

DYNAMIKA PYŁU ZAWIESZONEGO NA PODSTAWIE WYNIKÓW UZYSKANYCH W STACJI MONITORINGU AKADEMII ŚWIĘTOKRZYSKIEJ W LATACH 1994–2000

Marek Józwiak, Hubert Wróblewski

Józwiak M., Wróblewski H.: Dynamika pyłu zawieszonego na Stacji Monitoringu Akademii Świętokrzyskiej w latach 1994-2000 (*Dynamics of suspended dust concentration on the basis of results obtained at the Świętokrzyska Academy Monitoring Station in the years 1994-2000*), Regionalny Monitoring Środowiska Przyrodniczego Nr 3 s. 87–93, Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce.

Zarys treści. W opracowaniu przedstawiono dynamikę pyłu zawieszonego na podstawie wyników uzyskanych w Stacji Monitoringu Akademii Świętokrzyskiej w latach 1994-2000. Pył jest jednym z głównych składników zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego. W zależności od rodzaju i rozdrobnienia pył może swobodnie opadać w powietrzu lub też utrzymywać się przez długi czas w postaci zawieszony. Stacja Monitoringu Akademii Świętokrzyskiej na Św. Krzyżu zlokalizowana jest w dolnej części peryglacialnej terasy, na wysokości 510 – 530 m n.p.m. w Świętokrzyskim Parku Narodowym. Dotychczas przeprowadzone badania wykazały, iż środowisko przyrodnicze SPN znajduje się w fazie różnokierunkowych, zaawansowanych i mających cechy narastające przemian ewolucyjnych. Pył jest jednym z głównych składników zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego. Dotychczasowe badania nie wykazały jednoznacznie, jakie są trendy zachowań pyłu zawieszonego w dolnej części troposfery.

Marek Józwiak Stacja Monitoringu, Zakład Ochrony i Kształtowania Środowiska w Instytucie Geografii Akademii Świętokrzyskiej, ul. Świętokrzyska 15, 25-406 Kielce.

Hubert Wróblewski Stacja Monitoringu Akademii Świętokrzyskiej, ul. Świętokrzyska 15, 25-406 Kielce.

1. Wprowadzenie

Za zanieczyszczenia powietrza uważa się obecność w dolnej warstwie atmosfery substancji stałych, ciekłych i gazowych obcych naturalnemu jej składowi i występujących w ilościach zagrażających zdrowiu człowieka, szkodliwych dla roślin, zwierząt i niekorzystnie wpływających na klimat oraz sposób wykorzystania określonych elementów środowiska. Dokładna znajomość rodzaju, przyczyn, rozmiarów i dynamiki zanieczyszczeń jest podstawą ukierunkowanych zabiegów w celu przywrócenia i dalszego zachowania czystości powietrza atmosferycznego. Do podstawowych zanieczyszczeń powietrza pochodzących z tzw. emisji pierwotnej należą: SO₂, NO_x, CO, CO₂ i pył zawieszony. Ich czas przebywania w atmosferze jest inny dla każdego składnika i obejmuje przedział kilku dni. W tym czasie wiatr może przenosić zanieczyszczenia na odległości bliskie (do 50 km), średnie (50–100km) i dalekie – zdalne (nawet do 1000 km). Można przyjąć, że cała Europa jest pod wpływem emisji powstałej w wyniku procesów naturalnych, na którą nakłada się emisja powstająca pod wpływem działalności człowieka.

Pył jest jednym z głównych składników zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego. W zależności od ro-

dzaju i rozdrobnienia pył może swobodnie opadać w powietrzu lub też utrzymywać się przez długi czas w postaci zawieszony.

Zapylenie dolnej warstwy atmosfery wykazuje zmienność w różnych obszarach kuli ziemskiej. Głównymi składnikami tego zapylenia jest pył eoliczny i przemysłowy. Według Fetta (1961) pył eoliczny (mineralny) stanowi 2/3 do 3/4 ogólnej ilości pyłu w atmosferze. Naturalny pył jest bardzo podobny pod względem właściwości mechanicznych do pyłów powstających w toku działalności przemysłowej (Scheidegger 1974). Drobne cząstki tych pyłów mogą cały czas pozostawać w powietrzu w postaci zawieszony, o ile nie zostaną wyplukane przez deszcz lub opadną w wyniku oddziaływań elektrycznych (Beavers 1957). Składają się one z kondensacyjnych agregatów i dyspersyjnych cząstek o średnicy mniejszej od 10 μm o charakterze aerozoli. Prowadzone przez Freedmana (1989) badania nie wykazały jednoznacznie, jakie są trendy zachowań pyłu zawieszonego w dolnej części troposfery.

Celem niniejszego opracowania jest przedstawienie dynamiki pyłu zawieszonego na podstawie wyników uzyskanych w Stacji Monitoringu Akademii Świętokrzyskiej w latach 1994–2000.

2. Charakterystyka i źródła pochodzenia pyłu zawieszonego

Według Polskiej Normy PN-64/Z-01001 pyłem nazywa się „fazę stałą układu dwufazowego ciała stałe-gaz lub gaz-ciało stałe, jeżeli stopień rozdrobnienia fazy stałej jest tak duży, że w nieruchomym powietrzu o ciśnieniu 760 mmHg i temperaturze 20 °C ziarna ciała stałego, na które działa tylko siła ciężenia, po bardzo krótkim okresie przyspieszenia, wskutek oporu przepływu ośrodka, będą opadały ze stałą prędkością mniejszą niż 500 cm·s⁻¹ lub będą wykonywały ruchy Browna”.

