

Ewa LIANA

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Państwowy Instytut Badawczy
Oddział we Wrocławiu

CHEMIZM OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH NA OBSZARZE WOJEWÓDZTWA PODKARPACKIEGO

W pracy omówiono związki kwasotwórcze i biogenne wnoszone wraz z opadem atmosferycznym mokrym na obszar województwa podkarpackiego w latach 1999-2008. Wykorzystano dane IOŚ uzyskane w badaniach monitoringu chemizmu opadów atmosferycznych i oceny depozycji zanieczyszczeń do podłoża, prowadzonych w ramach PMS przez Wrocławski Oddział IMGW i finansowanych z dotacji NFOŚiGW. W ostatnich kilkunastu latach w Polsce, jak i w Europie, wyraźnie zmalała emisja związków kwasotwórczych. Znacząco zmniejszyła się też kwasowość opadów. W pracy przedstawiono i omówiono charakterystyczne wielkości związków kwasotwórczych i biogennych oraz ich zróżnicowanie w zależności od kierunku napływu mas powietrza. Podano charakterystyczne wielkości ładunków rocznych wprowadzanych wraz z opadem atmosferycznym na 4 stacjach monitoringowych położonych na obszarze województwa podkarpackiego oraz w jego bliskim sąsiedztwie. Porównano wielkości ładunków omawianych związków wnoszonych wraz z opadem atmosferycznym w poszczególnych latach oraz w okresach chłodnym i ciepłym roku. W wieloleciu zaobserwowano tendencję spadkową koncentracji i zmniejszenie depozycji związków kwasotwórczych oraz fosforu ogólnego.

1. Wprowadzenie

W ramach Państwowego Monitoringu Środowiska (PMS) od 1999 r. Wrocławski Oddział Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej, przy współpracy z Wojewódzkimi Inspektoratami Ochrony Środowiska, prowadzi monitoring chemizmu opadów atmosferycznych i oceny depozycji zanieczyszczeń do podłoża. Badania są koordynowane przez Departament Monitoringu i Informacji o Środowisku oraz finansowane ze środków NFOŚiGW. Celem monitoringu jest określenie w skali kraju rozkładu ładunków zanieczyszczeń wprowadzanych z mokrym opadem do podłoża w ujęciu czasowym i przestrzennym. Systematyczne badania składu fizyczno-chemicznego opadów oraz równoległe obserwacje i pomiary parametrów meteorologicznych dostarczają informacji o obciążeniu obszarów leśnych, gleb i wód powierzchniowych substancjami deponowa-

nymi z powietrza – związkami zakwaszającymi, biogennymi i metalami ciężkimi, tworząc podstawy do analizy istniejącego stanu [1, 2].

W ostatnich kilkunastu latach w Polsce, jak i w Europie wyraźnie zmalała emisja związków kwasotwórczych. Znacząco zmniejszyła się też kwasowość opadów. Mimo tych pozytywnych zjawisk, kwaśne deszcze występujące na obszarze Polski nadal stanowią wysoki procent opadów atmosferycznych. Występowanie kwaśnych opadów atmosferycznych na obszarze Polski ulega ciągłym zmianom zarówno ilościowym, jak i jakościowym, z dużym zróżnicowaniem w zależności od regionu Polski.

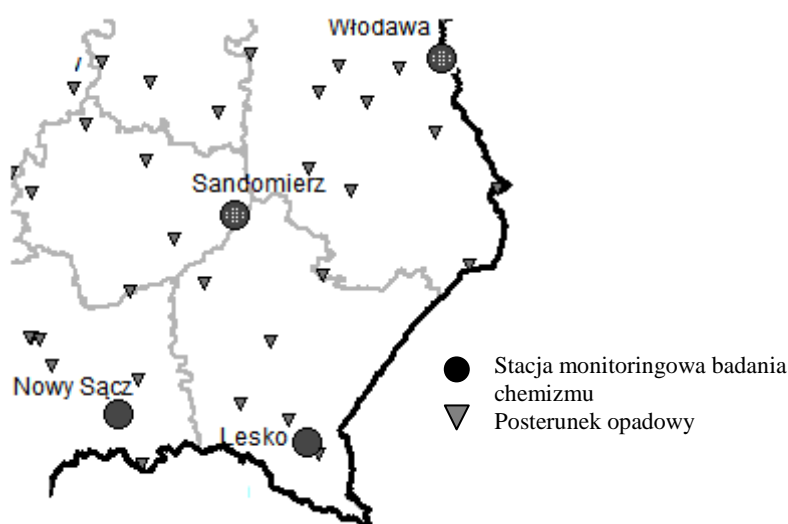
Kwaśne deszcze to nie tylko deszcz, ale też inne kwaśne hydrometeory: śnieg, grad, mżawka czy też mgła. Powstają one w wyniku zanieczyszczenia powietrza emitowanymi do atmosfery kwasotwórczymi związkami, przede wszystkim związkami siarki i azotu. Emitowane w wyniku różnych procesów, zarówno naturalnych, jak i antropogenicznych, dwutlenek siarki, tlenki azotu, amoniak ulegają w atmosferze reakcjom chemicznym z wodą, przekształcając się odpowiednio w kwasy: siarkowy i azotowy, które agresywnie oddziałują na poszczególne elementy środowiska [1, 3].

