Wpływ zmian klimatu na sezony pylenia wybranych roślin i ich znaczenie dla pacjentów z chorobami alergicznymi w Polsce

The Impact of Climate Change on Plant Pollen Seasons and Their Importance for Patients with Allergic Diseases in Poland

Magdalena Dederko[1*], Gabriela Żychowska[1], Wiktoria Szewczyk[1], Justyna Drapała[1], dr n. med. Krzysztof Gomułka[2]

1. Studenckie Koło Naukowe Chorób Wewnętrznych i Alergologii, Uniwersytet Medyczny im. Piastów Śląskich we Wrocławiu. Opiekun Koła: dr n. med. Krzysztof Gomułka
2. Katedra i Klinika Alergologii i Chorób Wewnętrznych, Instytut Chorób Wewnętrznych, Wydział Lekarski, Uniwersytet Medyczny im. Piastów Śląskich we Wrocławiu. Kierownik: dr n. med. Robert Pawłowicz

* Autor korespondencyjny

Streszczenie

Wprowadzenie: Częstość zachorowania na alergie w Polsce w ostatnich latach wzrasta. Zmieniający się klimat wpływa na okresy pylenia i zmienia dotychczasowy porządek w świecie roślin. Dodatkowym czynnikiem potęgującym objawy chorobowe u pacjentów są m.in. zanieczyszczenia powietrza, które, często razem z przyśpieszonym i wydłużonym okresem pylenia, są ogromnym wyzwaniem zarówno dla alergików, jak i lekarzy.
Cel: Celem opracowania jest przedstawienie opisanego w pracach naukowych wpływu zmian klimatu na sezony pylenia roślin alergennych oraz potencjalnych następstw zdrowotnych dla pacjentów z chorobami alergicznymi w Polsce. Materiał i metody: Dobór publikacji obejmował przeszukanie baz danych Google Scholar i Pubmed. Uwzględnione zostały prace w języku polskim i angielskim. Wyszukiwanie przeprowadzono z wykorzystaniem słów kluczowych: „zmiana klimatu", „pyłek roślin", „choroby alergiczne", "climate change", "pollen", "allergic diseases". Wnioski: Klimat w Polsce zmienia się w dynamicznym tempie na przestrzeni ostatnich kilkudziesięciu lat. Temperatura powietrza rośnie, gwałtowne zjawiska atmosferyczne, takie jak burze i powodzie występują coraz częściej, wzrasta również zanieczyszczenie powietrza. Zmiany te przyczyniają się do wcześniejszego rozpoczynania i wydłużenia sezonów pyłkowych oraz pojawiania się nowych gatunków roślin o potencjale alergogennym na obszarze kraju. Konsekwencją tych procesów dla pacjentów jest szybsze niż w ciągu ubiegłych lat pojawienie się objawów alergii oraz dłuższy okres ich występowania, a także możliwość wystąpienia gwałtownych reakcji alergicznych zagrażających zdrowiu, jak ma to miejsce w astmie burzowej. Zrozumienie powyższych zależności ma istotne znaczenie dla praktyki klinicznej, w tym dla odpowiedniego monitorowania sezonów pyłkowych oraz planowania leczenia.

Słowa kluczowe: zmiana klimatu, pyłek, choroby alergiczne

Summary

Introduction: The prevalence of allergies in Poland has been increasing in recent years. Climate change is affecting pollen seasons and disrupting the established balance in the plant world. An additional factor exacerbating symptoms in patients is air pollution, which, often combined with an accelerated and prolonged pollen season, poses a significant challenge for both allergy sufferers and physicians. Purpose: To present the impact of climate change on the pollen seasons of allergenic plants, as described in scientific literature, and the potential health consequences for patients with allergic diseases in Poland.Materials and methods: The selection of publications involved a search of the Google Scholar and PubMed databases. Studies in Polish and English were included. The search was conducted using the following keywords: „zmiana klimatu", „pyłek", „choroby alergiczne", "climate change," "pollen," "allergic diseases". Conclusions: The climate in Poland has been changing rapidly over the past few decades. Air temperatures are rising, extreme weather events such as storms and floods are becoming more frequent, and air pollution is also increasing. These changes contribute to an earlier start and longer duration of pollen seasons, as well as the appearance of new plant species with allergenic potential across the country. For patients, these processes result in the onset of allergy symptoms occurring sooner than in previous years and lasting longer, as well as the potential for life-threatening severe allergic reactions, such as those seen in thunderstorm asthma. Understanding these relationships is important for clinical practice, including the proper monitoring of pollen seasons and treatment planning.

Key words: climate change, pollen, allergic diseases

© Alergia Astma Immunologia 2026, 31(2&3): 29-35

www.alergia-astma-immunologia.pl
Przesłano: 17.03.2026
Recenzja: 07.05.2026
Zaakceptowano: 24.06.2026

Licencje Creative Commons: To jest artykuł w otwartym dostępie, rozpowszechniany na warunkach Creative Commons Uznanie autorstwa-Użycie niekomercyjne-Na tych samych warunkach 4.0 Międzynarodowe (CC BY -NC -SA 4.0). Licencja (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Adres do korespondencji/Address for correspondence

Magdalena Dederko,

magdalena.dederko@student.umw.edu.pl,

tel. +48 722 032 001

Wykaz skrótów:

