

Katarzyna Piotrowicz<sup>1</sup>, Dorota Myszkowska<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Zakład Klimatologii, Uniwersytet Jagielloński, k.piotrowicz@uj.edu.pl

<sup>2</sup>Zakład Alergologii Klinicznej i Środowiskowej, Uniwersytet Jagielloński

## Zmiany klimatu i ich wpływ na sezony pyłkowe wybranych roślin alergennych w Polsce

### Climate changes and their impact on pollen seasons of selected allergenic plants in Poland

**Streszczenie:** W Polsce notuje się wzrost zachorowalności na alergię pyłkową. Główną przyczyną objawów u osób uczulonych są występujące w powietrzu alergeny pyłku roślin wiatropylnych, głównie: olszy, leszczyny, brzozy, traw i ambrozji. Na sezonowe i dobowe stężenia ziaren pyłku duży wpływ mają warunki pogodowe oraz obserwowane współcześnie zmiany klimatu. W pracy przedstawiono prawidłowości w przebiegu wybranych sezonów pyłkowych w Polsce na tle zmienności klimatu. Stwierdzono, że w związku z nietypowymi, najczęściej łagodnymi zimami, zróżnicowanie dat początku sezonu pyłkowego olszy i leszczyny wynosi nawet dwa miesiące (styczeń–marzec). Intensywna cyrkulacja południkowa w kwietniu i maju doprowadza do wydłużenia sezonu pyłkowego brzozy i dodatkowego wzrostu dobowych wartości stężenia pyłku. Ponadto ziarna pyłku tego taksonu mogą pochodzić z tzw. dalekiego transportu, czyli z obszarów, gdzie kwitnienie brzozy występuje wcześniej (południe Europy) lub później (północno-wschodnia Europa) niż w Polsce. Wyższa suma opadów w kwietniu lub maju oraz wysokie wartości temperatury w czerwcu i lipcu, przy opadach w tych miesiącach w granicach normy, przyczyniają się do występowania wysokich stężeń ziaren pyłku traw. Natomiast z końcem sierpnia i na początku września adwekcja mas powietrza z południa lub wschodu i towarzysząca im słoneczna, sucha pogoda sprzyja wysokim stężeniom pyłku ambrozji.

**Słowa kluczowe:** sezony pyłkowe roślin, warunki meteorologiczne, zmiany klimatu

**Summary:** In Poland, an increase in the incidence of pollen allergy has been noted from the last decade. The main cause of allergic symptoms in patients are the airborne pollen allergens, to which the patients are sensitive, mainly: alder, hazel, birch, grass and ragweed pollen. Seasonal and daily concentrations of pollen grains are strongly influenced by weather conditions and currently observed climate changes. The paper presents regularities in selected pollen seasons in Poland against the background of climate variability. It

was found that due to atypical, usually mild winters, the diversity of dates of the beginning of the pollen season for alder and hazel is even two months (January–March). Intensive meridian circulation in April and May leads to an extension of the birch pollen season and an additional increase in daily pollen concentration. In addition, pollen grains of this taxon may originate from the long-range transport, i.e. from regions where birch blooming occurs earlier (south of Europe) or later (north-east Europe) than in Poland. Higher rainfall in April or May and high temperatures in June and July with precipitation in these months within normal limits contribute to the occurrence of high concentrations of grass pollen grains. However, at the end of August and beginning of September, advection of air masses from the south or east and the accompanying sunny, dry weather promotes high concentrations of ragweed pollen.

**Keywords:** plant pollen seasons, meteorological conditions, climate changes

## Wstęp

Warunki pogodowe mają bardzo duży wpływ na przebieg sezonów pyłkowych (m.in. ich początek, koniec, długość trwania i stężenie ziaren pyłku) oraz odległość, na jaką transportowane są ziarna roślin. Rytm biologiczny różnych taksonów roślin to „naturalny wskaźnik okresowych zmian i regionalnych różnic pogody” (Riabinin 1955). Rośliny reagują bowiem na cały kompleks warunków pogodowych, a nie tylko na poszczególne jego elementy. Obserwowane współcześnie zmiany warunków klimatycznych również nie pozostają bez wpływu na poszczególne fazy fenologiczne roślin oraz na dynamikę sezonów pyłkowych, w tym taksonów alergicznych. Znajomość sezonów pyłkowych tych roślin ma bardzo duże znaczenie przy ustaleniu etiologii – przyczyn chorób alergicznych (Harmata 1993), takich jak alergiczny nieżyt nosa i astma.

Choroby alergiczne stają się coraz większym problemem zdrowotnym w wielu krajach świata (Sofiev i in. 2009). W ocenie Światowej Organizacji Alergicznej (World Allergy Organization 2019) w 2050 roku na świecie będzie 4 mld alergików. Obecnie w Europie objawy alergii stwierdza się już u 30% populacji, wśród których 50% jest niezdiagnozowanych, a 20% to ciężkie przypadki chorobowe. Europejska Akademia Alergologii i Immunologii Klinicznej (European Academy of Allergy and Clinical Immunology – EAACI 2019) przewiduje, że w 2025 roku 50% mieszkańców Europy będzie dotkniętych jakimś rodzajem alergii (Pawankar 2014).

W Polsce również stwierdza się znaczny wzrost liczby osób z chorobami alergicznymi, a szczególnie od kilkunastu lat obserwuje się gwałtowny wzrost zachorowań na alergiczny nieżyt nosa (ANN) i astmę (Płusa 2013, Samoliński i in. 2014). Według badań w ramach projektu „Epidemiologia Chorób Alergicznych w Polsce (ECAP 2019)” już 40% Polaków jest alergikami, a obserwowane tempo wzrostu liczby chorujących na alergię i astmę doprowadzi w niedługim czasie do zrównania ich z liczbą osób zdrowych (Samel-Kowalik i in. 2009). Stwierdzono m.in., że szczególnie choroby alergiczne układu oddechowego są istotnym i narastającym problemem populacji polskiej. U przebadanych przeszło 18,5 tys. osób

u ponad 40% uzyskano dodatnie wyniki testów skórnych (SPT) na powszechnie występujące alergeny, a u prawie 50% rozpoznano jedną lub więcej objawów alergii, np. alergiczny nieżyt nosa (ANN), świszczący oddech, duszność astmatyczną (Samoliński i in. 2014, ECAP 2019). W Polsce zachorowalność z powodu astmy jest bardzo wysoka, a znaczny odsetek pacjentów nie wie o swojej chorobie (Komorowski 2012). Nierozpoznawalność astmy w Polsce sięga aż 70%, i to zarówno wśród mieszkańców miast, jak i terenów wiejskich (Samoliński i in. 2008).

Wśród dzieci w wieku 3–16 lat mieszkających w dużych miastach stwierdzono znacząco wyższą częstość chorób alergicznych niż u tych ze środowiska wiejskiego. Odpowiednie wartości wynosiły w przypadku astmy oskrzelowej 16,4 i 2,0%, a ANN – 38,8 i 10,8 (Samoliński i in. 2014). Wśród dzieci szkolnych (6–7-letnich i 13–14-letnich) przebadanych w Poznaniu i Krakowie w latach 1994/1995 i 2001/2002 wykazano, że w ciągu 7 lat pomiędzy badaniami częstość chorób alergicznych znacząco wzrosła (Lis i in. 2004). Wyniki badań prowadzonych w Krakowie w latach 2008–2017 w grupie ponad 70 tys. dzieci i młodzieży w ramach „Miejskiego Programu Profilaktyki Astmy i Chorób Alergicznych Dzieci i Młodzieży Szkolnej” wskazują, że występowanie alergicznego nieżytu nosa i astmy u uczniów szkół krakowskich było częstsze w porównaniu do wyników badań ogólnopolskich (Czarnobilska, Mazur 2016, ECAP 2019). Jako główną przyczynę tego zjawiska autorzy sugerują zanieczyszczenie powietrza w Krakowie i najbliższej okolicy. W raporcie ECAP stwierdzono także, że alergia u dzieci, młodzieży i młodych dorosłych, wśród których zachorowalność jest najwyższa, znacznie upośledza ich jakość życia i stanowi istotny problem wydolności edukacyjnej i zawodowej (ECAP 2019).

