do próby statystycznej, zawierającej wartości stężenia SO_2 , jest to taka wartość stężenia, poniżej której znajduje się $p\%$ elementów próby. Dla obliczonych we wszystkich sektorach kierunku wiatru percentyli wykonano wykresy kołowe, które stanowią dobry obraz graficzny rozkładu wartości stężenia przy różnych kierunkach wiatru (Kliś i Matejczyk 2002), bowiem względnie duża wartość średnia stężenia zanieczyszczenia może wynikać z incydentalnego pojawienia się zwiększonych wartości stężenia w danym sektorze. Natomiast jeżeli percentyl rzędu p w danym sektorze przewyższa percentyle tego samego rzędu w innych sektorach, oznacza to, że w tym sektorze wyższe stężenia występowały częściej niż w sektorach sąsiednich.

W niniejszej pracy przeanalizowano wykresy kołowe kilku różnych percentyli dla półroczy ciepłych i chłodnych (odpowiadających okresowi grzewczemu), dzięki czemu uzyskano informację

o napływie zanieczyszczeń na badany obszar.

Sporządzono również dla każdego półrocza 3-wymiarowe róże zanieczyszczeń, przedstawiające średnie stężenie dwutlenku siarki w zależności od kierunku i prędkości wiatru, stosując podział prędkości na przedziały według klasyfikacji Bartnickiego.

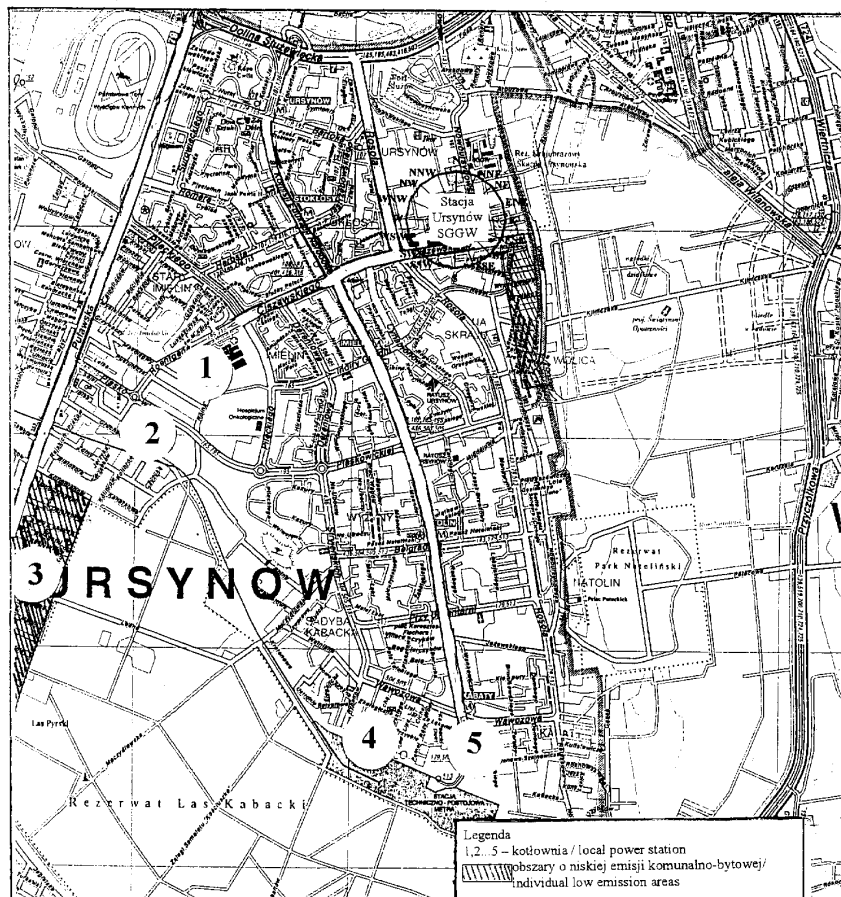
Lokalne źródła emisji dwutlenku siarki, mogące wpływać na stan czystości powietrza na terenie osiedla akademickiego SGGW, pokazano na rysunku 1 (wg Rozporządzenia Nr 62 Wojewody Mazowieckiego z dnia 8 grudnia 2003 r.)

