



Rola typów cyrkulacji atmosferycznej w kształtowaniu stężeń pyłu zawieszonego PM₁₀ w Poznaniu

The role of the atmospheric circulation types on PM₁₀ concentrations in Poznań

Natalia Pilguj¹ • Sebastian Kendzierski² • Leszek Kolendowicz²

¹Uniwersytet Wrocławski
Instytut Geografii i Rozwoju Regionalnego
ul. Kosiby 8, 51-621 Wrocław
natalia.pilguj@uwr.edu.pl

²Uniwersytet im. Adama Mickiewicza
Instytut Geografii Fizycznej i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego,
ul. Krygowskiego 10, 61-680 Poznań
wrf@amu.edu.pl • leszko@amu.edu.pl

Zarys treści. Emisja zanieczyszczeń oraz warunki meteorologiczne związane z występowaniem ośrodków wysokiego ciśnienia sprzyjają występowaniu wysokich stężeń pyłu zawieszonego. Korzystając z danych dotyczących średnich dobowych wartości stężeń PM₁₀ (pyłu zawieszonego o średnicy mniejszej od 10 mikrometrów) i kalendarza typów cyrkulacji dla Polski zachodniej według T. Niedźwiedzia wskazano sytuacje najbardziej i najmniej sprzyjające występowaniu wysokich stężeń pyłu zawieszonego. Najbardziej sprzyjające akumulacji stężeń okazały się sytuacje synoptyczne związane z adwekcją mas powietrza z sektora południowego. Analiza koncentracji zanieczyszczeń wskazuje na występowanie najwyższych stężeń zimą, co związane jest ze wzrostem emisji z sektora komunalno-bytowego, a także z większym udziałem typów cyrkulacji południowej w tej porze roku.

Słowa kluczowe: zanieczyszczenia powietrza, pył zawieszony, PM₁₀, typy cyrkulacji atmosferycznej, Poznań.

Wstęp

Opracowania na temat wysokich stężeń zanieczyszczeń dotyczą wielu aglomeracji miejskich położonych w Polsce i za granicą. Tej tematyce poświęca się dużo uwagi ze względu na niekorzystne skutki zdrowotne wysokich stężeń zanieczyszczeń, na które narażani są szczególnie mieszkańcy miast. PM₁₀ (pył zawieszony o średnicy <10 μm) i PM_{2,5} (<2,5 μm) wpływają istotnie na organizm ludzki, będąc przyczyną przewlekłych chorób układu oddechowego i krążenia (Anderson i inni, 2012; Kampa i Castanas, 2008; Wang i inni, 2015).

Największe stężenia zanieczyszczeń obserwuje się w chłodnej porze roku, kiedy wzrasta emisja związana z sektorem komunalno-bytowym (sezon grzewczy) (Czernecki i inni, 2016; Radomski, 2008). Innymi istotnymi źródłami zanieczyszczeń w miastach są indywidualne gospodarstwa domowe, przemysł oraz transport. Przeprowadzono dość liczne analizy stężeń PM_{10} i $PM_{2,5}$ w powiązaniu z ruchem ulicznym, uwzględniając przy tym skład chemiczny pyłu (Artiñano i inni, 2004; Keuken i inni, 2013; Kozielska i inni, 2009). Zagrożający zdrowiu człowieka jest skład pyłu – związki węgla, pierwiastki ciężkie, benzo(a)piren, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA) i inne (*Raport ...*, 2011).

W Polsce obowiązują normy dopuszczalnych stężeń zanieczyszczeń określone w Dyrektywie Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE z dnia 21 maja 2008 r. w sprawie jakości powietrza i czystsze powietrze dla Europy. W przypadku PM_{10} średnia dobową wartość równa $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ nie może zostać przekroczona więcej niż 35 razy w ciągu roku. Niestety wiele polskich miast nie spełnia tego kryterium.

Stopień zanieczyszczenia powietrza w dużej mierze kształtowany jest przez warunki meteorologiczne. Wysokie stężenia PM_{10} są istotnie powiązane z prędkością i kierunkiem wiatru, temperaturą powietrza czy też występowaniem opadów atmosferycznych (Czernecki i inni, 2016). Istotny dla jakości powietrza jest stan równowagi w dolnej części warstwy granicznej atmosfery, gdzie podczas występowania równowagi stałej (szczególnie inwersji) dochodzi do ograniczenia dyspersji zanieczyszczeń (Drzeniecka-Osiadacz i Netzel, 2010). Warunki sprzyjające ich akumulacji pojawiają się najczęściej zimą w przypadku cyrkulacji związanej z ośrodkiem wysokiego ciśnienia (Drzeniecka i inni, 2000; Leśniok i inni, 2010).

Problem cyrkulacyjnego uwarunkowania stężenia zanieczyszczeń podejmowany był w wielu opracowaniach dla różnych obszarów Polski (Godłowska i Tomaszewska, 2010), m.in. dla miast Górnego Śląska (Leśniok i Caputa, 2009; Leśniok i inni, 2010; Radomski, 2008), Trójmiasta (Czarnecka i Nidzgorska-Lencewicz, 2015; Lewandowska i Falkowska, 2013) oraz centralnej Polski (Pietruczuk i Jaroślawski, 2013; Skrzypski, 1998).

Celem niniejszego artykułu jest wskazanie typów cyrkulacji atmosferycznej powiązanych z występowaniem niskich i wysokich wartości stężeń pyłu zawieszonego PM_{10} . W opracowaniu skupiono się na wysokich stężeniach pyłu i ich przekroczeniach, w nawiązaniu do typów cyrkulacji atmosfery według T. Niedźwiedzia (2013) sporządzonych dla Polski zachodniej.