WHO - Światowa Organizacja Zdrowia

EAACI - Europejska Akademia Alergologii i Immunologii Klinicznej

ECAP - Epidemiologia Chorób Alergicznych w Polsce

$PM_{2,5}$ - pył zawieszony o średnicy nie większej niż 2,5 µm

PM_{10} - pył zawieszony o średnicy nie większej niż 10 µm

SPIn - całkowita suma pyłku w sezonie

TA – astma wywołana burzą

RSV - syncytialny wirus oddechowy

Wstęp

Choroby alergiczne zgodnie ze Światową Organizacją Zdrowia (WHO) zostały uznane za jedne z trzech najważniejszych grup schorzeń, które wymagają zwiększonego wysiłku w zakresie zapobiegania i kontroli w XXI wieku. Można je więc nazwać chorobami cywilizacyjnymi. Obecnie około 30% Europejczyków ma objawy alergii według badań Europejskiej Akademii Alergologii i Immunologii Klinicznej (EAACI). Epidemiolodzy wskazują, że liczba alergików w kraju podwaja się co 10 lat [1]. Dane z Polski według badań ECAP (Epidemiologia Chorób Alergicznych w Polsce) pokazują, że alergię ma 40% społeczeństwa, w tym 25% ma alergiczny nieżyt nosa, a 10% ma astmę oskrzelową [2]. Duży wpływ na ten stan niewątpliwie mają zmiany klimatu, jakie dotykają planetę. Ekstremalne zjawiska pogodowe: susze, upały i huragany, oraz następujące po nich ulewne deszcze i powodzie zmieniają otaczającą przyrodę. Wpływ tych zjawisk na ekosystemy naturalne jest znaczący i zaburza ich dotychczasowe funkcjonowanie [3]. Zła jakość powietrza, podwyższone wartości pyłu zawieszonego $PM_{2,5}$ i $PM_{10,}$ widoczne są szczególnie w miastach jako konsekwencja działalności przemysłowej i ruchu ulicznego. Czynniki te niekorzystnie wpływają na zdrowie społeczeństwa, nasilając objawy alergii [4]. Poniższy artykuł ma na celu przedstawienie opisanego w pracach naukowych wpływu zmian klimatu na sezony pylenia roślin alergennych oraz potencjalnych następstw zdrowotnych dla pacjentów z chorobami alergicznymi w Polsce.

Klimat w Polsce

Zmiany klimatu stanowią jedno z poważniejszych wyzwań współczesnego świata. Zgodnie z raportem Intergovernmental Panel on Climate Change, na przestrzeni ok. 100 ostatnich lat, globalna temperatura powietrza na Ziemi wzrosła o 1,1°C. Uważa się, że wzrost ten spowodowany jest głównie zjawiskiem globalnego ocieplenia, którego przyczyną jest działalność człowieka, przede wszystkim emisja gazów cieplarnianych. Wzrost temperatury prowadzi do szeregu zmian w całym systemie klimatycznym – dochodzi do zmiany cyrkulacji atmosferycznej, rozkładu opadów, a także wzrostu częstości i intensywności ekstremalnych zjawisk pogodowych [5]. Europa należy do regionów, w których tempo wzrastania ocieplania jest szczególnie wysokie. Od lat 80. XX w. średnia temperatura powietrza na kontynencie rosła szybciej niż średnia globalna, przy czym w ostatnich latach szczególnie wysokie anomalie odnotowywano w Europie Wschodniej i Południowej. Obserwuje się również coraz częściej zjawiska, takie jak fale upałów, intensywne opady i powodzie [6]. Polska jest również krajem, w którym wieloletnia analiza wskazuje na wyraźny i ciągły wzrost temperatury powietrza na przestrzeni ostatnich dziesięcioleci – od 1951 roku średnia temperatura powietrza wzrosła o ponad 2°C. Coraz częściej na obszarze kraju odnotowuje się ekstremalnie ciepłe dni, susze oraz tzw. noce tropikalne. Roczna suma opadów atmosferycznych w ostatnich latach oscyluje wokół średniej wieloletniej, przy czym jest ona bardzo zróżnicowana przestrzennie. Jednocześnie roczna liczba dni z opadami jest niższa niż średnia, co może wskazywać, że opady są mniej częste, ale bardziej intensywne – występują epizody nawalnych opadów i, w konsekwencji, powodzie błyskawiczne [7]. Zmiany klimatyczne, zwłaszcza w połączeniu z przemysłową działalnością człowieka, również oddziałują na jakość powietrza atmosferycznego. Wzrost stężenia dwutlenku węgla oraz temperatury powietrza wpływają na wyższe stężenia ozonu troposferycznego i cząsteczek pyłu zawieszonego, a także na ich rozmieszczenie [8]. Badania ukazują, że zachodzące zmiany klimatu w Polsce będą się utrzymywały w kolejnych dekadach. Następstwem tego będą istotne zmiany w funkcjonowaniu całego środowiska przyrodniczego, co w konsekwencji wpłynie także na zdrowie populacji [9].