Wyniki i dyskusja

Pierwszym elementem analizy było porównanie średniego stężenia dwutlenku siarki w obu sezonach grzewczych 2002/2003 i 2003/2004. Na rysunku 2 pokazano zanieczyszczeniowe róże wiatrów, które przedstawiają średnie stężenie SO_2 w poszczególnych sektorach kierunku wiatru.

Wyższe stężenie dwutlenku siarki obserwujemy w półroczu 2002/2003 niż w półroczu 2003/2004, co prawdopodobnie związane jest ze zróżnicowaną w tym czasie temperaturą powietrza (tab. 1). Przy niższej temperaturze powietrza w półroczu 2002/2003 należy spodziewać się większej emisji dwutlenku siarki, a zatem i wyższego stężenia tego gazu w powietrzu atmosferycznym.

Na rysunku 3 przedstawiono w układzie biegunowym wykresy kołowe percentyli rzędu $p = 50, 60, \dots, 80, 95, 98$ stężenia dwutlenku siarki



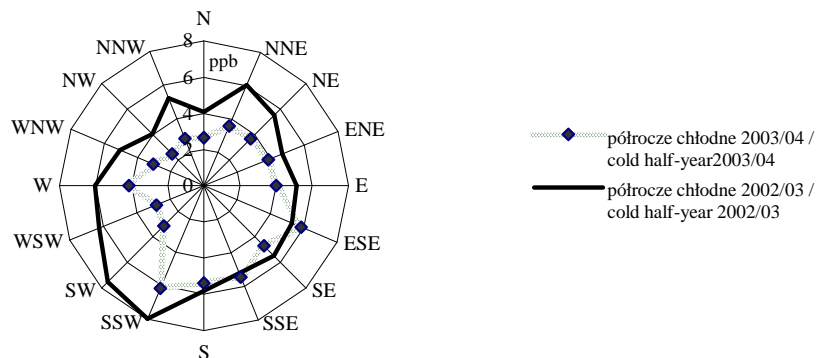
RYSUNEK 1. Źródła emisji dwutlenku siarki w rejonie stacji Ursynów SGGW
 FIGURE 1. Sources of sulphur dioxide in Ursynów WAU station area

w półroczu chłodnym 2002/2003 i 2003/2004. W przypadku półrocza 2002/2003 (rys. 3a) rozkład percentyli stężenia dwutlenku siarki jest w miarę równomierny, co wskazuje na brak jednego dominującego źródła emisji w rejonie stacji lub w dalszej odległości.

W przypadku półrocza 2003/2004 (rys. 3b) percentyle stężenia dwutlenku siarki wykazują większe zróżnicowanie w poszczególnych sektorach kierunku wiatru. Największe wartości percentyli rzędu $p = 80, 90, 95, 98$ występują

w sektorze SSW, w którym zlokalizowane są kotłownie przykładowe i obszary o niskiej emisji komunalno-bytowej (rys. 1).

Największa wartość percentyla, rzędu 98, w półroczu 2003/2004 wynosiła 27,7 ppb i występowała w sektorze SSW, a w półroczu 2002/2003 wynosiła 23,0 ppb (w sektorach NNE, SSW i WNW). Dopuszczalne stężenie SO_2 na terenie osiedla akademickiego SGGW nie było przekroczone w całym okresie pomiarowym.



