

**OCENA ZMIAN KLIMATU GÓRNOŚLĄSKIEGO OKRĘGU
PRZEMYSŁOWEGO POD WZGLĘDEM MOŻLIWOŚCI
ROZPRASZANIA ZANIECZYSZCZEŃ POWIETRZA**

*Grażyna Bil
Uniwersytet Śląski
Katedra Klimatologii*

Wprowadzenie

Środowisko przyrodnicze w Górnośląskim Okręgu Przemysłowym poddawane jest silnej antropopresji. Znaczącej modyfikacji ulegają m.in. warunki klimatyczne. W licznych badaniach wykazano, że powstaje tu cały zespół zjawisk składających się na charakterystyczny klimat miasta. Należą do nich: zmiana bilansu cieplnego powierzchni czynnej (Wiatrak 1989), miejska wyspa ciepła (Ośródką 1991), zmiana pola opadów (Czaja, Radosz 1993), kwaśne deszcze (Leśniok 1996), smog miejski (Ośródką, Święch-Skiba 1997; Ośródką, Ośródką, Święch-Skiba 1999). W badaniach dotyczących zanieczyszczenia powietrza ważne jest poznanie tendencji zmian tych elementów klimatu, które mają największe znaczenie dla rozprzestrzeniania zanieczyszczeń. Celem niniejszej pracy jest więc ocena wieloletnich zmian częstości występowania warunków meteorologicznych sprzyjających koncentracji zanieczyszczeń lub ich dyspersji, w świetle antropogenicznego oddziaływania na klimat.

Wyniki pomiarów pochodzą ze stacji meteorologicznej w Katowicach-Muchowcu, reprezentującej centralną część GOP-u. Wykorzystano wartości temperatury powietrza, prędkości wiatru, zachmurzenia i opadów z lat 1966-2000, z 8 pomiarów w ciągu doby. Ponadto posłużono się kalendarzem typów cyrkulacji Niedźwiedzia (1981, 2001). W grupie warunków meteorologicznych sprzyjających koncentracji zanieczyszczeń zbadano częstości następujących zmiennych:

- typy cyrkulacji (Niedźwiedź, 1981, 2001): E_a, SE_a, C_a, K_a,
- kierunki adwekcji: SW, E,
- liczba dni zimowych: $T_{\text{sr.}} \text{ dobowy} \leq 0^{\circ}\text{C}$,
- cisze i słabe wiatry: $v \leq 2 \text{ m/s}$.

Ponad to zbadano warunki o dużym prawdopodobieństwie rozwoju inwersji temperatury, wyodrębniając dwie grupy: 1) warunki, w których powstają inwersje – jednoczesne występowanie ciszy ($v \leq 0,5 \text{ m/s}$), małego zachmurzenia ($N \leq 2/8$) oraz wychładzania powietrza na wysokości 2 m nad gruntem w tempie większym lub równym 2 K na

3 godziny; 2) warunki sprzyjające dalszemu rozwojowi inwersji – po wystąpieniu opisanej pogody przez 3, 6, 9 lub 12 godzin, gdy prędkość wiatru nie przekracza 4 m/s i jednocześnie temperatura powietrza nie wzrasta w ciągu 3 godzin ponad 2 K (Bil 1999).