Miarą kwasowości jest stężenie jonów wodorowych (H^+), co się zazwyczaj określa pomiarem odczynu pH. Naturalną kwasowość wód opadowych oznacza odczyn 5,6 pH, co odpowiada stężeniu jonów wodorowych równemu 0,0025 mg/l. Obniżenie pH wód opadowych poniżej tej wartości jest powodowane obecnością mocnych kwasów. Kwaśnymi deszczami są wody opadowe charakteryzujące się odczynem mniejszym niż 5,6 pH (stężenie jonów $H^+ > 0,0025$ mg/l). Wody opadowe charakteryzują się bardzo małym zasoleniem. Niska buforowość i bardzo mała mineralizacja wody opadowej powodują, że nawet minimalna ilość związków kwasogennych istotnie zwiększa kwasowość opadów, które deponowane na powierzchni ziemi wywołują negatywne zmiany w strukturze ekosystemów lądowych i wodnych oraz w ich funkcjonowaniu.

2. Metodyka badań

Wodę opadową do badań pobrano na 4 stacjach badawczych (w tym jedna na terenie województwa podkarpackiego w Lesku) Krajowego Monitoringu Chemizmu Opadów Atmosferycznych i Oceny Depozycji Zanieczyszczeń do Podłoża (rys. 1.). Na każdej stacji zainstalowano, na wysokości 1 m od poziomu gruntu, kolektor automatyczny do zbierania opadu mokrego. Każdorazowo po opadzie wodę zlewano do wykonanych z polietylenu pojemników i schładzano. Miesięczne (uśrednione) próbki opadów analizowane są w zakresie następujących wskaźników: wartości pH, przewodności elektrycznej właściwej, chlorków, siarczanów, azotynów i azotanów, azotu amonowego, azotu ogólnego, fosforu ogólnego, potasu, sodu, wapnia, magnezu, cynku, miedzi, żelaza, ołowiu, kadmu, niklu, chromu i manganu. Kwasowość opadów atmosferycznych

określano pomiarem wartości pH próbek opadów i przeliczano na stężenia jonów wodorowych. Ładunki zanieczyszczeń wprowadzane wraz z opadami do podłoża na daną powierzchnię terenu obliczano jako iloczyny stężeń poszczególnych substancji zawartych w opadach i wielkości opadów. Dane o rozkładzie przestrzennym depozycji zanieczyszczeń dla obszaru Polski uzyskano metodą IDW, wykorzystując dane opadowe ze 162 posterunków opadowych charakteryzujących średnie pole opadowe dla obszaru kraju i 25 stacji monitoringowych badania chemizmu opadów. Do określenia trendu zmian wielkości zanieczyszczeń deponowanych z opadem atmosferycznym zastosowano funkcję liniową. Wysokość opadów mierzono przy użyciu deszczomierza Hellmana – standardowego urządzenia pomiarowego stosowanego w sieci stacji IMGW.



