

ANALIZA SEZONÓW PYŁKOWYCH WYBRANYCH TAKSONÓW ROŚLIN W KRAKOWIE W LATACH 2001–2013

[1] MYSZKOWSKA DOROTA, [1] ZIEMIANIN MONIKA, [2] PIOTROWICZ KATARZYNA,
[3] STĘPALSKA DANUTA, [3] SZCZEPANEK KAZIMIERZ, [1] CZARNOBILSKA EWA

[1] Uniwersytet Jagielloński, Collegium Medicum, Zakład Alergologii Klinicznej i Środowiskowej,

[2] Uniwersytet Jagielloński, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Zakład Klimatologii,

[3] Uniwersytet Jagielloński, Instytut Botaniki

Streszczenie

Monitoring pyłkowy w Krakowie jest prowadzony metodą wolumetryczną od 1991 r. Ciągłe pomiary koncentracji pyłku obejmują ponad 40 taksonów roślin i zarodniki grzybów *Alternaria* i *Cladosporium*. Wyniki monitoringu stężenia pyłku roślin alergicznych mają zastosowanie w praktyce alergologicznej. Celem badania była analiza sezonów pyłkowych wybranych taksonów roślin alergicznych w Krakowie w okresie 2001–2013.

Analiza jest oparta na danych zebranych w Krakowie w okresie 2001–2013, przy zastosowaniu aparatów wolumetrycznych. Ziarna pyłku zliczano metodą 4 pasów horyzontalnych, a stężenie dobowe przeliczano na 1 m³ powietrza. Do analizy wybrano sześć taksonów: *Alnus* (olsza), *Corylus* (leszczyna), *Betula* (brzoza), Poaceae (trawy), *Artemisia* (bylica) i *Ambrosia* (ambrozja). Analizę sezonów pyłkowych przeprowadzono w oparciu o cechy sezonów: początek, koniec, czas trwania sezonu, sumy roczne pyłku oraz stężenia maksymalne w okresie 2001–2013 wyliczone metodą 98%. Zastosowano statystykę opisową i metodę regresji prostej dla oceny trendu zmienności koncentracji pyłku w sezonie.

Wartość stężenia maksymalnego pyłku w sezonie, suma roczna pyłku oraz początek sezonu to cechy sezonu o największej zmienności w badanym okresie. Sezony pyłkowe *Alnus* i *Corylus* trwają prawie równocześnie, a początek sezonu tych drzew wpływa na jego długość i występowanie okresu wysokich stężeń. Największe zróżnicowanie dynamiki sezonowej stwierdzono dla sezonów pyłkowych olszy i leszczyny, do najbardziej stabilnych należały sezony pyłkowe traw. Na stężenie pyłku traw miały wpływ: temperatura dobowa, liczba dni słonecznych oraz opady w okresie lata (VI–VIII). Jedynie w przypadku sumy rocznej i stężenia maksymalnego pyłku *Corylus* pojawił się istotny trend wzrostowy.

Najwyższe stężenia pyłku *Artemisia* notowane w I dekadzie sierpnia są w wybranych sezonach zbieżne z pojawianiem się pyłku *Ambrosia*, np. w 2008 r.

Długoletni monitoring w Krakowie umożliwił prześledzenie dynamiki sezonów pyłkowych sześciu wybranych taksonów i wykazanie, że sezony pyłkowe *Alnus* i *Corylus* należą do najmniej stabilnych pod względem początku i końca sezonu. Sumy roczne stężenia ziaren pyłku wykazują silne wahania sezonowe, co może mieć wpływ na poziom objawów alergicznych u uczulonych pacjentów i obiektywną ocenę skuteczności leczenia, w tym szczególnie immunoterapii swoistej.

WSTĘP

Zainteresowanie badaniami koncentracji pyłku roślin i zarodników grzybów w powietrzu w Krakowie sięga okresu przedwojennego, gdy już w 1939 r. lekarz Mieczysław Obtulowicz, nestor polskiej alergologii, w publikacji „O nieżycie pyłkowym” zaprezentował pierwsze kalendarze fenologiczne kwitnienia i pylenia roślin alergicznych z okolic Krakowa (Obtulowicz 1939).

W latach 1964–1967 Wanda Koperowa (Instytut Botaniki PAN) podjęła badania nad opadem pyłku roślin. Do badań powrócono w roku 1982, rozpoczynając systematyczne pomiary metodą grawimetryczną w Ogrodzie Botanicznym Uniwersytetu Jagiellońskiego. Badania te prowadził prof. Kazimierz Szczepanek we współpracy z alergologiem, prof. Krystyną Obtulowicz, a od roku 1991 prowadzone są regularne pomiary metodą wolumetryczną.

Dzięki prowadzeniu stałego monitoringu pyłkowego w Krakowie, obejmującego oznaczanie pyłku ponad 50 taksonów roślin i zarodników grzybów (*Alternaria*, *Cladosporium*) utworzono najdłuższą bazę pyłkową w Polsce, obejmującą zarówno dane grawimetryczne (z lat 1982–1997), jak i wolumetryczne (1991–2014). Wyniki monitoringu aeropalinologicznego pozwoliły na określenie profilu pyłkowego na terenie Krakowa, a także opracowanie modeli prognozujących początek sezonów pyłkowych wybranych roślin alergicznych.

Na podstawie pionierskich w skali kraju pomiarów metodą grawimetryczną został opracowany kalendarz pyłkowy obejmujący spectrum 32 taksonów (Szczepanek 1994), a analiza statystyczna wykazała wpływ większości wybranych elementów meteorologicznych na stężenie pyłku (Walanus 1994). Opublikowano także wyniki obserwacji wolumetrycznych obejmujących krótkie serie pomiarowe (2–5 lat) (Obtulowicz i Myszkowska 1996, Myszkowska 2006, Myszkowska i wsp. 2006a, Myszkowska i wsp. 2007) oraz opracowano kalendarze pyłkowe obejmujące taksony roślin alergicznych (Obtulowicz i Myszkowska 1995, Piotrowicz i Myszkowska 2008).

Aspekt medyczny odgrywa bardzo ważną rolę w analizach sezonów pyłkowych z terenu Krakowa. Badania wykazały, że ponad 80% pacjentów z alergicznym nieżytem nosa jest uczulonych na pyłek Poaceae, a nasilenie objawów chorobowych występuje od maja do lipca, z dominacją w czerwcu (Myszkowska i wsp. 2002). Pomiary stężenia pyłku roślin i zarodników grzybów w powietrzu jako nośników alergenów są wykorzystywane w diagnostyce alergicznego nieżytu nosa (ANN), monitorowaniu leczenia objawowego i immunoterapii swoistej, do oceny skuteczności leczenia, a także w profilaktyce ANN (Obtułowicz i Myszkowska 1995).

Wykazano także, że skuteczność stosowania leków objawowych u chorych z alergią pyłkową może być błędnie interpretowana, jeśli nie jest oceniana na tle dynamiki sezonów pyłkowych. W około 23% przypadków stwierdzono pozorną skuteczność wynikającą z obniżonego stężenia pyłku w sezonie, a w 12% przypadków fałszywą nieskuteczność leczenia związaną z wysokim stężeniem pyłku (Obtułowicz i wsp. 2000).