Obszar badań

Analizie poddano wartości stężenia PM_{10} z dwóch stacji tła miejskiego zlokalizowanych w Poznaniu, które stanowią stanowiska pomiaru jakości powietrza w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska. Jedną z nich – Ogród Botaniczny – zlokalizowana jest nieopodal centrum miasta, gdzie dominującym źródłem zanieczyszczeń jest ruch uliczny. Bliskie sąsiedztwo ulicy Dąbrowskiego, będącej główną ulicą wyprowadzającą ruch z kierunku centrum, ma wpływ na kształtowanie stężeń zanieczyszczeń w sąsiedztwie Ogrodu Botanicznego. Otoczenie drugiej stacji – Polanka, położonej w południowo-wschodniej części miasta, stanowi zabudowa mieszkalna, przyłączona do sieci CO. Istotne jest tutaj również występowanie licznych zakładów przemysłowych zlokalizowanych na wschodnich obrzeżach miasta. Korelacja analizowanych serii pomiarowych wyniosła 0,92, co stanowi podstawę do możliwości uśredniania danych ze stacji, gdzie oddziałują różne źródła emisji.

Dane i metody badań

Podstawę opracowania stanowiły dane dobowego stężenia pyłu zawieszonego PM_{10} z dwóch stacji: Ogród Botaniczny i Polanka, z lat 2005–2013. Uśrednione wartości z obu stacji zostały zestawione z typami cyrkulacji, które występowały podczas kolejnych dni analizowanego okresu. W tym celu został zastosowany kalendarz typów cyrkulacji atmosfery T. Niedźwiedzia (2013), opracowany dla Polski zachodniej. Dane dotyczące występowania określonych typów cyrkulacji w poszczególnych dniach badanego okresu pozyskano z prywatnego zbioru danych T. Niedźwiedzia. Klasyfikacja ta obejmuje 21 typów cyrkulacji, z których 10 posiada charakter cyrkulacji cyklonalnej, kolejne 10 – cyrkulacji antycyklonalnej, a jeden typ dotyczy sytuacji nie dających się zaklasyfikować (tab. 1). Klasyfikacja typów cyrkulacji według T. Niedźwiedzia (2013) nawiązuje również do dominujących kierunków adwekcji powietrza (16 typów), a także uwzględnia typy charakteryzujące się brakiem wyraźnego kierunku adwekcji (Ca, Ka, Cc, Bc).

W niniejszym opracowaniu zestawiono uśrednione z dwóch stacji wartości stężenia pyłu zawieszonego, z występującym w tym dniu typem cyrkulacji atmosferycznej. Dla każdego typu cyrkulacji atmosferycznej obliczono średnie dobowe stężenia PM_{10} . Dodatkowo wyznaczono częstość występowania poszczególnych typów cyrkulacji z podziałem na antycyklonalne i cyklonalne w latach 2005–2013. Istotnym elementem pracy było wskazanie częstości przekraczania dobowych norm stężenia PM_{10} (zgodnie z Dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE z dnia 21 maja 2008 r. w sprawie jakości powietrza i czystszeo powietrza dla Europy) w poszczególnych typach cyrkulacji.

Tabela 1. Spis typów cyrkulacji według T. Niedźwiedzia (2013)
List of circulation types after T. Niedźwiedź (2013)

Typy antycyklonalne <i>Anticyclonic types</i>		Typy cyklonalne <i>Cyclonic types</i>	
Na	Północny <i>Northern</i>	Nc	Północny <i>Northern</i>
NEa	Północno-wschodni <i>North-eastern</i>	NEc	Północno-wschodni <i>North-eastern</i>
Ea	Wschodni <i>Eastern</i>	Ec	Wschodni <i>Eastern</i>
SEa	Południowo-Wschodni <i>South-eastern</i>	SEc	Południowo-Wschodni <i>South-eastern</i>
Sa	Południowy <i>Southern</i>	Sc	Południowy <i>Southern</i>
SWa	Południowo-zachodni <i>South-western</i>	SWc	Południowo-zachodni <i>South-western</i>
Wa	Zachodni <i>Western</i>	Wc	Zachodni <i>Western</i>
NWa	Północno-zachodni <i>North-western</i>	NWc	Północno-zachodni <i>North-western</i>
Ca	Sytuacja centralna antycyklonalna <i>Central anticyclonic situation</i>	Cc	Sytuacja centralna cyklonalna <i>Central cyclonic situation</i>
Ka	Klin antycyklonalny <i>Ridge of high pressure</i>	Bc	Bruzda cyklonalna <i>Trough of low pressure</i>
x		Sytuacje niedające się zaklasyfikować <i>Unclassified situations</i>	

Źródło/Source: Niedźwiedź (2013).

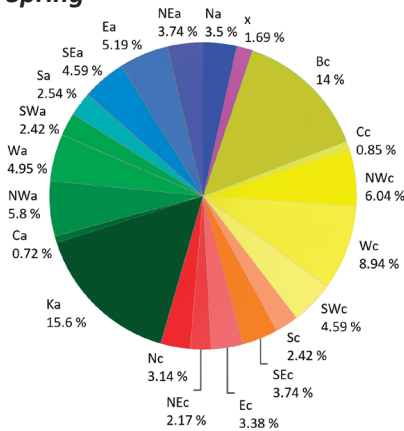
Częstość występowania typów cyrkulacji

W pierwszej części opracowania dokonano analizy częstości występowania poszczególnych typów cyrkulacji względem klimatologicznych pór roku. Analizy klimatologiczne zakładają okres występowania wiosny w: marcu, kwietniu, maju; lata – w czerwcu, lipcu, sierpniu; jesieni – we wrześniu, październiku, listopadzie oraz zimy – w grudniu, styczniu i lutym. Generalnie obserwowano podobne proporcje występowania cyrkulacji cyklonalnych i antycyklonalnych w kolejnych sezonach (ryc. 1). Jedynie w przypadku jesieni widać większy udział cyrkulacji o charakterze antycyklonalnym.