Rys. 1. Lokalizacja stacji monitoringowych badania chemizmu opadów atmosferycznych w województwie podkarpackim i w jego otoczeniu

3. Wyniki badań

Atmosfera, kumulując zanieczyszczenia naturalne i antropogenne, staje się podstawowym źródłem obszarowym zanieczyszczeń w skali kontynentalnej. Jednym z elementów meteorologicznych gromadzącym i przenoszącym zanieczyszczenia jest opad atmosferyczny. Zróżnicowanie w czasie i przestrzeni wielkości opadów atmosferycznych, a przez to zmiennej ilości i jakości chemicznej opadającej na powierzchnię ziemi wody, wynika przede wszystkim z różnego źródłowo obszaru gromadzenia się zasobów wodnych i zanieczyszczeń w atmosferze, zmiennej wysokości występowania kondensacji pary wod-

nej, czasu trwania i natężenia występującego opadu oraz kierunku napływu mas powietrza mierzonego na wysokości powstawania opadu (1300-1800 m npm) [4-6]. Z powodu dużej zmienności warunków meteorologicznych w skali miesięcy, sezonów i roku, w zależności od miejsca i czasu, ilości wnoszonych przez opady zanieczyszczeń są bardzo zróżnicowane.

W latach 1999-2008 zebrano i analizowano wody opadowe przed kontaktem z podłożem, wykonując pomiary fizyczno-chemiczne w Laboratoriach WIOŚ dla próbek opadów ze stacji pomiarowych w Lesku, Włodawie (na północny wschód od granicy województwa), Sandomierzu (na północno-zachodniej granicy województwa) i Nowym Sączu (położonym na zachód od granicy województwa). Lokalizację tych stacji przedstawiono na rys. 1.

Charakterystyczne (minimalne, maksymalne i średnie roczne ważone) wielkości składu fizyczno-chemicznego miesięcznych próbek opadów i wielkości miesięczne sum opadów w latach 1999-2008 ze stacji monitoringowej w Lesku i trzech w otoczeniu województwa podkarpackiego, w zestawieniu z sektorami napływu mas powietrza w czasie występowania opadu [%] (tab. 1.), wskazują na wyższe koncentracje zanieczyszczeń z zachodniego i północno-zachodniego sektora napływu mas powietrza. Na każdej z czterech stacji monitoringowych w badanych latach, w czasie występowania opadu, przeważającym sektorem napływu mas powietrza był sektor zachodni (ok. 50%). Największe koncentracje związków kwasotwórczych i biogennych oraz metali alkalicznych zaobserwowano we dwóch stacjach zlokalizowanych na zachodzie i północnym zachodzie (Nowy Sącz, Sandomierz) w stosunku do położenia województwa podkarpackiego i stacji monitoringowej w Lesku.

Na podstawie charakterystycznych (minimalnych, maksymalnych i średnich rocznych ważonych) wielkości stężeń związków kwasotwórczych i biogennych oraz jonów wodorowych w miesięcznych próbkach opadów na stacji w Lesku, z podziałem na okresy ciepły i chłodny oraz rok w latach 1999-2008, w porównaniu z sektorami napływu mas powietrza w czasie występowania opadu, i wielkości miesięcznych sum opadów zaobserwowano wyższe wielkości stężeń związków kwasotwórczych i jonów wodorowych w opadach atmosferycznych mokrych w okresie chłodnym oraz wyższe wielkości stężeń związków biogennych i 70% sum rocznych opadów w okresie ciepłym. Z kierunku sektora zachodniego w badanych okresach wystąpiły procentowo najwyższe sumy opadów atmosferycznych, średnio 44% opadów w okresie ciepłym i 57% w okresie chłodnym roku (tab. 2.).

W latach 1999-2008, aby dokonać oceny stopnia zakwaszenia wód opadowych na stacji monitoringowej w województwie podkarpackim, wykonano łącznie 944 pomiarów wartości pH dobowych próbek opadów. Wartości pH w tym okresie mieściły się w zakresie od 3,20 do 8,50, a średnia roczna ważona pH 5,19. W 2008 roku wykonano 117 pomiarów wartości pH dobowych próbek opadów. W przypadku 41% próbek stwierdzono „kwaśne deszcze” – opady

o wartości pH poniżej 5,6, oznaczającej naturalny stopień zakwaszenia wód opadowych, wskazując na zawartość w nich mocnych kwasów mineralnych. W latach 2001-2008 stwierdzono spadek ilości kwaśnych deszczy o 31%, a w porównaniu z rokiem ubiegłym ich procent nie uległ zmianie. Porównując średnie roczne ważone odczyny pH na 4 stacjach, najwyższe wartości średnich ważonych odczynów stwierdzono w Lesku, przy czym wszystkie miały wartość niższą niż pH = 5,6 (naturalny stopień zakwaszenia wód opadowych, rys. 2.).