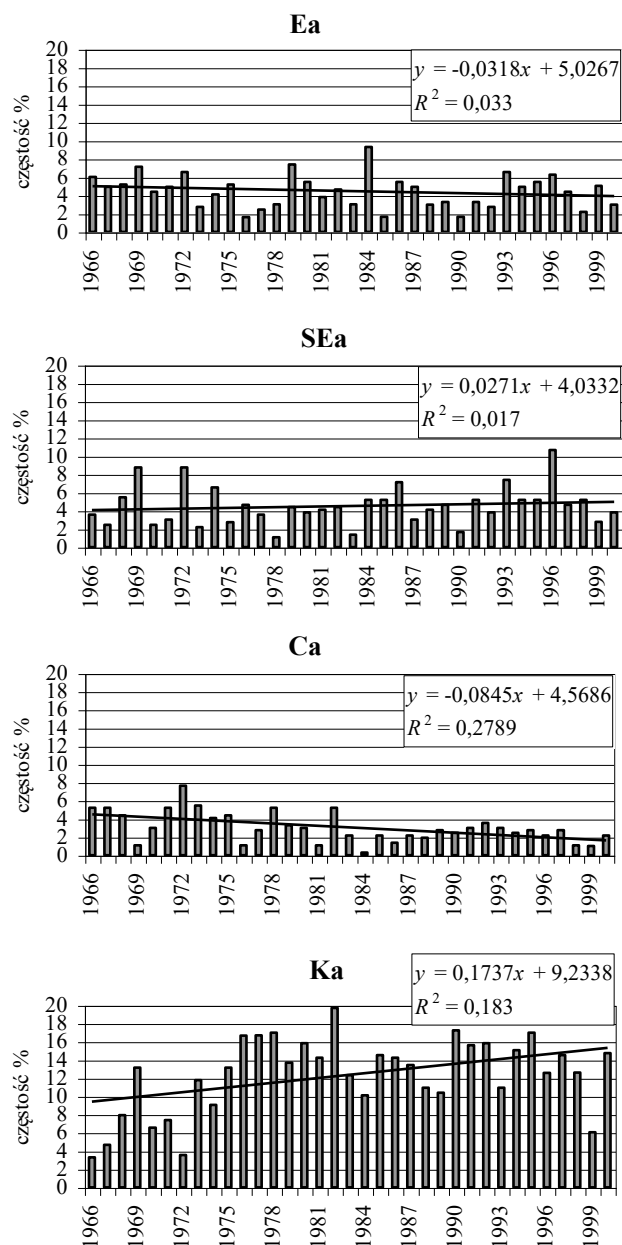
Przeprowadzono też oddzielną analizę warunków meteorologicznych sprzyjających dyspersji zanieczyszczeń:

- typy cyrkulacji: N_a , N_c , W_c , NW_a (Niedźwiedz 1981; 2001),
- kierunek adwekcji: N ,
- silne wiatry: $v > 7$ m/s,
- opady atmosferyczne.

Zmienność warunków sprzyjających koncentracji i dyspersji zanieczyszczeń

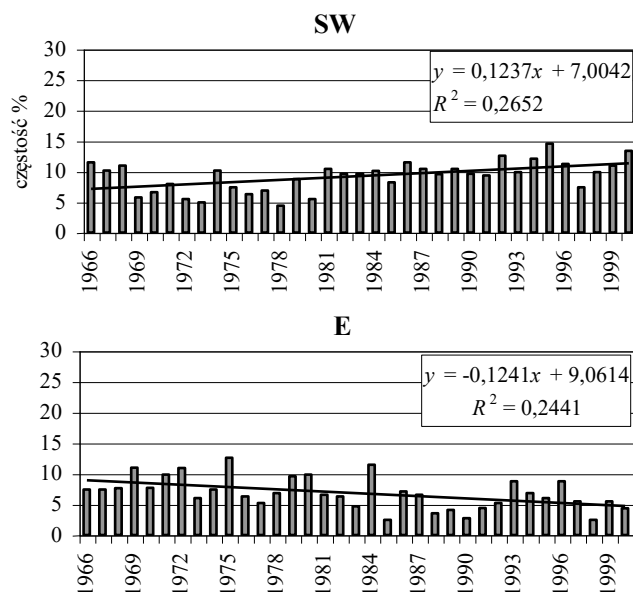
Wśród typów cyrkulacji sprzyjających koncentracji zanieczyszczeń (rys. 1) istotne statystycznie zmiany zachodzą tylko w przypadku centrum wyżu i klina wyżowego, przy czym typy te wykazują przeciwne tendencje. Centrum wyżu pojawia się coraz rzadziej i spadek jego częstości wynosi 0,8% na 10 lat, natomiast częstość klina wyżowego wzrasta w tempie 1,7% na 10 lat. W przypadku kierunków adwekcji przynoszących zanieczyszczenia nad obszar GOP (rys. 2) stwierdzono, że częstość napływu mas powietrza z kierunku SW wzrasta średnio o 1,2% na 10 lat, a częstość napływu powietrza ze wschodu (E) w takim samym tempie maleje. W dni zimowe (o średniej dobowej temperaturze mniejszej lub równej 0°C) (rys. 3) nie stwierdzono istotnych trendów zmian; podobnie w przypadku częstości warunków sprzyjających występowaniu radiacyjnych inwersji temperatury (rys. 4). Ostatnia rozpatrywana w tej grupie warunków meteorologicznych charakterystyka – częstość występowania czystego i słabych wiatrów ($v \leq 2$ m/s) cechuje się znaczną tendencją wzrostową (rys. 5). Wzrost częstości takich sytuacji następuje w tempie 4,5% na 10 lat i jest spowodowany zwiększeniem szorstkości podłoża na obszarze rozbudowującego się miasta.