Analiza wyników badań z lat 1991–2008 pozwoliła na opracowanie kalendarza pyłkowego dla Krakowa na podstawie badań wolumetrycznych (Myszkowska i wsp. 2011), w którym stwierdzono, że istnieje związek pomiędzy datami początku sezonu wybranych taksonów, co potwierdziło wcześniejsze doniesienia opracowane na podstawie danych grawimetrycznych (Szczepanek 1994). Korelacja pomiędzy datami maleje wykładniczo wraz ze wzrostem różnicy ich początków sezonu. Ta obserwacja jest bardzo ważna z punktu widzenia prognozowania pojawienia się pyłku kolejnych taksonów podczas sezonu. Z kolei związek pomiędzy początkiem i końcem sezonu ułatwia przewidywanie przebiegu i czasu trwania sezonu, a tym samym monitorowanie swoistej immunoterapii alergenowej (SIT). Jednak ten związek nie jest uniwersalny dla wszystkich badanych taksonów. Jest on wyraźny dla sezonów wiosennych, o dużej zmienności początku sezonu. Natomiast na podstawie 20-letniej serii pomiarowej (1991–2010) opracowano modele prognozujące sezony pyłkowe wybranych taksonów z uwzględnieniem elementów meteorologicznych (Myszkowska 2011, 2013), a w szczególności warunków termicznych przed sezonem pyłkowym (Myszkowska 2014a, 2014b).

Celem niniejszego opracowania jest analiza sezonów pyłkowych wybranych taksonów roślin, w tym *Alnus*, *Corylus*, *Betula*, *Poaceae*, *Artemisia* i *Ambrosia* w latach 2001–2013 w Krakowie.

MATERIAŁ I METODY

Analizę przeprowadzono w oparciu o dane aeropalinologiczne w Krakowie w okresie 2001–2013. Materiał do badań pobierano za pomocą aparatów wolumetrycznych: Burkard Trap (2001–2003) i VPPS 2000 Lanzoni Trap (2004–2013) – umieszczonych na dachu budynku Collegium Śniadeckiego w centrum Krakowa (wysokość ok. 20 m n.p.g.). (205,7 m n.p.m.; 50°04'N, 19°58'E). Budynek znajduje się na terenie Ogrodu Botanicznego i jest wyższy od sąsiadujących obiektów. W centrum Krakowa występuje zwarta zabudowa z pasem zieleni wokół Starego Miasta (Planty), gdzie występują głównie kasztanowce, lipy, klony, topole oraz inne drzewa i krzewy ozdobne. Ziarna pyłku zliczano metodą 4 pasów horyzontalnych, a stężenie dobowe przeliczano na 1 m³ powietrza.

Do analizy wybrano sześć taksonów: *Alnus* (olsza), *Corylus* (leszczyna), *Betula* (brzoza), Poaceae (trawy), *Artemisia* (bylica) i *Ambrosia* (ambrozja). Analizę sezonów pyłkowych przeprowadzono w oparciu o cechy sezonów: początek, koniec, długość sezonu, sumy roczne pyłku oraz stężenia maksymalne. Sezony pyłkowe zostały wyliczone za pomocą metody 98% z sumy rocznej pyłku. Zastosowano statystykę opisową i metodę regresji prostej dla oceny trendu zmienności koncentracji pyłku w sezonie. Zaprezentowano także kalendarz pyłkowy dla badanego okresu opracowany w programie Polpal-Aero oraz wykresy dynamiki w poszczególnych sezonach.

Zróznicowanie sezonów pyłkowych przedstawiono na tle warunków pogodowych, opracowanych we współpracy z Zakładem Klimatologii Uniwersytetu Jagiellońskiego. Pomiary meteorologiczne prowadzone są w odległości ok. 300 m od budynku Collegium Śniadeckiego UJ, jak również (np. pomiar kierunku i prędkości wiatru oraz usłonecznienia) na dachu tego budynku, w pobliżu aparatu wolumetrycznego.

WYNIKI

Analiza terminów sezonów pyłkowych badanych taksonów wskazuje na najsilniejszą zmienność takich cech sezonów, jak: wartość stężenia maksymalnego pyłku w sezonie dla wszystkich taksonów i wartość roczna stężenia pyłku oraz początek sezonu (tab. 1). W przypadku początków sezonów, najsilniejszą zmienność wykazują sezony pyłkowe *Alnus* i *Corylus*, duże zróżnicowanie dotyczy też czasu trwania tych sezonów, a szczególnie sezonów *Betula*. Data maksymalnego stężenia

dla *Betula* i roślin zielnych jest dość stabilna, a najsilniej jest zróżnicowana dla sezonów *Corylus*.

Tabela 1. Statystyki podstawowe dla charakterystyk sezonów pyłkowych wybranych taksonów roślin w Krakowie w latach 2001–2013.

Takson	Statystyka	Początek sezonu (98%)	Koniec sezonu (98%)	Długość sezonu (dni)	Stężenie maksymalne pyłku ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Data stężenia maksymalnego	Wartość SPI
<i>Alnus</i>	$x_{\text{sr.}}$	58 / 1.03	95 / 5.04	38	401	76 / 17.03	1825
	Min.	16 / 16.01	78 / 19.03	15	61	34 / 3.02	555
	Max.	86 / 27.03	112 / 22.04	65	1346	103 / 13.04	5012
	S	23,39	10,09	15,68	389,18	17,03	1293,41
	V (%)	40,39	10,65	41,51	96,98	22,37	70,89
	skośność	-0,81	-0,17	0,38	1,33	-1,18	1,29
<i>Corylus</i>	$x_{\text{sr.}}$	53 / 22.02	95 / 5.04	43	94	82 / 22.03	622
	Min.	11 / 11.01	78 / 19.03	19	17	40 / 9.02	387
	Max.	85 / 26.03	113 / 23.04	70	221	202 / 12.04	1252
	S	22,89	9,63	16,87	59,48	40,58	255,99
	V (%)	43,00	10,16	39,66	63,31	49,58	41,14
	skośność	-0,48	-0,07	0,29	0,99	2,32	1,63
<i>Betula</i>	$x_{\text{sr.}}$	99 / 9.04	142 / 22.05	44	1009	110 / 19.04	5672
	Min.	87 / 28.03	122 / 2.05	23	119	102 / 12.04	1464
	Max.	109 / 19.04	222 / 10.08	136	3280	122 / 2.05	14624
	S	6,05	25,86	29,90	907,04	5,49	4038,27
	V (%)	6,10	18,15	67,37	89,93	5,00	71,19
	skośność	0,01	2,79	2,78	1,41	0,79	0,99
Poaceae	$x_{\text{sr.}}$	127 / 7.05	238 / 26.08	112	136	175 / 24.06	2749
	Min.	119 / 29.04	220 / 8.08	100	83	149 / 29.05	1877
	Max.	135 / 15.05	261 / 18.09	141	198	192 / 11.07	4114
	S	5,98	10,56	11,15	41,60	13,77	601,03
	V (%)	4,70	4,43	9,95	30,61	7,86	21,86
	skośność	-0,07	0,49	1,50	0,15	-0,72	0,58

Takson	Statystyka	Początek sezonu (98%)	Koniec sezonu (98%)	Długość sezonu (dni)	Stężenie maksymalne pyłku ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Data stężenia maksymalnego	Wartość SPI
<i>Artemisia</i>	x_{sr}	199 / 18.07	255 / 11.09	57	74	218 / 5.08	725
	Min.	186 / 5.07	236 / 24.08	35	35	212 / 31.07	422
	Max.	209 / 28.07	290 / 17.10	90	194	224 / 12.08	1280
	S	6,46	14,75	15,87	45,28	3,83	265,14
	V (%)	3,24	5,79	28,06	60,81	1,76	36,57
	skośność	-0,62	1,03	0,83	1,85	0,28	1,42
<i>Ambrosia</i>	x_{sr}	212 / 31.07	275 / 1.10	63	34	243 / 30.08	181
	Min.	191 / 10.07	258 / 15.09	38	14	229 / 17.08	47
	Max.	226 / 14.08	301 / 28.10	91	70	268 / 25.09	460
	S	12,72	13,41	18,32	15,57	11,60	105,98
	V (%)	5,98	4,89	29,12	46,12	4,78	58,58
	skośność	-0,55	0,71	0,25	0,93	0,81	1,42

Stwierdzono istotne zależności pomiędzy cechami sezonów pyłkowych (tab. 2), szczególnie w odniesieniu do olszy i leszczyny, których sezony trwają prawie równocześnie, a początek sezonu wpływa na jego długość i występowanie okresu wysokich stężeń. Istotną zależność dotyczącą intensywności pylenia (SPI) stwierdzono jedynie dla olszy i brzozy. Im intensywniejszy jest sezon pyłkowy olszy, tym więcej pojawia się też pyłku brzozy.