Tabela 2. Średnie ważone charakterystyczne (minimalne, maksymalne i średnie roczne) wielkości stężeń (waga–wysokość opadu) średniomiesięcznych próbek opadów atmosferycznych (wet-only) w okresach ciepłym, chłodnym oraz roku w latach 1999-2008 ze stacji monitoringowej w Lesku oraz miesięczne sumy opadów w tych okresach z poszczególnych sektorów napływu mas powietrza (średnich [% udział])

Wskaźnik	Jednostka	Okres ciepły			Okres chłodny			Rok		
		min	max	średnia ważona	min	max	średnia ważona	min	max	średnia ważona
Chlorki	[mg Cl ⁻ /dm ³]	0,38	0,81	0,61	0,87	1,75	1,26	0,56	1,08	0,81
Siarczany	[mg SO ₄ ²⁻ /dm ³]	1,81	3,33	2,32	1,95	3,79	2,58	1,86	3,18	2,39
Azotyny + azotany	[mg N/dm ³]	0,28	0,57	0,40	0,57	0,71	0,62	0,38	0,57	0,46
Azot amonowy	[mg N/dm ³]	0,53	0,88	0,61	0,42	0,63	0,54	0,52	0,76	0,59
Azot ogólny	[mg N/dm ³]	1,05	3,24	1,51	1,29	1,72	1,47	1,17	2,62	1,49
Fosfor ogólny	[mg P/dm ³]	0,014	0,064	0,029	0,015	0,054	0,028	0,016	0,060	0,028
Jon wodorowy	[mg H ⁺ /dm ³]	0,0022	0,0182	0,0107	0,0081	0,0265	0,0180	0,0049	0,0203	0,0128
Miesięczna suma opadów	[mm]	394,0	756,3	616,9	238,5	325,3	268,3	659,7	1051,0	885,2
Sektor napływu w okresie występowania opadu	N	8,9	33,6	23,5	4,8	29,9	19,0	14,1	30,8	22,5
	E	2,0	23,1	12,5	2,7	15,8	9,4	2,2	18,7	11,5
	S	3,0	33,1	11,7	6,0	18,6	10,4	4,2	23,7	11,1
	W	25,7	67,0	44,0	37,1	70,1	56,6	37,2	67,8	47,7
	Z	0,9	21,7	8,3	0,1	16,3	4,6	0,7	17,4	7,3

Wielkość depozycji wprowadzana na określony obszar zależy od koncentracji danej substancji w opadzie atmosferycznym i ilości wody opadowej. Charakterystyczne maksymalne wielkości miesięcznych ładunków badanych substancji, wnoszonych wraz z opadami na teren reprezentowany przez stację monitoringową w Lesku w latach 1999-2008 – w przypadku związków kwasotwórczych (z wyjątkiem azotu pochodzącego z azotynów i azotanów), biogennych oraz metali alkalicznych – są niższe od maksymalnych zakresów wielkości miesięcznych ładunków wnoszonych na obszary reprezentowane przez stacje we Włodawie, Sandomierzu i Nowym Sączu (tab. 3.).

Rys. 2. Średnie roczne ważone wartości odczynów próbek dobowych (waga–wysokość opadów) zmierzane w czterech stacjach monitoringowych w Lesku, Włodawie, Sandomierzu i Nowym Sączu w latach 2001-2008

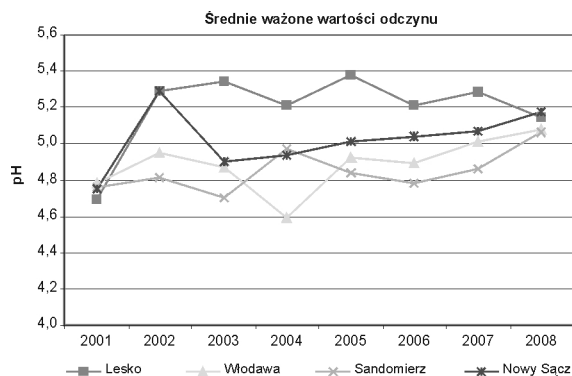


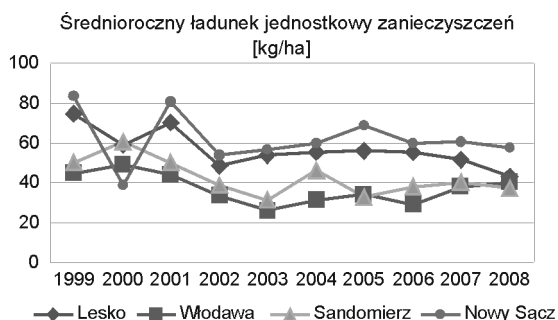
Tabela 3. Charakterystyczne (minimalne i maksymalne) wielkości miesięcznych ładunków badanych substancji wnoszonych wraz z opadami na teren reprezentowany przez stację monitoringową w Lesku i na obszary stacji we Włodawie, Sandomierzu i Nowym Sączu