Sezony pylenia alergenów wziewnych

Występowanie alergenów wziewnych, odpowiedzialne za wywołanie objawów chorobowych u alergików, charakteryzuje duża sezonowość. Średnio od końca stycznia do początku października w powietrzu w Polsce występują różnorodne stężenia pyłku [10]. W kraju jako pierwsze rozpoczynają pylenie drzewa: leszczyna (*Corylus spp.)* i nieznacznie później olsza (*Alnus spp.*), ich początkowy okres pylenia uzależniony jest od temperatury w miesiącach zimowych, przypada na styczeń i luty, z maksimum osiąganym w marcu. W okresie wiosennym, szczególnie w kwietniu i na początku maja, istotnym alergenem jest brzoza (*Betula spp.).* Charakterystyczny dla tej rośliny jest 2-letni rytm intensywności pylenia, z naprzemiennymi niskimi i wysokimi wskaźnikami rocznej sumy ziaren pyłku [11]. Objawy chorób alergicznych wśród Polaków najczęściej powoduje pyłek traw (*Poaceae*). Ich okres pylenia ze względu na różnorodność gatunkową jest dość wydłużony, trwa średnio 3 - 4 miesiące, od końca maja, nawet do połowy września. Z końcem sierpnia i na początku września pylenie rozpoczyna ambrozja (*Ambrosia L.*) [12]. Oprócz pyłku drzew i traw alergie powoduje również kwitnąca latem bylica (*Artemisia spp.*), jej szczyt pylenia można zaobserwować w pierwszej połowie sierpnia [13]. Objawy alergii powodują także spory grzybów, najczęściej te z rodzaju *Alternaria,* ich okres zarodnikowania trwa przez lato do początku jesieni [14].

Wpływ klimatu na aeroalergeny

Globalne ocieplenie i postępujące zmiany klimatu rzutują na życie wszystkich gatunków zamieszkujących planetę, zmieniając funkcjonowanie nie tylko ludzi, ale i otaczającej przyrody.

Badania przeprowadzone w latach 2001-2020 w ośmiu miastach w Polsce polegały na analizie sezonu pylenia pięciu roślin alergennych: brzozy, leszczyny, olszy, bylicy i traw. Ukazały one, że zwiększająca się

temperatura powietrza na przestrzeni ostatnich lat przyspiesza okres pyłkowy wielu roślin. Wyraźnie widać to na przykładzie pylenia drzew wczesno-kwitnących – leszczyny i olszy. Cieplejsze zimy przyspieszają pylenie, które może rozpocząć się już na początku stycznia. Zależność tę widać również w przypadku brzozy, im niższe były temperatury, tym później zaczynał się sezon pyłkowy. Zauważono, że rosnąca częstość fal upałów, czyli kilkudniowych sekwencji dni z temperaturą powyżej 30°C, które coraz częściej obserwuje się w kraju, powoduje wysychanie roślin zielonych i zmniejsza produkcję pyłku traw. Zaznaczono, że dla ich pylenia duże znaczenie ma nie tylko temperatura powietrza, ale i suma opadów letnich. Wilgotne i ciepłe lata, zwiększają wartość wskaźnika całkowitej sumy pyłku w sezonie (Seasonal Pollen Integral –SPIn) dla pyłków traw, natomiast ciepłe i suche nie wykazują takiego wpływu [15]. Obliczanie wskaźnika SPIn otrzymuje się w wyniku zsumowanie średniego dziennego stężenia w danym okresie lub poprzez pomnożenie średniego stężenia dla całego sezonu przez czas trwania sezonu [16]. Wpływ wzrostu temperatury w pierwszych miesiącach roku i przyspieszenie sezonu pylenia potwierdzają również badania przeprowadzone w Polsce w latach 2003–2022, które analizowały pięć gatunków roślin wcześnie kwitnących: olcha, leszczyna, wiąz, wierzba i topola [17].

Poza temperaturą, na pylenie ma wpływ wilgotność względna, intensywność opadów i prędkość wiatru. Pylenie ogranicza wysoka wilgotność, padający deszcz i chłód, natomiast silne podmuchy wiatru zwiększają uwalnianie pyłku do 50% [18].

Nie można również zapomnieć, że zachodzące na przestrzeni ostatnich lat zmiany prowadzą do wytworzenia w kraju optymalnych warunków rozwojowych dla roślin, które jeszcze kilkadziesiąt lat wcześniej nie były przystosowane do mroźnych zim i niższej temperatury. Badania pokazują, że w Polsce może wzrosnąć częstość występowania objawów alergii na przykład na ambrozję bylicolistną (*Ambrosia artemisiifolia*), cieplejsze warunki i wydłużenie okresu wegetacyjnego stanowią idealne środowisko dla tego gatunku [19].

Warty uwagi jest także proces ruchów mas powietrza, które przenoszą zawieszone w powietrzu cząsteczki na dalekie odległości. Zjawisko to występuje w przypadku pyłku ambrozji (*Ambrosia L.*), który przenoszony jest z Europy Środkowej na północ. Badania ukazują, że zanieczyszczenia antropogeniczne, wzrost temperatury i porywiste wiatry zwiększają ilość pyłku ambrozji oraz zarodników grzybów, a także umożliwiają im przemieszczanie się w powietrzu na dalekie obszary [20].

W związku z ociepleniem klimatu coraz częściej mają miejsce ekstremalne zjawiska pogodowe takie jak nagłe burze. Ciekawym przykładem jest opisana w literaturze astma wywołana burzą (thunderstorm-triggered asthma (TA). Do powstania TA dochodzi w momencie, gdy wystąpi burza, a stężenie alergenów wziewnych, najczęściej pyłku traw, jest wysokie w atmosferze. W wyniku działania strumienia powietrza burzowego alergeny zostają skumulowane przy gruncie. W następstwie szoku osmotycznego spowodowanego wilgotnością i opadami deszczu ziarna pyłku lub zarodniki grzybów rozpadają się na mniejsze cząsteczki i mogą ulec inhalacji do dolnych dróg oddechowych, gdzie wywołują reakcję nadwrażliwości [21]. Ważnym elementem tego procesu jest rozpad ziarenka pyłku, ponieważ nienaruszony ma zbyt duże wymiary (35-40 µm), by dostać się bezpośrednio do dolnych dróg oddechowych. Pęknięcie uwalnia dużą liczbę granulek skrobi o małych rozmiarach, która zawiera alergen mogące wywołać ostry atak astmy alergicznej [22].