Tabela 2. Wartość współczynnika korelacji Spearmana (R) dla zależności pomiędzy różnymi charakterystykami sezonów badanych taksonów. Podane wartości są istotne przy $p < 0,05$. Podano najwyższe wartości uzyskane dla R.

Rodzaj zależności	R	Rodzaj zależności	R
Zależności w obrębie taksonu		Podobny okres występowania	
Aln_pocz vs Aln_kon	0,7801	Aln_pocz vs Cor_pocz	0,9018
Aln_pocz vs Aln_dług	0,8401	Aln_kon vs Cor_kon	0,8953
Aln_pocz vs Aln_data_maks	0,8840	Aln_data_maks vs Cor_data_maks	0,9463
Cor_pocz vs Cor_kon	0,7769	Zależności pomiędzy taksonami	

Rodzaj zależności	R	Rodzaj zależności	R
Zależności w obrębie taksonu		Podobny okres występowania	
Cor_pocz vs Cor_dług	0,9174	Bet_pocz vs Poac_pocz	0,6380
Cor_pocz vs Cor_data_maks	0,7714	Aln_SPI vs Bet_SPI	0,6374
Bet_pocz vs Bet_dług	0,6754	Artem_pocz vs Ambr_pocz	0,5742
Bet_pocz vs Bet_data_maks	0,5859	Cor_kon vs Artem_kon	0,6253

Aln – *Alnus*, Cor – *Corylus*, Bet – *Betula*, Poac – Poaceae, Artem – *Artemisia*, Ambr – *Ambrosia*; pocz – początek sezonu, kon – koniec sezonu, SPI – wartość Seasonal Pollen Index, dług – długość sezonu, data_maks – data stężenia maksymalnego.

Kalendarz pyłkowy dla Krakowa (ryc. 1), opracowany na podstawie średnich wartości stężenia pyłku w latach 2001–2013, pokazuje, że ziarna pyłku olszy i leszczyny pojawiają się na przełomie pierwszej i drugiej dekady stycznia. Intensywność występowania pyłku *Alnus* jest wyższa od pyłku *Corylus*, mogą się pojawiać co najmniej dwa wyraźne okresy wysokich stężeń pyłku *Alnus*: w połowie marca i w drugiej połowie kwietnia. W końcowym okresie występowania pyłku *Alnus* i *Corylus*, pojawia się pyłek brzozy (*Betula*). Okres równoczesnego występowania pyłku wymienionych drzew trwa średnio od trzeciej dekady marca do połowy kwietnia. Najwyższe stężenia pyłku brzozy są osiągane w trzeciej dekadzie kwietnia, czyli w okresie, kiedy pojawiają się już w powietrzu ziarna pyłku traw.

Sezon pyłkowy traw trwa ponad pięć miesięcy, osiągając szczytowe wartości stężenia na przełomie czerwca i lipca. Od połowy lipca, spośród roślin zielnych o właściwościach alergennych, obserwowany jest w powietrzu również pyłek roślin z rodziny Asteraceae: *Artemisia* i *Ambrosia*. Sezony *Artemisia*, o zwartym charakterze występowania, cechują się najwyższą intensywnością pylenia w pierwszej dekadzie sierpnia, natomiast okres występowania pyłku *Ambrosia*, o stosunkowo mało zwartym charakterze, trwa od początku sierpnia nawet do połowy października. Należy zauważyć, że sezony pyłkowe *Alnus* i *Corylus* rozwijają się stopniowo w porównaniu z końcową fazą sezonu. W przypadku sezonów *Betula*, sytuacja jest odwrotna, sezon zaczyna się zazwyczaj szybkim wzrostem stężenia pyłku, natomiast spadek stężenia trwa nawet do czerwca. Sezony pyłkowe traw i zielnych (*Artemisia*, *Ambrosia*) są bardziej zbliżone do rozkładów symetrycznych.

Analiza dynamiki sezonowej w poszczególnych latach pokazuje bardziej lub mniej wyraźne zróżnicowanie występowania pyłku, szczególnie dla sezonów *Alnus* i *Corylus* (ryc. 2–5). Pomimo, iż sezony tych dwóch drzew zaczynają się średnio w III dekadzie lutego (tab. 1), to pyłek może się pojawiać już w połowie stycznia

(ryc. 2). Do takich wczesnych sezonów należały lata: 2002, 2007–2008. W latach 2005–2006 sezony pyłkowe *Alnus* i *Corylus* zaczęły się najpóźniej, dopiero w połowie marca, o czym świadczą też początek sezonu wyliczony metodą 98% (tab. 1).

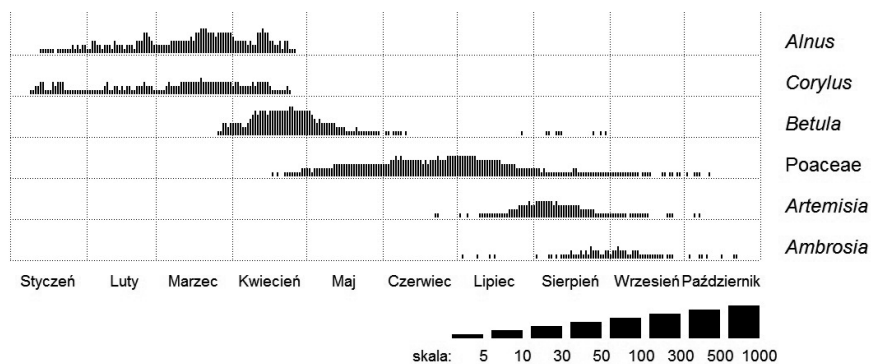
Dynamika sezonów pyłkowych *Betula* (ryc. 3) jest bardziej stabilna, pokrój większości sezonów jest prawoskośny, pierwsze ziarna mogą się pojawiać już pod koniec marca, a stężenia wzrastają stosunkowo szybko. Pyłek może się jeszcze pojawiać w powietrzu do końca maja, a nawet w okresie czerwiec–lipiec. Włączenie tych ziaren do wyliczonego sezonu wpływa zdecydowanie na czas trwania (ryc. 3, tab. 1), tak jak w przypadku sezonu 2002.