Wskaźnik	Jednostka	Lesko		Włodawa, Sandomierz, Nowy Sącz	
		min	max	min	max
Chlorki	[kg Cl/ha]	0,04	2,33	0,01	6,25
Siarczany	[kg SO ₄ ⁻² /ha]	0,32	5,52	0,01	9,07
Azotyny + azotany	[kg N/ha]	0,02	1,42	0,005	1,16
Azot amonowy	[kg N/ha]	0,04	1,32	0,003	1,68
Sód	[kg Na/ha]	0,03	1,52	0,005	1,67
Potas	[kg K/ha]	0,02	0,58	0,004	1,71
Wapń	[kg Ca/ha]	0,07	2,06	0,004	4,75
Magnez	[kg Mg/ha]	0,02	0,73	0,004	1,72
Cynk	[kg Zn/ha]	0,003	0,291	0,001	0,365
Miedź	[kg Cu/ha]	0,0003	0,0362	0,00002	0,0113
Żelazo	[kg Fe/ha]	0,001	0,075	0,0001	0,111
Ołów	[kg Pb/ha]	0,0001	0,0202	0,00002	0,0132
Kadm	[kg Cd/ha]	0,00003	0,00155	0,000001	0,00191
Nikiel	[kg Ni/ha]	0,0001	0,0173	0,00001	0,0042
Chrom og.	[kg Cr/ha]	0,00003	0,0081	0,000003	0,0018
Mangan	[kg Mn/ha]	0,0004	0,0235	0,00004	0,0154
Azot ogólny	[kg N/ha]	0,12	8,62	0,02	5,02
Fosfor ogólny	[kg P/ha]	0,002	0,173	0,001	0,254
Jon wodorowy	[kg H ⁺ /ha]	0,0001	0,0550	0,00000	0,0564

Źródło: Dane Inspekcji Ochrony Środowiska uzyskane w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska przez IMGW Oddział we Wrocławiu

Porównanie średnich rocznych ładunków wszystkich badanych substancji zawartych w opadach w latach 1999-2008 zmierzonych w czterech wymienionych stacjach monitoringowych wskazuje na wyższe wielkości tych ładunków w stacji w Nowym Sączu (średnio 61,96 kg/ha · rok), zlokalizowanej w pobliżu zachodniej granicy województwa i na zachód od stacji monitoringowej w Lesku

(średnio 56,68 kg/ha · rok). Porównanie tych wartości przedstawiono na rys. 3. W zachodnim sektorze napływu mas powietrza stwierdzono również najwyższy udział procentowy wszystkich występujących opadów. Niższe wielkości ładunków wprowadzono na tereny reprezentowane przez stację we Włodawie (średnio 37,18 kg/ha · rok) i położoną na zachód od Włodawy stację w Sandomierzu (średnio 42,57 kg/ha · rok).