Cząstki o średnicach poniżej 2 µm (fine particles) tworzą tak zwaną klasę drobną (Zawoździak 1986). W ramach tej klasy koegzystują dwie populacje cząstek:

- cząstki o średnicach poniżej 0,1 µm. Jest to tzw. frakcja zarodkowa lub jądra Aitkena (nukleation mode). Cząstki zachowują się jak molekuly gazowe i wykonują ruchy Browna. W atmosferze na skutek koagulacji w krótkim czasie tworzą duże skupiska cząstek (szybkość koagulacji jest odwrotnie proporcjonalna do kwadratu promienia). W związku z tym czas ich przebywania w stanie pierwotnym jest krótki (liczony w minutach);
- cząstki o średnicach w zakresie 0,1 – 2,0 µm. Jest to tzw. frakcja akumulująca się w atmosferze (accumulation mode). Stanowi najwyższy udział w całkowitej ilości cząstek w aerozolu atmosferycznym. Czas przebywania tych cząstek w atmosferze może dochodzić do dwóch tygodni i więcej dlatego mogą uczestniczyć w transporcie na dalekie odległości. Formowane są w wyniku koagulacji cząstek drobniejszych, lecz same ulegają w nieznacznym stopniu koagulacji. Narastają zwłaszcza w wyniku procesów adsorpcji lub kondensacji innych substancji na ich powierzchniach. Także większość reakcji chemicznych, jakie zachodzą między molekułami gazowymi i cząstkami, przebiegają na powierzchniach tej właśnie frakcji.

Drugą klasę cząstek w atmosferze stanowią cząstki o średnicy powyżej 2 µm (coarse particles). Jest to tzw. frakcja gruba. Cząstki te nie są liczne w aerozolu, ich masa jednak może stanowić nawet 95% całkowitej masy wszystkich cząstek. Frakcja ta jest skutecznie usuwana z atmosfery w czasie opadów oraz w wyniku sedymentacji i wskutek tego czas jej przebywania w atmosferze wynosi kilka godzin.

Właściwości pyłów zależą nie tylko od wymiarów ziaren, ale również od źródła jego pochodzenia lub formy występowania. W Polskiej Normie przyjęto podział na pyły dyspersyjne i pyły kondensacyjne. Pyły dyspersyjne powstają wskutek mechanicznego rozdrabniania, natomiast pyły kondensacyjne wskutek skraplania się i zestalania par.

Skład pyłów pochodzenia antropogenicznego jest bardzo różnicowany w zależności od dominujących gałęzi przemysłu. Greszta (1987) wyróżnia 4 grupy:

- pyły pochodzące z urządzeń paleniskowych zawierają: węgiel, sadzę, tlenki metali, krzemiany i inne,
- przemysł materiałów budowlanych dostarcza pyłów zawierających: tlenki wapnia, krzemu, glinu, krzemiany, węglany i inne,
- huty żelaza i odlewnie emitują: tlenki manganu, żelaza, tytanu, cynku, wanadu, fosforany, fluorki i inne,

- przez zakłady hutnictwa metali nieżelaznych są emitowane: tlenki krzemu, metale ciężkie (ołów, cynk, miedź, kadm i inne), tlenki glinu itp.

Tab. 1. Klucz do identyfikacji głównych kategorii źródeł emisji (Zwoździak 1986)

Tab. 1. Key to identification of the main categories of emission sources (Zwoździak 1986)

Pierwiastki	Pierwiastki towarzyszące	Kategorie źródeł	Rodzaje źródeł
Na, Cl Al., Si, K, Ca, Mn, Fe	Ti, Sr, Rb, Li, Sc	naturalne	Morskie pochodzenie Erozja gleb i skał, niszczenie fasad budynków, ścieranie nawierzchni dróg
Al., Si, K, Ca, Mn, Fe V Zn, Sb, Cl C	Zn, As, Se Na, Cl, Fe, Zn, Ni Na, Fe, Al, Cd K, Na	spalanie	Elektrownie węglowe Elektrownie olejowe Spalanie odpadów Spalanie materiałów budowlanych
Pb, Br S, C Zn	C, Cl, Ba, Zn Fe, Cl, Ca, Cu C	transport	Samochody benzynowe Samochody Diesla Ścieranie opon samochodowych
Fe, Mn Cu, Zn, Pb, Cd, Sb, As	Ca, Al., Si Fe, Mn, Ca, Mg, Al	hutnictwo	Stalownie, huty żelaza i stali Hutnictwo metali nieżelaznych
Ca Ti	Si, Al., Fe, Ti Fe, Mn	Inne	Cementownie Malmarnie

3. Obszar badań

Region Gór Świętokrzyskich wyniesiony w stosunku do otoczenia od 100 do 400 m znajduje się pod wpływem zarówno lokalnych jak i zdalnych emisji przemysłowych i transportowych, szczególnie z kierunków dominujących zachodnich oraz północno- i południowo zachodnich wiatrów.

Stacja Monitoringu Akademii Świętokrzyskiej – Stacja Bazowa Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego Święty Krzyż zlokalizowana jest w dolnej części peryglacialnej terasy, na wysokości 510 – 530 m n.p.m. w Świętokrzyskim Parku Narodowym. Dotychczas przeprowadzone badania wykazały, iż środowisko przyrodnicze ŚPN znajduje się w fazie różnokierunkowych, zaawansowanych i mających cechy narastające przemian ewolucyjnych (Jóźwiak 2001, Jóźwiak, Kowalkowski 2002, Kowalkowski i wsp. 2002, Kozłowski 2001).

Źródłami bezpośrednimi części zanieczyszczeń pyłowych powietrza, mierzonymi w ŚPN są elektrownie, gospodarstwa domowe, ciepłownie, zakłady przemysłowe i komunikacja. Z lokalizacją Stacji, zarówno ze względu na jej usytuowanie na wysokości powyżej 500 m n.p.m., jak i na kierunku przepływu zanieczyszczonych mas powietrza związana jest rejestracja stężeń pyłu zawieszonego pochodzącego z transportu dalekiego.