Z końcem XX i początkiem XXI wieku wyraźnie odczuwamy skutki zmian klimatu. Wzrasta częstość występowania m.in. bardzo łagodnych zim, upalnych sezonów letnich, długotrwałych susz i gwałtownych opadów. Ten wyraźny wzrost temperatury powietrza i zmienność pogody, a w dłuższym okresie obserwowane współcześnie zmiany klimatu, nie pozostały bez wpływu na fenologię roślin, a co za tym idzie na – czas i stężenie ziaren oraz zarodników grzybów powodujących choroby alergiczne. Podejmowane badania, m.in. w ramach projektu KLIMADA („Opracowanie i wdrażanie strategicznego planu adaptacji dla sektorów i obszarów wrażliwych na zmiany klimatu”), doprowadziły do powstania raportu „Ocena skutków możliwych zmian klimatu dla zdrowia człowieka” (Błażejczyk i in. 2011, 2012, 2015), w tym dotyczących chorób alergicznych. W Polsce pacjenci z alergią pyłkową najczęściej reaguje na trawy (90%; Obtulowicz i in. 1991) i brzozę, następnie olszę i leszczykę, a późnym latem i jesienią – bylicę i ambrozię (Kozłowska i in. 2007, Chłopek i in. 2008).

Celem niniejszej pracy jest przegląd wyników badań związanych z wieloletnim przebiegiem sezonów pyłkowych roślin wczesnowiosennych (olszy i leszczyki) oraz brzozy, traw i ambrozji w Krakowie na tle siedmiu stacji monitoringu aerobiologicznego w Polsce (Lublinie, Łodzi, Poznaniu, Rzeszowie, Sosnowcu, Szczecinie i Wrocławiu) w aspekcie zmian i zmienności klimatu. Szczególną uwagę zwrócono na wieloletnie zmiany dat początku sezonów oraz stężenie ziaren, w tym ich maksymalnych wartości w sezonie.

## Materiały źródłowe i metody opracowania

W pracy wykorzystano pomiary aerobiologiczne, które prowadzone są w Krakowie od 1991 roku. Jest to jedna z nielicznych stacji monitoringu aerobiologicznego w Polsce, która jest sytuowana w odległości 200 m od stacji meteorologicznej (Stacji Naukowej Zakładu Klimatologii UJ).

W opracowaniu wykorzystano także mapy synoptyczne z IMGW-PIB ([www.pogodynka.pl](http://www.pogodynka.pl)), „Kalendarz typów cyrkulacji...” Niedźwiedzia (2017) oraz trajektorie wsteczne z systemu numerycznego HYSPLIT ([www.arl.noaa.gov](http://www.arl.noaa.gov), Stein i in. 2015), opracowanego dzięki współpracy NOAA i Australijskiego Instytutu Meteorologii. Na jego podstawie wyznaczono tory ruchu cząstek powietrza, tzw. trajektorie wsteczne, do 4 dni wcześniej (96 godzin) na trzech wysokościach – 20, 500 i 1000 m n.p.g. Najniższy poziom reprezentuje wysokość, na której umieszczony jest aparat wolumetryczny (przyrząd do pomiarów ziaren pyłku), a najwyższy odzwierciedla swobodną atmosferę, gdzie zanika już oddziaływanie siły tarcia. Wysokość 500 m n.p.g. to poziom pośredni, na którym przepływ powietrza jest jeszcze silnie modyfikowany przez urozmaiconą rzeźbę terenu. Przyjęcie 96-godzinnego okresu, dla którego wyliczono trajektorie wsteczne, było związane z potrzebą sprawdzenia toru ruchu o znacznej długości, czasem potrzebnym do dokonania transformacji masy powietrza (minimum 3 dni), zmianami cyrkulacji atmosfery zachodzącymi nad Polską oraz możliwościami transportu ziaren poszczególnych taksonów na duże odległości sukcesywnym opadaniem ziaren podczas długotrwałego ich lotu. Szczegóły można znaleźć w artykule Szczepanka i in. (2017).

Daty początku sezonu pyłkowego olszy i leszczyny skorelowano z początkiem pierwszej termicznej pory roku – przedwiośnia, datą przejścia temperatury powietrza przez wartość progową, w tym przypadku 0°C. Do jej wyznaczenia posłużono się średnimi miesięcznymi wartościami temperatury powietrza i wzorem Gumińskiego (1950, Kossowska-Cezak i in. 2000). Zależność określono na podstawie współczynnika korelacji rang Spearmana i poziomie istotności 0,05.

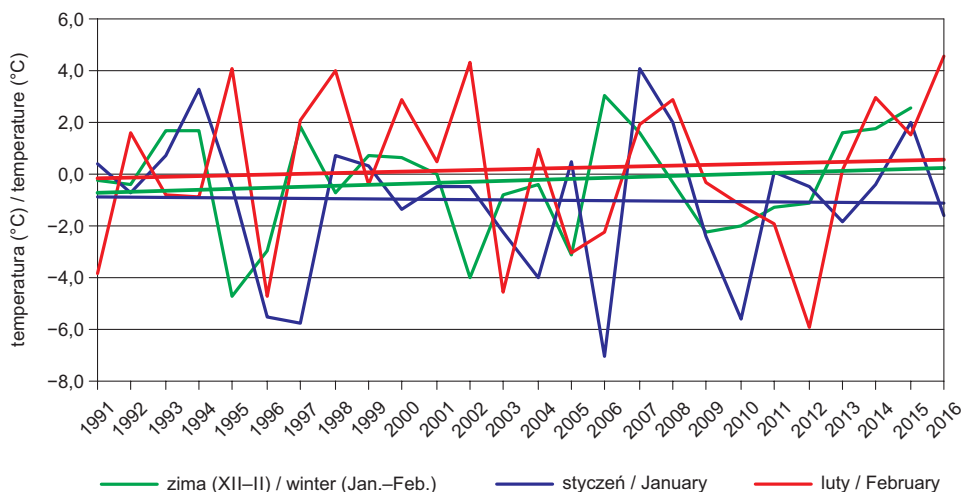
W celu analizy wieloletniej zmienności cyrkulacji atmosferycznej nad południową Polską posłużono się wartościami wskaźników opracowanymi przez Murray'a i Lewisa i zaadaptowanymi przez Niedźwiedzia (1995) do jego klasyfikacji. Wskaźnik oblicza się jako sumę wartości z dni, którym przypisuje się odpowiednie wartości. W przypadku wskaźnika cyrkulacji strefowej zachodniej są to wartości w dniach z adwekcją mas powietrza z kierunków: W +2, E -2, NW i SW +1, NE i SE -1, z pozostałych kierunków i typów cyrkulacji 0, a w przypadku cyrkulacji południkowej o składowej południowej: S +2, N -2, SW i SE +1, a NW i NE -1. Dodatnie wartości tych niemianowanych wskaźników występują przy przewadze cyrkulacji odpowiednio zachodniej i południowej, natomiast ujemne – przy wschodniej i północnej. Wartości w pobliżu 0 informują o równowadze między cyrkulacją zachodnią i wschodnią (w przypadku wskaźnika strefowego) oraz z południa i północy (wskaźnika południkowego) lub gdy występuje intensywny przepływ powietrza z drugiego z wymienionych kierunków, czyli gdy wskaźnik strefowy równa się 0, to dominuje przepływ południkowy. Stąd w opracowaniu podano wartości obu wskaźników.

## Sezon pyłkowy olszy (*Alnus*) i leszczyny (*Corylus*)

Pierwsze w sezonie, wśród roślin o właściwościach alergicznych, pojawiają się w powietrzu ziarna pyłku olszy i leszczyny. Wśród tych dwóch drzew wczesnowiosennych to zakwitanie i pylenie leszczyny jest zjawiskiem charakterystycznym dla pierwszej fenologicznej pory roku, tj. zarania wiosny (Tomaszewska, Rutkowski 1999). Zaranie wiosny, często utożsamiane również z przedwiośniem, charakteryzuje się budzeniem ze spoczynku zimowego przede wszystkim tych drzew i krzewów, które rozwijają pąki kwiatowe przed rozwojem liści. Należy do nich m.in. właśnie leszczyna, której początek sezonu pyłkowego jest jednym ze wskaźników końca okresu zimowego i rozpoczęcia wegetacji.