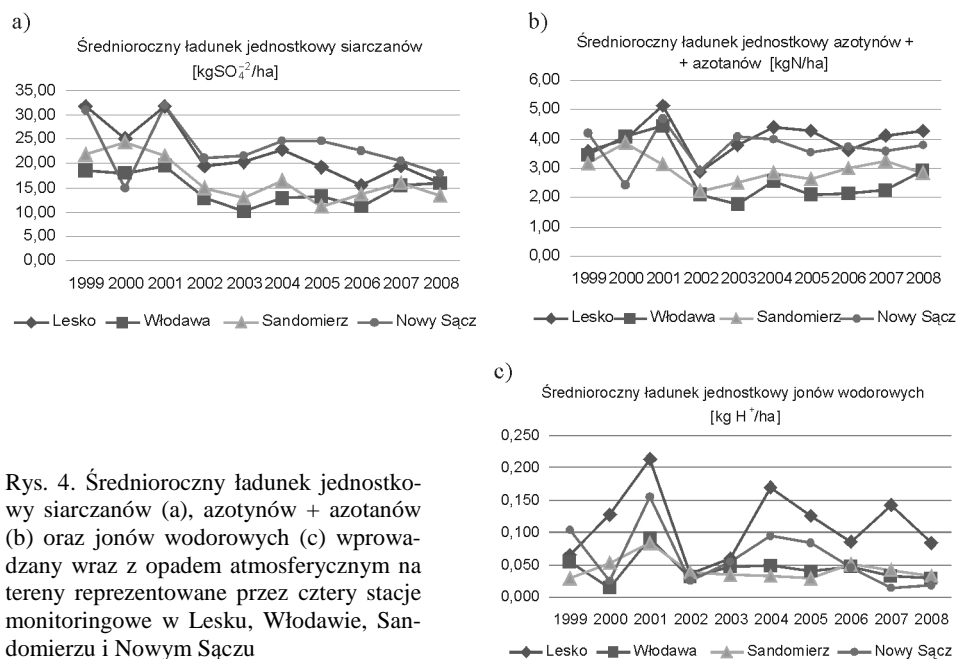


Rys. 3. Średnioroczny ładunek jednostkowy zanieczyszczeń wprowadzany wraz z opadem atmosferycznym na tereny reprezentowane przez cztery stacje monitoringowe w Lesku, Włodawie, Sandomierzu i Nowym Sączu

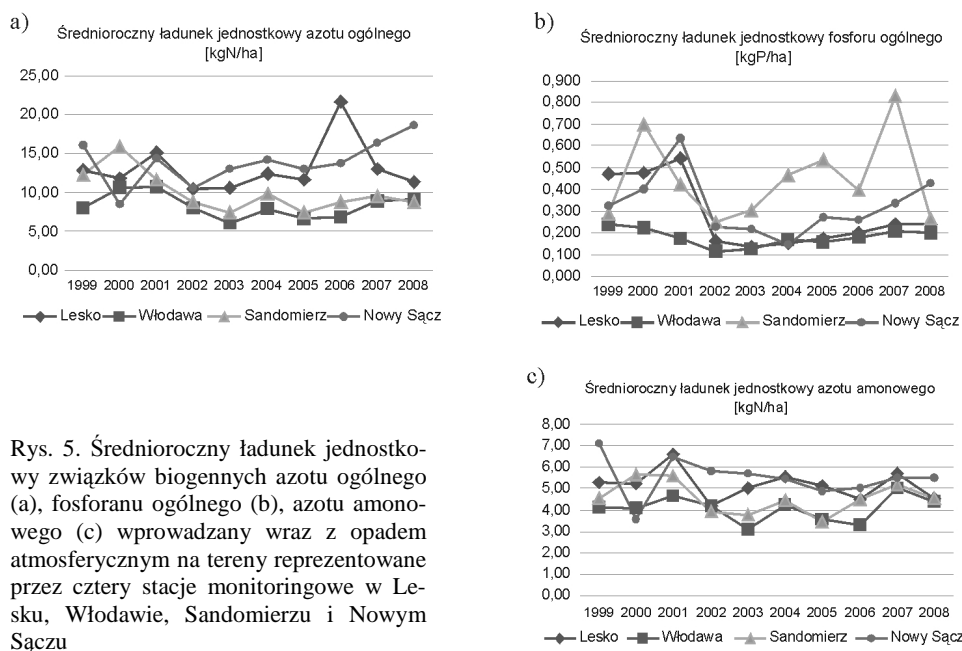
Największy, decydujący udział ilościowy miała depozycja siarczanów. W latach 1999-2008 opad atmosferyczny wprowadził na tereny reprezentowane przez stację w Nowym Sączu największe ładunki siarczanów – średnio 23,08 kg SO_4^{2-} /ha, azotynów + azotanów – 3,69 kg N/ha i jonów wodorowych – 0,0623 kg H^+ /ha. Na tereny reprezentowane przez stację w Lesku opad atmosferyczny wprowadził ładunki siarczanów średnio w ilości 22,16 kg SO_4^{2-} /ha oraz największe ładunki azotynów + azotanów – 4,00 kg N/ha i jonów wodorowych – 0,1111 kg H^+ /ha. W pozostałych dwu stacjach stwierdzono niższe średnie wielkości wprowadzonych ładunków tych substancji (rys. 4.).