RYSUNEK 2. Zanieczyszczeniowa róża wiatrów dla SO₂ (ppb) w półroczu chłodnym, Ursynów SGGW

FIGURE 2. Wind rose of air pollution of SO₂ (ppb) in cold half-year in Ursynów WAU

TABELA 1. Średnia miesięczna temperatura powietrza na stacji Ursynów SGGW w półroczu chłodnym 2002/2003 i 2003/2004

TABLE 1. Monthly mean of air temperature in Ursynów WAU in the cold half-year 2002/2003 and 2003/2004

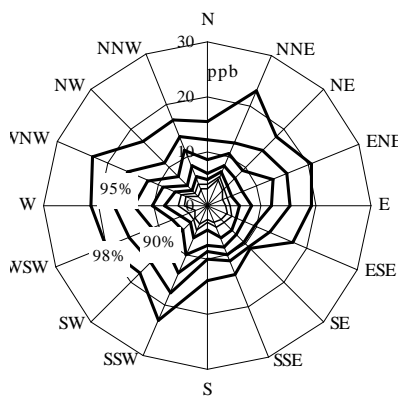
Miesiąc Month	X 2002	XI 2002	XII 2002	I 2003	II 2003	III 2003	Średnia w półroczu Mean in the half-year
Średnia miesięczna temperatura powietrza Monthly mean of air temperature	7,6	4,5	-6,0	-2,4	-4,4	2,6	0,3
Miesiąc Month	X 2003	XI 2003	XII 2003	I 2004	II 2004	III 2004	Średnia w półroczu Mean in the half-year
Średnia miesięczna temperatura powietrza Monthly mean of air temperature	5,1	5,5	1,8	-4,1	0,9	4,4	2,3

Rozpatrując zanieczyszczeniowe różę wiatrów, obliczone dla różnych przedziałów prędkości wiatru (rys. 4), można zauważyć, że w sezonie 2002/2003 (rys. 4a) przy napływie powietrza z kierunku SSW najwyższe stężenie dwutlenku siarki obserwowano przy wiatrach słabych i bardzo słabych

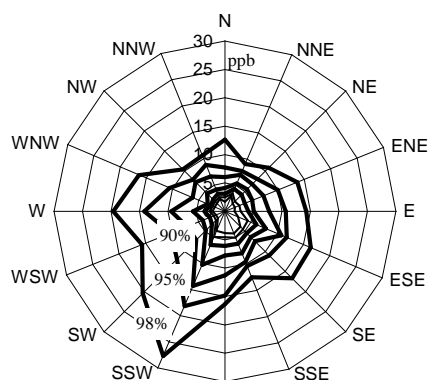
(przedziały 0,1–2,0 oraz 2,1–5,0 m.s⁻¹ według klasyfikacji Bartnickiego), co może świadczyć o przewadze emisji lokalnej nad napływową.

Nieco inaczej wygląda 3-wymiarowa róża zanieczyszczeń sporządzona dla sezonu 2003/2004 (rys. 4b). Widać tu zdecydowaną przewagę emisji z kierunku

a

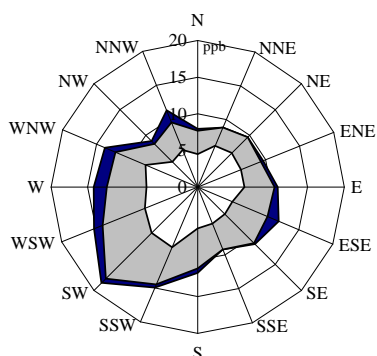


b



RYSUNEK 3. Wykresy kołowe percentyli stężenia dwutlenku siarki (ppb) w półroczu chłodnym: a – 2002/2003, b – 2003/2004, Ursynów-SGGW
 FIGURE 3. Circular graphs of percentiles of sulphur dioxide concentration (ppb) in cold half-year: a – 2002/2003, b – 2002/2004, Ursynów WAU.