Dynamika stężenia pyłku Poaceae wskazuje na stabilny początek sezonu, pierwsze ziarna wyjątkowo pojawiały się pod koniec kwietnia, najczęściej na początku maja, a pyłek utrzymuje się nawet do końca września (ryc. 4). W ciągu tych kilkumiesięcznych sezonów, wysokie stężenia najczęściej notowane są na przełomie czerwca i lipca, ale także w pierwszej połowie lipca (2001, 2004, 2006, 2013). Sezony charakteryzują się dużą amplitudą stężeń dobowych. W wybranych sezonach można stwierdzić istnienie więcej niż jednego okresu stężeń maksymalnych (2008–2010, 2013). Analizę dynamiki sezonów pyłkowych Poaceae przeprowadzono w oparciu o sumę stężenia pyłku traw w analizowanym wieloleciu na tle warunków meteorologicznych w okresie letnim (VI–VIII) (średnią temperaturę powietrza, sumę opadów atmosferycznych i liczbę dni pogodnych) (ryc. 6).

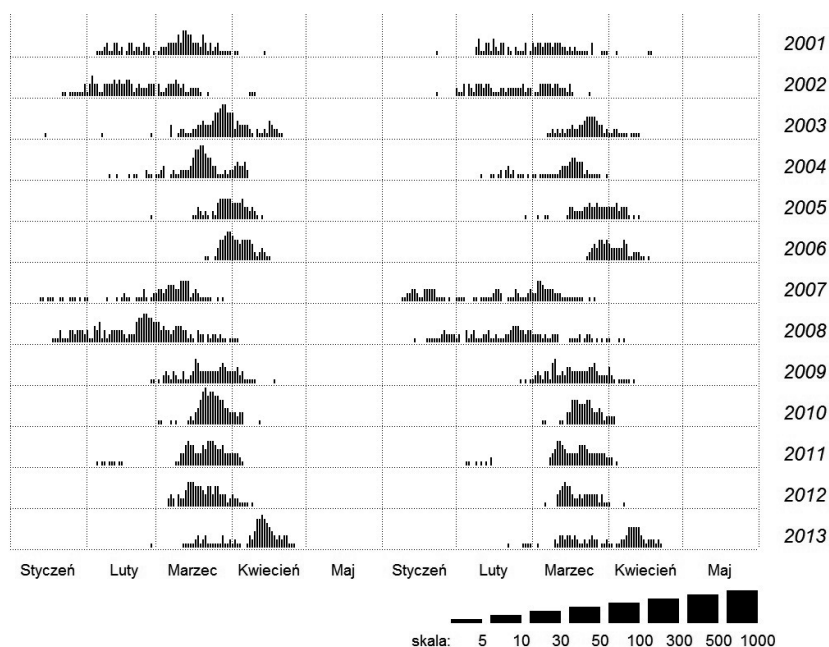
Analiza poszczególnych sezonów *Artemisia* i *Ambrosia* potwierdza zróżnicowanie w przebiegu sezonów obu taksonów (ryc. 5). Występowanie pyłku *Ambrosia* ma charakter mniej zwarty. Pojawiają się okresy bardzo niskich i podwyższonych stężeń, w różnych okresach, np. w 2003 i 2011 r. w II połowie sierpnia, a w 2008 i 2012 r. w I dekadzie września. Najwyższe stężenia pyłku *Artemisia* notowane w I dekadzie sierpnia mogą pojawiać się równocześnie w wybranych sezonach z pyłkiem *Ambrosia*, np. w 2008 r.

Nie zanotowano istotnych statystycznie trendów dla początku i końca sezonów pyłkowych analizowanych taksonów, czyli nie stwierdzono w badanym okresie przesuwania się terminów sezonów. Jedynie w przypadku sumy rocznej i stężenia maksymalnego pyłku *Corylus* pojawił się istotny trend wzrostu (ryc. 7B). Nie zanotowano także wyraźnych cyklicznych okresów wyższych i niższych stężeń (ryc. 8–9). Najwyższe stężenia osiągnięte zostały w przypadku drzew wczesnowiosennych w roku 2010, dla *Betula* – w 2012 r. W przypadku pyłku Poaceae zauważono fluktuację od wyższych stężeń w latach 2001–2003 do niższych wartości w latach 2005–2006, a następnie ponowny wzrost do maksymalnej wartości w 2010 r. (ryc. 8). Właśnie lato 2010 r. cechowało się wysoką temperaturą, dużą liczbą dni słonecznych, a jednocześnie najwyższą sumą opadów w badanym okresie (ryc. 6).

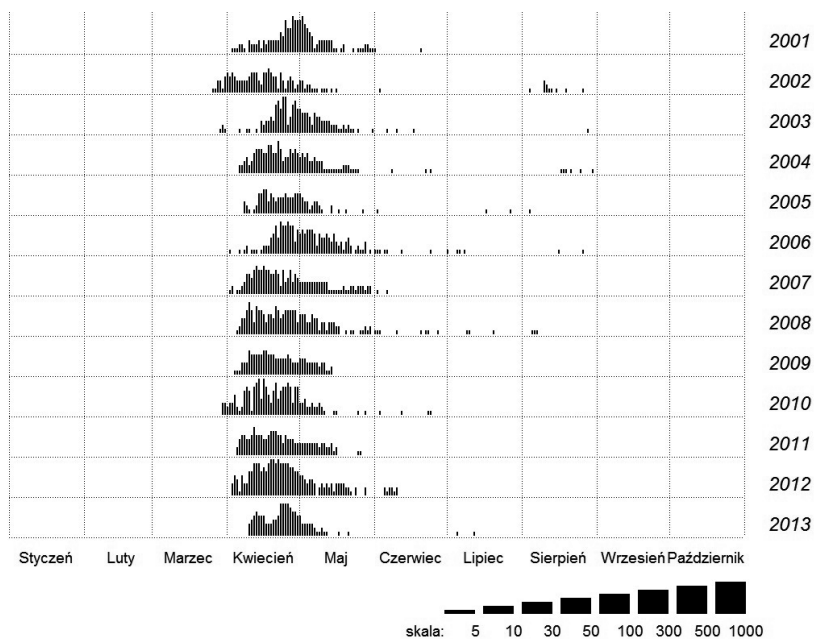
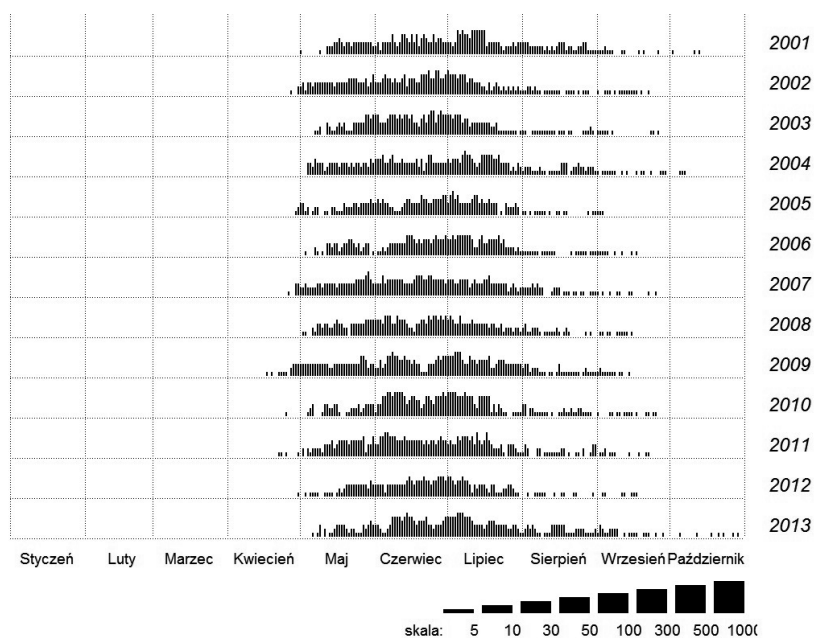
Stężenia pyłku *Artemisia* i *Ambrosia* osiągnęły najwyższą wartość w sezonach 2004, 2008 i 2009.