Dominującymi źródłami zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego o zasięgu regionalnym stały się tu w latach 70- i 80-tych XX wieku dynamicznie rozwijające się zakłady przemysłu hutniczo-metalurgicznego, wydobywania i przetwórstwa siarki, komunikacja i transport drogowy. Zaliczyć możemy do nich przede wszystkim oddaloną o około 50 km Elektrociepłownię w Połańcu, o 30 km Ciepłownię w Kielcach, o około 25 km Hutę w Ostrowcu Świętokrzyskim, o około 50 km kopalnię siarki w Grybowie oraz miasta województwa świętokrzyskiego (min. Kielce i Ostrowiec Świętokrzyski). Zanieczyszczenia pochodzące z tzw. średniego transportu pochodzą głównie

z oddalonego o około 100 km ośrodka krakowskiego miejskiego. Oprócz lokalnych emitorów do odległości 50 - 100 km istotny wpływ na stan zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego w regionie świętokrzyskim, wg Toffela i Wolskiego (1996), mają odległe ośrodki miejsko - przemysłowe. Do nich należą przede wszystkim GOP oraz region Morawskiej Ostrawy w Czechach, na co wskazują zdjęcia satelitarne smug dymów o dalekim zasięgu, związanych z szybkim przemieszczaniem się mas skażonego powietrza z kierunków zachodniego, południowo - zachodniego i południowego.

4. Metoda badań

Badania przedstawione w niniejszym opracowaniu przeprowadzono w latach 1994-2000 i dotyczą pomiarów pyłu zawieszonego ogółem (*Total Suspended Particles TSP*).

Do pomiarów wykorzystywany był analizator pyłu zawieszonego w powietrzu FH 62 I-N (APDA-351 E). Jest to urządzenie przeznaczone do ciągłego pomiaru stężenia ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) cząstek pyłu zawieszonych w powietrzu.

Powietrze mierzone pobierane jest ze stałym przepływem przez czerpię, umieszczoną na wysokości 3 m nad powierzchnią gruntu. Cząsteczki pyłu zawarte w powietrzu osadzają się na taśmie filtrującej z włókna szklanego GF10 lub 3481. Pomiar nagromadzonego pyłu dokonywany jest na zasadzie pochłaniania promieniowania typu beta. Promieniowanie typu beta, wychodzące ze źródła (^{85}Cr) wbudowanego do przyrządu, przenika przez taśmę filtrującą ze zgromadzonym na niej pyłem. Osłabienie wiązki promieniowania, natężenie której jest mierzone za pomocą komory jonizacyjnej, stanowi miarę masy, przez którą przeszło promieniowanie. Zmierzony sygnał jest wzmacniany i przez przetwornik analogowo-cyfrowy przesyłany jest do bloku procesora. Koncentracja pyłu obliczana jest na podstawie narastającej w czasie masy pyłu. Błąd pomiaru wynosi $\pm 30 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ przy przepływie $1 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ z czasem uśrednienia 30 minut oraz $\pm 10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ przy przepływie $1 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ z czasem uśrednienia 1h. Uzyskane dane z pomiarów ciągłych były uśredniane do wartości 30-minutowych za pomocą oprogramowania IDA 720. Średnie stężenie roczne z serii dziennych pomiarów obliczono jako średnią arytmetyczną ze stężeń miesięcznych przyjmując zasadę, że przerwa w pomiarach nie może być dłuższa niż jeden miesiąc (30 kolejnych dni). Średnie miesięczne obliczono w oparciu o co najmniej 20 poprawnych dobowych wyników w miesiącu.

Pomiarów temperatury, wilgotności względnej powietrza dokonywano przy użyciu czujników fińskiej firmy Vaisala, prędkość i kierunek wiatru mierzone przy użyciu czujników firmy Trax-elektronik, opady przy użyciu deszczomierza Hellmana.

5. Wyniki

Warunki meteorologiczne

Góry Świętokrzyskie wyróżniają się wśród sąsiadujących regionów indywidualizmem klimatycznym wyznaczonym przez wiele cech. Między innymi do nich należą: sumy rocznych opadów wyższe od 650 mm, średnie roczne temperatury niższe od 7°C , średnie temperatury powietrza w styczniu niższe od -4°C , średnie temperatury po-

wietrza lipca niższe od $17,5^\circ\text{C}$, średni czas trwania lata termicznego krótszy od 90 dni, średni czas trwania zimy termicznej liczący ponad 100 dni, średnie sumy parowania terenowego ponad 450 mm (Paszyński, Niedźwiedź 1991). Wraz z innymi elementami klimatu cechy te upodabniają Region Świętokrzyski do terenów górskich lub Polski północno-wschodniej (Olszewski 1992).

Stacja Monitoringu Akademii Świętokrzyskiej położona na wysokości 513,5 m n.p.m. jest drugą po stacji meteorologicznej na Św. Krzyżu (595 m n.p.m.) stacją, która reprezentuje warunki górskie w regionie Gór Świętokrzyskich. Pozostałe najbliższe położone stacje meteo znajdują się na wysokości 270 m n.p.m. (Bodzentyn) i 307 m n.p.m. (Nowa Słupia).

Temperatura i wilgotność

Temperatura należy do najbardziej wyraźnych i odczuwalnych elementów meteorologicznych. W okresie przyjętym do badań średnia roczna temperatura wahała się od $4,85^\circ\text{C}$ w roku 1996 do $8,87^\circ\text{C}$ w roku 2000. Najniższe średnie miesięczne temperatury odnotowano w styczniu $-3,42^\circ\text{C}$ i w grudniu $-3,21^\circ\text{C}$, najwyższe w lipcu $16,82^\circ\text{C}$, z najwyższą średnią miesięczną temperaturą $19,92^\circ\text{C}$ i w sierpniu $16,20^\circ\text{C}$ z najwyższą średnią miesięczną $16,93^\circ\text{C}$ (tab. 2).

