

## CYRKULACYJNE UWARUNKOWANIA WYSTĘPOWANIA WYSOKICH STĘŻEŃ PYŁU ZAWIESZONEGO W KRAKOWIE

BARTŁOMIEJ PIETRAS

Zakład Ekorozwoju i Kształtowania Środowiska Geograficznego, Wydział Geograficzno-Biologiczny,  
Uniwersytet Pedagogiczny im. Komisji Edukacji Narodowej w Krakowie  
ul. Podchorążych 2, 30-084 Kraków

**Abstract:** The study presents the influence of the synoptic situation on high suspended dust concentrations (episodes) in Kraków. For this purpose, the calendar of circulation types for Southern Poland by T. Niedźwiedź was used. The analysis of episodes of high suspended dust concentration is based on daily data of average PM10 concentration from the measurement monitoring stations belong to the Regional Inspectorate for Environmental Protection which are located in different parts of the city.

**Keywords:** Particulate matter (PM10), Kraków, synoptic situation, concentration

### WSTĘP

Pomiędzy poziomem zanieczyszczenia powietrza pyłem zawieszonym (PM – *particulate matter*) a warunkami cyrkulacyjnymi istnieje bezpośredni związek. Sytuacje synoptyczne charakteryzujące się stagnacyjnym typem pogody prowadzą do koncentracji aerozoli w obrębie granicznej warstwy atmosfery i mogą przyczyniać się do występowania epizodów wysokich stężeń pyłu zawieszonego na konkretnym obszarze. Kształtowane przez dany typ cyrkulacji warunki anemologiczne oraz termiczne wpływają na transport i dyspersję cząstek stałych w powietrzu, a tym samym w znacznym stopniu warunkują czas trwania oraz intensywność poszczególnych epizodów (Bokwa 2012).

Rola cyrkulacji atmosferycznej w kształtowaniu poziomu imisji zanieczyszczeń w Małopolsce była tematem licznych opracowań wielu badaczy (Bokwa 2007; Godłowska 2008; Tomaszewska 2010; Bielec-Bąkowska i in. 2011; Bokwa 2012). W toku powyższych analiz wykazano m.in., iż większe stężenia obserwowano w sytuacjach antycyklonalnych niż cyklonalnych. Podobne studia dla obszaru Krakowa, z uwzględnieniem wpływu ukształtowania terenu na koncentracje zanieczyszczeń na obszarze miasta, przeprowadzili m.in. German (2007) oraz Niedźwiedź i Olecki (1994). Problematyka inwersji temperatury w Krakowie i jej wpływu na pogorszenie warunków arosanitarnych była podejmowana przez Morawską-Horawską i Lewika (1997), Walczewskiego (2009) oraz Hajto i Rozwodę (2010).

Wpływ cyrkulacji atmosferycznej i warunków meteorologicznych na koncentracje pyłu zawieszonego był również szeroko analizowany na przykładzie innych polskich miast. Między innymi Drzeniecka-Osiadacz (2010) w swoich badaniach wykazała, iż za występowanie kilkudniowych epizodów wysokich stężeń PM<sub>10</sub> we Wrocławiu odpowiedzialne są warunki mezoskalowe oraz stan termodynamiczny najniższej części atmosfery. Wpływ sytuacji synoptycznych na koncentracje zanieczyszczeń na obszarze Górnego Śląska, na podstawie kalendarza typów cyrkulacji dla dorzecza Górnej Wisły, badań Leśniok i in. (2010). Analizę zależności pomiędzy koncentracją PM<sub>10</sub> a warunkami cyrkulacyjnymi na obszarze Europy Centralnej przeprowadzili m.in. Stefan i in. (2015) oraz Demuzere i in. (2009).