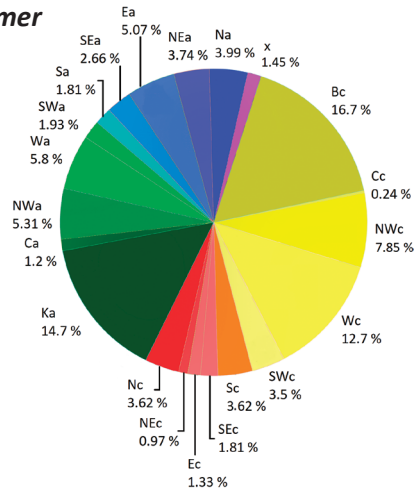
Wiosną nad obszarami Polski zachodniej obserwowano dużą częstość występowania bruzd cyklonalnych (Bc: 14%) i klinów wyżowych (Ka: 15,6%). W przy-

padku sytuacji cyklonalnych i antycyklonalnych najczęściej pojawiały się typy związane z zachodnim sektorem napływu mas powietrza (Wc, NWc, SWc i Wa, NWa). Niewielką częstością występowania charakteryzowały się typy cyrkulacji południowej, tj. Sa, Sc (po ok. 2,5%), za wyjątkiem typu SEa, który w tej porze roku występował dosyć często (ok. 5%).

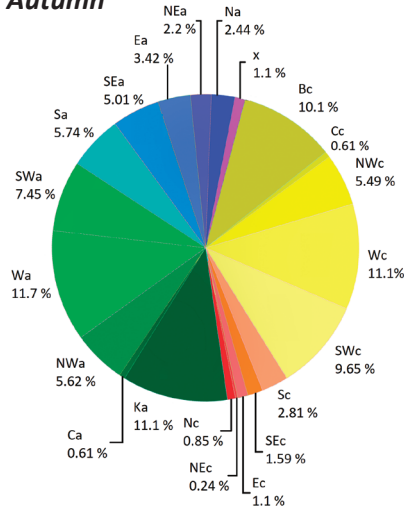
wiosna
Spring



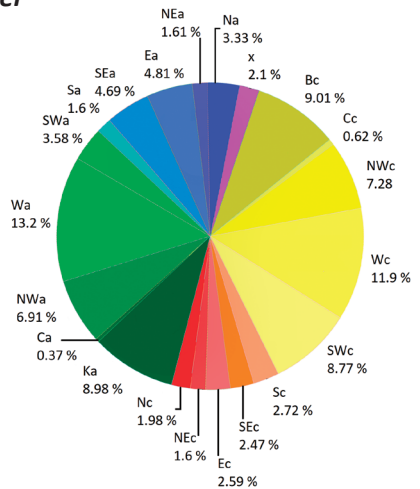
lato
Summer



jesień
Autumn



zima
Winter



Ryc. 1. Częstość występowania (%) typów cyrkulacji w poszczególnych porach roku w latach 2005–2013

Frequency of occurrence of circulation types (%), by season in the years 2005–2013

Opracowanie własne na podstawie: Niedźwiedź (2013) / *Authors' own elaboration on the basis of Niedźwiedź (2013).*

Podobne tendencje występowania typów cyrkulacji można było obserwować latem. W tym przypadku kliny wyżowe i bruzdy cyklonalne równie często kształtowały pogodę. W obrębie typów cyrkulacji cyklonalnej najczęściej pojawiały się adwekcje zachodnie (Wc: 12,7%, NWc: 7,85%), a bardzo rzadko wschodnie (częstość NEc i Ec ok. 1%). Typy cyrkulacji antycyklonalnej, podobnie jak w przypadku wiosny, wykazują największą częstość w przypadku adwekcji z zachodu (Wa, NWA). Mała częstość cyrkulacji południowych pojawiała się i w tej porze roku (Sa, SWa – wartości ok. 2%), jednak dla sytuacji cyklonalnych jest ona nieco wyższa (Sc: 3,62%, SWc: 3,5%).

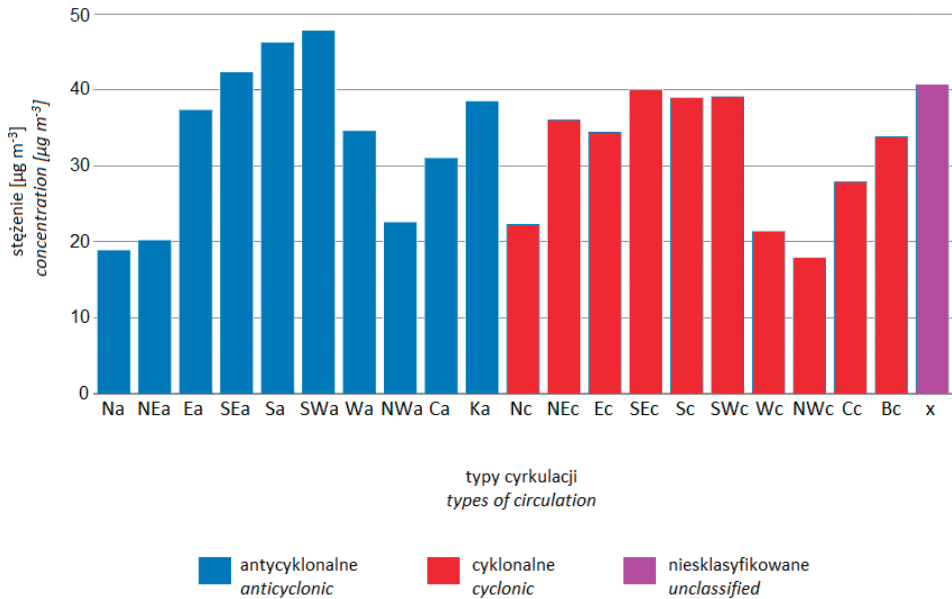
Jesienią nieco częściej występują typy cyrkulacji związane z ośrodkiem wysokiego ciśnienia. Dla tego okresu wykazano mniejszą frekwencję bruzdy cyklonalnej i klinów wyżowych (wartości w granicach 10–11%), niż miało to miejsce latem i wiosną (po 14–16% dla każdego w typów). Generalnie obserwuje się przewagę adwekcji z zachodu (Wc: 11,1%, Wa: 11,7%) oraz z południa i północno-zachodu: Sa, SWa, SEa, SWc, NWA, NWc (wartości rzędu 5–10% dla każdego z typów). Rzadko występowały typy cyrkulacji cyklonalnej północnej (0,85%) i wschodniej (1,1%).