Po depozycji siarczanów największy, decydujący udział ilościowy miała depozycja azotu ogólnego. W okresie 1999-2008 opad atmosferyczny wprowadził największe ładunki azotu ogólnego na tereny reprezentowane przez stację w Nowym Sączu – średnio w ilości 13,87 kg N/ha, a fosforu ogólnego – 0,325 kg P/ha. W Sandomierzu najwyższa średnia depozycja fosforu ogólnego wynosiła 0,445 kg P/ha, a w Nowym Sączu średni ładunek azotu amonowego – 5,49 kg N/ha. Na tereny reprezentowane przez stację w Lesku opad atmosferyczny wprowadził ładunki azotu ogólnego średnio w ilości 13,09 kg N/ha, ładunki fosforu ogólnego – 0,280 kg P/ha i azotu amonowego – 5,16 kg N/ha. Najniższe średnie wielkości wprowadzonych ładunków tych substancji stwierdzono we Włodawie (rys. 5.).

Depozycja związków kwasotwórczych i biogennych w latach 1999-2008 została wprowadzona z opadem atmosferycznym na obszary reprezentowane przez stację w Lesku, w znacznie większej ilości w okresie ciepłym (ok. 65%)



Rys. 4. Średnioroczny ładunek jednostkowy siarczanów (a), azotynów + azotanów (b) oraz jonów wodorowych (c) wprowadzany wraz z opadem atmosferycznym na tereny reprezentowane przez cztery stacje monitoringowe w Lesku, Włodawie, Sandomierzu i Nowym Sączu



Rys. 5. Średnioroczny ładunek jednostkowy związków biogenych azotu ogólnego (a), fosforu ogólnego (b), azotu amonowego (c) wprowadzany wraz z opadem atmosferycznym na tereny reprezentowane przez cztery stacje monitoringowe w Lesku, Włodawie, Sandomierzu i Nowym Sączu

średnich rocznych ładunków, przy wyższych sumach opadów atmosferycznych w okresie ciepłym stanowiących ok. 70% rocznej sumy opadów.

Na podstawie wyników pomiarów ilości wody opadowej zarejestrowanych na 162 punktach pomiaru wysokości opadu reprezentujących średnie pole opadowe dla obszaru Polski (w tym sześciu na obszarze województwa podkarpackiego) oraz wyników analiz składu opadów z 25 stacji monitoringowych, za pomocą komputerowego systemu informacji przestrzennej (GIS), oszacowano wielkości ładunków jednostkowych i całkowitych obciążających województwo podkarpackie, tj. jego poszczególne powiaty. Porównania wielkości mokrej depozycji związków kwasotwórczych i biogennych oraz jonów wodorowych w latach 1999-2008 występujących na obszarze województwa podkarpackiego, przedstawione na diagramach na tle średniorocznych sum opadów, pozwalają stwierdzić spadek depozycji siarczanów, jonów wodorowych i fosforu ogólnego. Depozycja azotu ogólnego nieznacznie wzrosła, natomiast prawie na tym samym poziomie, z bardzo słabym spadkiem, utrzymuje się depozycja azotynów i azotanów oraz azotu amonowego (tab. 4., rys. 6.).

Tabela 4. Wielkości ładunków jednostkowych związków kwasotwórczych i biogennych wprowadzonych z opadem atmosferycznym na obszary reprezentowane przez stację w Lesku w okresach ciepłym, chłodnym i roku w latach 1999-2008

Wskaźnik	Jednostka	Okres ciepły	Okres chłodny	Rok
Chlorki	[kg Cl ⁻ /ha]	3,59	3,23	6,82
Siarczany	[kg SO ₄ ⁻² /ha]	14,70	7,46	22,16
Azotyny + azotany	[kg N/ha]	2,34	1,65	4,00
Azot amonowy	[kg N/ha]	3,61	1,56	5,16
Azot ogólny	[kg N/ha]	9,06	4,03	13,09
Fosfor ogólny	[kg P/ha]	0,185	0,094	0,280
Jon wodorowy	[kg H ⁺ /ha]	0,0648	0,0462	0,1111