Problem zanieczyszczenia powietrza pyłem zawieszonym (PM<sub>10</sub> i PM<sub>2,5</sub>) dotyczy większości dużych polskich miast, jednak szczególnie niekorzystne warunki aerosanitarne występują na obszarze Krakowa, gdzie oprócz znacznej ilości pyłów pochodzących m.in. z niskiej emisji, przemysłu, transportu i komunikacji dodatkowym czynnikiem pogarszającym sytuację jest ukształtowanie rzeźby terenu, w znacznym stopniu ograniczające rozcieńczanie i dyspersje zanieczyszczeń (Bokwa 2007; German 2007). Terytorium Krakowa położone jest u zbiegu dwóch dużych jednostek geologicznych: monokliny śląsko-krakowskiej oraz Karpat i ich przedmurza (Gradziński 1974). Fakt ten bezpośrednio odzwierciedla się w zróżnicowaniu morfometrycznym badanego obszaru i tym samym warunkuje przebieg głównych korytarzy przewietrzania miasta oraz wpływa na lokalne warunki cyrkulacyjne zarówno w mikro-, jak i mezoskali (Błażejczyk 2008).

Głównym celem niniejszego opracowania jest wykazanie wpływu cyrkulacji atmosferycznej na występowanie epizodów wysokich stężeń pyłu zawieszonego w Krakowie. W artykule zwrócono również uwagę na potencjalne zróżnicowanie wartości emisji pyłu PM<sub>10</sub> na wybranych stacjach monitoringu jakości powietrza zlokalizowanych w dwóch punktach miasta.

## METODY I ZAKRES BADAŃ

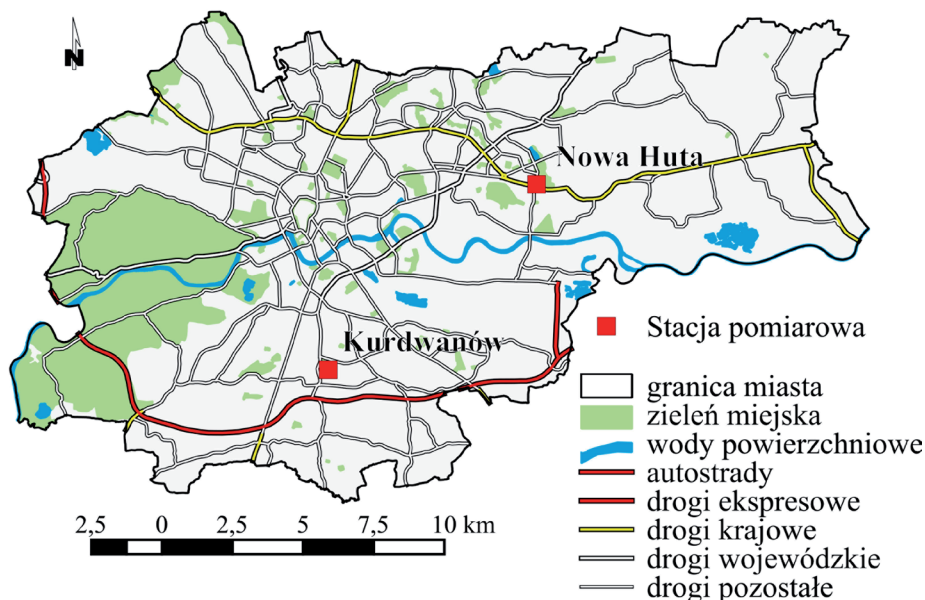
Głównym materiałem źródłowym niniejszej pracy są wartości średnich dobowych stężeń pyłu zawieszonego z dwóch stacji monitoringu jakości powietrza Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Krakowie od 1 stycznia 2011 r. do 31 grudnia 2012. Dane pochodzą ze stacji monitoringu w Nowej Hucie, zlokalizowanej przy ul. Bulwarowej, oraz punktu pomiarowego w Kurdwanowie, położonego przy ul. Bujaka (tab. 1). Lokalizację wymienionych stacji monitoringu przedstawiono na rycinie 1. W otoczeniu stacji monitoringu w Nowej Hucie oraz stacji w Kurdwanowie przeważa zwarta zabudowa mieszkaniowa, w skład której wchodzi głównie czteropiętrowe bloki. W odległości 1 km na wschód od stacji monitoringu w Nowej Hucie znajduje się obszar kombinatu metalurgicznego należącego do spółki ArcelorMittal Poland.

