

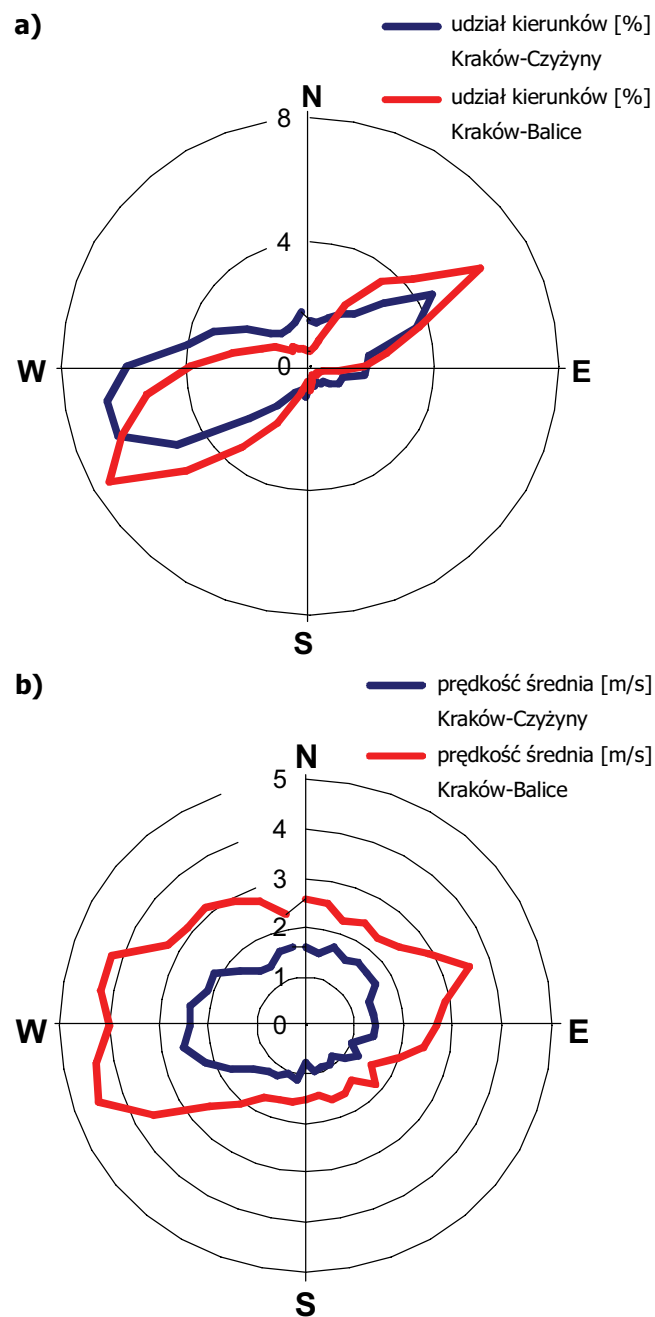
3. METEOROLOGICZNE WARUNKI DYSPERSJI ZANIECZYSZCZEŃ POWIETRZA W KRAKOWIE W 2006 ROKU

Rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń powietrza w przyziemnej warstwie atmosfery uwarunkowane jest takimi czynnikami meteorologicznymi jak prędkość i kierunek wiatru, opad atmosferyczny, temperatura powietrza oraz pionowa struktura termiczna warstwy granicznej atmosfery. Cisze wiatrowe i małe prędkości wiatru pogarszają poziomą wentylację powietrza, co przyczynia się do wzrostu stężeń zanieczyszczeń. Prędkość wiatru wpływa zatem na tempo przemieszczania zanieczyszczeń powietrza, natomiast kierunek decyduje o trasie ich transportu. Opady atmosferyczne, głównie deszcze, w zależności od ich intensywności i czasu trwania wymywają niektóre zanieczyszczenia powietrza, w tym pyły. Temperatura wpływa pośrednio na jakość powietrza. W sezonie zimowym przy niskich temperaturach zwiększa się m.in. niska emisja z systemów ogrzewania. A podczas letnich upałów, na skutek zmniejszenia pionowego gradientu, może sprzyjać powstawaniu sytuacji smogowych. Struktura termiczna warstwy granicznej atmosfery (konwekcyjna, inwersyjna) determinuje stan równowagi atmosfery. Chwiejna równowaga, związana ze strukturą konwekcyjną, intensyfikuje procesy pionowego mieszania. Równowaga stała, towarzysząca strukturze inwersji termicznej, hamuje ruchy pionowe w warstwie granicznej atmosfery. Obojętną równowagę, występującą przy zerowym pionowym gradiencie temperatury, m.in. przy silnym wietrze lub opadzie, traktuje się jako stan pośredni między równowagą chwiejną i stałą.