Od końca lat 1980. warunki termiczne w okresie zimowym w Polsce były niezwykle zróżnicowane (Piotrowicz 2002–2003, 2004, Domonkos i in. 2003). Zimy były na ogół bardzo ciepłe, z niewielką i krótko zalegającą pokrywą śnieżną. Pojawiały się oczywiście spadki temperatury powietrza, nawet znacznie poniżej 0°C, niemniej jednak były one krótkotrwałe i przeplatane okresami odwilży, o temperaturze maksymalnej nawet do 10°C (Matuszko i in. 2004). Przykładem dużego zróżnicowania temperatury powietrza w okresie zimowym jest jej przebieg w Krakowie (ryc. 1). Temperatura stycznia i lutego wprawdzie nie wykazywała wyraźnej tendencji zmian, ale z roku na rok wahała się w bardzo dużych granicach. Wartości odchylenia standardowego wynosiły w styczniu 2,8°C, a w lutym 2,9°C. Najcieplejszy był styczeń 2007 (4,1°C) oraz luty 2002 roku (4,3°C), natomiast najchłodniejszy – styczeń 2006 (–7,0°C) oraz luty 2012 roku (–5,9°C) (ryc. 1).

Tak zróżnicowane warunki termiczne w tych miesiącach niewątpliwie miały duży wpływ na datę początku sezonów pyłkowych analizowanych drzew. Na

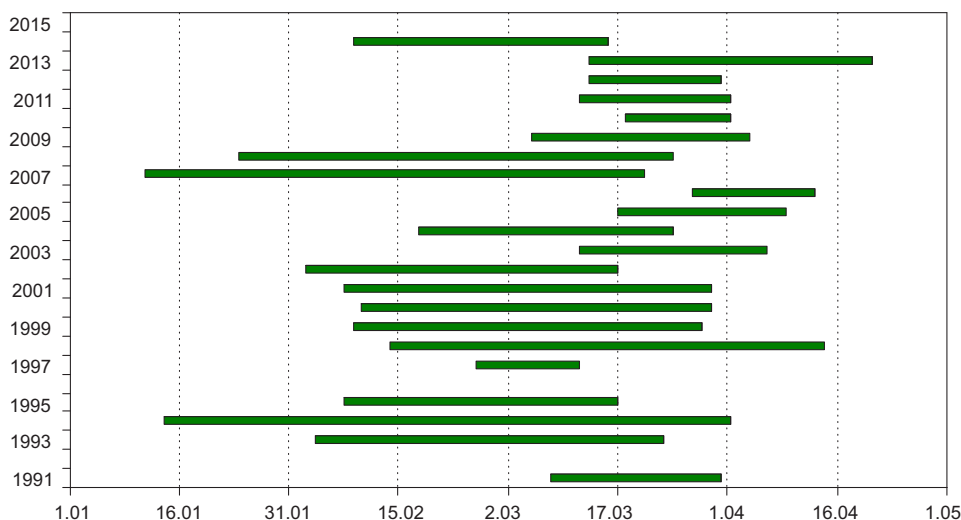


Ryc. 1. Średnia temperatura powietrza w zimie (XII–II) oraz w styczniu i lutym wraz z liniami trendu w Krakowie w latach 1991–2016

Fig. 1. Mean air temperature in winter (Dec.–Feb.), January and February and linear trend in Kraków in the period 1991–2016

rycynie 2 przedstawiono początek, koniec i długość sezonu pyłkowego leszczyny w Krakowie, który dość dobrze reprezentuje warunki panujące w całej Polsce, co jest efektem porównania odpowiednich wartości na pozostałych siedmiu stacjach monitoringu aerobiologicznego (Weryszko-Chmielewska 2007, 2014). Z danych wynika, że czas trwania sezonu wahał się w bardzo dużych granicach, od 16 dni w 2010 roku (18.03–1.04) do 79 dni w 1994 roku (13.01–1.04).

Kolejnym dowodem na wpływ temperatury powietrza na analizowane sezony pyłkowe jest bardzo silna korelacja początku sezonów z datą początku termicznego przedwiośnia, czyli przejścia średniej miesięcznej temperatury przez próg  $0^{\circ}\text{C}$ . Zależność tę przedstawiono na rycinie 3. Warto jednak zwrócić uwagę, że nie w każdym roku można wyznaczyć dokładną datę początku termicznego przedwiośnia. Wynika to z faktu, że na przełomie roku średnia miesięczna temperatura w Krakowie nie była niższa od  $0^{\circ}\text{C}$ , czyli przedzime przechodziło bezpośrednio w przedwiośnie. Termiczna zima wówczas nie wystąpiła lub była bardzo krótka. Również na podstawie średniej dobowej temperatury powietrza nie udało się jednoznacznie wyznaczyć daty początku przedwiośnia w styczniu lub w lutym. Przykładem mogą być uznawane za miesiące zimowe (styczeń, luty) w latach: 1998, 2007, 2008 i 2015 (ryc. 3). Z początkiem tych lat temperatura w wielu dniach znacznie przekraczała  $0^{\circ}\text{C}$ , stąd sezon pyłkowy olszy i leszczyny występował bardzo wcześnie, w skrajnym przypadku już 9 stycznia 2007 roku (ryc. 2). Warto jednak pamiętać, że mimo stosunkowo wysokiej temperatury powietrza w grudniu olsza i leszczyna raczej nie będą kwitły i uwalniały pyłku, gdyż dzień jest wówczas za krótki, a drzewa reagują też na światło.

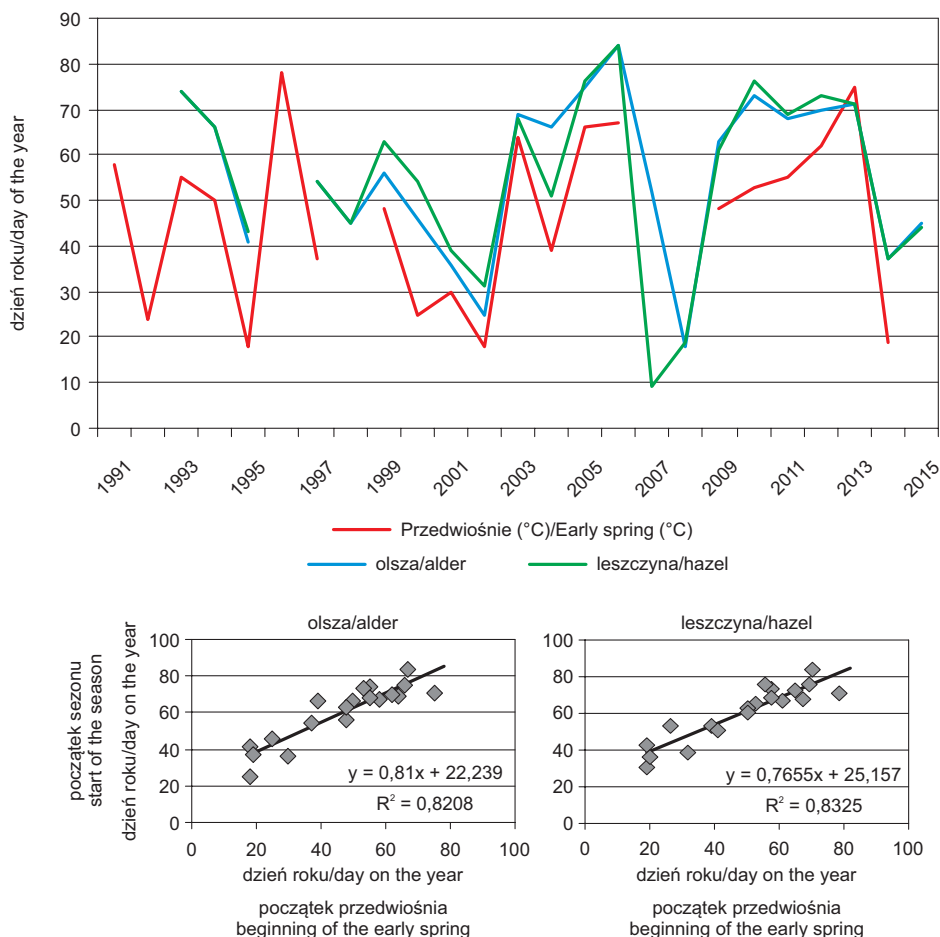


Ryc. 2. Dаты początku, końca i długość trwania sezonu pyłkowego leszczyny w Krakowie w latach 1991–2015

Fig. 2. Start date, end date and duration of the hazel pollen seasons in Kraków in the period 1991–2015



We wcześniejszych opracowaniach (np. Piotrowicz, Myszkowska 2006) stwierdzono, że na początek kwitnienia leszczyny i olszy duży wpływ mają warunki pogodowe panujące jeszcze podczas zimy. Wystarczy kilka bardzo ciepłych i słonecznych dni w drugiej połowie stycznia i w lutym, aby w powietrzu pojawiły się pierwsze ziarna tych drzew. Zima termiczna wcale w tym czasie nie musi się skończyć, ponieważ po kilku, kilkunastu dniach ciepłych następuje jej nawrót. W tym ciepłym okresie leszczyna i olsza zaczynają jednak kwitnąć i uwalniać pyłek. Co ciekawe, na podstawie obserwacji w Krakowie stwierdzono, że jeśli wówczas zalega jeszcze pokrywa śnieżna, to ziarna pyłku tych drzew prawie nie występują mimo dogodnych warunków termicznych. Taka sytuacja miała miejsce m.in. w 2013 roku (Myszkowska i in. 2014).