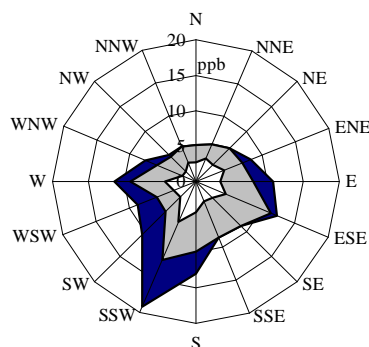
a



b

Przedziały prędkości wiatru ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

■ 5,1-10,0 □ 2,1-5,0 □ 0,1-2,0



RYSUNEK 4. Średnie stężenie dwutlenku siarki (ppb) w zależności od kierunku i prędkości wiatru w półroczu chłodnym: a – 2002/2003, b – 2003/2004, Ursynów SGGW
 FIGURE 4. Mean of sulphur dioxide concentration (ppb) response to wind direction and velocity in cold half-year: 2002/2003, b – 2003/2004, Ursynów WAU

SSW i utrzymujące się podwyższone stężenie SO_2 , bez względu na wzrastającą prędkość wiatru, co może świadczyć o napływie zanieczyszczeń ze źródeł bardziej oddalonych. Przy prędkościach wiatru z przedziału $2,1-5,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ zaznacza się również wpływ źródeł emisji z sektora ESE.

Wykresy kołowe percentyli w półroczach ciepłych (rys. 5) w latach 2003 i 2004 wyglądają bardzo podobnie: w obu przypadkach maksymalna wartość percentyla 98 stężenia dwutlenku siarki występuje w sektorze NNE, co świadczy o tym, że przy napływie powietrza z tego kierunku częściej pojawiały się wysokie stężenia niż przy napływie powietrza z innych kierunków. Może to sugerować, że w tym okresie decydujący wpływ na stężenie SO_2 miała emisja zanieczyszczeń z elektrociepłowni Siekierki i centrum Warszawy.

Analizując 3-wymiarowe róże zanieczyszczeń przedstawione na rysunku 6 można zauważyć, że podwyższone stężenie SO_2 w półroczach ciepłych

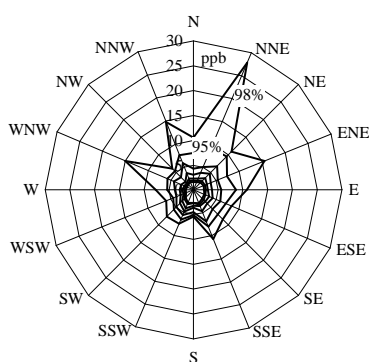
występowało, niezależnie od prędkości wiatru, przy napływie powietrza z sektora północno-wschodniego i południowo-wschodniego. W tych sektorach zlokalizowane są, oprócz wyżej wymienionych źródeł zanieczyszczeń powietrza, ul. Nowoursynowska (w odległości ok. 100 m od stacji) oraz osiedle domów jednorodzinnych.

Podsumowanie i wnioski

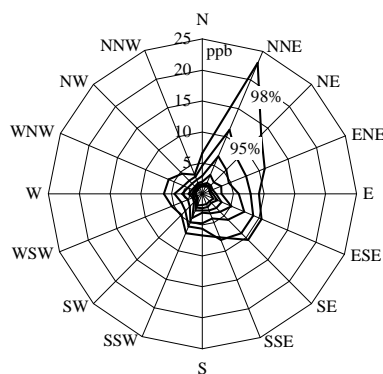
Podjęta w niniejszej pracy próba identyfikacji kierunków napływu dwutlenku siarki na badany teren i określenia głównych źródeł emisji wpływających na wielkość stężenia dwutlenku siarki w rejonie Ursynowa pozwala, pomimo stosunkowo krótkiego okresu obserwacji, na wyciągnięcie następujących wniosków:

1. Widać wyraźną różnicę między kierunkiem napływu dwutlenku siarki na obszar osiedla akademickiego SGGW w półroczach chłodnych, odpowiadających okresom grzewczym, i w półroczach ciepłych.