Z analizy zmienności warunków sprzyjających dyspersji zanieczyszczeń także wynikają interesujące wnioski. Spośród rozpatrywanych czterech typów cyrkulacji tylko dwa wykazały istotne trendy zmian: sytuacja północna cyklonalna i sytuacja północno-zachodnia antycyklonalna (rys. 6). Częstość pierwszego typu (N_c) zmniejsza się średnio o około 0,6% na 10 lat, natomiast częstość drugiego typu (NW_a) wzrasta w tempie 0,9% na 10 lat. Korzystny dla Górnego Śląska napływ czystego powietrza z północy staje się coraz rzadszy. Tempo spadku częstości adwekcji z tego kierunku wynosi około 0,6% na 10 lat (rys. 7). Systematycznemu zmniejszaniu ulega także częstość występowania silnych wiatrów ($v \leq 7$ m/s), w wyniku wspomnianego już spadku prędkości wiatru nad obszarem zabudowanym. W latach 1966-2000 spadek częstości silnych wiatrów następował w średnim tempie 1% na 10 lat (rys. 8). Częstość występowania opadów atmosferycznych nie wykazuje istotnego trendu (rys. 9).

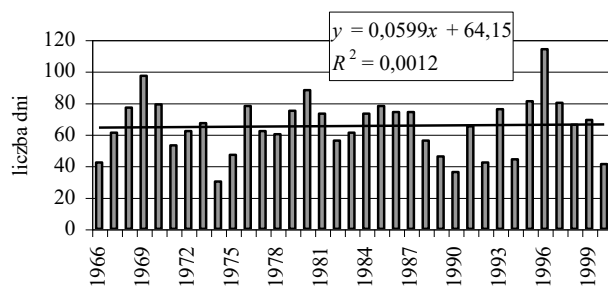


Rys. 1. Zmienność typów cyrkulacji (Niedźwiedź, 1981) sprzyjających koncentracji zanieczyszczeń w Katowicach
 Ea – sytuacja wschodnia wyżowa, SEa – sytuacja południowo-wschodnia wyżowa,
 Ca – centrum wyżu, Ka – klin wyżowy

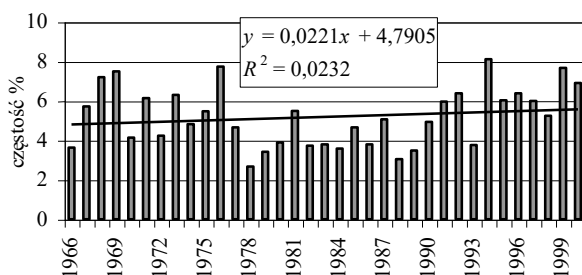
Fig. 1. Changes of frequency of circulation types (Niedźwiedź, 1981) favouring pollution concentration in Katowice
 Ea – anticyclone type with advection from east, SEa – anticyclone type with advection from south-east,
 Ca – anticyclone centre, Ka – anticyclone wedge