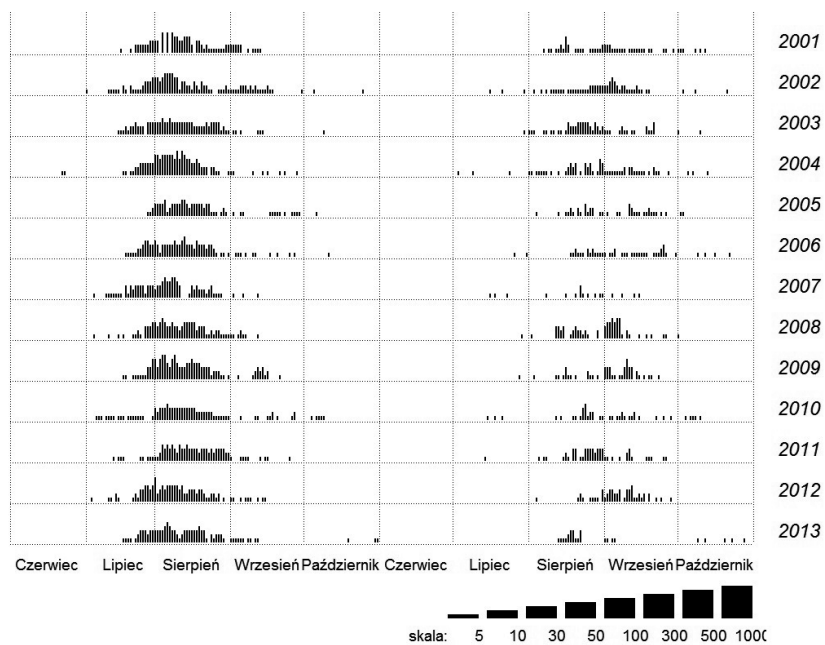
Rycina 1. Kalendarz pyłkowy dla Krakowa w latach 2001–2013.



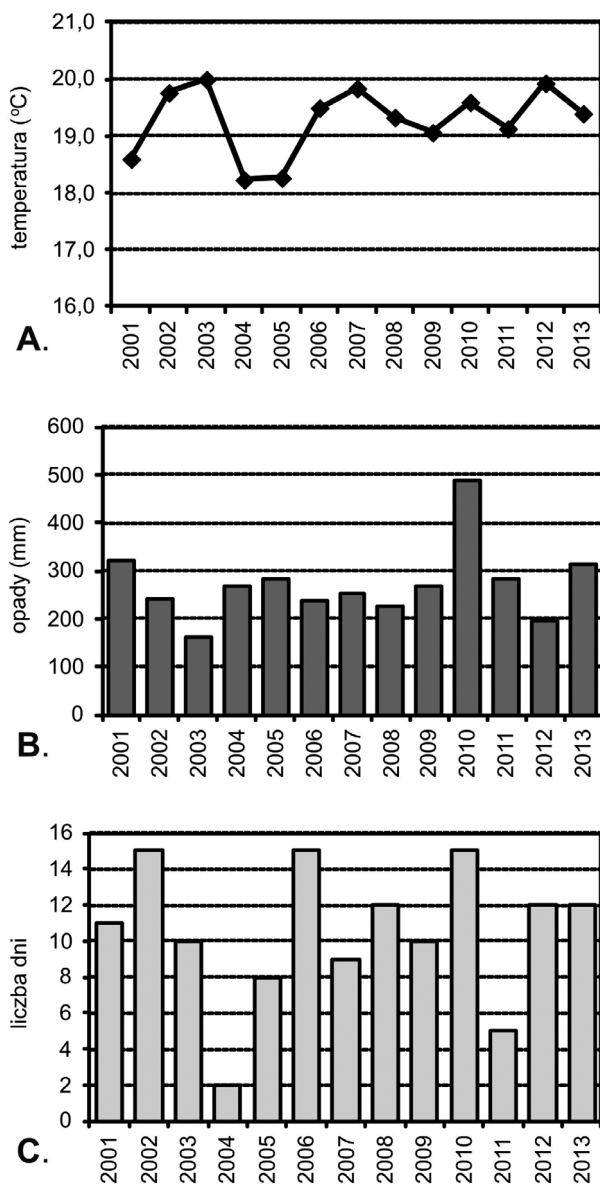
Rycina 2. Kalendarz pyłkowy sezonów *Alnus* i *Corylus* w Krakowie w latach 2001–2013.

Rycina 3. Kalendarz pyłkowy sezonów *Betula* w Krakowie w latach 2001–2013.

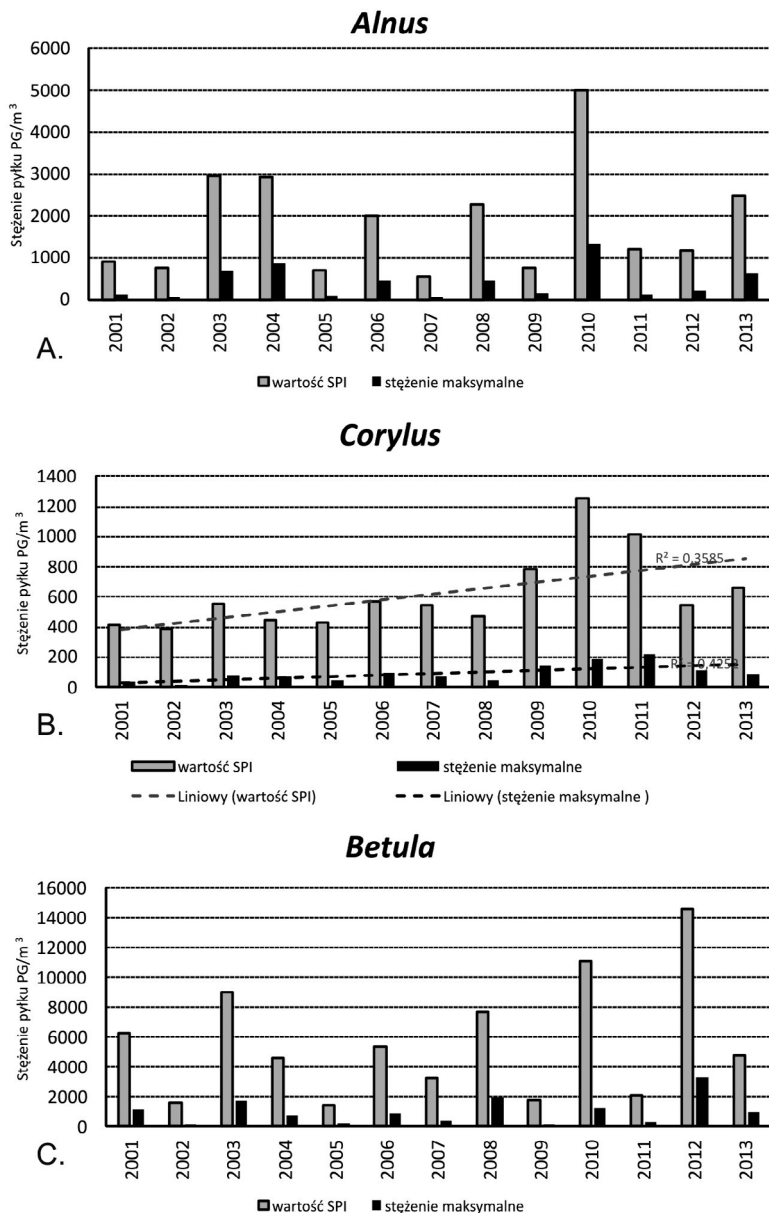
Rycina 4. Kalendarz pyłkowy sezonów Poaceae w Krakowie w latach 2001–2013.