a



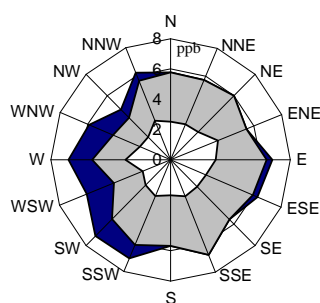
b



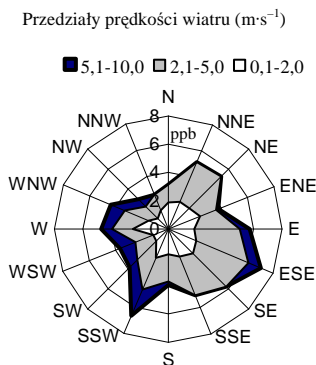
RYSUNEK 5. Wykresy kołowe percentyli stężenia dwutlenku siarki (ppb) w półroczu ciepłym 2003. Ursynów SGGW

FIGURE 7. Circular graphs of percentiles of sulphur dioxide concentration (ppb) in warm half-year 2003. Ursynów WAU

a



b



RYSUNEK 6. Średnie stężenie dwutlenku siarki (ppb) w zależności od kierunku i prędkości wiatru w półroczu ciepłym: a – 2003, b – 2004, Ursynów – SGGW
 FIGURE 6. Mean of sulphur dioxide concentration (ppb) response to wind direction and velocity in warm half-year: a – 2003, b – 2004, Ursynów WAU

2. W półroczach chłodnych stężenie dwutlenku siarki związane jest z temperaturą powietrza – przy niższej temperaturze większe znaczenie mają lokalne źródła emisji, co przejawia się wyższym stężeniem SO_2 przy małych prędkościach wiatru.
3. W rozpatrywanych półroczach chłodnych przeważał napływ dwutlenku siarki ze źródeł zlokalizowanych w sektorze SSW (rys. 1).
4. W rozpatrywanych półroczach ciepłych przeważał napływ dwutlenku siarki ze źródeł zlokalizowanych w sektorze NNE (rys. 1)

Zastosowane w niniejszej pracy metody określania kierunku napływu zanieczyszczeń pozwalają stwierdzić, że pole emisji dwutlenku siarki na terenie osiedla akademickiego SGGW kształtuje się przede wszystkim pod wpływem kotłowni osiedlowych znajdujących się w rejonie Ursynowa oraz EC Siekierki.

Literatura

- KLIŚ CZ. 2003: Metody analizy napływu zanieczyszczeń powietrza. *Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów* 37, 1–2: 22–27.
- KLIŚ CZ., MATEJCZYK M. 2002: Ocena wpływu źródeł na jakość powietrza w świetle ustawy „Prawo ochrony środowiska”. *Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów* 36, 3: 95–98.
- KLIŚ CZ., ŻEGLIN M. 2001: Identyfikacja kierunków napływu zanieczyszczeń powietrza z wykorzystaniem pomiarów o krótkim czasie uśredniania. *Archiwum Ochrony Środowiska*. 27, 2: 47–60.
- MITOSEK G. i inni 2000: Wskazówki do modernizacji monitoringu jakości powietrza pod kątem dostosowania systemu do wymagań przepisów UE ze szczególnym uwzględnieniem dużych miast. Wydawnictwo GIOŚ, Warszawa.
- Roczna ocena jakości powietrza w województwie mazowieckim. Raport za rok 2003, 2004. WIOŚ, Warszawa.
- Rozporządzenie nr 62 wojewody mazowieckiego z dnia 8 grudnia 2003 roku.
- SADOWSKI W. 1969: Statystyka matematyczna. Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa.

WALCZEWSKI J. i inni 2000: Wykorzystanie danych meteorologicznych w monitoringu jakości powietrza. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.

Authors' address:

Wiesława Przewoźniczuk, Małgorzata Kle-niewska
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Śro-dowiska
Zakład Meteorologii i Klimatologii
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa
Poland

Summary

Identification of the sulphur dioxide inflow direction on WAU campus area.

In this paper the method of the identifica-tion of sulphur dioxide inflow direction has been presented. This method is based on the circular graphs of percentiles (50, 60, 70, 80, 90, 95, 98) of sulphur dioxide concen-tration from measuring station in WAU campus. The measuring data of wind velo-city and wind direction from this automatic station have been used to prepare 3D-roses of pollution.