Tabela 1. Punkty pomiarowe stężeń pyłu zawieszonego w Krakowie  
 Table 1. Particulate matter measurement points in Kraków

Stacja	Typ	Lokalizacja (współrzędne)	Wysokość [m n.p.m.]
Nowa Huta	przemysłowa	50°4'9"N, 20°1'12"E	195
Kurdwanów	tła miejskiego	50°0'37"N, 19°56'57"E	232

Analizę uwarunkowań cyrkulacyjnych w badanym okresie oparto na kalendarzu typów cyrkulacji dla dorzecza górnej Wisły autorstwa Niedźwiedzia (1988), w którym wydzielono 20 typów sytuacji synoptycznych. Kalendarz udostępniony jest m.in. w zbiorach cyfrowych Uniwersytetu Śląskiego (Niedźwiedź 2013). Dla poszczególnych typów sytuacji synoptycznej obliczono prawdopodobieństwo warunkowe przekroczenia dopuszczalnego poziomu stężenia PM10 w latach 2011–2012.

W niniejszym opracowaniu, nawiązując do rozporządzenia ministra środowiska z 24 sierpnia 2012 r. (Dz.U. 2012, poz. 1031), jako epizod zaklasyfikowano sytuację, podczas której nastąpiło przekroczenie dobowego poziomu dopuszczalnego PM10, wynoszącego  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (na obu stacjach monitoringu). Wszystkie epizody z lat 2011–2012 podzielono według czterostopniowej skali, tj.: epizod I stopnia ( $51\text{--}100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), epizod II stopnia ( $101\text{--}200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), epizod III stopnia ( $201\text{--}300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) oraz epizod IV stopnia ( $301\text{--}400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). W opra-



Ryc. 1. Lokalizacja wybranych stacji monitoringu jakości powietrza w Krakowie

Fig. 1. Location of selected monitoring station in Kraków

cowaniu przedstawiono frekwencję poszczególnych epizodów w typach cyrkulacji z podziałem na sezon grzewczy – definiowany jako okres od 1 października do 30 kwietnia oraz sezon pozagrzewczy, tj. od 1 maja do 30 września.

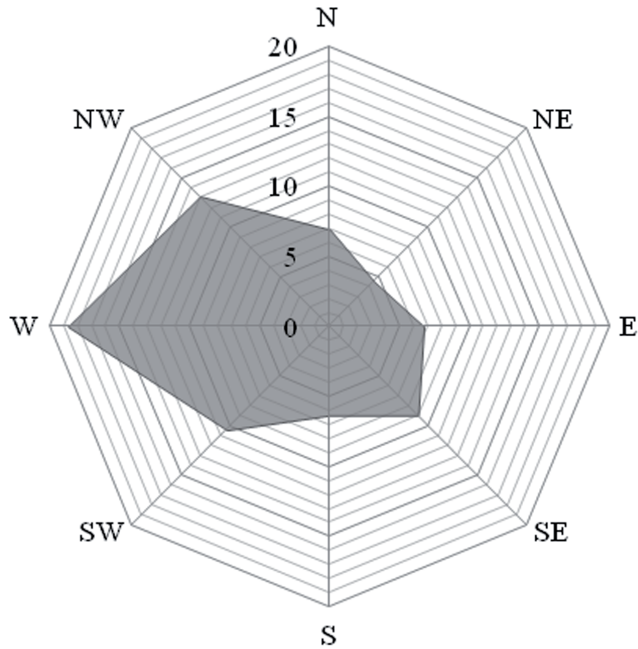
## REZULTATY BADAŃ

Przeprowadzona analiza warunków cyrkulacyjnych obejmowała stosunkowo krótki okres, tj. lata 2011–2012, jednak należy podkreślić, iż główne kierunki adwekcji mas powietrza oraz frekwencja poszczególnych typów cyrkulacji wówczas nawiązywała w znaczącym stopniu do prawidłowości obserwowanych w opracowaniach klimatycznych obejmujących dłuższe serie danych (Ustrnul 2007). W badanym okresie (2011–2012) zdecydowanie częściej pogodę kształtowały układy antycyklonalne – 69,1% dnia niż cyklonalne – 30,9%. Silny wpływ cyrkulacji strefowej przejawiał się m.in. zwiększoną adwekcją mas powietrza z sektora zachodniego (18,7%), północno-zachodniego (13,1%) oraz południowo-zachodniego (10,4%) (ryc. 2). Łącznie napływ mas powietrza z trzech wymienionych sektorów wynosił 42,2%. Najmniejszą frekwencją charakteryzował się północno-wschodni kierunek adwekcji (4,5%).