Zimą ponownie pojawiły się podobne proporcje w zakresie występowania sytuacji cyklonalnych i antycyklonalnych (takie jak wiosną i latem). Dla tej pory roku obserwowano najmniejszą frekwencję bruzdy cyklonalnej i klinów wyżowych (wartości poniżej 10%). Najczęściej występowała adwekcja z zachodu (Wa: 13,2%, Wc: 11,9%). W przypadku tej pory roku warto zaznaczyć wzrost częstości typów cyrkulacji antycyklonalnej związanej z kierunkiem wschodnim (Ea: 4,81%, SEa: 4,69%).

Sytuacje centralne cyklonalne i antycyklonalne we wszystkich porach roku pojawiały się stosunkowo rzadko. Najrzadziej kształtowały pogodę zimą i jesienią (0,37–0,62%), częściej latem (0,24–1,21%) oraz wiosną (0,72–0,85%). Należy zwrócić uwagę, iż latem częściej występują sytuacje centralne antycyklonalne (Ca: 1,21%), natomiast zimą – cyklonalne (Cc: 0,62%). Sytuacje synoptyczne nie dające się zaklasyfikować pojawiały się sporadycznie (1,1–2,1% w zależności od pory roku).

Średnie stężenia PM_{10} w poszczególnych typach cyrkulacji

Najwyższe stężenia PM_{10} towarzyszyły w badanym okresie typom cyrkulacji antycyklonalnej (ryc. 2). Najwyższe wartości stężeń (ok. 40–50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) występowały podczas adwekcji mas powietrza z sektora południowego (SWa, Sa, SEa) oraz w czasie adwekcji ze wschodu (Ea). Znacznie niższe średnie stężenia pojawiały się dla adwekcji z sektora północnego (Na, NEa, NWA) – ok. 20 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (odchylenie standardowe 10 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Cyrkulacja o charakterze cyklonalnym charakteryzuje się mniejszym zróżnicowaniem wartości między poszczególnymi kierunkami adwekcji mas powietrza. Najwyższe wartości, sięgające 40 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (przy odchyleniu standardowym 25 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), towarzyszyły typom cyrkulacji południowej (SEc, Sc, SWc).



Ryc. 2. Średnie wartości stężenia pyłu PM₁₀ w poszczególnych typach cyrkulacji w latach 2005–2013

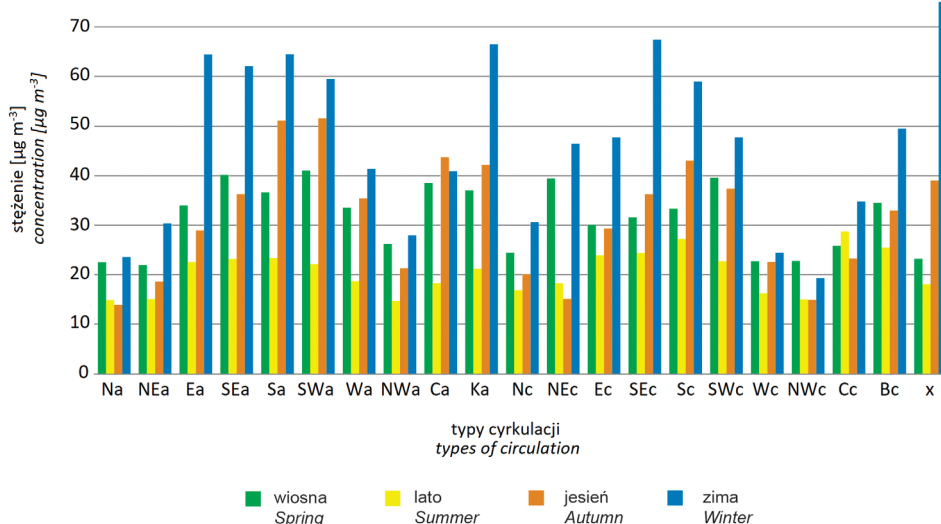
Mean values for PM₁₀ concentrations coinciding with particular circulation types over the years 2005–2013

Opracowanie własne na podstawie: Niedźwiedź, 2013 i danych pomiarowych WIOŚ, podobnie pozostałe ryciny / *Author's own elaboration on the basis of: Niedźwiedź, 2013 and WIOŚ data, like remaining figures.*