Charakterystykę meteorologicznych warunków dyspersji zanieczyszczeń powietrza w Krakowie w 2006 roku przedstawiono w oparciu o dane pomiarowe pochodzące z Miejskiej Stacji Obserwacyjnej Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Krakowie-Czyżynach. W analizie wykorzystano średnie 10-minutowe wartości (temperatura, prędkość i kierunek wiatru, opad) zmierzone za pomocą automatycznej stacji meteorologicznej, a także sodarogramy (zapisy echa) rejestrowane przez SODAR (SOUND Detection And Ranging), wykonujący akustyczny sondaż atmosfery do wysokości 1000 m.

W tabeli 12 zestawiono charakterystyki wybranych elementów meteorologicznych w Krakowie w kolejnych miesiącach 2006 roku oraz w uśrednieniu i podsumowaniu rocznym. Średnia roczna temperatura powietrza ($8,8^{\circ}\text{C}$) była wyższa w stosunku do wartości średniej z 2005 roku o $0,4^{\circ}\text{C}$. Minimalna temperatura w 2006 roku ($-26,2^{\circ}\text{C}$) wystąpiła w dniu 23 stycznia, a maksymalna ($37,4^{\circ}\text{C}$) – w dniu 21 lipca. Suma opadów (601,8 mm) w 2006 roku była

niższa o 72,6 mm od sumy opadów w roku poprzednim. Podobnie jak w 2005 roku, miesiącem z najwyższą sumą opadów był sierpień (102,5 mm), a z najniższą – październik (17,7 mm). Wyjątkowo niską sumę opadów odnotowano w lipcu (26,5 mm), który jednocześnie był miesiącem szczególnie ciepłym (średnia temperatura równa $22,6^{\circ}\text{C}$).

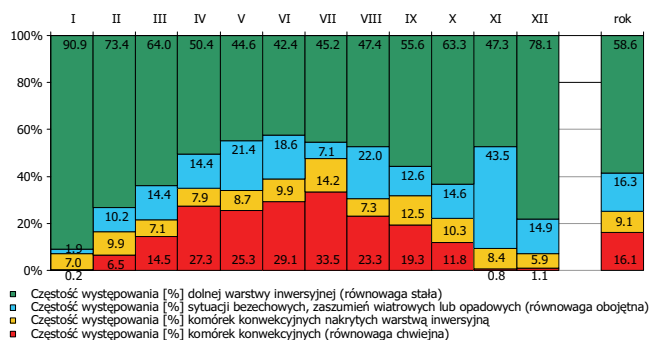


Rys. 12. Róża wiatru w Krakowie (Kraków-Czyżyny i Kraków-Balice) w 2006 roku: a) udział (w %) kierunków wiatru; b) rozkład średnich prędkości wiatru (w m/s) w sektorach kierunkowych

Tabela 12. Charakterystyki wybranych elementów meteorologicznych w Krakowie w 2006 roku

Elementy meteorologiczne	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Średnia temperatura powietrza [$^{\circ}\text{C}$]	-8,2	-2,6	0,8	9,8	14,1	18,3	22,6	17,7	16,0	10,3	5,1	2,3	8,8
Minimalna temperatura powietrza [$^{\circ}\text{C}$]	-26,2	-19,9	-13,8	-4,4	2,6	5,5	8,9	8,4	5,1	-6,6	-5,0	-7,0	-26,2
Maksymalna temperatura powietrza [$^{\circ}\text{C}$]	4,0	12,5	18,5	25,2	29,2	36,2	37,4	32,5	28,9	27,2	19,6	18,1	37,4
Suma opadów [mm]	39,7	38,3	63,7	41,6	56,2	73,9	26,5	102,5	35,9	17,7	81,0	24,8	601,8

Róża wiatru wiejącego w Krakowie (pomiar na stacjach Kraków-Czyżyny i Kraków-Balice) w 2006 roku, ilustrująca udział poszczególnych kierunków wiatru (rys. 12a), w ogólnym zarysie nie odbiega od średniej wieloletniej. Cechą charakterystyczną jest zdeterminowana usytuowaniem Aglomeracji Krakowskiej przewaga kierunków równoleżnikowych. Różnice w rozkładzie średnich prędkości wiatru w sektorach kierunkowych (rys. 12b) w Krakowie-Czyżynach (obszar miejski) i w Krakowie-Balicach (obszar podmiejski) wynikają z hamującego wpływu szorstkości terenów zurbanizowanych na wiejący wiatr. Udział cisz wiatrowych w mieście wyniósł 20.3%.