W analizowanym okresie spośród sytuacji bezadwekcyjnych największą frekwencją charakteryzowała się bruzda cyklonalna (11,8%). Sytuacje antycyklonalne i cyklonalne z adwekcją z sektora zachodniego obejmowały odpowiednio 10,3% oraz 8,4% ogółu dni. Stosunkowo często pogodę kształtował klin antycyklonalny (8,1%), natomiast sytuacja centralna cyklonalna występowała najrzadziej (0,3%).

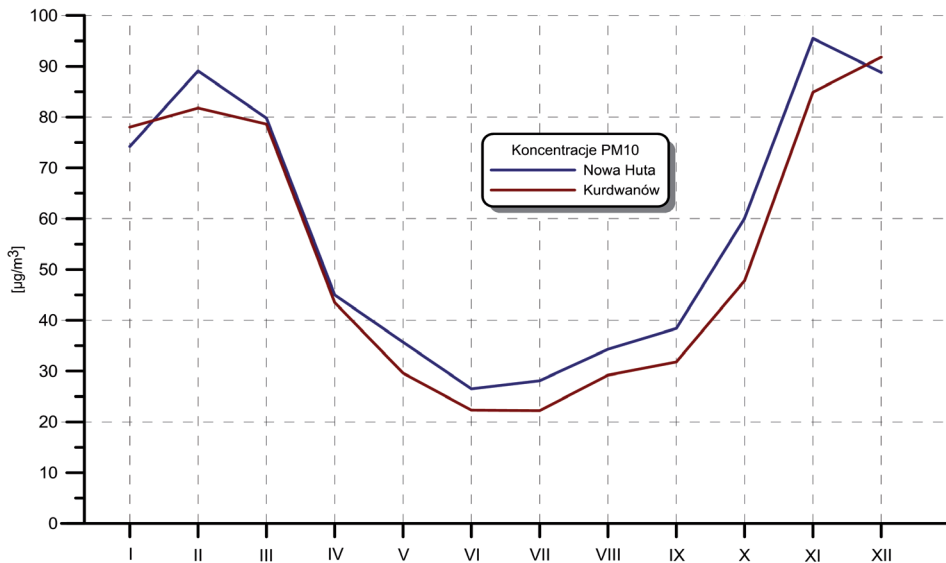
W badanym okresie średnie roczne stężenia pyłu PM<sub>10</sub> na obu stacjach przekraczały dopuszczalny poziom (Rozporządzenie..., 2012) i wynosiły 57,9 µg/m<sup>3</sup> na stacji monitoringu w Nowej Hucie oraz 53,4 µg/m<sup>3</sup> na stacji monitoringu w Kurdwanowie. Wartości średnich miesięcznych stężeń PM<sub>10</sub> przedstawiono na rycinie 3. Największe wartości stężeń występowały w półroczu chłodnym. Z wyjątkiem stycznia oraz grudnia wyższe wartości notowano na stacji pomiarowej w Nowej Hucie. Najwyższe średnie miesięczne wartości stężenia PM<sub>10</sub> na stacji w Kurdwanowie zaobserwowano w grudniu (91,8 µg/m<sup>3</sup>), natomiast na stacji w Nowej Hucie w listopadzie (95,5 µg/m<sup>3</sup>). Najniższe wartości średnich miesięcznych stężeń na stacji w Nowej Hucie (26,5 µg/m<sup>3</sup>) zanotowano w czerwcu, a w przypadku stacji w Kurdwanowie w sierpniu (22,2 µg/m<sup>3</sup>).

Wpływ na zróżnicowanie stężenia PM<sub>10</sub> na stacjach monitoringu mogą mieć lokalne warunki dyspersji zanieczyszczeń (ukształtowanie terenu, zabudowa), natężenie emisji oraz lokalizacja i typ emitorów (wysokie, niskie) znajdujących się w pobliżu punktu pomiarowego. Ponadto lokalne warunki meteorologiczne, determinowane m.in. przez cyrkulację atmosferyczną, mogą sprzyjać rozprzestrzenianiu się lub koncentracji zanieczyszczeń w danych punktach miasta.