Tab. 2. Średnie miesięczne i roczne temperatury powietrza w centralnej części Gór Świętokrzyskich w latach 1994-2000

Tab. 2. Average air monthly temperature in the central part of the Świętokrzyskie Mountains in years 1994-2000

mie- siąc/ rok	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	śred nia
1994	-0,21	-4,06	1,83	7,09	10,97	14,19	19,92	16,19	13,47	4,69	1,44	-0,89	7,05
1995	-4,20	0,79	0,20	5,63	10,85	15,04	18,62	16,93	10,87	9,76	-2,03	-6,18	6,36
1996	-7,34	-7,48	-4,50	6,54	13,27	15,37	14,58	16,29	7,59	7,16	3,74	-7,06	4,85
1997	-5,59	-0,93	0,92	2,52	12,24	15,31	15,78	16,88	11,02	3,90	1,06	-2,33	5,90
1998	-1,20	1,54	-1,10	8,27	12,31	15,89	15,99	14,65	11,28	5,52	-3,22	-4,04	6,32
1999	-1,27	-3,69	2,41	7,80	11,24	15,89	18,13	15,68	14,03	5,60	-0,16	-2,49	6,93
2000	-4,12	-0,67	0,88	10,93	13,77	16,02	14,70	16,78	9,81	10,64	5,08	0,50	7,86
śred nia	-3,42	-2,07	0,09	6,97	12,09	15,39	16,82	16,20	11,15	6,75	0,84	-3,21	6,47

Tab. 3. Średnie miesięczne i roczne wartości wilgotności względnej powietrza w centralnej części Gór Świętokrzyskich w latach 1994-2000

Tab. 3. Average air monthly relative moisture in the central part of the Świętokrzyskie Mountains in the years 1994-2000

mie- siąc/ rok	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	śred nia
1994	93,00	89,77	87,50	78,25	72,16	72,65	61,04	77,31	86,65	91,03	87,41	87,07	81,99
1995	93,18	87,47	86,49	80,62	73,89	78,55	67,30	70,28	90,60	84,28	87,06	88,94	82,39
1996	90,97	88,29	89,13	81,38	84,23	81,52	88,37	90,03	95,21	89,77	83,63	87,12	87,47
1997	88,10	90,78	86,07	87,10	76,90	76,10	85,60	76,03	81,45	89,00	92,55	80,73	84,20
1998	87,20	88,41	83,93	84,03	76,33	83,52	85,47	85,13	86,66	91,00	91,66	87,73	85,92
1999	90,60	89,04	86,77	79,52	72,60	85,41	78,20	78,27	80,79	91,07	92,03	89,80	84,51
2000	88,87	92,43	90,33	69,72	70,60	71,45	85,43	78,53	80,14	80,07	85,00	91,00	81,96
śred nia	90,27	89,45	87,18	80,09	75,25	78,46	78,77	79,37	85,93	88,03	88,48	87,49	84,06

Spośród charakterystyk wilgotnościowych, wilgotność względna powietrza zależy głównie od temperatury powietrza. Surowe warunki termiczne panujące w otoczeniu Stacji wpływają na podwyższenie wartości tego elementu. Średnia roczna wilgotność względna powietrza za lata 1994-2000 wynosi 84,06% i jest nieco wyższa od średniej z wielolecia 1955-1987, która wynosi 83,3% (Pielacińska 1989). Najwyższą średnią roczną wilgotność zanotowano

w roku 1996 (87,47%), najniższą w 2000 r. (81,96%). Roczny przebieg wilgotności względnej powietrza jest zbliżony do typu charakterystycznego dla kontynentalnego klimatu umiarkowanego. Najwyższe średnie miesięczne wartości występują w chłodnej porze roku z maksimum w styczniu (90,27%), najmniejsze w maju (75,25%).

Największą zmiennością wilgotności charakteryzuje się okres wiosenny i letni (tab. 3).

Opady

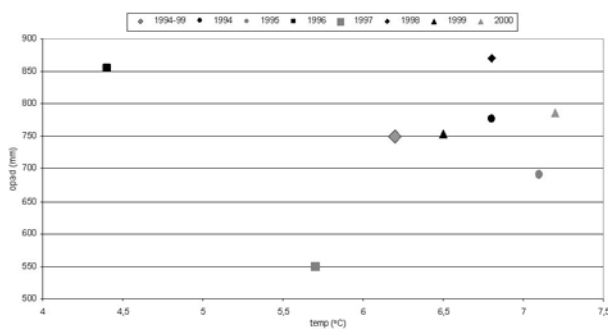
Średni roczny opad w wieloleciu 1994-2000 wyniósł 756,67 mm i był niższy o 51,73 mm od średniego opadu na Świętym Krzyżu podanego przez Olszewskiego i wsp. (1994) za lata 1955-1993. W okresie objętym badaniami roczne sumy opadów wahały się od 558,7 mm w roku 1999 do 907,8 mm w roku 1998 (tab. 4). W ciągu roku największe miesięczne sumy opadów stwierdzono lipcu w 2000 roku (197,1 mm) i 1997 roku (193,6 mm) oraz w czerwcu w 1999 roku (155,7 mm) i 1998 roku (154,8 mm).