Rys. 13. Częstości występowania głównych struktur termicznych warstwy granicznej atmosfery w Krakowie w 2006 roku (na podstawie sodarogramów)

Rysunek 13 przedstawia częstości występowania w Krakowie w 2006 roku głównych struktur termicznych warstwy granicznej atmosfery, tj. komórek konwekcyjnych swobodnych (stan równowagi chwiejnej) i nakrytych warstwą inwersyjną, dolnej warstwy inwersyjnej (stan równowagi stałej) oraz sytuacji zerowego pionowego gradientu temperatury powietrza (stan równowagi obojętnej), objawiających się brakiem echa sodarowego, a także zaszumieniami powodowanymi przez silny wiatr lub opad atmosferyczny. Wśród miesięcy 2006 roku wyróżnia się styczeń, w którym warstwa inwersyjna występowała prawie nieprzerwanie. Częstość występowania dolnej warstwy inwersyjnej osiągnęła 90.9%, a wzniesionej nad komórkami konwekcyjnymi wyniosła 7.0%. Swobodne komórki konwekcyjne zostały zaobserwowane jedynie dla 0.2% miesiąca. Najczęstsze występowanie komórek konwekcyjnych zauważono w lipcu (33.5%). Listopad zwraca na siebie uwagę przez szczególnie dużą częstość występowania obojętnej równowagi atmosfery (43.5%).

W celu określenia niekorzystnych warunków dyspersji zanieczyszczeń powietrza można zastosować wskaźniki wyrażone jako liczba dni (w kolejnych miesiącach i w całym roku), w których zaistniały takie okoliczności jak np. dobową sumą opadów do 2 mm, prędkość wiatru w godzinach południowych do 2 m/s, czy warstwa inwersyjna w godzinach południowych lub przez całą dobę. Kompleksowym wskaźnikiem negatywnego wpływu warunków meteorologicznych na jakość powietrza może być liczba dni o złej wentylacji, identyfikowanej w przypadku równoczesnego wystąpienia w południe warstwy inwersyjnej, małej prędkości wiatru (≤ 2 m/s) oraz braku opadu (lub dobowej sumy opadów ≤ 2 mm). Wymienione wskaźniki warunków dyspersji zanieczyszczeń powietrza w Krakowie w 2006 roku zaprezentowano w tabeli 13.

Najwięcej dni z sumarycznym opadem atmosferycznym do 2 mm wystąpiło w październiku (30), niewiele mniej również w lipcu (29) i w grudniu (28), natomiast najmniej – w sierpniu (16), co odpowiada przedstawionej wcześniej statystyce miesięcznych sum opadów (tab. 12). Najwyższą liczbą dni z prędkością wiatru do 2 m/s w godzinach południowych charakteryzował się styczeń (24), a najmniej takich dni było w sierpniu (8); niskie liczby odnotowano też w lutym (9), w marcu (11) i w grudniu (10). W styczniu było również najwięcej dni z warstwą inwersyjną występującą w południe (22) oraz trwającą przez całą dobę (21). W czerwcu nie zaobserwowano ani jednego dnia z warstwą inwersyjną w południe. Maj, czerwiec, sierpień i wrzesień nie miały żadnego dnia z całodobową warstwą inwersyjną, a w lipcu wystąpił tylko jeden taki dzień (zbliżone wartości liczb wystąpiły w okresie od maja do września 2005 roku). Jak wszystkie lata po roku 2000, rok 2006 dołączył do grupy lat o rocznej liczbie dni z zalegającą warstwą inwersyjną przez całą dobę poniżej 100 i wyróżnił się niską liczbą tych dni (51), obok roku 2001 (47), podczas gdy w pozostałych latach grupy liczby te były wyższe od 60. W latach 1994 – 2000 roczne liczby dni z całodobową warstwą inwersyjną przekraczały 100 (od 106 w roku 2000 do 139 w roku 1996). W okresie od października do grudnia 2006 roku zaobserwowano jedynie 14 dni z całodobową warstwą inwersyjną (w 2005 roku było ich 37, w 2004 roku – 42, a w 2003 roku – 59). Liczba dni o złej wentylacji, stanowiąca część wspólną podanych wyżej liczb, wskazuje jako miesiąc o najbardziej niekorzystnych warunkach dyspersji zanieczyszczeń powietrza w Krakowie w 2006 roku – styczeń (15 dni o złej wentylacji). Za najkorzystniejsze warunki dyspersji zanieczyszczeń powietrza uznano maj, czerwiec, lipiec i sierpień (brak dni o złej wentylacji).

Tabela 13. Wskaźniki warunków dyspersji zanieczyszczeń powietrza w Krakowie w 2006 roku

Wskaźniki warunków dyspersji zanieczyszczeń	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Liczba dni z sumą opadów ≤ 2 mm	22	22	22	24	22	22	29	16	27	30	22	28	286
Liczba dni z prędkością wiatru w południe ≤ 2 m/s	24	9	11	14	14	15	17	8	19	20	16	10	177
Liczba dni z warstwą inwersyjną w południe	22	15	6	2	1	0	1	1	4	8	10	18	88
Liczba dni z całodobową warstwą inwersyjną	21	8	5	2	0	0	1	0	0	3	2	9	51
Liczba dni o złej wentylacji	15	4	1	1	0	0	0	0	3	6	10	2	42