Ryc. 2. Częstość [%] kierunku adwekcji mas powietrza nad dorzecze górnej Wisły (2011–2012)

Fig. 2. Frequency [%] of advection direction of air masses in upper Wisła basin (2011–2012)



Ryc. 3. Średnie miesięczne stężenia PM10 na stacjach monitoringu w Krakowie (2011–2012)

Fig. 3. Mean monthly PM10 concentration at measurement stations in Kraków (2011–2012)

W tabeli 2 zaprezentowano prawdopodobieństwo warunkowe przekroczenia dopuszczalnego poziomu stężenia PM10 w poszczególnych sytuacjach synoptycznych w latach 2011–2012 dla obu stacji monitoringu powietrza. Otrzymane wyniki w znacznym stopniu nawiązują do wartości wskaźnika obliczonych dla okresu 2005–2009 i zaprezentowanych w pracy Bokwy (2012). Największa wartość tego wskaźnika charakteryzuje typy cyrkulacji z adwekcją z sektora południowego SWc (65,6%) oraz SEa (61,4%). Wysokie wartości wskaźnika, przekraczające 50%, otrzymano w przypadku antycyklonalnych typów pogody: Ea (58,8%), Ka (53,7%), Sa (53,1%) oraz dla cyklonalnego typu cyrkulacji SEc (54,5%). Powyższe wyniki wskazują m.in. na wyraźny wpływ adwekcji z sektora południowego na występowanie podwyższonych koncentracji pyłu PM10 w Krakowie na skutek kształtowania się niekorzystnych warunków rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń (Niedźwiedz i in. 1994).

W latach 2011–2012 przekroczenia dopuszczalnego poziomu stężenia PM10 w sezonie grzewczym występowały z największą frekwencją w antycyklonalnym typie pogody, charakteryzującym się adwekcją z kierunku południowo-wschodniego (SEa) (ryc. 4). Ogółem epizody IV stopnia (301–400  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) zaobserwowano podczas dni, w których pogodę kształtował klin antycyklonalny (Ka) oraz w cyklonalnym typie pogody z adwekcją z kierunku południowo-zachodniego (SWc). Epizody III stopnia (201–300  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) notowano w bezadwekcyjnych, antycyklonalnych sytuacjach: klin wyżowy (Ka), centrum wyżu (Ca) oraz w sytuacjach adwekcyjnych z napływem mas powietrza z kierunku południowo-wschodniego (SEa) oraz zachodniego (Wa). Epizody II stopnia (101–200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) stanowiły ponad połowę wszystkich notowanych epizodów w cyrkulacji antycyklonalnej i napływie z sektora południowo-zachodniego (SWa) oraz południowego (Sa). Epizody I stopnia (51–100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) występowały we wszystkich typach sytuacji synoptycznych, z wyjątkiem sytuacji cyklonalnej ze splywem mas powietrza z północy (Nc) oraz w sytuacji centralnej cyklonalnej (Cc). Jednocześnie powyższe dwa typy cyrkulacji charakteryzowały się najlepszymi warunkami aerosanitarnymi bez przekroczeń dopuszczalnego poziomu stężenia PM10 w sezonie grzewczym.

W sezonie pozagrzewczym występowały jedynie epizody I stopnia (51–100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (ryc. 5). Największa frekwencja przekroczeń dopuszczalnego stężenia PM10 tego typu odnotowana została podczas antycyklonalnej pogody związanej z adwekcją z sektora południowo-wschodniego (SEa). Z ponad 30-procentową częstością ponadnormatywne stężenia PM10 obserwowano w antycyklonalnym typie pogody związanym z adwekcją z kierunku wschodniego (Ea) oraz podczas cyklonalnej pogody charakteryzującej się napływem mas powietrza z południa (Sc). Podwyższone koncentracje pyłu PM10 zanotowano także w sytuacjach synoptycznych związanych z napływem mas powietrza z kierunku południowego (Sa, SWa, Sec) oraz w sytuacjach antycyklonalnych (centrum wyżu (Ca) oraz klin wyżu (Ka)).