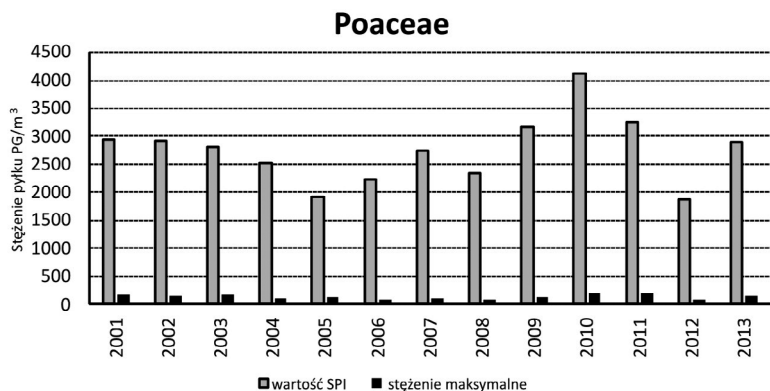
Rycina 5. Kalendarz pyłkowy sezonów *Artemisia* i *Ambrosia* w Krakowie w latach 2001–2013.



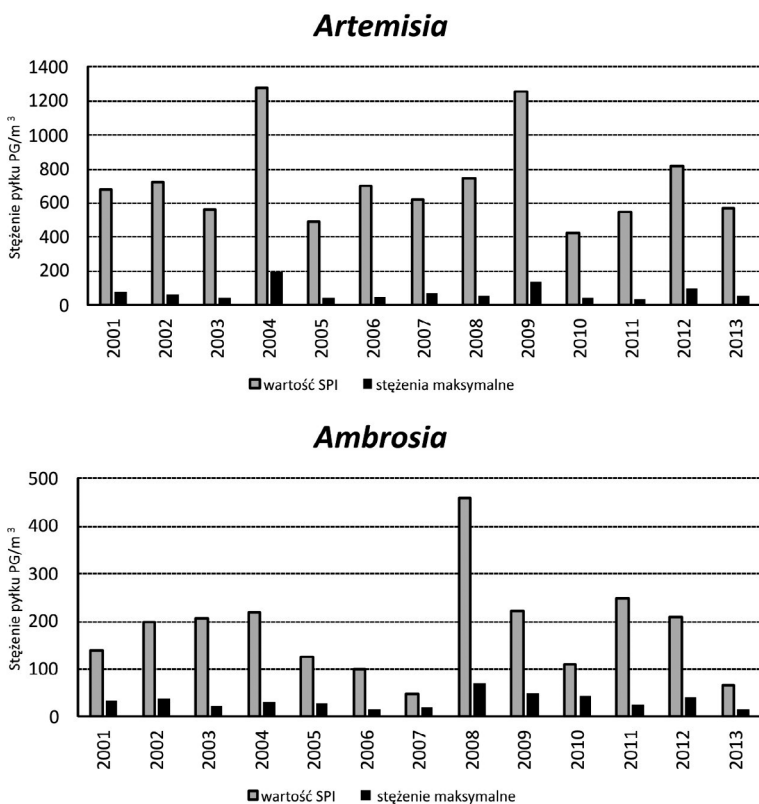
Rycina 6. Średnia temperatura powietrza (A), suma opadów (B) i liczba dni pogodnych (C) w lecie (VI–VIII) w Krakowie w latach 2001–2013.



Rycina 7. Wartość SPI (Seasonal Pollen Index) oraz wartość stężenia maksymalnego pyłku wybranych taksonów drzew w Krakowie w latach 2001–2013 (A. – *Alnus*; B. – *Corylus*; C. – *Betula*). Jedynie dla sezonów pyłkowych *Corylus* uzyskano istotny trend liniowy.



Rycina 8. Wartość SPI (Seasonal Pollen Index) oraz wartość stężenia maksymalnego pyłku Poaceae (trawy) w Krakowie w latach 2001–2013.



Rycina 9. Wartość SPI (Seasonal Pollen Index) oraz wartość stężenia maksymalnego pyłku wybranych taksonów roślin zielnych w Krakowie w latach 2001–2013.

DYSKUSJA

W stosunku do poprzedniej wielośredkowej analizy sezonów pyłkowych roślin w okresie 2001–2005 zauważa się pewne zależności, stosując dłuższą serię pomiarową 2001–2013 (Myszkowska 2006). Dane z kolejnych 8 lat nie wpłynęły wyraźnie na kształt dynamiki sezonowej przedstawionej w kalendarzu pyłkowym. Jedynie w przypadku sezonów olszy, drugi okres wysokich stężeń pojawił się w połowie kwietnia, a nie w III dekadzie marca. Przypuszczalnie miały na to wpływ podwyższone stężenia pyłku *Alnus* właśnie w okresie II połowy marca w latach 2003–2005.

Terminy występowania sezonów pyłkowych *Alnus* i *Corylus* należą do najbardziej zmiennych w czasie, ze względu na niestabilne warunki pogodowe, w tym termiczne na początku roku (Frenguelli i wsp. 1991, Myszkowska i wsp. 2006b, Piotrowska i Kaszewski 2009, Myszkowska i wsp. 2010, Puc i Kasprzyk 2013). W badanym okresie do wczesnych sezonów należały lata: 2002, 2007–2008. Wpływ na to niewątpliwie miały warunki meteorologiczne – bardzo ciepłe i prawie bezśnieżne dwa pierwsze miesiące zimy: grudzień i styczeń 2006/07 i 2007/08. Stwierdzono bowiem, że gdy w Krakowie przez kilka dni średnia dobowa temperatura powietrza jest wyższa od 5°C, a przez co najmniej trzy dni temperatura maksymalna przekracza 10°C, to w powietrzu pojawia się już pyłek leszczyny (Piotrowicz i Myszkowska 2006). Warunkiem dodatkowym jest brak w tym okresie pokrywy śnieżnej. W 2002 r. natomiast początek stycznia był jeszcze mroźny i śnieżny, ale od początku trzeciej dekady tego miesiąca nastąpiło gwałtowne ocieplenie, co spowodowało rozwój wegetacji i pojawienie się pierwszych ziaren pyłku leszczyny w powietrzu.

W latach 2005–2006 sezony pyłkowe *Alnus* i *Corylus* zaczęły się najpóźniej, gdyż niska temperatura i pokrywa śnieżna w tych latach występowały aż do początku marca, a występujące odwilże nie były tak intensywne, aby rozpoczęło się kwitnienie leszczyny. Dynamika większości sezonów wykazuje typ lewoskośny, z pojawianiem się pojedynczych ziaren nawet do dwóch tygodni przed intensywnym wzrostem stężenia pyłku, co szczególnie obserwowano w 2013 r. Taka sytuacja występuje wówczas, gdy po ociepleniu powraca pogoda typowa dla zimy, z niską temperaturą i/lub opadami śniegu. Natomiast w latach 2005–2006 obserwowano gwałtowny wzrost stężenia pyłku, gdy ciepła pogoda utrzymywała się stosunkowo długo, do połowy marca. Ten okres niskich stężeń poprzedzający wzrost stężenia pyłku wpływał na długość sezonu, stąd do najdłuższych należały sezony w latach: 2007 i 2008. Większość sezonów charakteryzuje się jednym okresem wysokich stężeń, z wyjątkiem lat 2004, 2011.