Wzrost stężenia dwutlenku węgla spowodowany zmianami klimatu i globalnym przemysłem oddziałuje znacząco na świat roślin, zwiększa się fotosynteza i rozrodczość, a także produkcja pyłku. W badaniach, których celem było sprawdzenie, jak podwojenie stężenia CO_2 wpłynie na stymulację pyłkowania ambrozji *L. artemisiifolia*, zaobserwowano wzrost stężenia pyłku aż o 61% [23].

Zauważono także większą częstość alergii wziewnych u chorych zamieszkujących tereny miejskie w porównaniu z tymi mieszkającymi na wsi, co spowodowane jest m.in. zwiększoną emisją spalin i wyższym zanieczyszczeniem powietrza. Gazy zawieszone w powietrzu: tlenek węgla, dwutlenek siarki, dwutlenek azotu i ozon mogą modyfikować strukturę białek alergenowych pyłku, zwiększając ich potencjał alergizujący. Mimo wyższego stężenia pyłku roślin na wsi, częstość alergii jest mniejsza niż w mieście, co sugeruje istotną rolę zanieczyszczeń powietrza w nasilaniu właściwości alergennych aeroalergenów.

Zmieniający się klimat skutkuje również występowaniem ulewnych deszczy i wzrostem liczby powodzi, których konsekwencją jest częstsze występowanie pleśni, a jej obecność ma związek z zaostrzeniem chorób alergicznych [24].

Astma: oś „jelito–płuco", czynniki zakłócające i sygnały mechanistyczne

W odniesieniu do astmy, przeglądy systematyczne i syntezy danych wskazują na powtarzalne skojarzenia między dysbiozą jelitową a rozwojem lub nasileniem astmy u dzieci, przy czym heterogeniczność badań (różne definicje fenotypów astmy, różny wiek, różne metody sekwencjonowania i analizy metabolitów) utrudnia porównywanie wyników [15,25]. Jednym z istotnych klinicznie czynników zakłócających tę zależność jest wczesna ekspozycja na antybiotyki, która w literaturze łączona jest z większym ryzykiem rozwoju astmy w dzieciństwie; w praktyce oznacza to konieczność ostrożnej interpretacji badań mikrobiomowych, jeśli nie kontrolują one dokładnie historii antybiotykoterapii i wskazań do jej zastosowania [26].

W analizowanym piśmiennictwie są też prace dostarczające mechanistycznych przesłanek dla wyjaśnienia roli metabolitów mikrobioty w regulacji odpowiedzi alergicznej w drogach oddechowych. Przykładowo, opisywano wpływ maślanu pochodzenia mikrobiotycznego na szlaki immunologiczne związane z odpowiedzią IgE, co wspiera biologiczną wiarygodność osi „jelito–płuco" [17]. Należy podkreślić, że tego typu dane – choć ważne – nie zastępują dowodów interwencyjnych u ludzi, a ich przełożenie na praktykę wymaga wykazania, że celowana modyfikacja mikrobiomu/metabolomu zmienia istotne klinicznie punkty końcowe choroby (częstość zaostrzeń, kontrolę astmy, zapotrzebowanie na leki).

Na ryzyko i obraz astmy wpływają również interakcje gen–środowisko, które mogą modulować kolonizację jelit i funkcję mikrobiomu we wczesnym okresie życia. Do czynników środowiskowych należą m.in. sposób porodu (CC vs poród drogami natury), karmienie (mleko matki vs mieszanka), wczesna ekspozycja na antybiotyki, infekcje, obecność rodzeństwa/uczęszczanie do żłobka, ekspozycja na dym tytoniowy i zanieczyszczenia powietrza oraz dieta [27]. Z

kolei podatność genetyczna gospodarza może wpływać na odpowiedź immunologiczną błon śluzowych, skład wydzielin i warunki niszy jelitowej, co sprzyja odmiennym trajektoriom kolonizacji [6,9,27]. W konsekwencji trudno zakładać istnienie jednej, uniwersalnej „sygnatury mikrobiomu" związanej z astmą we wszystkich populacjach. Przyszłe modele ryzyka powinny zatem opierać się na zintegrowanym podejściu, łączącym dane mikrobiomowe z informacjami o ekspozycjach środowiskowych oraz cechach gospodarza [27].