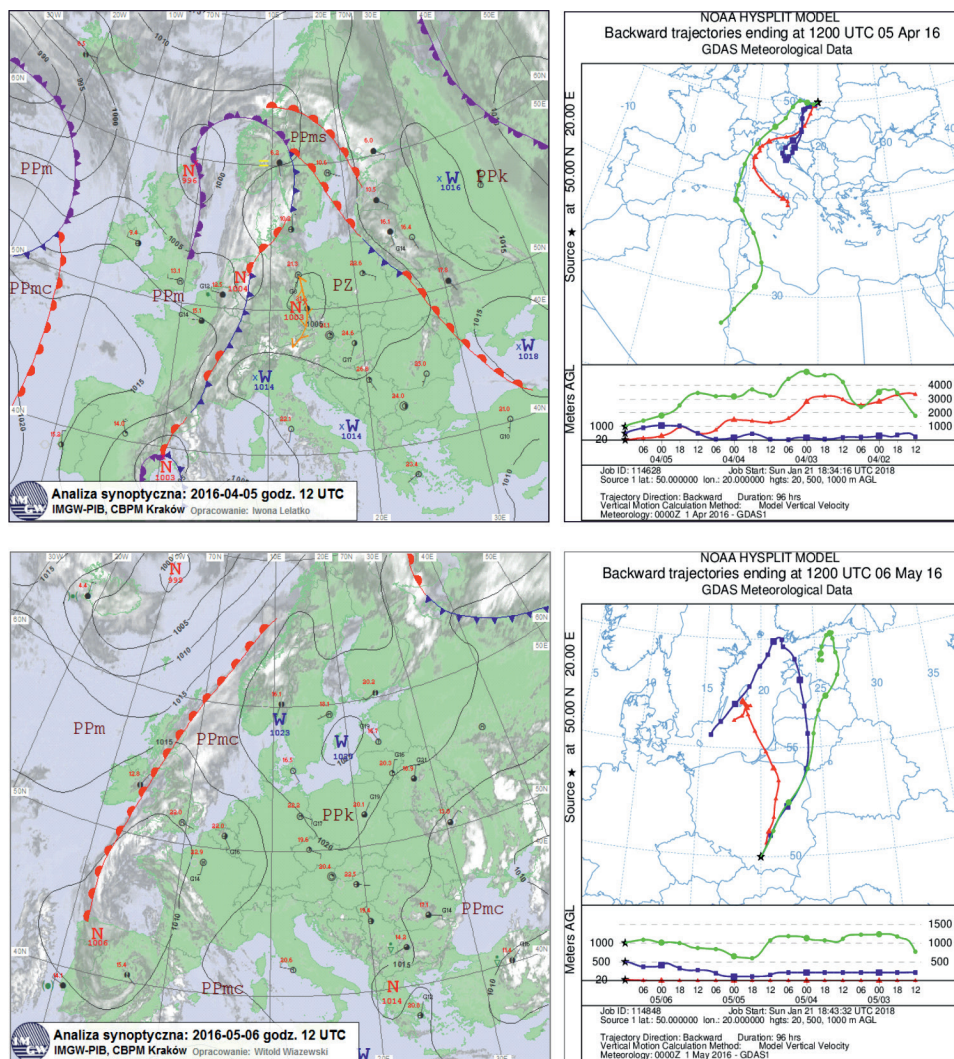


Ryc. 3. Dаты początku sezonów pyłkowych olszy i leszczyny, początku przedwiośnia oraz ich wykresy rozrzutu w Krakowie w latach 1991–2015

Fig. 3. Start and end dates of hazel and alder pollen seasons, the beginning of the early spring and their scatter plot in Kraków in the period 1991–2015

## Sezon pyłkowy brzozy (*Betula*)

W przypadku sezonu pyłkowego brzozy w kontekście zmian i zmienności klimatu zwrócono uwagę na pojawiające się w niektórych sezonach bardzo wysokie stężenia dobowe ziaren tego taksonu w Polsce na początku lub nawet tuż przed rozpoczęciem sezonu albo pod jego koniec (Myszkowska i in. 2018, Bogawski i in. 2019). Zauważono bowiem, że ziarna pyłku brzozy nie tylko pochodzą z lokalnych

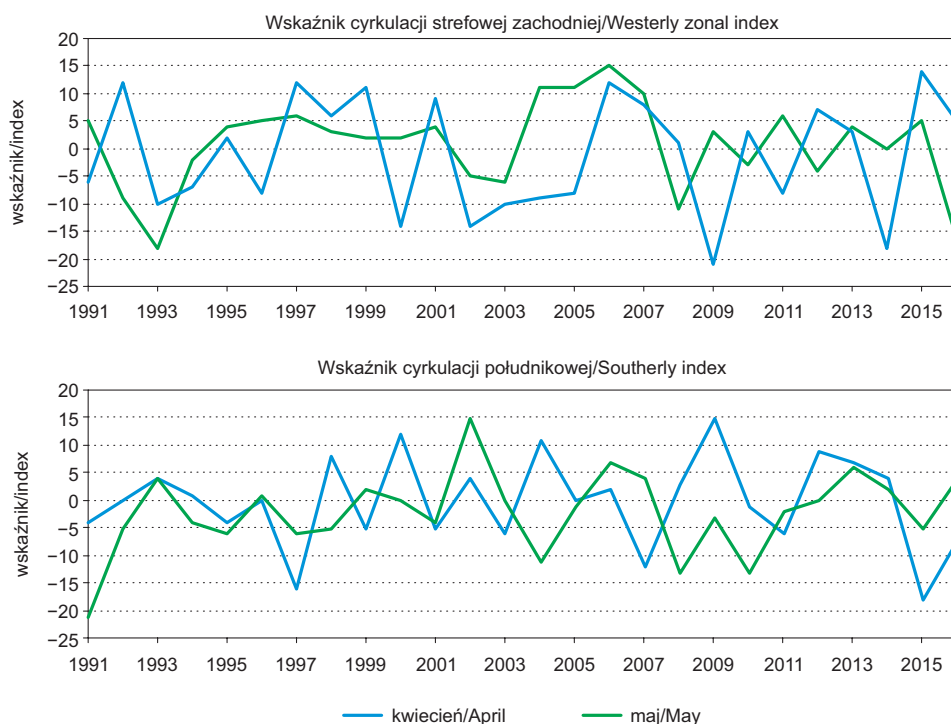


Ryc. 4. Mapy synoptyczne i trajektorie wsteczne w dniu 5 kwietnia i 6 maja 2016 roku  
 Źródło: IMGW-PIB (www.pogodynka.pl), system numeryczny HYSPLIT (www.arl.noaa.gov).

Fig. 4. Maps of synoptic situations and back trajectories on 5<sup>th</sup> April and 6<sup>th</sup> May 2016  
 Source: IMWM-NRI (www.pogodynka.pl), HYSPLIT numerical system (http://www.arl.noaa.gov).