Tab. 4. Miesięczne i roczne sumy opadów w centralnej części Gór Świętokrzyskich w latach 1994-2000

Tab. 4. Annual and monthly average sums of atmospheric rainfalls in the central part of the Świętokrzyskie Mountains in the years 1994-2000

mie- siąc rok	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	su- ma
1994	76,3	13,8	91,7	91,8	82,3	68,9	70,4	58,7	69	77,4	54,3	85	839,6
1995	50,2	67,6	41,9	88,1	42	98,1	25,2	43,9	79,8	18,9	46,7	37,4	639,8
1996	23,1	41	53,8	19,5	110,9	77,4	89,2	139,2	152,5	41,1	61,5	16,7	825,9
1997	10,8	45,8	28,3	34,6	78,8	56,2	193,6	52,7	46,4	73	49,3	50,9	720,4
1998	48,3	34,1	67,5	77,4	43,3	154,8	95,6	85,4	106,5	93,8	50,3	50,8	907,8
1999	7,9	0,1	21	25,1	35,4	155,7	66,6	70,4	24,1	67,9	54,7	29,8	558,7
2000	63,7	54,4	94,3	48,4	42,4	46,5	197,1	60,3	90,5	3,9	48,7	54,3	804,5
śred- nia	40,04	36,69	56,93	54,99	62,16	93,94	105,3	72,94	81,26	53,71	52,21	46,41	756,6

Charakterystyka termiczno-opadowa wskazuje, że rok 2000 był rokiem najcieplejszym, natomiast rok 1998 charakteryzował się największą ilością opadów w wieloleciu 1994-2000 (ryc. 1).



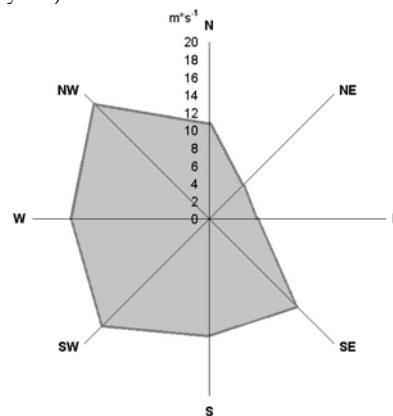
Ryc. 1. Charakterystyka termiczno-opadowa w centralnej części Gór Świętokrzyskich w latach 1994-2000

Fig. 1. Thermic-rainfall characterization in the central part of the Świętokrzyskie Mountains in the years 1994-2000

Prędkość i kierunek wiatru

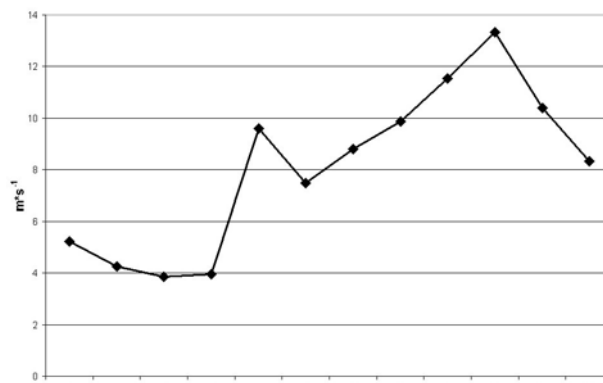
Poznanie warunków anemometrycznych Stacji Monitoringu AŚ ma duże znaczenie nie tylko w skali lokalnej. Ze względu na lokalizację wiatromierza na wysokości 614,5 m n.p.m., otrzymujemy informacje o wietrze, którego kierunek i prędkość nawiązuje do parametrów wiatru geostroficznego, a ten przenosi zanieczyszczenia pochodzące z odległych źródeł emisji. W wieloleciu 1994-2000

dominującym kierunkiem wiatru był SW, W i NW. Najrzadziej wiały wiatry z kierunku E i NE (ryc. 2). Średnia prędkość wiatru w wieloleciu 1994-2000 wynosi 5,82 m·s⁻¹. W cyklu rocznym w aktywności wiatru zaznaczają się 4 okresy. Najsilniej wiał wiatr w miesiącach wrzesień i październik, kolejnym okresem były miesiące listopad, grudzień, styczeń i luty. Najslabiej wiało w marcu i kwietniu (ryc. 3).



Ryc. 2. Częstotliwość występowania wiatrów z określonego kierunku [%] w centralnej części Gór Świętokrzyskich w latach 1994-2000

Fig. 2. Frequency of occurrence of wind from definite direction [%] in the central part of the Świętokrzyskie Mountains in the years 1994-2000



Ryc. 3. Średnie miesięczne prędkości wiatru w centralnej części Gór Świętokrzyskich w latach 1994-2000

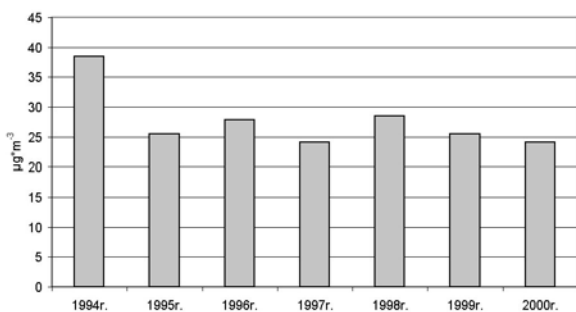
Fig. 3. Average monthly wind speed in the central part of the Świętokrzyskie Mountains in the years 1994-2000

Stężenie pyłu zawieszonego

Średnie stężenie pyłu zawieszonego w wieloleciu 1994-2000 wynosiło 27,72 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Najwyższe średnie roczne stężenie odnotowano w 1994 roku – 38,46 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, najmniejsze w 2000 r. – 24,13 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Średnie roczne stężenia pyłu w analizowanym okresie wykazują tendencję spadkową (ryc. 4). Znajduje to potwierdzenie w zmniejszającej się wielkości emisji w województwie świętokrzyskim z 8,9 tys. Mg/rok w 1994 r. do 6,2 tys. Mg/rok w 2000 r. oraz w województwach sąsiadujących łącznie z 104,4 tys. Mg/rok w 1999 r. do 82,5 tys. Mg/rok w 2000 r. (Raport 1996, 1999, 2000, 2001).