Konsekwencje kliniczne

Zmiany klimatyczne mają wpływ na funkcjonowanie całych ekosystemów, w tym także na cykle życiowe roślin będących źródłem alergenów wziewnych. Niesie to za sobą konsekwencje dla zdrowia populacji, szczególnie dla chorych na alergiczny nieżyt nosa czy astmę alergiczną. Zmiany w stężeniach pyłku i jego sezonowości prowadzą do zwiększonej ekspozycji populacji na alergeny wziewne. Następstwem tego jest wzrost częstości alergii, dłuższy okres utrzymywania się objawów w ciągu roku, a także zwiększenie nasilenia objawów alergii sezonowej. Zmiany te mogą wpływać zarówno na nasilenie objawów u osób z alergią, jak i zwiększenie ryzyka sensytyzacji u ludzi wcześniej nieuczulonych [25]. Jest to spowodowane zmianami w rozmieszczeniu geograficznym alergenów. Przykładem jest pyłek ambrozji. Naukowcy przypuszczają, że do lat 2041-2060 w Europie liczba osób uczulonych na ambrozję wzrośnie aż ponad dwukrotnie [26]. Roczny sezon pylenia wielu gatunków roślin rozpoczyna się znacząco wcześniej, ale również później się kończy. Wydłużanie się okresu pylenia oznacza dla pacjentów wcześniejszy początek, a także dłuższy czas trwania objawów alergicznych w ciągu roku [27]. Jak wykazały badania, na przestrzeni ostatnich kilkudziesięciu lat długość sezonu objawów alergicznych wśród pacjentów wzrosła w Europie o ponad 3 tygodnie [28]. Co więcej, wykazano także, że nasilenie objawów alergicznego nieżytu nosa i spojówek wzrasta wraz ze stężeniem pyłku. Im wyższe stężenie tego alergenu w powietrzu, tym więcej zgłaszanych objawów ze strony nosa u pacjentów [29].

Zmiany klimatyczne mogą również wpływać na ryzyko zakażeń wirusowych, które są jednymi z głównych przyczyn zaostrzeń przewlekłych chorób układu oddechowego, jak np. astmy alergicznej. Zaobserwowano, że zmiany temperatury, wilgotności i opadów potencjalnie wywołują zwiększoną podatność na wirusowe infekcje dróg oddechowych [30]. Aeroalergeny wykazują działanie immunomodulujące, co może osłabiać lokalną odpowiedź przeciwwirusową nabłonka dróg oddechowych. Wobec tego ekspozycja na wysokie stężenia pyłku może zwiększać podatność na infekcje wirusowe, np. rinowirusami lub RSV (syncytialny wirus oddechowy). Zakażenia tymi patogenami we wczesnym dzieciństwie wiążą się z wyższym ryzykiem rozwoju astmy w późniejszym życiu, więc zmiany klimatyczne, które zwiększają ekspozycję na alergeny wziewne, mogą pośrednio oddziaływać na częstość występowania tej choroby w przyszłości [31,32].

Pojawiające się w Polsce nawalne opady deszczu przyczyniają się do występowania klęsk żywiołowych pod postacią powodzi. Zalegająca na terenach zalewowych woda stanowi bardzo dobry rezerwuar do rozwoju bakterii, wirusów, grzybów, a także pasożytów. Zaobserwowano, że wśród ludzi dotkniętych klęską powodzi częściej występowała zwiększona liczba eozynofilów we krwi i nasilenie nieswoistych objawów oddechowych. Wywołuje to dodatkowe trudności w diagnostyce takich pacjentów, ponieważ ich stan zdrowia może być powodowany zarówno infekcją pasożytniczą, jak i chorobą alergiczną, zwłaszcza że pasożyty przyczyniają się również do rozwoju objawów alergii. Mieszkania dotknięte powodzią są doskonałym środowiskiem dla rozwoju roztoczy kurzu domowego, a także pleśni, które mogą wywołać zaostrzenie alergii, jak i zwiększyć ryzyko jej powstania [33].

Istotnym elementem wpływającym na przebieg chorób alergicznych są też zanieczyszczenia powietrza. Substancje takie jak: drobne pyły zawieszone PM_{10} i $PM_{2,5}$, ozon troposferyczny, tlenki azotu, dwutlenek siarki czy lotne związki organiczne wpływają znacząco na funkcjonowanie organizmu. Bezpośrednio uszkadzają one błonę śluzową dróg oddechowych, co nie tylko nasila procesy zapalne, ale również ułatwia przenikanie alergenów pyłku. Poprzez działanie synergistyczne, $PM_{2,5}$ i NO_2 tworzą z alergenami kompleksy przedostające się w głąb układu oddechowego. Zmiany te powodują, że interakcja alergenów wziewnych i zanieczyszczeń ma więcej negatywnych skutków klinicznych, niż oddziaływanie każdego z czynników osobno. Chorzy doświadczają większego nasilenia objawów alergicznego nieżytu nosa oraz wyższego ryzyka zaostrzenia astmy alergicznej [34,35].

Wobec wzrastającej częstości ekstremalnych zjawisk pogodowych w kraju, takich jak burze, należy zwrócić uwagę na zjawisko astmy wywołanej burzą. Powstające w jej wyniku drobne cząstki alergenne, o średnicy zaledwie 0,5-2,5 µm, z łatwością wnikają do oskrzeli. Następstwem może być wystąpienie bezpośredniego skurczu oskrzeli, który objawia się dusznością, świszczącym oddechem oraz kaszlem [36]. Szczególnie narażeni na wystąpienie TA są pacjenci z alergicznym nieżytem nosa i stwierdzoną alergią na pyłek traw, astmą oskrzelową (zdiagnozowaną lub utajoną) oraz nadreaktywnością oskrzeli. Epizody astmy wywołanej burzą są nierzadko bardziej nasilone niż typowe sezonowe zaostrzenia tej choroby – często wymagają bardziej agresywnej terapii. Jak dotąd epizody TA udokumentowano m.in. w Wielkiej Brytanii lub we Włoszech [37]. Największy z nich miał jednak miejsce w Melbourne w Australii w 2016 r. Wybitnie wysokie stężenie pyłku traw oraz wieczorne przejście frontu burzowego spowodowały katastrofalne skutki kliniczne – udokumentowano ponad 3 tys. nagłych zgłoszeń pacjentów z powodu objawów oddechowych, wśród których kilkadziesiąt osób trafiło na OIOM, a kilka zmarło. W kontekście zmian klimatu, które powodują zarówno częstsze burze, jak i wydłużone i intensywniejsze pylenie, takie epizody TA mogą pojawiać się coraz częściej, co stanowi istotne wyzwanie dla meteorologów oraz systemów opieki zdrowotnej [38].