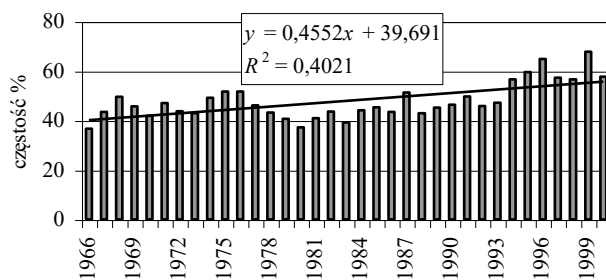
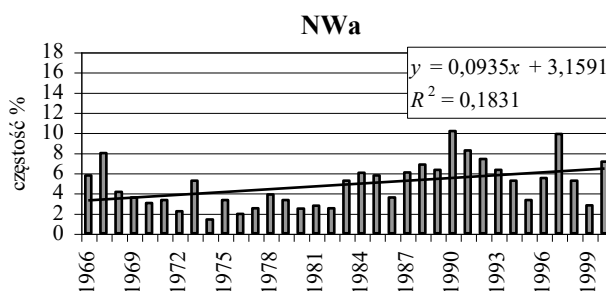
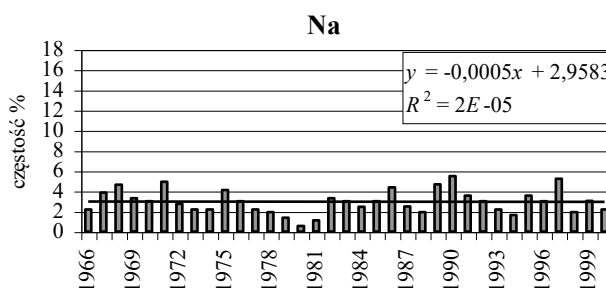
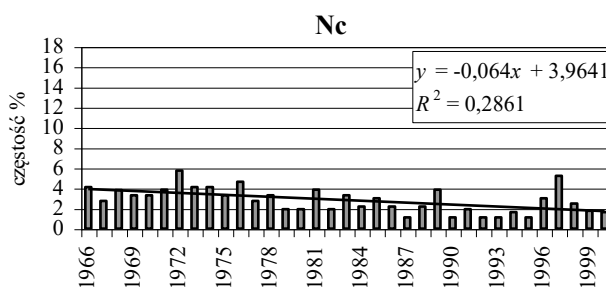
Rys. 2. Zmienność częstości kierunków adwekcji zanieczyszczonego powietrza nad Katowice
Fig. 2. Changes of frequency of the directions of pollute air advection to the area of Katowice

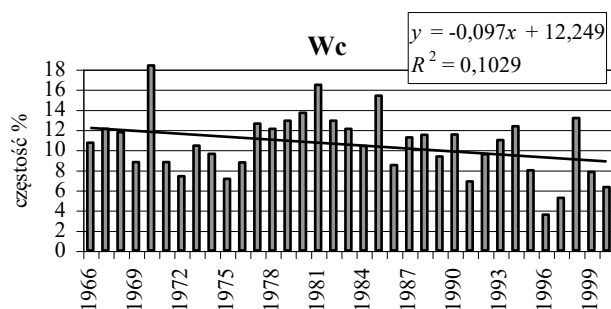


Rys. 3. Zmienność liczby dni zimowych (T_{sr} , dobowa $\leq 0^\circ\text{C}$) w Katowicach
Fig. 3. Changes of number of winter days (mean daily temp. $\leq 0^\circ\text{C}$) in Katowice