Stwierdzono wyraźną zależność pomiędzy wartością sumaryczną pyłku olszy i brzozy w sezonie, stąd suma pyłku olszy może być traktowana jako wskaźnik intensywności sezonu pyłkowego brzozy (im więcej pyłku olszy, tym więcej pyłku brzozy). Z klinicznego punktu widzenia ważna wydaje się obserwacja, że długość sezonu pyłkowego analizowanych drzew jest odwrotnie proporcjonalnie zależna od początku sezonu. Dla olszy, leszczyny i brzozy wykazano, że im wcześniej sezon się zaczyna, tym trwa on dłużej, ale zależność ta nie wiąże się ze wzmożoną intensywnością pylenia, jedynie z dłuższym narażeniem na kontakt z pyłkiem. Zależność tę przedstawiono już dla sezonów pyłkowych leszczyny w Krakowie w okresie 1991–2008 (Piotrowicz i Myszkowska 2006). Dobrym wskaźnikiem początku sezonu pyłkowego traw może być także początek sezonu pyłkowego brzozy. Pozostałe istotne zależności należy traktować ostrożnie, gdyż związek czasowy pomiędzy sezonami jest stosunkowo długi, jak np. zależność końca sezonu pyłkowego leszczyny i bylicy.

Pyłek brzozy pozostaje w powietrzu nawet po zakończeniu właściwego sezonu, czyli w okresie czerwiec–sierpień, jako efekt tzw. redepozycji, dalekiego transportu pyłku lub rozpadu owocostanów w okresie jesiennym (Szczepanek 1994). Zjawisko transportu dalekiego pyłku *Betula* zostało wielokrotnie potwierdzone, m.in. przez Skjøth i wsp. (2007). Na południe od Krakowa, w obszarach górskich kwitnienie brzozy występuje później z uwagi na chłodniejszy klimat (Białobok 1979). Przypuszcza się, że w przypadku, gdy w południowo-wschodniej Polsce zalega układ wysokiego ciśnienia, wieje wiatr z sektora południowego lub wschodniego, wilgotność powietrza jest niewielka (30–50%), to m.in. z regionu Beskidów, gdzie kwitnienie brzozy występuje później, ziarna pyłku są transportowane również na terytorium Krakowa (Piotrowicz i Myszkowska 2008).

Wśród sezonów pyłkowych brzozy w latach 2001–2013 można wyróżnić dwie grupy – sezony bardzo zwarte i mało zwarte. Pierwsze charakteryzują się tym, że trwają krótko (do około 30 dni). Są związane z dość gwałtownym wzrostem temperatury powietrza wiosną (do ponad 20°C), utrzymującą się przez kilka lub kilkanaście dni pogodą słoneczną i suchą (średnia dobową wilgotność względna poniżej 70%). Dobowe stężenie pyłku brzozy podczas takiego zwanego sezonu jest najczęściej bardzo wysokie. Pogoda sprzyja bowiem szybkiemu przekwitaniu tych drzew. Drugi typ sezonu pyłkowego brzozy – mniej zwarty – jest związany z mniej stabilną pogodą przypadającą na okres kwitnienia tych drzew. Dni słoneczne, ciepłe i suche zazwyczaj nie utrzymują się przez kilka dni. Pogoda wówczas jest najczęściej bardzo zmienna, co wpływa na wydłużenie się okresu pyłkowego. Przykładem bardzo zwanego sezonu pyłkowego brzozy są lata: 2001, 2003, 2009, 2011 i 2013. Tego typu obserwacje zostały już przedstawione przez

Myszkowską i Piotrowicz (2009) na podstawie analizy sezonów pyłkowych brzozy w latach 1991–2008.

W okresie pylenia traw istotnymi czynnikami wpływającymi na poziom stężenia pyłku w powietrzu są: warunki termiczne, zachmurzenie, usłonecznienie, opady atmosferyczne i wiatr (Dahl i wsp. 2013). Niskie stężenie pyłku traw w 2005 r. było spowodowane stosunkowo chłodnym latem, natomiast w 2006 i 2012 – ciepłym, bardzo słonecznym i suchym okresem od czerwca do sierpnia. Zdecydowanie wyższe stężenie traw w sezonie jest związane z ciepłym, pogodnym, ale równocześnie dość wilgotnym latem, czyli takim jakie wystąpiło w 2010 r.

Badania przeprowadzone przez Piotrowicz i Myszkowską (2008) wskazują, że wysokie wartości stężenia ziaren pyłku ambrozji w Krakowie są związane z adwekcją mas powietrza polarne kontynentalnego lub zwrotnikowego ze wschodu lub południa, czyli wskazują na pochodzenie ziaren tego pyłku z Ukrainy, Węgier i krajów bałkańskich. Pojawianie się w Krakowie pojedynczych dni z podwyższonym stężeniem pyłku *Ambrosia* wiąże się przede wszystkim z transportem pyłku ze wschodu lub południowego wschodu (Kasprzyk i wsp. 2010).

WNIOSKI

Analiza sezonów pyłkowych w Krakowie w latach 2001–2013 wykazała następujące prawidłowości:

1. Wartość stężenia maksymalnego w sezonie dla wszystkich taksonów i wartość roczna stężenia pyłku (z wyjątkiem sezonów Poaceae) oraz początek sezonu wykazują największą zmienność w badanym okresie.
2. Sezony pyłkowe *Alnus* i *Corylus* trwają prawie równocześnie, a początek sezonu tych drzew wpływa na jego długość i występowanie okresu wysokich stężeń.
3. Największe zróżnicowanie dynamiki sezonowej stwierdzono dla pyłku olszy i leszczyny, do najbardziej stabilnych należały sezony pyłkowe traw. Na stężenie pyłku traw miały wpływ: temperatura dobowa, liczba dni słonecznych oraz opady w okresie lata (VI–VIII).
4. Jedynie w przypadku sumy rocznej i stężenia maksymalnego pyłku *Corylus* pojawił się istotny trend wzrostowy.
5. Sezony pyłkowe *Artemisia* należą do najbardziej stabilnych, o zwartej dynamice, natomiast sezony pyłkowe *Ambrosia* należy raczej traktować jako okresy występowania pojedynczych dni z niską lub podwyższoną koncentracją pyłku.

6. Sumy roczne stężenia ziaren pyłku wykazują silne wahania sezonowe, co może mieć wpływ na poziom objawów alergicznych u uczulonych pacjentów. Znajomość tego zjawiska pozwala lekarzom na obiektywną ocenę skuteczności leczenia, w tym szczególnie immunoterapii swoistej.