Zmiany sezonów pylenia w Polsce i związane z nimi konsekwencje kliniczne mają potencjalne skutki dla całego systemu ochrony zdrowia. Dłuższe epizody objawów alergicznych sprawiają, że pacjenci mogą mieć większe zapotrzebowanie na dane lokalnego monitoringu pyłkowego, leki i immunoterapię. W połączeniu z częstszymi zaostrzeniami astmy, a także nowymi diagnozami, powoduje to, że w sezonach szczytowych wzrastać będzie liczba wizyt lekarskich, zarówno ambulatoryjnych, jak i w SOR. Należy podkreślić, że konieczne jest wydłużenie czasu monitorowania sezonów pylenia, adaptacja prognoz i ostrzeżeń pyłkowych dla pacjentów wobec zmieniających się trendów w sezonach pylenia

poszczególnych roślin. Istotne jest także dokładne opracowywanie prognoz pyłkowych dla poszczególnych regionów kraju. Zróżnicowanie regionalne pylenia oznacza, że pacjenci w różnych częściach Polski mogą doświadczać objawów w różnym czasie w roku [15]. Zmiany w fenologii roślin mogą wymagać też modyfikacji dotychczasowych schematów leczenia i dostosowania kalendarzy immunoterapii swoistej do aktualnych danych na temat pylenia – leczenie alergii sezonowej należy rozpocząć przed spodziewanym początkiem ekspozycji na alergeny, a więc terapię trzeba będzie rozpoczynać odpowiednio wcześniej niż robiono to w przeszłości [39]. Istotną kwestią jest również potrzeba lepszej edukacji lekarzy w zakresie wpływu zmian klimatu na zdrowie społeczeństwa [40]. Rozwój polskiej aerobiologii jest oparty głównie o działalność naukową i badawczą, a także współpracę międzynarodową, w ramach której organizowane są specjalistyczne kursy i warsztaty [41]. Monitoring zanieczyszczeń chemicznych powietrza w Polsce finansowany jest centralnie w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej [42]. Natomiast monitoring aeroalergenów w Polsce, tak jak i wielu innych krajach Europy bazuje na grantach, projektach badawczych i współpracy ośrodków, takich jak Polska Sieć Aerobiologiczna, czy Sekcja Aerobiologiczna Polskiego Towarzystwa Botanicznego [41]. Należy podkreślić, że monitoring pyłkowy wymaga posiadania specjalistycznej aparatury i pracy wykwalifikowanego personelu, z czego wynikają wysokie koszty i czasochłonność prowadzenia pomiarów. Z uwagi na fakt, że monitoring aeroalergenów w Europie nie opiera się na jednolitym systemie, lecz na lokalnych projektach i współpracy naukowej, ograniczona może być ich standaryzacja i ciągłość czasowa [43].

Tab. 1 Wybrane aspekty zmian klimatu i ich wpływ na aeroalergeny oraz konsekwencje kliniczne

Czynnik związany ze zmianą klimatu	Wpływ na pylenie i aerolergeny	Następstwa kliniczne
Wzrost średniej temperatury powietrza	-Wcześniejsze rozpoczęcie i wydłużenie sezonów pylenia -Wzrost stężenia pyłku	-Dłużej utrzymujące się objawy alergii -Zwiększone nasilenie objawów alergicznego nieżytu nosa i spojówek [15,17,27,28,29]
Zanieczyszczenia powietrza (PM_{10}, $PM_{2,5}$, NO_2, O_3)	-Modyfikacja struktury białek alergenowych pyłku -Ułatwienie przenikania alergenów przez uszkodzone drogi oddechowe	-Zwiększone nasilenie alergicznego nieżytu nosa -Zaostrzenie objawów astmy [34,35]
Wzrost stężenia CO_2	-Wzrost stężenia pyłku	-Zwiększone nasilenie objawów alergii [23]
Ekstremalne zjawiska pogodowe (burze, nawalne opady)	-Fragmentacja ziaren pyłku i uwolnienie drobnych cząstek alergenu w powietrzu	-Astma burzowa -Nagłe zaostrzenia astmy [21,22,36,37,38]
Wzmożony proces ruchów mas powietrza	-Nasilenie transferu pyłku na dalekie odległości	-Wzrost liczby osób uczulonych [19,20,26]
Wzrost liczby powodzi	-Ułatwiony rozwój pleśni i pasożytów	-Zwiększenie ryzyka rozwoju alergii -Zaostrzenie alergii [24,33]

Krytyczna analiza problemu wymaga uwzględnienia ograniczeń obecnych badań. Interpretacje wyników w odniesieniu do całego kraju utrudnia zróżnicowanie dostępnych pomiarów pod względem regionalnym. Należy mieć również na uwadze, że ze względu na ograniczenia w finansowaniu monitoringu stężeń pyłku w Polsce, tak jak ma to miejsce w przypadku zanieczyszczeń powietrza, pojawiają się trudności w prowadzeniu badań naukowych w tej dziedzinie. Polska jest krajem o niecałkowicie jednolitym klimacie, więc badania należy prowadzić w wielu różnych ośrodkach, co wymaga dużego nakładu finansowego. Do tej pory najlepiej przebadanym zjawiskiem popartym wieloletnimi badaniami jest korelacja pomiędzy wzrostem temperatury powietrza a przyspieszeniem i wydłużeniem okresu pylenia. Kliniczne aspekty tego zjawiska są widoczne wśród pacjentów, ale poszerzanie wiedzy na temat wpływu zmian klimatu na choroby alergiczne nadal wymaga pogłębienia.