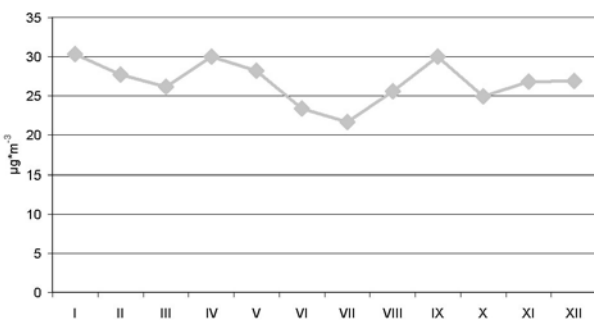
Dynamika stężenia pyłu jest uzależniona od wielu czynników naturalnych i antropogenicznych. W ciągu roku wykazuje sezonową zmienność (ryc. 5). W badanym wieloleciu zima charakteryzowała się największym średnim stężeniem, które wynosiło 28,31 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Największe średnie miesięczne stężenie pyłu stwierdzono w styczniu – 30,31 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, z maksimum 30-minutowym 274 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

i w lutym $27,72 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, z maksimum $216 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Kolejnymi okresami o dużych stężeniach pyłu zawieszonego są wiosna – $28,16 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ i jesień – $27,30 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Największe średnie miesięczne stężenia w okresie wiosennym stwierdzono w kwietniu – $30,03 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ z maksymalną 30-minutową $208 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ i w maju – $28,24 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, z maksimum $193 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Znacznie niższe średnie miesięczne stężenia pyłu zawieszonego notowano w okresie letnim – od $21,69 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ w lipcu do $25,60 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ w sierpniu, przy średniej za ten okres $23,53 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Również wartości maksymalne 30-minutowe w ciągu doby osiągały niższe wartości: w czerwcu i lipcu po $140 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, w sierpniu $127 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Sezonowa dynamika stężenia pyłu zawieszonego jest związana z aktywnością człowieka w środowisku. W okresie zimy i początku wiosny, gdy trwa sezon grzewczy emitowana jest do atmosfery duża ilość pyłów z elektrociepłowni i gospodarstw przydomowych. W miesiącach wiosennych i jesiennych, kiedy gleba pozbawiona jest jeszcze chroniącej ją pokrywy roślinnej na gruntach ornych trwają intensywne prace polowe. W czasie wykonywania zabiegów agrotechnicznych duża ilość materiału mineralnego dostaje się do powietrza. Intensywność tych procesów w Górach Świętokrzyskich opisał Józwiak (1999).



Ryc. 4. Średnie roczne stężenie pyłu zawieszonego w centralnej części Gór Świętokrzyskich w latach 1994-2000

Fig. 4. Average annual suspended dust concentration in the central part of the Świętokrzyskie Mountains in the years 1994-2000

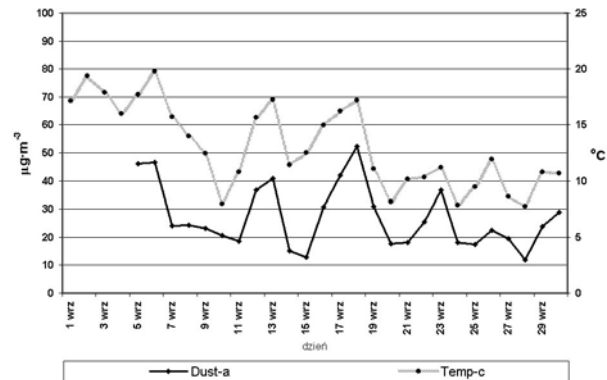


Ryc. 5. Średnie miesięczne stężenia pyłu zawieszonego w centralnej części Gór Świętokrzyskich w latach 1994-2000

Fig. 5. Average monthly suspended dust concentration in the central part of the Świętokrzyskie Mountains in the years 1994-2000

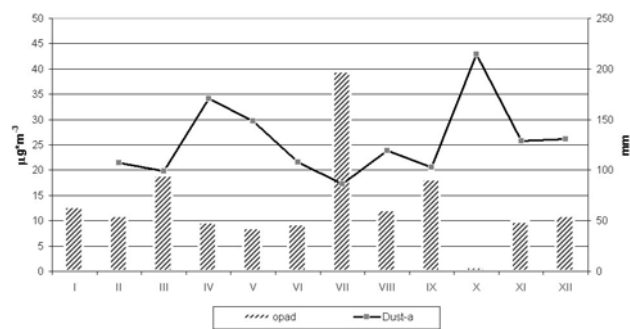
Istotny wpływ na zmienność pyłu zawieszonego mają warunki meteorologiczne. Analiza wahań stężenia pyłu na tle temperatury wskazuje, że są one zgodne (ryc. 6). Należy przypuszczać, że jest to związane ze sposobem poruszania się cząstek pyłu zawieszonego w powietrzu (ruch Browna). Zwiększenie wilgotności względnej powietrza powoduje zmniejszenie stężenia pyłu w powietrzu (ryc. 8). Przy wilgotności powyżej 70% cząsteczki pyłu zawieszonego mogą agregować i poprzez zwiększenie swojej masy

szybciej osiadają na powierzchni. Opady deszczu spełniają rolę czyszczącą powietrze atmosferyczne. Wyniki badań nad pyłem zawieszonym w centralnej części Gór Świętokrzyskich wykazały, że każdorazowo po wystąpieniu opadów stężenie pyłu zawieszonego malało (ryc. 7). Rola wiatru w dynamice stężenia pyłu nie jest tak klarowna jak w przypadku wystąpienia opadów deszczu. Wzrost bądź spadek stężenia jest uzależniony od siły i kierunku wiatru.