W odróżnieniu od średnich stężeń charakterystycznych dla typów antycyklonalnych, w grupie typów cyklonalnych należy zwrócić uwagę na dosyć wysoką wartość średniego stężenia pyłu podczas napływu powietrza z północnego wschodu (NEc o średnim stężeniu 37 µg·m⁻³, odchylenie standardowe 27 µg·m⁻³). Podczas adwekcji mas powietrza z sektora południowego, bez względu na charakter cyrkulacji, stężenia PM₁₀ były najwyższe. Występowanie adwekcji z zachodu łączyło się z wyższymi stężeniami pyłu zawieszonego przy występowaniu ośrodka wyżowego (Wa: 35 µg·m⁻³), niż miało to miejsce w przypadku ośrodka niskiego ciśnienia (Wc: 22 µg·m⁻³). Sytuacje bez wyraźnego kierunku adwekcji charakteryzowały się średnimi wartościami stężeń w zakresie 28–38 µg·m⁻³, nieznacznie wyższe stężenia pojawiały się dla typów antycyklonalnych (tj. Ca, Ka). Zaobserwowano dość wysokie średnie stężenie PM₁₀ w przypadku sytuacji synoptycznych nie dających się zaklasyfikować (41 µg·m⁻³ przy odchyleniu standardowym na poziomie 22 µg·m⁻³).

Średnie sezonowe stężenia PM_{10} w poszczególnych typach cyrkulacji

Analizy sezonowych stężeń PM_{10} jednoznacznie wskazują na występowanie ich najwyższych wartości zimą, a najniższych latem (ryc. 3). Niektóre typy cyrkulacji charakteryzują się dość istotnymi różnicami stężeń sezonowych (szczególnie te związane z adwekcją z sektora południowego), a w przypadku innych wartości kolejnych sezonów są bardzo podobne. Odchylenie standardowe analizowanych wartości stężeń wykazuje podobne zróżnicowanie – najmniejsze występowało latem ($8,6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), największe zaś zimą ($33,6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Wiosną i jesienią jego wartości są podobne ($21 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$).



Ryc. 3. Sezonowe wartości stężenia pyłu PM_{10} w poszczególnych typach cyrkulacji w latach 2005–2013
Seasonal mean PM_{10} concentrations coinciding with particular circulation types over the years 2005–2013

Wiosną nieznacznie wyższe stężenia PM_{10} obserwowano podczas występowania sytuacji antycyklonalnych, gdzie wyniosły średnio $33,1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, a w przypadku cyklonalnych – $30,4 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Największe stężenia zaobserwowano podczas antycyklonalnej adwekcji mas powietrza z sektora południowego. Maksymalna wartość wystąpiła podczas typu SWa ($41 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Najmniejsze z kolei pojawiły dla typów cyklonalnych, związanych z napływem mas powietrza z sektora zachodniego i północno-zachodniego oraz dla typów antycyklonalnych: północnego i północno-wschodniego – minimum w przypadku typu NEa ($21,9 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$).

W porze letniej wyższe wartości stężenia pyłu PM_{10} zaobserwowano podczas cyklonalnych sytuacji synoptycznych (średnie stężenie dla cyrkulacji o charakterze antycyklonalnym wyniosło $19,4 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, a cyklonalnym – $21,9 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Największe

z nich występowały podczas sytuacji Cc ($28,7 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Najmniejsze obserwowano w przypadku adwekcji z sektora północnego, zarówno podczas antycyklonalnych, jak i cyklonalnych typów cyrkulacji.

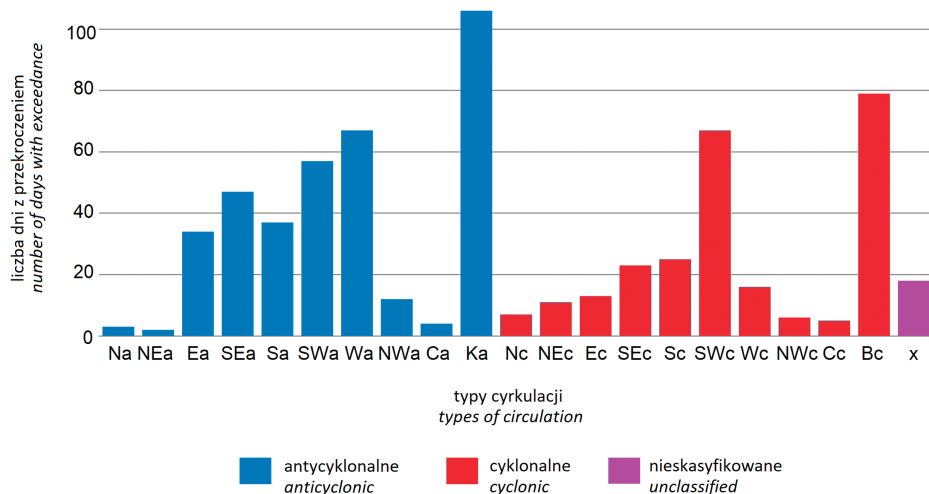
Jesienią wyższe średnie stężenia obserwowane były podczas występowania typów antycyklonalnych i wynosiły $34,3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, natomiast dla typów o charakterze cyklonalnym wynosiły $27,5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. W przypadku adwekcji południowej i południowo-zachodniej zaobserwowano maksymalną średnią wartość odpowiednio: $51,1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ dla typu Sa i $51,5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ dla typu SWa. Najmniejsze wartości pojawiły się w przypadkach napływu mas powietrza z kierunku północnego w typach cyklonalnych i antycyklonalnych.

W najchłodniejszym okresie, podobnie jak wiosną i jesienią, wyższe stężenie pyłu PM_{10} wystąpiło podczas cyrkulacji o charakterze antycyklonalnym (średnia wartość towarzysząca sytuacjom antycyklonalnym wynosiła $48,1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, a cyklonalnym – $42,7 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Największe stężenia pyłu zaobserwowano podczas antycyklonalnych adwekcji z sektora wschodniego i południowego – maksymalna wartość stężeń charakteryzowała typ SEc i wynosiła $67,4 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Natomiast najmniejsze wartości zaobserwowano podczas występowania cyklonalnych adwekcji z zachodu i północnego-zachodu z minimum w typie NWC ($19,3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$).