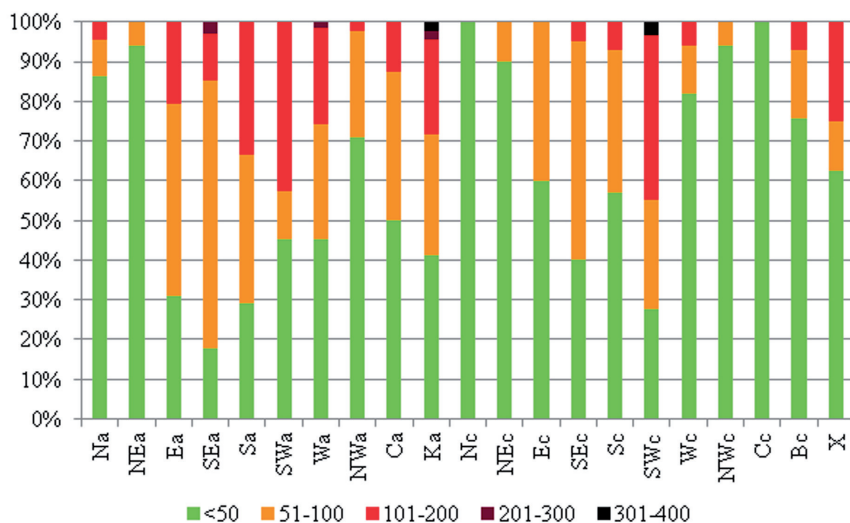
Tabela 2. Liczba dni z danym typem sytuacji synoptycznej według kalendarza T. Niedźwiedzia oraz prawdopodobieństwo przekroczenia dopuszczalnej normy stężenia PM10 przy danym typie sytuacji synoptycznej w latach 2011–2012

Table 2. Number of days with a certain type of synoptic situation according to the calendar by T. Niedźwiedź and probability of exceeding of the allowed concentration in a certain type of the synoptic situation in years 2011–2012

Typ sytuacji synoptycznej	Liczba dni z przekroczeniem dozwolonego stężenia na stacji w Nowej Hucie i Kurdwanowie	Liczba dni z danym typem sytuacji synoptycznej	Prawdopodobieństwo warunkowe przekroczenie dozwolonego stężenia w danym typie sytuacji synoptycznej [%]
Na	4	26	15,4
NEa	1	17	5,9
Ea	20	34	58,8
SEa	27	44	61,4
Sa	17	32	53,1
SWa	18	43	41,9
Wa	33	80	41,3
NWa	13	52	25,0
Ca	9	27	33,3
Ka	36	67	53,7
Nc	0	20	0,0
NEc	1	11	9,1
Ec	4	11	36,4
SEc	12	22	54,5
Sc	6	17	35,3
SWc	21	32	65,6
Wc	9	57	15,8
NWc	2	39	5,1
Cc	0	16	0,0
Bc	4	88	4,5
X	0	10	0,0

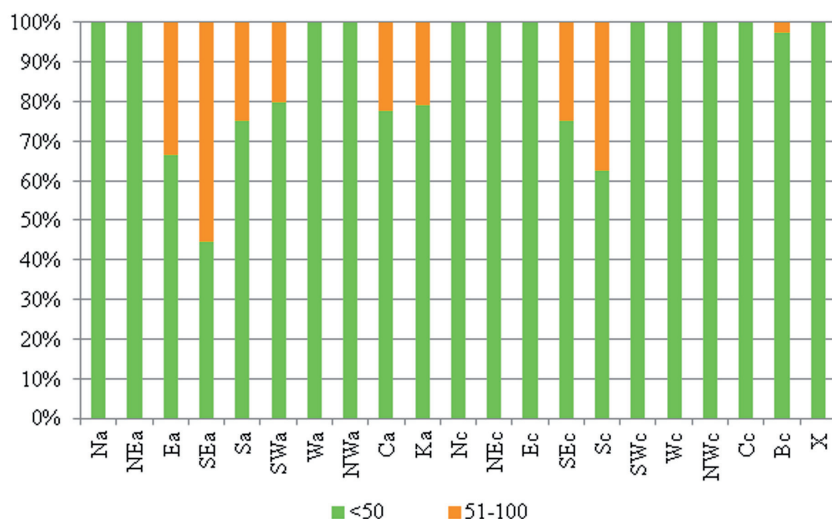
## WNIOSKI

Podsumowując, zanieczyszczenie powietrza pyłem zawieszonym w Krakowie stanowi bardzo poważny problem. W analizowanym okresie (2011–2012) przekroczenia dopuszczalnego poziomu stężenia PM10 występowały podczas 32,7% dnia. Warunki aerosanitarne nie spełniały określonych wymogów w ciągu 239 dni. Przekroczony był zarówno średni roczny poziom dopuszczalny