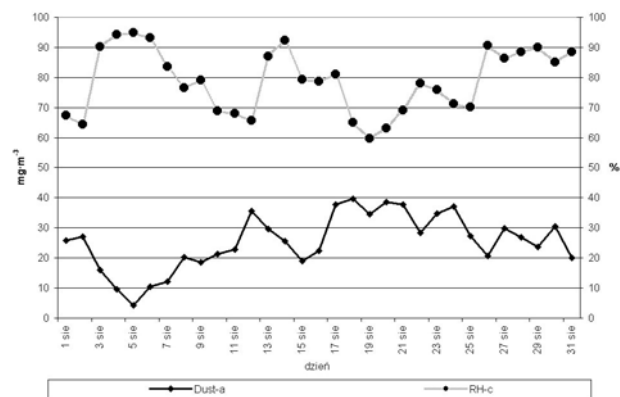
Ryc. 6. Dynamika stężenia pyłu zawieszonego na tle temperatury powietrza we wrześniu 1997

Fig. 6. Dynamics of suspended dust concentration against the background of air temperature in September of 1997



Ryc. 7. Dynamika pyłu zawieszonego na tle opadów atmosferycznych w 2000 roku

Fig. 7. Dynamics of suspended dust concentration against the background of atmospheric falls in the year 2000

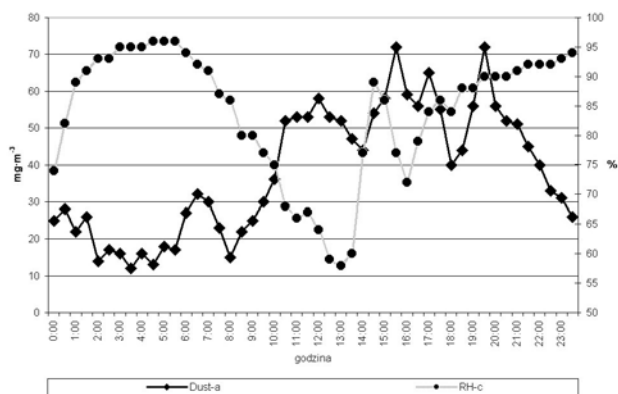


Ryc.8. Dynamika pyłu zawieszonego na tle wilgotności względnej w sierpniu 1996

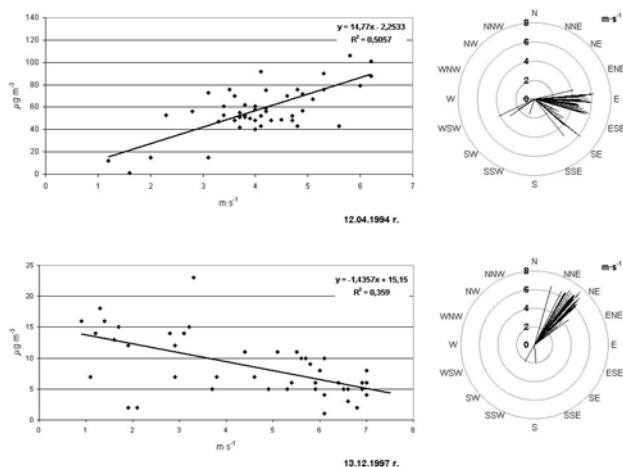
Fig. 8. Dynamics of suspended dust concentration against the background of air relative moisture in August of 1996

W okresie wielolecia 1994–2000 w Stacji Monitoringu notowano zarówno wzrost jak i spadek stężenia pyłu uzależniony od tego parametru. Stwierdzono, że jeżeli wiatr wieje znad obszaru o dużej emisji pyłów wówczas wraz ze wzrostem prędkości wiatru rośnie stężenie pyłu, natomiast, gdy wiatr wieje z kierunku, gdzie nie ma zlokalizowanych

wyraźnych źródeł emisji, stężenie pyłu wraz z prędkością wiatru maleje (ryc. 10).



Ryc. 9. Dynamika pyłu zawieszonego na tle wilgotności względnej w dniu 09.05.1995 r.
Fig. 9. Dynamics of suspended dust concentration against the background of air relative moisture on 9 May 1995



Ryc. 10. Zależność stężenia pyłu zawieszonego od siły i kierunku wiatru w dniach 12.04.1994 r. i 13.12.1997 r.
Fig. 10. Dependence of suspended dust concentration on the force and direction of wind on 12 April 1994 and 13 December 1997

6. Podsumowanie

W skład pyłu zawieszonego w powietrzu wchodzi pierwotne cząstki zdyspergowane mineralne i organiczne pochodzące z biosfery i litosfery oraz cząstki wtórne powstające w rezultacie procesów chemicznych w atmosferze. Skład ten jak wykazały badania pod mikroskopem elektronowym (Kowalkowski, Józwiak 1996) jest bardzo urozmaicony tak pod względem wielkości jak i form. Ilościowe zróżnicowanie uzależnione jest od pory roku. W okresie późnej jesieni i zimą dominują agregaty o kształtach kulistych – pochodzenia przemysłowego, natomiast wiosną, latem i wczesną jesienią agregaty różnokształtne pochodzenia mineralnego i organicznego.

Dynamika stężenia pyłu zawieszonego jest uzależniona od wielu czynników. Na podstawie badań przy użyciu analizatora pyłu zawieszonego całkowitego stwierdzono, że największe stężenie pyłu występuje zimą i kolejno wiosną, jesienią i latem. Spośród analizowanych czynników naturalnych na zmianę koncentracji pyłu w głównej mierze wpływają opady atmosferyczne. Stwierdzono również, że wzrostowi stężenia pyłu w powietrzu towarzyszy wzrost temperatury i spadek

wilgotności względnej powietrza. Prawdopodobnie ta występowała zarówno przy analizowaniu sezonowych jak i dobowych wartości stężenia pyłu zawieszonoego. Prędkość i kierunek wiatru odgrywa istotną rolę w dynamice występowania stężeń pyłu, wskazując przede wszystkim na pochodzenie zanieczyszczenia.