Podczas niesklasyfikowanych sytuacji synoptycznych wartości stężeń PM_{10} charakteryzowały się dużą zmiennością w ciągu roku, pomimo względnie równej liczebności tych sytuacji w poszczególnych sezonach (ryc. 1). Najmniejsze wartości stężenia PM_{10} dla sytuacji niesklasyfikowanych występowały latem ($18 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), z kolei największe – zimą ($75 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Wiosną i jesienią osiągały wartości średnie, odpowiednio: $32,2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ i $37,6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Cyrkulacyjne uwarunkowania występowania przekroczeń stężeń

Zestawienie występujących typów cyrkulacji i średnich dobowych wartości stężeń, pozwoliło na wskazanie skumulowanej liczby dni z wystąpieniem przekroczeń PM_{10} (zgodnie z normami zawartymi w Dyrektywie Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE z dnia 21 maja 2008 r.) w rozważanym okresie (ryc. 4). Można zauważyć, że typom cyrkulacji antycyklonalnej znacznie częściej towarzyszyły przekroczenia dopuszczalnych stężeń PM_{10} niż typom cyklonalnym. O częstych przekroczeniach (>100 dni) wartości $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ można mówić w przypadku klimatu antycyklonalnego (ryc. 5). Spośród typów cyrkulacji związanych z ośrodkiem wysokiego ciśnienia szczególnie dużą częstość przekroczeń można zaobserwować w przypadku adwekcji południowej i zachodniej (tj. SEa, Sa, SWa, Wa) – od 38 do 70 dni. Wysokie wartości stężeń PM_{10} pojawiały się najrzadziej (2–12 dni) podczas adwekcji mas powietrza z północy (Na, NEa, NWA), czy też w sytuacji, gdy centrum wyżu barycznego znajdowało się nad obszarem Polski (Ca).



Ryc. 4. Liczba dni z przekroczeniem dopuszczalnego średniego dobowego stężenia PM_{10} ($> 50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) w latach 2005–2013
Number of days with PM_{10} concentrations exceeding $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ in the years 2005–2013

Dla sytuacji cyklonalnych największą liczbę przekroczeń zaobserwowano podczas występowania bruzdy cyklonalnej (79 dni). Nieco mniejsza wartość pojawiła się przy adwekcji mas powietrza z południowego zachodu, podczas typu o charakterze cyklonalnym tj. SWc (67 dni). Pozostałym typom cyrkulacji związanym z ośrodkiem niskiego ciśnienia, przekroczenie wartości poziomu dopuszczalnego poziomu koncentracji PM_{10} towarzyszyło o wiele rzadziej (maksymalnie 25 dni dla typu Sc). Sytuacja występowania niżu nad Polską również wiązała się z bardzo rzadkim przekroczeniem wartości $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Przekroczenia towarzyszące typom cyrkulacji nie dającym się zaklasyfikować pojawiały się częściej niż w przypadku większości typów związanych z cyrkulacją o charakterze cyklonalnym (18 dni).

Podsumowanie

Głównym celem niniejszego artykułu było wskazanie typów cyrkulacji atmosferycznej sprzyjających występowaniu wysokich wartości stężeń PM_{10} w Poznaniu. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że charakter cyrkulacji oraz kierunek adwekcji mas powietrza są powiązane z wartościami stężenia pyłu zawieszonego w powietrzu. Jako przykład posłużyć może typ klina antycyklonalnego (Ka) oraz cyrkulacji zachodniej cyklonalnej (Wc). Pierwszy z nich występował łącznie przez ponad 400 dni, co stanowiło 13% przypadków. Podczas wystąpienia tej sytuacji zaobserwowano bardzo częste przekroczenie dopuszczalnych norm koncentracji pyłu PM_{10} $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (łącznie ponad 100 dni w latach

2005–2013). W przypadku typu cyrkulacji Wc o podobnej częstotliwości występowania wynoszącej 367 dni, stanowiącej 11,2% badanego okresu, zaobserwowano przekroczenia zaledwie przez 18 dni.

Przekroczenia dopuszczalnych stężeń pyłu zawieszonego w porze zimowej towarzyszyły utrzymującej się adwekcji mas powietrza z sektora południowego. Warto zwrócić uwagę na większy udział częstotliwości typów cyrkulacji południowej w półroczu zimowym. Typ SWc, gdzie liczba przekroczeń w latach 2005–2013 wyniosła 67 dni, w półroczu letnim występował przez ok. 4% czasu, a w półroczu zimowym przez ponad 9%. Średnie stężenie PM_{10} w tym typie wyniosło $38 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Podobnie tendencje obserwowano dla typu SWa, gdzie częstość w półroczu letnim wynosząca ponad 2%, wzrosła w kolejnej połowie roku do ponad 5,5%. Średnie stężenie PM_{10} przy tym typie cyrkulacji wyniosło $47 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, a normy zostały przekroczone w badanym okresie aż 57 razy.