Podsumowanie

Zmiany klimatu istotnie wpływają na środowisko naturalne, co objawia się m.in. w zmianie sezonowości i intensywności pylenia roślin alergennych. Wzrost temperatury powietrza, zmiany w rozkładzie opadów, częstsze ekstremalne zjawiska pogodowe oraz wzrost zanieczyszczeń powietrza przyczyniają się do wcześniejszego rozpoczynania i wydłużenia sezonów pyłkowych, zwiększenia produkcji pyłku, a także pojawiania się nowych gatunków roślin o potencjale alergennym na obszarze kraju. Zjawiska te mają ważne znaczenie kliniczne. Zmiany w sezonach pylenia powodują częstsze występowanie objawów chorób alergicznych, takich jak alergiczny nieżyt nosa i astma alergiczna, a także wiążą się z większym ryzykiem ich zaostrzeń. Co więcej, współwystępowanie zanieczyszczeń powietrza lub ekstremalnych zjawisk pod postacią powodzi czy burz dodatkowo przyczynia się

do nasilenia procesu zapalnego w drogach oddechowych. Zrozumienie powyższych zależności ma istotne znaczenie dla praktyki klinicznej i zdrowia publicznego, w tym dla odpowiedniego monitorowania sezonów pyłkowych oraz planowania leczenia chorób alergicznych.

Bibliografia

1. Mazur M, Czarnobilska M, Dyga W i wsp. Trends in the Epidemiology of Allergic Diseases of the Airways in Children Growing Up in an Urban Agglomeration. J. Clin. Med. 2022; 11: 2188.
2. Samolińska B, Raciborski F, Lipiec A i wsp. Epidemiologia Chorób Alergicznych w Polsce (ECAP). Alergol. Pol. 2014; 1: 10-18.
3. Singh AB, Kumar P. Climate change and allergic diseases: An overview. Front. Allergy. 2022; 3: 964987.
4. Bobrowska-Korzeniowska M, Jerzyńska J, Podlecka D i wsp. Impact of environmental pollutants – particulate matter PM2.5, PM10, ozone and nitrogen dioxide on asthma and allergy in preschoolers. Pediatr Med Rodz. 2023; 19 (3): 195–206.
5. IPCC. Climate change 2023: Synthesis report, summary for policymakers. Contribution of working groups i, II and III to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Lee H, Romero J (red.) IPCC, Genewa 2023.
6. Copernicus Climate Change Service, World Meteorological Organization. European State of the Climate 2024. Copernicus Climate Change Service, Bonn 2025.
7. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy. Klimat Polski 2024 – raport IMGW-PIB. IMGW-PIB, Warszawa 2025.
8. World Health Organization. Climate change, air pollution, pollen and health: technical brief. (w) Air Quality, Energy, and Health Science and Policy Summaries. World Health Organization, Genewa 2025.
9. Ghazi B, Przybylak R, Pospieszyńska A. Projection of climate change impacts on extreme temperature and precipitation in Central Poland. Sci. Rep. 2023; 13 (1): 18772.
10. Ślusarczyk J. Alergeny pyłków roślin i zarodników grzybów w środowisku człowieka – aspekt zdrowotny i edukacyjny. (w) Doskonalenie dydaktyki szkolnej i akademickiej. Chrzanowski M, Żeber-Dzikowska I, Chmielewski J. (red.) Wydawnictwo Instytutu Ochrony Środowiska Państwowy Instytut Badawczy w Warszawie, Warszawa 2022: 117-136.
11. Samoliński B, Krzych-Fałta E, Lipiec A i wsp. Przygotowanie do sezonu pylenia 2023. Alergoprofil. 2022; 18: 3-10.
12. Piotrowicz K, Myszkowska D. Zmiany klimatu i ich wpływ na sezony pyłkowe wybranych roślin alergennych w Polsce. (w) Zmienność klimatu Polski i Europy oraz jej cyrkulacyjne uwarunkowania. Kolendowicz L, Bednorz E, Tomczyk AM. (red.) Bogucki Wyd. Nauk., Poznań 2019.
13. Piotrowska-Weryszko K, Weryszko-Chmielewska E, Sulborska A i wsp. Comparison of Artemisia L. pollen concentrations and risk of development of allergy symptoms in different regions of Poland in 2020. Alergoprofil. 2020; 16 (4): 27-33.
14. Nowak M, Szymańska A. Stężenie zarodników Alternaria w powietrzu Poznania w latach 2008–2011. Alergoprofil. 2012; 8 (2): 19-22.
15. Myszkowska D, Kubik-Komar A, Piotrowicz K i wsp. Possible implications of the variability of the most allergenic plant pollen seasons in Poland. Sci Rep. 2026; 13, 16 (1): 6182.
16. Bastl K, Kmenta M, Berger UE. Defining Pollen Seasons: Background and Recommendations. Curr Allergy Asthma Rep. 2018; 29; 18(12): 73.
17. Tomczyk S, Werner M, Malkiewicz M, i wsp. Influence of meteorological conditions and climate on pollen season of the early-flowering woody taxa in Poland, Central Europe. Int J Biometeorol. 2025; 69: 2781–2793.
18. Werner M, Guzikowski J, Kryza M, i wsp. Extension of WRF-Chem for birch pollen modelling-a case study for Poland. Int J Biometeorol. 2021; 65: 513–526.
19. Lake IR, Jones NR, Agnew M, i wsp. Climate Change and Future Pollen Allergy in Europe. Environ Health Perspect. 2017; 125 (3): 385-391.
20. Grewling Ł, Bogawski P, Kryza M i wsp. Concomitant occurrence of anthropogenic air pollutants, mineral dust and fungal spores during long-distance transport of ragweed pollen. Environmental Pollution. 2019; 254: 112948.
21. Harun NS, Lachapelle P, Douglass J. Thunderstorm-triggered asthma: what we know so far. J Asthma Allergy. 2019;12: 101-108.
22. Suphioglu C, Singh MB, Taylor P, i wsp. Mechanism of grass-pollen-induced asthma. Lancet. 1992; 339 (8793): 569-72.
23. Wayne P, Foster S, Connolly J, i wsp. Production of allergenic pollen by ragweed (Ambrosia artemisiifolia L.) is increased in CO2-enriched atmospheres. Ann Allergy Asthma Immunol. 2002; 88 (3): 279-82.
24. D'Amato G, Chong-Neto HJ, Monge Ortega OP i wsp. The effects of climate change on respiratory allergy and asthma induced by pollen and mold allergens. Allergy. 2020; 75: 2219–2228.
25. Schreurs W, Schermer TRJ, Akkermans RP i wsp. 25-year retrospective longitudinal study on seasonal allergic rhinitis associations with air temperature in general practice. NPJ Prim. Care Respir. Med. 2022; 32 (1): 54.
26. Beggs PJ. Climate change, aeroallergens, and the aeroexposome. Environ. Res. Lett. 2021; 16 (3): 035006.
27. Ščevková J, Tropeková M, Dušička J i wsp. Rising allergenic risk in cities: a progressive pollen calendar analysis in response to climate change in