7. Literatura

- Beavers A.H. 1957: *Source and deposition of clay minerals in Peorian loess*. Science, New York 126, :1285.
- Fett W. 1961: *Atmosphärische Pyl*. Thum. z niem. „Der Atmosphärische Staub”. 1958 Moskwa.
- Freedman B. 1989: *Environmental ecology. The imports of pollution and other stresses on ecosystem structure and function*. Academic Press Inc. San Diego, New York, Berkeley, Boston, London, Sydney, Tokyo, Toronto :424.
- Greszta J., 1987: *Wpływ przemysłowego zanieczyszczenia powietrza na lasy*, Wyd. SGGW-AR Warszawa.
- Józwiak M. 1999: *Ocena erozji eolicznej w Górach Świętokrzyskich na przykładzie wybranych zwięzi użytkowanych rolniczo*, Fragmenta Agronomika, 3/99, :4-69.
- Józwiak M., 2001: *Funkcjonowanie wybranego geoekosystemu w Górach Świętokrzyskich w warunkach kwaśnej emisji*, Przegl. Geol., 49, 9, :775-779.
- Józwiak M., Kowalkowski A., 2002: *Wpływ zagospodarowania terenu na zmiany właściwości fizyko-chemicznych i chemicznych wód powierzchniowych w zlewni badawczej Stacji Bazowej ZMŚP Św. Krzyż*. Mat. konf. „Funkcjonowanie i monitoring geoekosystemów Polski ze szczególnym uwzględnieniem zjawisk ekstremalnych, Szymbark 12-14.06.2002, :37-39.
- Kowalkowski A., Józwiak M., 1996: *Badania nad wpływem powietrza atmosferycznego na dynamikę pyłu zawieszonoego*, Prace naukowe IUNG K(11/2) Puławy, :363-373.
- Kowalkowski A., Józwiak M., Kozłowski R., 2002: *Versauerung der Niederschläge und Bodenzustand im Świętokrzyski Nationalpark*, DBG Mitteilungen, 98, Oldenburg, :49-50.
- Kozłowski R., 2001: *Dopływ składników mineralnych z opadem atmosferycznym do dna lasu na Stacji Bazowej Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego Święty Krzyż (Góry Świętokrzyskie)*, W: M. Józwiak, A. Kowalkowski (Red.) *Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Funkcjonowanie i monitoring geoekosystemów z uwzględnieniem zanieczyszczenia powietrza*. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Kielce: 207-218.
- Olszewski J.L., 1992: *Indywidualizm klimatyczny Gór Świętokrzyskich*, Roczn. Świętok. XIX Warszawa-Kraków, :153-165.
- Olszewski J. L., Szałach G., Łach F., 1994: *Susze atmosferyczne według danych ze Świętego Krzyża (1955-1993) jako tło monitoringu zintegrowanego*, Mat. Konf. ZMŚP, Funkcjonowanie i monitoring ekosystemów, 13-14.10.1994r. Kielce, :70-74.
- Paszyński J., Niedźwiedz T., 1991: *Klimat*. W: L. Starkel (red) *Geografia Polski, Środowisko Przyrodnicze*, PWN Warszawa, :296-350.
- Pielacińska B., 1989: *Wilgotność względna powietrza w partii szczytowej Łysogór w Świętokrzyskim Parku Narodowym według pomiarów na Świętym Krzyżu*, mps pr.mgr Akademia Świętokrzyska Kielce.
- Raport 1996: *Raport o stanie środowiska w województwie kieleckim w roku 1996*, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Kielce
- Raport 1999, 2000, 2001: *Stan środowiska w województwie świętokrzyskim w 1998, 1999, 2000, roku. Raport*, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Kielce.
- Scheidegger A.E. 1974: *Geomorfologia teoretyczna*. PWN W-wa.
- Zawoździak J., 1986: *Metody identyfikacji źródeł emisji pyłów i oceny ich oddziaływania*, Wyd. Politechniki Wrocławskiej.

DYNAMICS OF SUSPENDED DUST CONCENTRATION ON THE BASIS OF RESULTS OBTAINED AT THE ŚWIĘTOKRZYSKA ACADEMY MONITORING STATION IN THE YEARS 1994-2000

Summary

Air pollution is understood as the presence of solid, liquid and gaseous substances, in the bottom layer of the atmosphere, alien to its natural composition, which occur in quantities hazardous for man's health, harmful for plants, animals and exerting an unfavourable influence on climate and on the way of the utilization of definite elements of the environment. The exact knowledge of the kind, causes, sizes and dynamics of the pollutants is the basis for concerted efforts aimed at the restoration and further maintenance of clean atmospheric air. Dust is one of the main components of atmospheric air pollution. In dependence of the kind and size distribution, dust may freely fall in the air or become suspended for a long time.

The aim of the present study is to present the dynamics of suspended dust on the basis of results obtained at the Monitoring Station of Świętokrzyskiej Academy in the years 1994-2000. The investigations carried out so far (Józwiak 2001, Józwiak, Kowalkowski 2002, Kowalkowski et al. 2002, Kozłowski 2001) showed that the natural environment of Świętokrzyski National Park is in the stage of multidirectional advanced and increasing evolutionary transformations. The direct sources of part of air dust pollution, measured at the Święty Krzyż Monitoring Station, are power stations, households, heating plants, industrial institutions and transportation. Registration of suspended dust concentrations derived from distant transport is due to the location of the Station 500 m above sea level and the direction of polluted air masses.

The average suspended dust concentration for the years 1994-2000 is $27.72 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ with annual fluctuations from $38.46 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ in the year 1994 and $28.49 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ in the year 1998, to $25.48 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ in the year 1995 and $24.13 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ in the year 2000 (Fig. 4). The highest annual dust concentration was recorded in winter, spring and autumn (Fig. 5). Out of the analyzed natural factors, air temperature and relative moisture as well as rainfalls and wind speed exert effect on the change of dust concentration (Figs. 6-10).