Napływ powietrza z północy, nawet w porze zimowej, cechuje się niskimi średnimi stężeniami PM_{10} . Za typy cyrkulacji związane z niskimi stężeniami pyłu zawieszonego należy uznać te związane z adwekcją z północy i północnego zachodu (Na, Nc, NWA, NWc). Przykładem może być typ NWc, który kształtował pogodę w Polsce zachodniej przez około 6% badanego okresu, ze średnim stężeniem na poziomie $18 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. W powiązaniu z tym typem wystąpiło jedynie 6 dni z przekroczeniem dopuszczalnej normy koncentracji. Sytuacje synoptyczne związane z występowaniem centrum niżu (Cc), bądź wyżu barycznego (Ca) nad Polską pojawiały się we wszystkich porach roku dość rzadko (Cc: 0,58%, Ca: 0,78%) – równie rzadko sytuacjom tym towarzyszyły przekroczenia norm koncentracji PM_{10} , przy dość wysokich średnich dobowych stężeniach w granicach $30 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

W kształtowaniu koncentracji zanieczyszczeń główną rolę odgrywa ich emisja, a także zdolność dyspersji w przygruntowej warstwie powietrza powiązana z występowaniem określonych warunków meteorologicznych, których wpływ był przedstawiany w licznych badaniach (Czernecki i inni, 2016; Drzeniecka i inni, 2000). Wyniki niniejszej analizy są analogiczne do wyników badań przeprowadzanych dla innych obszarów Polski. Najwyższe wartości stężenia pyłu zawieszonego pojawiają się zimą przy adwekcji powietrza z sektora południowego (Jędruszkiewicz i inni, 2016; Leśniok i Caputa, 2009; Pietruczuk i Jarosławski, 2013; Radomski, 2008). Radomski (2008), odnosząc się do obszaru Wyżyny Śląskiej, wskazuje na wysokie wartości stężeń również podczas sytuacji centralnej antycyklonalnej, co nie znajduje odzwierciedlenia w niniejszej analizie. Podobny wniosek pojawia się w badaniach M. Leśnioka i Z. Caputy (2009), gdzie analizie poddano wartości stężeń pyłu zawieszonego w Katowicach. Analiza średnich stężeń względem cyrkulacji atmosferycznej dla Wyżyny Śląskiej wskazuje na przekraczanie norm stężeń dla każdego z typów klasyfikacji według T. Niedźwiedzia (Radomski, 2008). Wysokie wartości stężeń (ok. $125 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ w miesiącach zimowych) pyłu $PM_{2,5}$ pojawiają się w Krakowie (Jędruszkiewicz i inni, 2016). Na podstawie analiz przeprowadzonych dla innych miast w Polsce moż-

na stwierdzić, że Poznań jest atrakcyjniejszy pod względem warunków aero-sanitarnych od miast południowej Polski. Mimo zróżnicowania średnich stężeń zanieczyszczeń w Polsce, zawsze wskazuje się na występowanie najwyższych koncentracji w porze zimowej (Cembrzyńska i inni, 2015; Czarnecka i Nidzgorzka-Lencewicz, 2015; Pietruczuk i Jarosławski, 2013). Problem wysokich stężeń zanieczyszczeń nadal będzie aktualny szczególnie w tej porze roku – sprzyjające warunki meteorologiczne i większa emisja skutkują przekraczaniem dopuszczalnych norm stężeń pyłu PM_{10} .

Piśmiennictwo

- Anderson J.O., Thundiyil J.G., Stolbach A., 2012, *A review of the effects of particulate matter air pollution on human health*, Journal of Medical Toxicology, 8, 2, s. 166–175.
- Artiñano B., Salvador P., Alonso D.G., Querol X., Alastuey A., 2004, *Influence of traffic on the PM_{10} and $PM_{2.5}$ urban aerosol fractions in Madrid (Spain)*, Science of the Total Environment, 334-335, s. 111–123.
- Cembrzyńska J., Krakowiak E., Brewczyński P.Z., 2015, *Sezonowa zmienność stężenia pyłu zawieszonego oraz jakości powietrza na terenie miasta Sosnowiec*, Medycyna Środowiskowa, 18, 4, s. 27–35.
- Czarnecka M., Nidzgorzka-Lencewicz J., 2015, *Application of cluster analysis in defining the meteorological conditions shaping the variability of PM_{10} concentration*, Rocznik Ochrona Środowiska, 17, s. 40–61.
- Czernecki B., Pótrolniczak M., Kolendowicz L., Marosz M., Kendzierski S., Pilgaj N., 2016, *Influence of the atmospheric conditions on PM_{10} concentrations in Poznań, Poland*, Journal of Atmospheric Chemistry, 74, 1, s. 115–139.
- Drzeniecka A., Pereyma J., Pyka J.L., Szczurek A., 2000, *Wpływ warunków meteorologicznych na stężenie zanieczyszczeń powietrza w Śródmieściu Wrocławia*, Chemia i Inżynieria Ekologiczna, 7, 8–9, s. 865–882.
- Drzeniecka-Osiadacz A., Netzel P., 2010, *Wpływ warunków meteorologicznych oraz cyrkulacji atmosferycznej na stężenie PM_{10} we Wrocławiu*. Proceedings of ECOpole, 4, 2, s. 343–349.
- Godłowska J., Tomaszewska A.M., 2010, *Relations between circulation and winter air pollution in Polish urban areas*, Archives of Environmental Protection, 36, 4, s. 55–66.
- Jędruszkiewicz J., Piotrowski P., Pietras B., 2016, *Koncentracja zanieczyszczeń pyłowych powietrza $PM_{2.5}$ w Krakowie w latach 2010–2014*, Acta Geographica Lodziensia, 104, s. 123–135.
- Kampa M., Castanas E., 2008, *Human health effects of air pollution*, Environmental Pollution, 151, s. 362–367.
- Keuken M.P., Moerman M., Voogt M., Blom M., Weijers E.P., Röckmann T., Dusek U., 2013, *Source contributions to $PM_{2.5}$ and PM_{10} at an urban background and a street location*, Atmospheric Environment, 71, s. 26–35.