Ryc. 4. Częstość występowania [%] epizodów wysokich stężeń w poszczególnych typach sytuacji synoptycznej (wg kalendarza T. Niedźwiedzia) w sezonie grzewczym w latach 2011–2012

Fig. 4. Frequency [%] of days with episodes of high suspended dust concentration in particular types of synoptic situation (according to the calendar of synoptic situation by T. Niedźwiedź) during heating season in the period 2011–2012



Ryc. 5. Częstość występowania [%] epizodów wysokich stężeń w poszczególnych typach sytuacji synoptycznej (wg kalendarza T. Niedźwiedzia) w sezonie pozagrzewczym w latach 2011–2012

Fig. 5. Frequency [%] of days with episodes of high suspended dust concentration in particular types of synoptic situation (according to the calendar of synoptic situation by T. Niedźwiedź) with except heating season in the period 2011–2012



stężenia oraz częstość przekraczania poziomu dopuszczalnego w roku kalendarzowym ustalona na podstawie rozporządzenia ministra środowiska (2012).

Na podstawie przeprowadzonych analiz wykazano, iż uwarunkowania cyrkulacyjne wpływają na rodzaj oraz frekwencję poszczególnych epizodów wysokich stężeń PM<sub>10</sub> w Krakowie. Przekroczenia dopuszczalnego poziomu stężenia pyłem zawieszonym obserwowano najczęściej podczas typów cyrkulacji związanych z adwekcją z kierunku południowego (SWc i Sea). Duża frekwencja ponadnormatywnych stężeń charakteryzowała również antycyklonalne sytuacje (Ea, Ka i Sa).

Wysokie stężenia (epizody II, III oraz IV stopnia) występowały jedynie w sezonie grzewczym (X–IV). Czterokrotne przekroczenia normy dobowego stężenia PM<sub>10</sub> (> 50 µg/m<sup>3</sup>) zaobserwowano w antycyklonalnych typach cyrkulacji (Ca, Ka, SEa, Wa) oraz podczas sytuacji, gdy pogodę kształtował układ niżowy z adwekcją powietrza z kierunku południowo-zachodniego (SWc). W sezonie pozagrzewczym (V–IX) wystąpiły tylko i wyłącznie epizody I stopnia, związane najczęściej z antycyklonalną sytuacją synoptyczną typu SEa.

W analizowanych latach 2011–2012 zarówno w sezonie grzewczym, jak i pozagrzewczym zaobserwowano, iż adwekcja powietrza z sektora południowego, niezależnie od typu cyrkulacji (antycyklonalny, cyklonalny), sprzyja występowaniu epizodów wysokich stężeń pyłu PM<sub>10</sub> w Krakowie. Podczas adwekcji z południa ciepłe powietrze przepływa ponad dnem doliny Wisły i wpływa na intensyfikację inwersji termicznej (Bokwa 2012), która utrudnia naturalne warunki dyspersji zanieczyszczeń i sprzyja ich koncentracji.

## LITERATURA

- Bielec-Bąkowska Z., Knozova G., Leśnik M., Matuszko D., Piotrowicz K., 2011: *High suspended dust concentrations in Brno, Sosnowiec and Krakow (The year 2009 as an example)*. Pr. Geogr. Inst. Geogr. i Gosp. Przestrz. UJ, Kraków, 126, 67–84.
- Błażejczyk K., 2008: *Analiza stanu aerosanitarnego Krakowa oraz opracowanie koncepcji nawietrzania miasta i regeneracji powietrza wraz ze wskazaniem możliwości rozwoju określonych funkcji i ograniczeń w użytkowaniu*, Warszawa [ekspertyza na zamówienie Urzędu Miasta Krakowa].
- Bokwa A., 2007: *Zanieczyszczenie powietrza*. [W:] D. Matuszko (red.), *Klimat Krakowa w XX wieku*, Wyd. Inst. Geogr. i Gosp. Przestrz. UJ, Kraków, 187–198.
- Bokwa A., 2012: *Zanieczyszczenie powietrza pyłem zawieszonym PM<sub>10</sub> a sytuacje synoptyczne i warunki termiczne w Krakowie. Rola cyrkulacji atmosfery w kształtowaniu klimatu*, 275–286.
- Demuzere M., Trigo R., Vila-Guerau de Arellano J., 2009: *The impact of weather and atmospheric circulation on O<sub>3</sub> and PM<sub>10</sub> levels at a midlatitude site*, Atmospheric Chemistry and Physics Discussions Vol. 9, 2695–2714.
- Drzeniecka-Osiadacz A., Netzel P., 2010: *Wpływ warunków meteorologicznych oraz cyrkulacji atmosferycznej na stężenie PM<sub>10</sub> we Wrocławiu*, Proceedings of ECOpole Vol. 4, No. 2, 343–349.