Spis literatury

- Białobok S., 1979. Brzozy – *Betula L.* Nasze drzewa leśne, t. 7. Warszawa–Poznań: PAN.
- Dahl Å., Galán C., Hajkova L., Pauling A., Sikoparija B., Smith M., Vokou D., 2013. The onset, course and intensity of the pollen season. [W:] Allergenic pollen. A review of the production, release, distribution and health impacts, M. Sofiev, K.-Ch. Bergmann (Red.). Dordrecht: Springer Science, Business Media: 29–70.
- Frenguelli G., Spieksma F. Th. M., Bricchi E., Romano B., Mincigrucci G., Nikkels A. H., Dankaart W., Ferranti F., 1991. The influence of air temperature on the starting dates of the pollen season of *Alnus* and *Populus*. Grana, 30: 196–200.
- Kasprzyk I., Myszkowska D., Grewling Ł., Stach A., Šikoparija B., Skjøth C. A., Smith M., 2010. 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.
- Myszkowska D., 2006. Pyłek wybranych taksonów roślin w powietrzu Krakowa, 2001–2005. [W:] Pyłek roślin w aeroplanktonie różnych regionów Polski, Weryszko-Chmielewska E. (Red.). Lublin: Katedra i Zakład Farmakognozji z Pracownią Roślin Leczniczych Wydziału Farmaceutycznego Akademii Medycznej im. prof. F. Skubiszewskiego: 21–30.
- Myszkowska D., 2011. Prognozowanie parametrów sezonu pyłkowego traw w Krakowie. Fragmenta Floristica et Geobotanica Polonica, 18(2): 397–407.
- Myszkowska D., 2013. Prediction of the birch pollen season characteristics in Cracow, Poland using an 18-year data series. Aerobiologia, 29(1): 31–44.
- Myszkowska D., 2014a. Poaceae pollen in the air depending on the thermal conditions. International Journal of Biometeorology, 58: 975–986.
- Myszkowska D., 2014b. Predicting tree pollen season start dates using thermal conditions. Aerobiologia, 30: 307–321.
- Myszkowska D., Bilo B., Stępalska D., Wołek J., 2006a. Znaczenie monitoringu pyłkowego stacjonarnego i indywidualnego w diagnostyce alergii pyłkowej. Acta Agrobotanica, 59(1): 373–383.
- Myszkowska D., Dyga W., Piotrowicz K., 2006b. Sezony pylenia olszy i leszczyny w Krakowie w roku 2005 na tle ostatnich 8 lat. Alergologia.Immunologia, 3(1–2): 34–35.
- Myszkowska D., Jenner B., Cywa K., Kuropatwa M., Stępalska D., Piotrowicz K., 2007. Pollen seasons of selected tree and shrub taxa in Kraków and its neighbourhood. Acta Agrobotanica, 60(2): 71–77.
- Myszkowska D., Jenner B., Puc M., Stach A., Nowak M., Malkiewicz M., Chłopek K., Uruska A., Rapiejko P., Majkowska-Wojciechowska B., Weryszko-Chmielewska E.,

- Piotrowska K., Kasprzyk I., 2010. Spatial variations in the dynamics of the *Alnus* and *Corylus* pollen seasons in Poland. *Aerobiologia*, 26: 209–221.
- Myszkowska D., Jenner B., Stępańska D., Czarnobilska E., 2011. The pollen season dynamics and the relationship among some season parameters (start, end, annual total, season phases) in Kraków, Poland, 1991–2008. *Aerobiologia*, 27(3): 229–238.
- Myszkowska D., Piotrowicz K., 2009. Birch (*Betula L.*) pollen seasons in Cracow in 1991–2008 associated to the meteorological conditions. *Acta Agrobotanica*, 62(2): 67–75.
- Myszkowska D., Stępańska D., Obtulowicz K., Porębski G., 2002. The relationship between airborne pollen and fungal spore concentrations and seasonal pollen allergy symptoms in Cracow in 1997–1999. *Aerobiologia*, 18: 153–161.
- Obtulowicz M., 1939. O niezycie pyłkowym. *Biologia Lekarska*, 3: 217–268.
- Obtulowicz K., Myszkowska D., 1995. Alergia pyłkowa. Wytwórnia Surowic i Szczepionek BIOMED w Krakowie. Kraków.
- Obtulowicz K., Myszkowska D., 1996. Aeroplankton and symptoms of pollen allergy in Cracow in 1991–1994. *International Review of Allergology and Clinical Immunology*, 4: 150–154.
- Obtulowicz K., Myszkowska D., Stępańska D., 2000. The efficacy of symptomatic treatment of pollen allergy with regard to pollen concentration – introduction of a new coefficient. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 12(3): 105–109.
- Piotrowicz K., Myszkowska D., 2006. Początek sezonów pyłkowych leszczyny na tle zmienności klimatu Krakowa. *Alergologia. Immunologia*, 3(3–4): 86–89.
- Piotrowicz K., Myszkowska D., 2008. Charakterystyka sezonów pyłkowych wybranych taksonów roślin w Krakowie na tle warunków meteorologicznych, [W:] *Klimat i bioklimat miast*, Kłysik K., Wibig J., Fortuniak K. (Red.). Łódź: Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Katedra Meteorologii i Klimatologii UŁ: 301–311.
- Piotrowska K., Kaszewski B. M., 2009. The influence of meteorological conditions on the start of the hazel (*Corylus L.*) pollen season in Lublin, 2001–2009. *Acta Agrobotanica*, 62(2): 59–66.
- Puc M., Kasprzyk I., 2013. The patterns of *Corylus* and *Alnus* pollen seasons and pollination periods in two Polish cities located in different climatic regions. *Aerobiologia*, 29(4): 495–511.
- Skjøth C. A., Sommer J., Stach A., Smith M., Brandt J., 2007. The long-range transport of birch (*Betula*) pollen from Poland and Germany causes significant pre-season concentrations in Denmark. *Clinical and Experimental Allergy*, 37(8): 1204–1212.
- Szczepanek K., 1994. Pollen calendar for Cracow (southern Poland), 1982–1991. *Aerobiologia*, 10(1): 65–70.
- Walanus A., 1994. Statistical analysis of correlations between pollen rain and the weather. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Jagiellońskiego, Prace Geograficzne*, 97: 33–46.

THE ANALYSIS OF POLLEN SEASONS OF SELECTED PLANT TAXA
IN CRACOW IN 2001–2013

Abstract

Pollen monitoring in Kraków has been carried out since 1991 using the volumetric method; it included more than 40 plant taxa and fungal spores of *Alternaria* and *Cladosporium*. The results of pollen monitoring are used in medical practice. The aim of the study was to analyze the pollen seasons of selected allergenic plant taxa in Kraków in 2001–2013.

The pollen data were collected in Kraków in 2001–2013 using two volumetric samplers. Pollen grains were counted along four horizontal lines and daily pollen concentration was calculated per 1 m³ of air. Pollen seasons of six taxa were considered: *Alnus* (alder), *Corylus* (hazel), *Betula* (birch), Poaceae (grasses), *Artemisia* (mugwort), and *Ambrosia* (ragweed). The following season characteristics: season start, end, and duration calculated using the 98% method, maximum concentration and SPI value, were analyzed in the studied period. Descriptive statistics and regression analysis were used to estimate the trends in the variability of seasonal characteristics.

Maximum pollen concentration, SPI value, and season start date were found to be the most variable features in the studied period. *Alnus* and *Corylus* pollen seasons occurred at the same time. Season start dates affect season end dates and the date of maximum concentration. The most variable seasonal dynamics was indicated in case of *Alnus* and *Corylus* pollen seasons. Daily temperature, number of sunny days and precipitation in summer (VII–VIII) influence the grass pollen count. In case of the SPI value and maximum concentration for *Corylus*, a statistically significant increasing trend was found. The highest *Artemisia* concentrations, recorded in the first 10 days of August, coincided with the occurrence of *Ambrosia* pollen, e.g. in 2008.

Long-term pollen monitoring in Kraków allowed us to investigate the seasonal dynamics of six selected plant taxa. It was found that *Alnus* and *Corylus* pollen seasons were the most variable seasons. The annual pollen sums showed distinct seasonal differences, which could influence seasonal allergic symptoms in sensitive patients and an objective assessment of treatment efficacy, especially in case of allergen immunotherapy.