Central Europe. Reg. Environ. Change 2025; 25 (3): 103.

28. Pershad AR, Krishnan R, Lee R i wsp. How climate change is impacting allergic rhinitis: a scoping review. The Laryngoscope 2025; 135 (8): 2670-2682.
29. Medek DE, Kljakovic M, Fox I i wsp. Hay fever in a changing climate: linking an internet-based diary with environmental data. Ecohealth 2012; 9 (4): 440-447.
30. Burbank AJ. Climate change and the future of allergies and asthma. Curr Allergy Asthma Rep 2025; 25 (1): 20.
31. Rosas-Salazar C, Chirkova T, Gebretsadik T i wsp. Respiratory syncytial virus infection during infancy and asthma during childhood in the USA (INSPIRE): a population-based, prospective birth cohort study. The Lancet 2023; 401 (10389): 1669-1680.
32. Jackson DJ, Gern JE. Rhinovirus infections and their roles in asthma: etiology and exacerbations. J Allergy Clin Immunol Pract 2022; 10 (3): 673-681.
33. Pałczyński C, Kupryś-Lipińska I, Kuna P. Zmiany klimatyczne a alergia i astma. Alergia 2019; 81 (3).
34. D'Amato G, Cecchi L, D'amato M i wsp. Urban air pollution and climate change as environmental risk factors of respiratory allergy: an update. J Investig Allergol Clin Immunol 2010; 20 (2): 95-102.
35. Czarnobilska E, Bulanda M, Bulanda D i wsp. The influence of air pollution on the development of allergic inflammation in the airways in Krakow's atopic and non-atopic residents. J. Clin. Med. 2021; 10 (11): 2883.
36. D'Amato G, Annesi Maesano I, Molino A i wsp. Thunderstorm-related asthma attacks. J Allergy Clin Immunol 2017; 139 (6): 1786-1787.
37. Dabrera G, Murray V, Emberlin J i wsp. Thunderstorm asthma: an overview of the evidence base and implications for public health advice. QJM Int. J. Med. 2013; 106 (3): 207-217.
38. Thien F, Beggs PJ, Csutoros D i wsp. The Melbourne epidemic thunderstorm asthma event 2016: an investigation of environmental triggers, effect on health services, and patient risk factors. Lancet Planet. Health 2018; 2 (6): e255-e263.
39. Epstein TE, Rorie AC, Ramon GD i wsp. Impact of climate change on aerobiology, rhinitis, and allergen immunotherapy: Work Group Report from the Aerobiology, Rhinitis, Rhinosinusitis & Ocular Allergy, and Immunotherapy, Allergen Standardization & Allergy Diagnostics Committees of the American Academy of Allergy, Asthma & Immunology. J Allergy Clin Immunol 2025; 155 (6): 1767-1782.
40. Sheffield PE, Weinberger KR, Kinney PL. Climate change, aeroallergens, and pediatric allergic disease. Mt. Sinai J. Med. 2011; 78 (1): 78-84.
41. Grewling Ł, Myszkowska D, Piotrowska-Weryszko K i wsp. Aerobiology in Poland: Achievements and challenges. Acta Soc. Bot. Pol. 2023; 92 (1): 172278.
42. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska. Finansowanie zadań Państwowego Monitoringu Środowiska. www.gov.pl/web/gios/finansowanie [dostęp: 21.05.2026].
43. Clot B, Gilge S, Hajkova L i wsp. The EUMETNET AutoPollen programme: establishing a prototype automatic pollen monitoring network in Europe. Aerobiologia. 2024; 40 (1): 3-11.