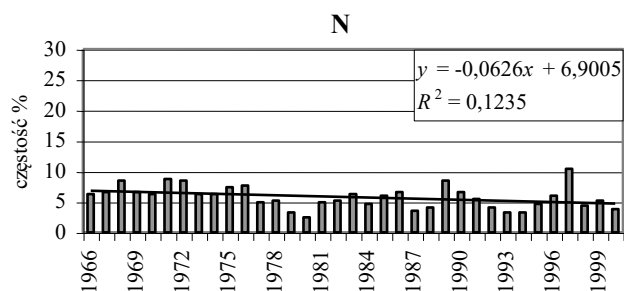
Rys. 4. Zmiany częstości warunków meteorologicznych o dużym prawdopodobieństwie rozwoju inwersji temperatury w Katowicach
Fig. 4. Changes of frequency of meteorological conditions showing large probability of temperature inversion development in Katowice

Rys. 5. Zmiany częstości występowania ciszy i słabych wiatrów ($v \leq 2$ m/s) w KatowicachFig. 5. Changes of frequency of calms and light winds ($v \leq 2$ m/s) in Katowice

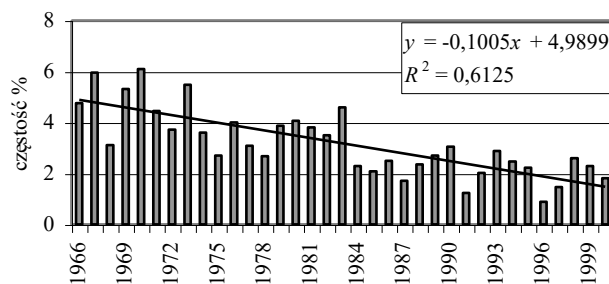


Rys. 6. Zmiany częstości typów cyrkulacji (Niedźwiedź 1981) sprzyjających dyspersji zanieczyszczeń w Katowicach
Nc – sytuacja północna niżowa, Na – sytuacja północna wyżowa, NWA – sytuacja północno-zachodnia wyżowa, Wc – sytuacja zachodnia niżowa

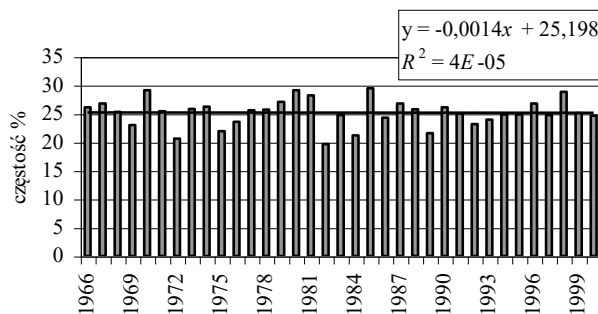
Fig. 6. Changes of frequency of circulation types (Niedźwiedź 1981) favouring pollution dispersion in Katowice.
Nc – cyclone type with advection from north, Na – anticyclone type with advection from north,
NWA – anticyclone type with advection from north-west, Wc – cyclone type with advection from west



Rys. 7. Zmiany częstości kierunków adwekcji czystego powietrza nad Katowice
Fig. 7. Changes of frequency of the directions of clean air advection to the area of Katowice