- German K., 2007: *Środowisko przyrodnicze Krakowa i jego wpływ na warunki klimatyczne*. [W:] D. Matuszko (red.), *Klimat Krakowa w XX wieku*, Wyd. Inst. Geogr. i Gosp. Przestrz. UJ, Kraków, 11–18.
- Godłowska J., 2008: *Wpływ cyrkulacji atmosfery (wg Lityńskiego) na występowanie podwyższonych stężeń zanieczyszczeń i niekorzystnych warunków wentylacji w Krakowie*. [W:] M. Maciejewski, M.S. Ostojski (red.), *Ekstrema pogodowe w Polsce – obserwacje, pomiary, prognozy*, Ser. Monografie, IMGW, Warszawa, 82–98.
- Gradziński R., 1974: *Budowa geologiczna terytorium Krakowa*. Fol. Geograph., Ser. Geographica-Physica, Vol. VIII, PWN Warszawa–Kraków, 11–17.
- Hajto M., Rozwoda W., 2010: *Wykorzystanie danych sodarowych do oceny warunków rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w warstwie granicznej atmosfery w Krakowie. Ochrona powietrza w teorii i praktyce*, t. 2, Inst. Podstaw Inżynierii Środowiska PAN, Zabrze, 81–92.
- Leśniok M., Małarzewski Ł., Niedźwiedz T., 2010: *Classification of circulation types for Southern Poland with an application to air pollution concentration in Upper Silesia*, Phys. and Chem. of the Earth 35, 516–522.
- Morawska-Horawska M., Lewik P., 1997: *Termiczne warstwy hamujące w przyziemnej 100-metrowej warstwie powietrza nad Krakowem*, Fol. Turistica 7, 53–76.
- Niedźwiedz T., 1988: *Kalendarz sytuacji synoptycznych dla dorzecza górnej Wisły*, Zesz. Nauk. UJ, Pr. Geogr. Kraków, 76, 37–86.
- Niedźwiedz T., 2013: *Kalendarz typów cyrkulacji dla obszaru Polski południowej – zbiór komputerowy*, UŚ, Katedra Klimatologii, Sosnowiec, <<http://klimat.wnoz.us.edu.pl>>.
- Niedźwiedz T., Olecki Z., 1994: *Wpływ sytuacji synoptycznych na zanieczyszczenie powietrza w Krakowie*, Zesz. Nauk. UJ, Pr. Geogr., Kraków, 96, 55–66.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu, poz. 1031, 2012: Dziennik Ustaw Rzeczypospolitej Polskiej.
- Stefan S., Roman I., 2015: *Variability of local PM10 mass concentration in connection with blocking air circulation*, Meteorol. and Atmospheric Phys. Vol. 12, 333–343.
- Tomaszewska A., 2010 *Analiza zależności występowania wysokich stężeń PM10 od typów cyrkulacji Lityńskiego. Ochrona powietrza w teorii i praktyce*, t. 2, Inst. Podstaw Inżynierii Środowiska PAN, Zabrze, 375–387.
- Ustrnul Z., 2007: *Warunki cyrkulacyjne*. [W:] D. Matuszko (red.), *Klimat Krakowa w XX wieku*, Wyd. Inst. Geogr. i Gosp. Przestrz. UJ, Kraków, 21–40.
- Walczewski J., 2009: *Niektóre dane o występowaniu całodziennych warstw inwersyjnych w atmosferze Krakowa i uwarunkowania tego zjawiska*, Przegl. Geofiz. 3–4, 183–191.