źródeł, ale z uwagi na ich wielkość (choć nie są to najmniejsze ziarna wśród innych roślin alergicznych) i oczywiście aerodynamiczny kształt, niemal co roku są transportowane z odległych źródeł (tzw. dalekiego transportu; Bogawski i in. 2019). Jeśli w kwietniu rozkładowi ciśnienia w Europie Środkowej towarzyszy adwekcja mas powietrza z południa Europy (ryc. 4), to wówczas warunki takie sprzyjają wzrostowi koncentracji ziaren pyłku brzozy z tej części kontynentu, gdzie kwitnienie tego taksonu występuje wcześniej niż w Polsce. Analogicznie z końcem maja wtórne maksimum stężenia jest spowodowane dalekim transportem pyłku z północnej i północno-wschodniej Europy (zwłaszcza znaną z Fennoskandii) (ryc. 4). Warto nadmienić, że takie sytuacje związane z dalekim transportem ziaren są bardzo niebezpieczne dla alergików, gdyż najczęściej nie są oni przygotowani na tak wczesne lub jeszcze dodatkowo późne wysokie stężenia ziaren. Przykładem tego typu sytuacji był m.in. sezon w 2016 roku (Myszkowska i in. 2018). Około tygodnia przed rozpoczęciem sezonu pyłkowego w południowej części kraju stężenie ziaren brzozy w dniach 4–7 kwietnia dochodziło nawet do 4 tys. w  $m^3$  (Wrocław, Sosnowiec) i było związane z adwekcją mas powietrza z południa (ryc. 4). Warto nadmienić, że stężenie dobowe powyżej 90 ziaren/ $m^3$  powoduje nasilone objawy



Ryc. 5. Wartości wskaźnika cyrkulacji strefowej i południkowej w południowej Polsce w latach 1991–2017 (na podstawie klasyfikacji Niedźwiedzia 1995, 2017)

Fig. 5. Values of the westerly zonal index in southern Poland in the period 1991–2017 (based on the classification by Niedźwiedź 1995, 2017)

u chorych, a powyżej 155 ziaren/m<sup>3</sup> objawy duszności (Samoliński i in. 2010). Tak gwałtownie rozpoczynający się sezon miał więc bardzo negatywne skutki dla osób uczulonych, zwłaszcza że towarzyszyło mu synergiczne oddziaływanie pyłu z nad Sahary, który dotarł do Polski w tych dniach (Myszkowska i in. 2018). Po zakończeniu głównego sezonu pyłkowego brzozy w omawianym roku (ok. 24 kwietnia 2016 roku) jeszcze z początkiem maja (5–7 maja) zaobserwowano dość wysokie stężenia pyłku tego taksonu. Tym razem rozkład ciśnienia spowodował adwekcję mas powietrza polarnego kontynentalnego z północno-wschodniej części Europy, a wraz z nim ziaren pyłku brzozy z Białorusi, Litwy, Łotwy, Estonii, Rosji i Finlandii (Myszkowska i in. 2018, Bogawski i in. 2019).

Postanowiono więc sprawdzić, czy zaznacza się jakaś tendencja zmian sytuacji synoptycznych w kwietniu i maju, które sprzyjają adwekcji ziaren pyłku brzozy z dalekiego transportu. W tym celu obliczono wartości wskaźników: strefowego i południkowego dla południowej Polski, korzystając z „Kalendarza typów cyrkulacji...” Niedźwiedzia (2017). Zmienność wartości tych wskaźników w latach 1991–2016 przedstawiono na rycinie 5. Nie stwierdzono wyraźnej tendencji zmian wartości wskaźników w analizowanych miesiącach, niemniej jednak zarówno w kwietniu, jak i maju zdarzają się lata, w których zaznacza się przewaga cyrkulacji południkowej ze składową południową (dodatnie wartości wskaźnika) lub północną (ujemne wartości).

## Sezon pyłkowy traw (*Poaceae*)

Ziarna pyłku traw są najczęstszą przyczyną dolegliwości alergicznych u osób uczulonych na pyłek w Europie, w tym także w Polsce (Samoliński i in. 2014). Ponadto okres ich pylenia jest stosunkowo długi (3–4 miesiące), co jest związane z dużą liczbą gatunków reprezentujących tę rodzinę. Badania porównawcze dowiodły, że początek sezonu pyłkowego traw w Polsce w latach 1992–2014 (wspólny okres dla wszystkich stacji 2003–2012) był dość stabilny (Myszkowska i in. 2015) (tab. 1). Przypadał średnio około 20 maja, przy czym nieco wcześniej w południowej Polsce (we Wrocławiu, Sosnowcu, Krakowie i Rzeszowie) (tab. 1). Daty końca sezonu były zdecydowanie bardziej zróżnicowane w czasie i przestrzeni. Wahaly się od drugiej połowy lipca do połowy września. Stwierdzono także, że stężenia pyłku traw w dużym stopniu zależą od temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w okresie kwiecień–sierpień (Myszkowska i in. 2015). Między innymi suma ziaren w czerwcu na większości analizowanych stacji była dodatnio skorelowana z temperaturą w tym miesiącu, od 0,68 w Rzeszowie ( $p < 0,05$ ) do 0,13 w Poznaniu ( $p > 0,05$ ). W przypadku Szczecina to suma ziaren w lipcu okazała się silniej skorelowana ze średnią temperaturą w tym miesiącu ( $r = 0,55$ ,  $p < 0,05$ ). W przypadku miesięcznych i sezonowych (V–VIII, VI–VIII) sum opadów atmosferycznych również zaznacza się dodatnia, na większości stacji istotna statystycznie, korelacja z sumą ziaren w sezonie pyłkowym traw (Myszkowska i in. 2015). Dlatego też stwierdzono, że:

- bardzo ciepłe miesiące letnie (VI–VIII), z niewielką sumą opadów (czyli ciepłe i suche lato), nie sprzyjają wysokiej sumie ziaren w sezonie, podobnie jak chłodne i deszczowe,
- najwyższe sumy ziaren na wszystkich analizowanych stacjach wystąpiły w miesiącach bardzo ciepłych i wilgotnych (np. 1997 i 2010) lub bardzo ciepłych i z opadami w normie (np. 2011 i 2014).

Tabela 1. Charakterystyka sezonów pyłkowych traw w wybranych miastach w Polsce (opracowano na podstawie Myszkowska i in. 2015)

Table 1. Grass pollen season characteristics in selected Polish cities (based on Myszkowska et al. 2015)

	Rzeszów 1997– 2010	Kraków 1992– 2014	Sosnowiec 1997– 2014	Wrocław 2003– 2014	Lublin 2001– 2014	Łódź 2003– 2014	Poznań 1996– 2014	Szczecin 2000– 2014
Początek/Beginning								
Średnia data/Mean	17.05	17.05	17.05	15.05	24.05	20.05	23.05	22.05
Min (rok/year)	09.05 (2000, 09, 10)	02.05 (2009)	04.05 (2000)	27.04 (2007)	15.05 (2001, 02)	01.05 (2014)	12.05 (2002)	03.05 (2000)
Max (rok/year)	27.05 (2005)	04.06 (1996)	03.06 (2010)	30.05 (2010)	01.06 (2006)	29.05 (2004)	5.06 (1997)	07.06 (2010)
Koniec/End								
Średnia data/Mean	06.08	11.08	02.09	17.08	17.08	13.08	16.08	04.09
Min (rok/year)	16.07 (2008)	22.07 (2003)	12.08 (2011)	26.07 (2010)	04.08 (2010)	18.08 (2014)	25.07 (1999)	22.08 (2007)
Max (rok/year)	20.08 (2005)	02.09 (1994)	24.09 (1998)	06.09 (2006)	30.08 (2011)	27.08 (2009)	5.09 (2006)	15.09 (2004)
Długość/Duration								
Średnia Mean	82	87	110	94	85	86	86	106
Min (rok/year)	61 (2008)	66 (2012)	76 (2010)	58 (2010)	67 (2010)	57 (2004)	65 (1999)	80 (2010)
Max (rok/year)	98 (2000)	109 (2004)	134 (1998)	118 (2011)	100 (2011)	101 (2009)	105 (2012)	132 (2000)
Suma ziaren w sezonie w m <sup>3</sup> /Seasonal pollen index (PG/m <sup>3</sup> )								
Średnia Mean	4896	2317	4256	2642	5965	3491	3995	5738
Min (rok/year)	3693 (2000)	805 (1995)	1770 (1998)	2120 (2011)	4106 (2011)	2329 (2012)	2328 (2000)	1983 (2000)
Max (rok/year)	6056 (2011)	5666 (1997)	6474 (2000)	3184 (2010)	7939 (2010)	4555 (2005)	7522 (1997)	8389 (2014)

## Sezon pyłkowy ambrozji (*Ambrosia*)

Ambrozja jest rośliną o właściwościach alergizujących, która dotarła do Polski z końcem lat 60. wraz z transportem zboża ze Stanów Zjednoczonych. Rośnie na terenach ruderalnych, przy drogach, wzdłuż linii kolejowych, stacjach przeładunkowych, elewatorach zbożowych. Łatwo się rozprzestrzenia, choć w Polsce należy do efemerofitów, czyli gatunków pojawiających się przejściowo i szybko wymierających.