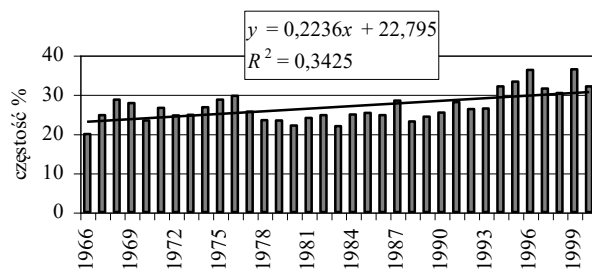
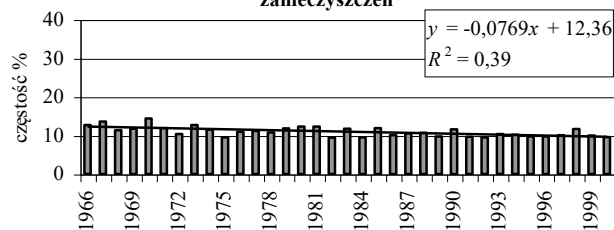
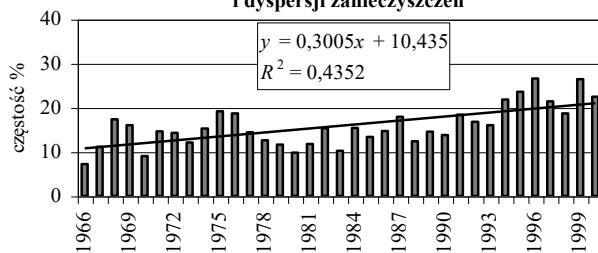


Rys. 8. Zmiany częstości silnych wiatrów ($v > 7\text{m/s}$) w Katowicach
Fig. 8. Changes of frequency of strong winds ($v > 7\text{m/s}$) in Katowice



Rys. 9. Zmiany częstości występowania opadów w Katowicach

Fig. 9. Changes of precipitation frequency in Katowice

Warunki sprzyjające koncentracji zanieczyszczeń**Warunki sprzyjające dyspersji zanieczyszczeń****Różnica częstości warunków sprzyjających koncentracji i dyspersji zanieczyszczeń**

Rys.10. Zmiany częstości warunków sprzyjających koncentracji i warunków sprzyjających dyspersji zanieczyszczeń oraz ich różnicy w Katowicach

Fig. 10. Changes of frequency of meteorological conditions favouring air pollution concentration, conditions favouring air pollution dispersion and difference between the both groups in Katowice

Wskaźniki kompleksów warunków meteorologicznych sprzyjających koncentracji lub dyspersji zanieczyszczeń

W celu określenia wpływu warunków meteorologicznych na zanieczyszczenie powietrza GOP obliczono sumę przypadków, w których poszczególne elementy meteorologiczne sprzyjały koncentracji zanieczyszczeń i odniesiono ją do sumy wszystkich przypadków, w których mogły one potencjalnie wystąpić. Analogiczny wskaźnik obliczono w odniesieniu do warunków sprzyjających rozpraszaniu zanieczyszczeń. Ponadto obliczono różnicę częstości obu charakterystyk. Aby sprawdzić, który z tych trzech wskaźników jest najważniejszy, zbadano ich korelację ze stężeniem głównych zanieczyszczeń powietrza: SO₂, NO₂ i pyłu zawieszonego; posłużono się danymi dobowymi z roku 1996. Współczynniki korelacji nie są zbyt duże (tab. 1), ponieważ stężenie zanieczyszczenia, oprócz warunków meteorologicznych, wpływają także inne czynniki lokalne. Jednak w kilku miesiącach – zwłaszcza w chłodnej części roku – współczynniki korelacji okazały się istotne na poziomie ufności 95%. Najlepsze korelacje otrzymano w przypadku pyłu zawieszonego i wskaźnika koncentracji zanieczyszczeń oraz wskaźnika różnicy między częstością warunków sprzyjających koncentracji i dyspersji. Wskaźniki te odgrywają więc istotną rolę w kształtowaniu zanieczyszczenia atmosfery.