- Kozielska B., Rogula-Kozłowska W., Pastuszka J.S., 2009, *Wpływ ruchu drogowego na stężenia $PM_{2.5}$, PM_{10} i WWA w warunkach wysokiej i niskiej emisji komunalnej*, [w:] J. Ozonka, M. Pawłowska (red.), *Polska inżynieria środowiska pięć lat po wstąpieniu do Unii Europejskiej*, Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk, 58, 1, Lublin, s. 129–137.
- Leśniok M.R., Caputa Z.A., 2009, *The role of atmospheric circulation in air pollution distribution in Katowice Region (Southern Poland)*, *International Journal of Environment and Waste Management*, 4, 1/2, s. 62–74.
- Leśniok M., Małarzewski Ł., Niedźwiedź T., 2010, *Classification of circulation types for Southern Poland with an application to air pollution concentration in Upper Silesia*, *Physics and Chemistry of the Earth*, 35, 9–12, s. 516–522.
- Lewandowska A.U., Falkowska L.M., 2013, *High concentration episodes of PM_{10} in the air over the urbanized coastal zone of the Baltic Sea (Gdynia – Poland)*, *Atmospheric Research*, 120–121, s. 55–67.
- Niedźwiedź T., 2013, *Kalendarz typów cyrkulacji atmosfery dla Polski zachodniej*, Uniwersytet Śląski, Sosnowiec (komputerowy zbiór prywatny).
- Pietruczuk A., Jarosławski J., 2013, *Analysis of particulate matter concentrations in Mazovia Region, Central Poland, based on 2007–2010 data*, *Acta Geophysica*, 61, 2, s. 445–462.
- Radomski J., 2008, *Wpływ typów cyrkulacji na stężenie pyłu zawieszonego (PM_{10}) w zimie na Wyżynie Śląskiej*, *Problemy Ekologii*, 12, 4, s. 207–210.
- Raport Syntetyczny Inspekcji Ochrony Środowiska. Analiza stanu zanieczyszczenia powietrza pyłem PM_{10} i $PM_{2.5}$ z uwzględnieniem składu chemicznego pyłu oraz wpływu źródeł naturalnych*, 2011, Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, Warszawa.
- Skrzypski J., 1998, *Rola cyrkulacji atmosferycznej w kształtowaniu stopnia czystości powietrza napływającego nad aglomeracje miejsko-przemysłowe (na przykładzie Łodzi)*, *Acta Universitatis Lodzianensis, Folia Geographica Physica*, 3, s. 531–538.
- Wang W., Yu T., Ciren P., Jiang P., 2015, *Assessment of human health impact from PM_{10} exposure in China based on satellite observations*, *Journal of Applied Remote Sensing*, 9, 1.

Summary

Studies of high concentrations of particulate matter relate to many urban agglomerations in Poland and abroad, with the subject attracting attention on account of the negative effects on human health. In Poland is to comply with norms for permissible concentrations of pollutants set out in Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe. In the case of PM_{10} s, daily mean values of $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ should not be exceeded more than 35 times a year. Unfortunately, this does happen, given the inability of many Polish cities to fulfill these conditions. High con-

centrations of particulate matter and other pollutants are *inter alia* associated with weather conditions (e.g. wind speed and wind direction, air temperature and precipitation). More generally, the type of atmospheric circulation is believed to be important in analysing PM₁₀ concentrations, hence the research described here seeking to determine which types of circulation are liable to favour high concentrations of particulate matter.

To achieve the research objective, the authors used the calendar of circulation types after T. Niedźwiedź (2013), which assigns cyclonic and anticyclonic types, and within them advection or non-advection sub-types. Set against these conditions are average daily values recorded for PM₁₀s at two stations located in the western Polish city of Poznań. These data are for the period 2005–2013, with values from two stations averaged for each day of study. The first part of the analysis characterised the incidence of different types of circulation and climatological seasons, discovering that the proportionality of occurrence of cyclonic and anticyclonic situations are similar in the different seasons. Only in the case of autumn may a different pattern be observed, with anticyclonic types of circulation occurring more frequently.

The weather in western Poland was most often characterised by anticyclonic wedges (mean frequency of occurrence 12.6%), troughs of low pressure (mean frequency 12.5%) and types associated with advection from the west – i.e. NW, W, SW (mean for anticyclonic types 18.7%; cyclonic 24.5%). Type of circulation was found to exert a strong effect on concentrations of particulate matter, with these exemplified by occurrences of anticyclonic wedges (Ka) and instances of western cyclonic circulation (Wc). Observed over 400 days, the former accounted for 12.6% of the period under analysis, while being associated with exceedances of limit values on more than 100 days. In contrast, the western cyclonic situation, characterised by a frequency of 367 days over the 2005–2013 period (or 11.2%) was linked with exceedances on just 18 days. Circulation types associated with the southern sector in turn result in frequent exceedances of allowable concentrations of particulate matter in winter. These types are more often present in this season of the year than in others. Type SWc, associated with 67 days of exceedance of the 50 µg·m⁻³ limit over the years 2005–2013, occurred in spring and summer approximately 4% of the time, but over 9% of the time in autumn and winter. The mean PM₁₀ concentration coinciding with this type of circulation is 38 µg·m⁻³.

Similar tendencies were observed for type SWa, whose frequency in the first half of the year is 2%, as compared with over 5.5% in the next (autumn + winter) part of the year. The mean value for PM₁₀s occurring when this type is present reaches 47 µg·m⁻³, with exceedances arising much more often than with SWc – in fact on 57 days. The low frequency of occurrence of advection from the north (in winter especially) was associated with the most limited occurrence of

exceedances and with low concentrations of PM_{10} s. What are involved here are types of northerly or northwesterly influxes of air mass (i.e. Na, Nc, NWA and NWC). An example might be type NWC, which shaped weather in western Poland over 6% of the analysed period, and was associated with a mean PM_{10} concentration equal to $18 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, with only 6 days on which the value of $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ was exceeded.