W Polsce stanowiska ambrozji są niewielkie, dlatego też większość ziaren pochodzi z dalekiego transportu (Stępalska i in. 2017). Co ważne, już stosunkowo niskie ich stężenie ( $\geq 10$  ziaren/m<sup>3</sup>) może stanowić zagrożenie dla osób uczulonych. W latach 2003–20017 najwięcej takich dni notowano na południu Polski, zwłaszcza w Rzeszowie i Sosnowcu (odpowiednio 116 i 107), natomiast najmniej w Poznaniu (32) i Szczecinie (31), czyli w północno-zachodniej części kraju. Zauważono bowiem, że wysokie stężenia ambrozji nie występują synchronicznie w całej Polsce i do tego w niektórych sezonach można wyróżnić trzy okresy ich występowania: 1) tylko w południowej części kraju (Rzeszów, Sosnowiec, Wrocław oraz Kraków), choć w ostatnim z wymienionych miast czasami wysokie stężenie nie występowało równocześnie z innymi wymienionymi miastami, 2) w południowo-wschodniej i środkowej części kraju (Sosnowiec, Rzeszów, Lublin, Łódź) i 3) w niemal całej Polsce, choć czasami wysokie stężenie ziaren w Szczecinie nie występowało równocześnie z pozostałymi miastami. Tak niestandardowo wyróżnione okresy i regiony wysokich stężeń ambrozji przeanalizowano na tle towarzyszących im warunków meteorologicznych i trajektorii wstecznych (Stępalska i in. 2017). Stwierdzono, że najczęściej wysokie stężenie ziaren występowało, gdy nad Polskę napływały masy powietrza z sektora południowego (S, SE, SW; 44%) i wschodu (E; 6%) oraz w tzw. sytuacjach bezadwekcyjnych (25%). Łącznie takie przypadki stanowiły aż 75%. Zauważone wysokie stężenie ziaren ambrozji występujące jedynie lokalnie, na 1–2 stacjach, zwłaszcza w Poznaniu i Szczecinie, związane było z napływem mas powietrza z zachodu (z terenu Niemiec), zaś niskie stężenie ziaren pyłku jedynie w Krakowie, gdy na sąsiednich stacjach (Sosnowiec, Rzeszów, a nawet Lublin i Łódź) było ono wysokie, może wynikać z położenia geograficznego Krakowa, w dnie doliny Wisły, w odległości około 100 km od Tatr. Napływające masy powietrza z południa z ziarnami pyłku ambrozji, przemieszczając się obniżeniami (Brama Morawska, Przełęcz Dukielska) bezpośrednio docierają m.in. do Sosnowca, Rzeszowa i dalej na północ. Nad Krakowem mogą być transportowane z prądami górnymi, wynikającymi z ich wyniesienia spowodowanego barierą górską, i opaść na powierzchnię dopiero w środkowej części kraju, natomiast w Krakowie – tylko przy ściśle określonych warunkach pogodowych. Mechanizm transportu ziaren pyłku ambrozji do Polski, wraz z innymi alergenami, zanieczyszczeniami chemicznymi i cząstkami mineralnymi z Sahary, opisali Grewling i in. (2019).

## Podsumowanie i wnioski

Postępujące zmiany klimatu oraz wzrost zachorowalności na alergię pyłkową będą stanowić poważne wyzwanie dla ludzkości w najbliższej przyszłości. Nasilenie objawów, takich jak kichanie, wyciek wodnistej wydzieliny z nosa oraz jego niedrożność, a także często towarzyszące zapalenie spojówek, wpływa na jakość życia i samopoczucie chorych (niedogodności w codziennym życiu pacjenta), zaburzenie snu, naukę i pracę, zwłaszcza młodych pracujących. Najwyższy odsetek zachorowań, przypadający na grupę wiekową dzieci, młodzieży i dorosłych do 40. roku życia, znacznie upośledza jakość ich życia (Samoliński i in. 2008). Stanowi więc istotny problem wydajności edukacyjnej i zawodowej. Zdaniem Bousquet i in. (2001) często nie docenia się ekonomicznych skutków, jakie powoduje występowanie alergicznego nieżyty nosa. Choroba bowiem nie przyczynia się zwykle do wzrostu kosztów bezpośrednich, niemniej koszty pośrednie są poważne.

Na podstawie kilkunastoletnich już badań autorek, prowadzonych także we współpracy z naukowcami z innych ośrodków w Polsce i Europie, można stwierdzić, że w związku z łagodnymi zimami, podczas których jednak występują krótkotrwałe okresy z niskimi wartościami temperatury powietrza i pokrywą śnieżną, zróżnicowanie dat początku sezonu pyłkowego olszy i leszczyny wynosi nawet dwa miesiące (styczeń–marzec). Trudno przy tak zmieniającym się z roku na rok początku sezonu pyłkowego tych drzew wczesnowiosennych odpowiednio wcześniej przygotować się i wdrożyć odpowiednią immunoterapię alergenową.

Ważny w analizie sezonów pyłkowych roślin, głównie brzozy, a także ambrozji jest fakt, że aerodynamiczny kształt ziaren sprzyja ich transportowi nawet na bardzo duże odległości (setki kilometrów). Może to powodować reakcje alergiczne u osób znajdujących się daleko od źródeł alergenu. Przykładem jest właśnie daleki transport ziaren pyłku ambrozji (Smith i in. 2008, Kasprzyk i in. 2011) i brzozy (Siljamo i in. 2008, Bogawski i in. 2019). Pojawiająca się cyrkulacja południkowa, m.in. adwekcja mas powietrza z południa Europy z końcem kwietnia, a w maju ze Skandynawii, doprowadza do wydłużenia sezonu pyłkowego brzozy i dodatkowego wzrostu dobowych wartości stężenia. Ziarna tego taksonu mogą bowiem występować również z tzw. dalekiego transportu, czyli z obszarów, gdzie kwitnienie brzozy następuje wcześniej lub później niż w Polsce. Natomiast z końcem sierpnia i na początku września adwekcja mas powietrza z południa lub wschodu i towarzysząca im słoneczna, sucha pogoda sprzyja wysokim stężeniom ziaren pyłku ambrozji.

W Polsce najwięcej alergików jest uczulonych na pyłek traw. O ile początek tego sezonu pyłkowego jest dość stabilny, to dobowe stężenia i sezonowa suma ziaren jest bardzo zróżnicowana. Zależą one m.in. od warunków termicznych i opadowych w danym sezonie. W cieplejszych warunkach pogodowych i klimatycznych, a właśnie wzrost temperatury jest jednym z następstw zmian klimatu, rośliny produkują większe ilości pyłku (Cecchi i in. 2010, Ziska, Beggs 2012). W przypadku sezonu pyłkowego traw nie tylko temperatura powietrza ma znaczenie, ale również opady atmosferyczne. Stwierdzono, że wyższa suma opadów w kwietniu lub maju oraz wysokie wartości temperatury w czerwcu i lipcu przy



opadach w tych miesiącach w granicach normy przyczyniają się do występowania wysokich stężeń ziaren pyłku traw.

Nie bez znaczenia jest też środowisko, w którym żyją osoby uczulone. Szczególnie wyraźnie obserwuje się zwiększony udział procentowy chorych na alergię pyłkową i astmę oskrzelową na obszarach zurbanizowanych (Peternel i in. 2004). Uważa się bowiem, że zanieczyszczenie powietrza w mieście może dodatkowo przyczyniać się do wzrostu częstości występowania chorób alergicznych i nasilenia objawów u pacjentów. Badania wskazują, że efekt uczulający wzmaga się zawarte w powietrzu: dwutlenek siarki, dwutlenek azotu, tlenek węgla (Ruffin i in. 1986), spaliny silników wysokoprężnych (Diaz-Sanchez i in. 1991), pył zawieszony (Obtułowicz i in. 1996) i ozon (Jörres i in. 1996). Dlatego też wielu autorów, w tym Burr i in. (2003) oraz Nicolaou i in. (2005), wskazuje na to, że mimo większego stężenia pyłków roślin na obszarach wiejskich, częstość występowania uczulenia na ziarna pyłku jest niższa u osób mieszkających na wsi niż w mieście. Na terenach zurbanizowanych, o dużym zanieczyszczeniu powietrza, dochodzi bowiem do zmian w strukturze białek alergennych, co może nasilać reakcje alergiczne u chorych (Beck i in. 2013). Często bowiem wysokie stężenia olszy, leszczyny i brzozy nakładają się na wysokie stężenie zanieczyszczeń, w tym pyłu zawieszonego (Ziemianin i in. 2016). Alergeny obecne na powierzchni ziaren pyłku mogą także zostać przeniesione na cząstki pyłu zawieszonego (PM10 i PM2,5). Same ziarna pyłku roślin, z uwagi na ich wielkość (nie mniejszą niż 15  $\mu\text{m}$ ), są głównie odpowiedzialne za objawy alergiczne spojówek, nosa, skóry i górnych dróg oddechowych. Alergeny z cząstek pyłów zawieszonych mogą z łatwością docierać do najdalszych części układu oddechowego i powodować silne napady astmy oskrzelowej.