Tabela 1. Współczynniki korelacji między częstością warunków meteorologicznych sprzyjających koncentracji zanieczyszczeń (K), dyspersji zanieczyszczeń (D) oraz różnicy obu charakterystyk (K-D) a dobowymi stężeniami dwutlenku siarki (SO₂), dwutlenku azotu (NO₂) i pyłu zawieszonego (PM10) w Katowicach w poszczególnych miesiącach 1996 roku

Table 1. Correlation coefficients between frequency of meteorological conditions favouring pollution concentration (K), pollution dispersion (D) and difference of both characteristics (K-D) and daily concentrations of sulphur dioxide (SO₂), nitrogen dioxide (NO₂) and suspended dust (PM10) at Katowice in individual months of 1996

	K			D			K-D		
	SO ₂	NO ₂	PM10	SO ₂	NO ₂	PM10	SO ₂	NO ₂	PM10
I	0,09	0,55*	0,57*	-0,35	-0,13	-0,11	0,32	0,61*	0,61*
II	0,62*	0,70*	0,75*	-0,59*	-0,52*	-0,60*	0,70*	0,72*	0,76*
III	-0,02	0,51*	0,48*	-0,33	-0,24	-0,22	0,18	0,55*	0,52*
IV	0,24	0,63*	0,13	0,04	0,17	-0,53*	0,17	0,49*	0,46*
V	0,59*	0,40	0,37	-0,33	0,05	-0,19	0,54*	0,23	0,33
VI	0,16	0,39	0,50*	-0,17	-0,41	-0,69*	0,19	0,45*	0,63*
VII	0,04	0,25	0,43	-0,21	0,17	-0,42	0,11	0,11	0,48*
VIII	-0,12	0,36	0,44	-0,22	-0,11	-0,52*	0,03	0,32	0,58*
IX	-0,07	0,50*	0,06	-0,54*	0,09	-0,31	0,27	0,33	0,25
X	-0,03	0,56*	0,60*	-0,10	0,00	-0,45*	0,01	0,45*	0,65*
XI	0,70*	0,50*	0,74*	-0,28	-0,21	-0,22	0,68*	0,47*	0,67*
XII	0,66*	0,02	0,62*	-0,35	0,00	-0,31	0,62*	0,01	0,57*
Rok	0,23	0,33	0,46*	-0,21	-0,12	-0,31	0,28	0,31	0,49*

* współczynniki korelacji istotne na poziomie ufności 95%

* correlation coefficients essential at the level of 95%

Ostatecznym celem pracy było określenie trendów kompleksów warunków meteorologicznych bardziej lub mniej warunkujące rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń powietrza.

Częstość warunków sprzyjających koncentracji zanieczyszczeń w Katowicach zwiększyła się w okresie badanych 35 lat o około 7% (rys.10). Średnie tempo tego wzrostu wynosi więc 2% na 10 lat. Jednocześnie następuje spadek częstości warunków sprzyjających dyspersji zanieczyszczeń o około 0,7% na 10 lat. Wieloletnia tendencja zmian różnicy częstości obu grup skrajnych warunków meteorologicznych świadczy więc o systematycznym pogarszaniu warunków klimatycznych pod względem możliwości rozpraszania zanieczyszczeń powietrza. Następuje ono w średnim tempie 3% na 10 lat.

Podsumowanie

Zmiana klimatu lokalnego Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego w dużym stopniu wynika ze zwiększenia szorstkości podłoża (zabudowa terenu, tworzenie hałd itp.). Powoduje to znaczne pogorszenie wentylacji, przejawiające się ograniczeniem częstości wiatrów silnych i wzrostem częstości cisz i wiatrów o niewielkich prędkościach. Coraz mniejsze prędkości przepływu powietrza sprzyjają rozwojowi przyziemnych inwersji temperatury. W okresie lata zaznacza się wzrostowa tendencja częstości ich występowania, natomiast w pozostałych porach roku wpływ czynnika anemologicznego jest równoważony przez oddziaływanie miejskiej wyspy ciepła. Zasadniczo osłabia ona inwersje i jej efektem w badanym okresie 35 lat jest brak istotnych trendów. Inne efekty wywołane miejską wyspą ciepła – w postaci zwiększenia bilansu cieplnego, wzbudzenia cyrkulacji bryzowej oraz nasilenia procesów konwekcyjnych – ograniczają się jednak do ścisłego centrum miasta i nie wywierają większego wpływu na częstość występowania dni zimowych oraz opadów atmosferycznych.