Alergicy, zwłaszcza mieszkający w dużych miastach, powinni być przygotowani na pojawiające się dynamiczne zmiany sezonów pyłkowych, co jest (i będzie) następstwem postępujących zmian klimatu.

## Literatura

- Beck I., Jochner S., Gilles S., McIntyre M., Buters J.T.M., Schmidt-Weber C., Behrendt H., Ring J., Menzel A., Traidl-Hoffmann C. 2013: High environmental ozone levels lead to enhanced allergenicity of birch pollen. *PLOS-ONE*, 8(11): 1–7, doi.org/10.1371/journal.pone.0080147.
- Błażejczyk K., Baranowski J., Błażejczyk A. 2015: Wpływ klimatu na stan zdrowia w Polsce: stan aktualny oraz prognoza do 2100 roku. IGiPZ PAN, Warszawa.
- Błażejczyk K., Piotrowicz K., Kuchcik M., Myszkowska D., Skotak K., Kunert A., Idzikowska D. 2011: Ocena skutków możliwych zmian klimatu dla zdrowia człowieka. Cz. 1. Raport dla Instytutu Ochrony Środowiska – PIB w ramach projektu pt. Opracowanie i wdrażanie Strategicznego Planu Adaptacji dla sektorów i obszarów wrażliwych na zmiany klimatu – KLIMADA.
- Błażejczyk K., Skotak K., Błażejczyk A., Piotrowicz K., Myszkowska D., Szmyd J. 2012: Ocena skutków możliwych zmian klimatu dla zdrowia człowieka. Cz. 2. Raport dla Instytutu Ochrony Środowiska – PIB w ramach projektu pt. Opracowanie i wdrażanie

- Strategicznego Planu Adaptacji dla sektorów i obszarów wrażliwych na zmiany klimatu – KLIMADA.
- Bogawski P., Borycka K., Grewling Ł., Kasprzyk I. 2019: Detecting distant sources of airborne pollen for Poland: Integrating back-trajectory and dispersion modelling with a satellite-based phenology. *Science of the Total Environment*, 689: 109–125, doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.348.
- Bousquet J., van Cauwenberge P., Khaltaev N. 2001: Allergic rhinitis and its impact on asthma. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 108(5 Suppl): 147–334.
- Burr M., Emberlin J., Treu R., Cheng S., Pearce N. 2003: Pollen counts in relation to the prevalence of allergic rhinoconjunctivitis, asthma and atopic eczema in the International Study of Asthma and Allergies in Childhood (ISAAC). *Clinical and Experimental Allergy*, 33(12): 1675–1680, doi.org/10.1111/j.1365-2222.2003.01816.x.
- Cecchi L., D'Amato G., Ayres J.G., Galan C., Forastiere F., Forsberg B., Gerritsen J., Nunes C., Behrendt H., Akdis C., Dahl R., Annesi-Maesano I. 2010: Projections of the effects of climate change on allergic asthma: the contribution of aerobiology. *Allergy*, 65: 1073–1081, doi:10.1111/j.1398-9995.2010.02423.x.
- Chopek K., Tokarska-Guzik B., Dąbrowska-Zapart K., Kasprzyk I., Majkowska-Wojciechowska B., Malkiewicz M., Myszkowska D., Piotrowska K., Puc M., Stach A., Weryszko-Chmielewska E. 2008: Pyłek ambrozji w powietrzu Polski w latach 2001–2007. *Alergologia. Immunologia*, 5(2): 56–58.
- Czarnobilska E., Mazur M. 2016: Wpływ zanieczyszczenia środowiska na występowanie chorób alergicznych u dzieci i młodzieży szkolnej w Krakowie. *Lekarz Wojskowy*, 94: 32–39.
- Diaz-Sanchez D., Saxon A. 1996: The effect of diesel exhaust particles on allergic diseases. *ACI International*, 8: 57–59.
- Domonkos P., Kysely J., Piotrowicz K., Petrovic P., Lisko T. 2003: Variability of the extreme temperature events in the South-Central Europe during the 20th Century and its relationship with the large scale circulation. *International Journal of Climatology*, 23: 987–1010.
- ECAP 2019: Epidemiologia Chorób Alergicznych w Polsce (<http://www.ecap.pl>).
- European Academy of Allergy and Clinical Immunology, 2019 ([www.eaaci.org](http://www.eaaci.org)).
- Grewling Ł., Bogawski P., Kryza M., Magyar D., Šikoparija B., Skjøth C.A., Udvardy O., Werner M., Smith M. 2019: Concomitant occurrence of anthropogenic air pollutants, mineral dust and fungal spores during long-distance transport of ragweed pollen. *Environmental Pollution* 254, Part A, 112948, doi.org/10.1016/j.envpol.2019.07.116.
- Gumiński R. 1950: Ważniejsze elementy klimatu rolniczego Polski południowo-wschodniej. *Wiadomości Służby Hydrologicznej i Meteorologicznej*, 3(1): 57–113.
- Harmata W. 1993: Fenologia – nauka potrzebna. *Gazeta Obserwatora IMGW*, 42(6): 3–4.
- Jörres R., Nowak D., Magnussen H. 1996: The effect of ozone exposure on allergen responsiveness in subjects with asthma or rhinitis. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 153(1): 56–64, doi.org/10.1164/ajrccm.153.1.8542163.
- Kasprzyk I., Myszkowska D., Grewling Ł., Stach A., Šikoparija B., Skjøth C.A., Smith M. 2011: The occurrence of Ambrosia pollen in Rzeszów, Kraków and Poznań, Poland: investigation of trends and possible transport of Ambrosia pollen from Ukraine. *International Journal of Biometeorology*, 55(4): 633–644, doi.org/10.1007/s00484-010-0376-3.
- Komorowski J. 2012: Epidemiologia astmy w Polsce w oparciu o wyniki badania ECAP. Praca doktorska. Zakład Profilaktyki Zagrożeń Środowiskowych i Alergologii, Wydział Nauki o Zdrowiu, Warszawski Uniwersytet Medyczny.