Oceniając wpływ gospodarczej działalności człowieka na zmiany klimatu Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego trzeba więc stwierdzić, że przyczynia się ona do zmniejszenia możliwości samooczyszczania powietrza.

LITERATURA

- Bil G., 1999, *Prawdopodobieństwo występowania inwersji temperatury powietrza w Sosnowcu*, [W:] Pelka-Gościński J., Rzętała M. red., *Górnośląsko-Ostrawski region przemysłowy. Wybrane problemy ochrony i kształtowania środowiska*, Materiały Sympozjum Polsko-Czeskiego 6-7 maja 1999, Sosnowiec, 33-37.
- Czaja S., Radosz J., 1989, *Zmienność opadów atmosferycznych na terenie województwa katowickiego w latach 1961-1980*, *Czasopismo Geograficzne*, 60, 2, 9-27.
- Leśniok M., 1996, *Zanieczyszczenie wód opadowych w obrębie Wyżyny Śląsko-Krakowskiej*, Wyd. Uniwersytetu Śląskiego, Katowice, 1-124.
- Niedźwiedz T., 1981, *Sytuacje synoptyczne i ich wpływ na zróżnicowanie przestrzenne wybranych elementów klimatu w dorzeczu górnej Wisły*, Rozpr. Hab. UJ, 58, Kraków, 1-165.
- Niedźwiedz T., 2001, *Kalendarz typów cyrkulacji dla dorzecza Górnej Wisły 1966-2000, komputerowa baza danych*, Katedra Klimatologii, Uniwersytet Śląski.
- Ośródka L., 1991, *Zróżnicowanie klimatu Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego na przykładzie warunków termicznych powietrza*, Kraków, Katowice, maszynopis.
- Ośródka L., Święch-Skiba J., 1997, *Klimatologiczne aspekty powstawania smogu letniego na obszarze Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego*, *Wiadomości IMGW*, t. 20 (41), 1, 113-128.

- Ośródka L., Ośródka K., Święch-Skiba J., 1999, *Smog zimowy w Górnośląskim Okręgu Przemysłowym jako jeden ze skutków antropogenicznych zmian klimatu lokalnego*, Acta Universitatis Lodzianensis, Folia Geographica Phisica 3, 361-369.
- Wiatrak W., 1989, *Bilans ciepła antropogenicznego w województwie katowickim*, Wiadomości IMGW, 12 (33), 1-2, 71-79.

Grażyna Bil
Uniwersytet Śląski
Katedra Klimatologii

**ASSESSMENT OF CLIMATE CHANGEABILITY IN UPPER SILESIA INDUSTRIAL REGION
IN TERMS OF POSSIBILITIES OF AIR POLLUTION DISPERSION**

SUMMARY

In this work frequency of two groups of meteorological conditions in Katowice was analysed. The first group includes conditions favouring air pollution concentration: types of circulation: E_n , SE_n , C_n , K_n , directions of advection: SW, E, number of winter days (daily temperature $\leq 0^\circ\text{C}$), calms and light winds ($v \leq 2$ m/s) and conditions showing large probability of temperature inversion development. The second group includes meteorological conditions, which favour pollution dispersion: circulation types N_n , N_c , W_c , NW_n , direction of advection: N, strong winds ($v > 7$ m/s), precipitation. It was stated that frequency of conditions favouring pollution concentration increased by 2% every 10 years in Katowice in the period 1966-2000. Simultaneously, the frequency of conditions favouring pollution dispersion decreased by 0.7% per 10 years. The long-term trend of changes of frequency in both groups of extreme meteorological conditions suggests the deterioration of climatic conditions in terms of possibilities of pollution dispersion. It occurs in the rate of 3% per 10 years.