- Kossowska-Cezak U., Martyn D., Olszewski K., Kopacz-Lembowicz M. 2000: *Meteorologia i klimatologia. Pomiary, obserwacje, opracowania*. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa-Łódź.
- Kozłowska A., Majkowska-Wojciechowska B., Kowalski M.L. 2007: Uczulenie poliwalentne i monowalentne na alergeny pyłku roślin u chorych z alergią. *Alergia Astma Immunologia*, 12(2): 81–86.
- Lis G., Bręborowicz A., Cichocka-Jarosz E., Sobkowiak P., Gazurek D., Światły A., Alkiewicz J., Pietrzyk J.J. 2004: Częstość alergicznego nieżyty nosa i spojówek u dzieci szkolnych w Krakowie i w Poznaniu w świetle badania ISAAC (International Study of Astma and Allergies in Childhood). *Otolaryngologia Polska*, 58(6): 1103–1109.
- Matuszko D., Twardosz R., Piotrowicz K. 2004: Relationships between cloudiness, precipitation and air temperature. *Geographia Polonica*, 77(1): 9–17.
- Myszkowska D., Piotrowicz K., Ziemianin M., Berger U., Dąbrowska-Zapart K., Górecki A., Lafférová J., Majkowska-Wojciechowska B., Malkiewicz M., Nowak M., Puc M., Rybnicek O., Saarto A., Sauliene I., Ščevková J., Seliger A., Sikoparija B., Piotrowska-Weryszko K., Czarnobilska E. 2018: Unusual birch pollen concentrations in Poland in 2016 – the possible impact of the long distant transport. 11th International Congress on Aerobiology, 3–7.09.2018, Parma, Włochy, Programme and Abstract Book, s. 103.
- Myszkowska D., Piotrowicz K., Ziemianin M., Chłopek K., Dąbrowska-Zapart K., Kasprzyk I., Grewling Ł., Majkowska-Wojciechowska B., Malkiewicz M., Nowak M., Piotrowska-Weryszko K., Puc M., Weryszko-Chmielewska E. 2015: Grass pollen seasons in Poland against a background of the meteorological conditions. *Acta Agrobotanica*, 68(4): 357–365, doi: 10.5586/aa.2015.038.
- Myszkowska D., Ziemianin M., Piotrowicz K., Czarnobilska E. 2014: Sezon pyłkowy w Krakowie w 2013 roku na tle warunków meteorologicznych. *Alergologia. Immunologia*, 11(1–2): 50–54.
- Nicolaou N., Siddique N., Custovic A. 2005: Allergic disease in urban and rural populations: increasing prevalence with increasing urbanization. *Allergy*, 60(11): 1357–1360, doi.org/10.1111/j.1398-9995.2005.00961.x.
- Niedźwiedz T. 1995: Wieloletnia zmienność wskaźników cyrkulacji atmosfery nad Polską Południową. *Materiały Konferencyjne*, 23: 7–18.
- Niedźwiedz T. 2017: *Kalendarz typów cyrkulacji atmosfery dla Polski południowej – zbiór komputerowy*. Uniwersytet Śląski, Katedra Klimatologii, Sosnowiec.
- Obtułowicz K., Kotlinowska T., Stobiecki M., Dechnik K., Obtułowicz A., Manecki A., Marszałek M., Schejbal-Chwastek M. 1996: Environmental air pollution and pollen allergy. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 3: 131–138.
- Obtułowicz K., Szczepanek K., Radwan J., Grzywacz M., Adamus K., Szczeklik A. 1991: Correlation between airborne pollen incidence, skin prick tests and serum immunoglobulin in allergic people in Cracow, Poland. *Grana*, 30: 136–141.
- Pawankar R. 2014: Allergic diseases and asthma: a global public health concern and a call to action. *World Allergy Organization Journal*, 7: 1–3, doi.org/10.1186/1939-4551-7-12.
- Peternel R., Srnc L., Culig J., Zaninović K., Mitić B., Vukusić I. 2004: Atmospheric pollen season in Zagreb (Croatia) and its relationship with temperature and precipitation. *International Journal of Biometeorology*, 48: 186–191. doi.org/10.1007/s00484-004-0202-x.
- Piotrowicz K. 2002–2003: Warunki termiczne zim w Krakowie w latach 1792–2002. *Folia Geographica, Geographica-Physica*, 33–34: 67–88.

- Piotrowicz K. 2004: Temperatura okresu zimowego jako wskaźnik zmian klimatu. W: *Klimat-środowisko-człowiek*, Polski Klub Ekologiczny, s. 23–31.
- Piotrowicz K., Myszkowska D. 2006: Początek sezonów pyłkowych leśzczyny na tle zmienności klimatu Krakowa. *Alergologia. Immunologia*, 3(3–4): 86–89.
- Płusa T. 2013: Współczesne zagrożenia i obciążenia chorobami układu oddechowego w Polsce. *Polski Merkurusz Lekarski*, 35: 287–291.
- Riabinin S. 1955: Uwagi o fenologii. *Kosmos*, 4, A, 1(12): 103–107.
- Ruffin J., Liu M.Y.G., Sessoms R., Banerjee S., Banerjee U.C. 1986: Effects of certain atmospheric pollutants (SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> and CO) on the soluble amino acids, molecular weight and antigenicity of some airborne pollen grains. *Cytobios*, 46: 119–129.
- Samel-Kowalik P., Lipiec A., Tomaszewska A., Raciborski F., Walkiewicz A., Lusawa A., Borowicz J., Gutowska-Ślesik J., Samoliński B., 2009: Występowanie alergii i astmy w Polsce – badanie ECAP. *Gazeta Farmaceutyczna*, 3: 32–34.
- Samoliński B. 2008. *Epidemiologia Chorób Alergicznych w Polsce (ECAP). Raport z badań przeprowadzonych w latach 2006–2008*. Warszawa.
- Samoliński B., Raciborski F., Lipiec A., Tomaszewska A., Krzych-Fałta E., Samel-Kowalik P., Walkiewicz A., Lusawa A., Borowicz J., Komorowski J., Samolińska-Zawisza U., Sybilski A.J., Piekarska B., Nowicka A. 2014: *Epidemiologia Chorób Alergicznych w Polsce (ECAP). Alergologia Polska – Polish Journal of Allergology*, 1(1): 10–18, doi.org/10.1016/j.alergo.2014.03.008.
- Samoliński B., Rapijko P., Lipiec A., Kurzawa R. 2010: Metody ograniczenia narażenia na alergen. W: J. Kruszczyński, M.L. Kowalski (red.), *Standardy w alergologii. Cz. I. Medycyna Praktyczna*, Kraków, s. 143–149.
- Siljamo P., Sofiev M., Severova E., Ranta H., Kukkonen J., Polevova S., Kubin E., Minin A. 2008: Sources, impact and exchange of early-spring birch pollen in the Moscow region and Finland. *Aerobiologia*, 24: 211–230, doi: 10.1007/s10453-008-9100-8.
- Smith M., Skjøth C.A., Myszkowska D., Uruska A., Puc M., Stach A. 2008: Long-range transport of Ambrosia pollen to Poland. *Agricultural and Forest Meteorology*, 148: 1402–1411, doi:10.1016/j.agrformet.2008.04.005.
- Sofiev M., Bousquet J., Linkosalo T., Ranta H., Rantio-Lehtimäki A., Siljamo P., Valovirta E., Damialis A. 2009: Pollen, allergies and adaptation. W: K.L. Ebi (red.), *Biometeorology for adaptation to climate variability and change*. Springer, s. 75–106.
- Stein A.F., Draxler R.R., Rolph G.D., Stunder B.J.B., Cohen M.D., Ngan F. 2015: NOAA's HYSPLIT atmospheric transport and dispersion modelling system. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 96: 2059–2077, doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00110.
- Stępalska D., Myszkowska D., Leśkiewicz K., Piotrowicz K., Borycka K., Chłopek K., Grewling Ł., Kasprzyk I., Majkowska-Wojciechowska B., Malkiewicz M., Nowak M., Piotrowska-Weryszko K., Puc M., Weryszko-Chmielewska E. 2017: Co-occurrence of Artemisia and Ambrosia pollen seasons against the background of the synoptic situations in Poland. *International Journal of Biometeorology*, 61: 747–760, doi: 10.1007/s00484-016-1254-4.
- Szczepanek K., Myszkowska D., Worobiec E., Piotrowicz K., Ziemianin M., Bielec-Bąkowska Z. 2017: The long-range transport of Pinaceae pollen: an example in Kraków (southern Poland). *Aerobiologia*, 33: 109–125, doi: 10.1007/s10453-016-9454-2.
- Tomaszewska T., Rutkowski Z. 1999: Fenologiczne pory roku i ich zmienność w wieloletniu 1951–1990. *Materiały Badawcze IMGW, Meteorologia*, 28: 1–39.
- Weryszko-Chmielewska E. (red.) 2007: *Aerobiologia*. Wydawnictwo Akademii Rolniczej w Lublinie.

- Weryszko-Chmielewska E. (red.) 2014: Ziarna pyłku i zarodniki grzybów w powietrzu różnych regionów Polski. Polskie Towarzystwo Botaniczne, Katedra Botaniki Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie, Lublin–Warszawa, Wydawnictwo Norbertinum.
- World Allergy Organization 2019 ([www.worldallergy.org](http://www.worldallergy.org)).
- Ziemanin M., Myszowska D., Piotrowicz K., Czarnobilska E. 2016: Ekspozycja na pyłek olchy, leszczyny i brzozy, a stężenie pyłu zawieszonego PM10 w Krakowie w latach 2010–2015. *Przegląd Lekarski*, 73(12): 802–808.
- Ziska L.H., Beggs P.J. 2012: Anthropogenic climate change and allergen exposure: The role of plant biology. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 129(1): 27–32, doi.org/10.1016/j.jaci.2011.10.032.