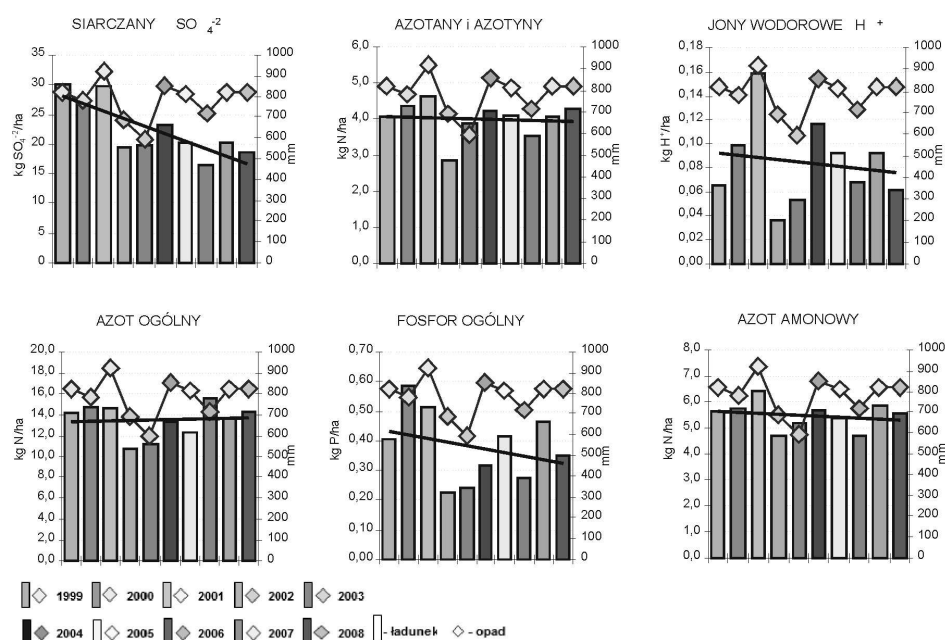
W 2008 roku wody opadowe wniosły na obszar województwa podkarpackiego (tab. 5.):

- 33 524 ton siarczanów (18,72 kg SO₄⁻²/ha),
- 12 016 ton chlorków (6,71 kg Cl⁻/ha),
- 7 665 ton (N) azotynów i azotanów (4,28 kg N/ha),
- 10 011 ton azotu amonowego (5,59 kg N/ha),
- 25 591 ton azotu ogólnego (14,29 kg N/ha),
- 623,2 ton fosforu ogólnego (0,348 kg P/ha),
- 108,16 ton wolnych jonów wodorowych (0,0604 kg H⁺/ha).

Tabela 5. Roczne obciążenie powierzchniowe obszaru województwa podkarpackiego zanieczyszczeniami wniesionymi przez opady atmosferyczne w latach 1999-2008 – ładunki jednostkowe [kg/ha · rok] oraz średnioroczne sumy opadów [mm]

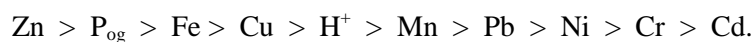
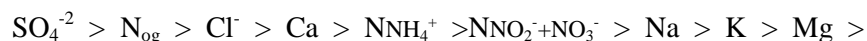
Wskaźnik zanieczyszczenia	Ładunki jednostkowe [kg/ha]									
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Siarczany [SO ₄ ⁻²]	30,00	26,69	29,87	19,49	19,79	23,25	20,14	16,50	20,30	18,72
Chlorki [Cl ⁻]	6,80	5,94	6,59	5,65	6,57	7,89	10,15	7,06	7,36	6,71
Azotyny + azotany [N _{NO₂} ⁻ +NO ₃ ⁻]	4,05	4,37	4,64	2,84	3,89	4,22	4,11	3,50	4,04	4,28
Azot amonowy [N _{NH₄⁺}]	5,64	5,73	6,46	4,70	5,16	5,71	5,40	4,69	5,85	5,59
Azot ogólny [N _{og.}]	14,11	14,77	14,51	10,66	11,20	13,26	12,31	15,57	13,61	14,29
Fosfor ogólny [P _{og.}]	0,405	0,586	0,512	0,224	0,238	0,315	0,413	0,271	0,465	0,348
Jon wodorowy [H ⁺]	0,0645	0,0987	0,1584	0,0366	0,0531	0,1159	0,0919	0,0681	0,0925	0,0604
Wysokości opadów [mm]	820,9	783,1	920,8	688,4	597,3	853,6	814,5	714,9	822,3	821,3

Źródło: Dane Inspekcji Ochrony Środowiska uzyskane w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska przez IMGW Oddział we Wrocławiu.



Rys. 6. Depozycja substancji wprowadzanych z opadem atmosferycznym (wet-only) na obszar województwa podkarpackiego w poszczególnych latach

Wielkości wprowadzonych substancji maleją zgodnie z szeregiem:



Roczny sumaryczny ładunek jednostkowy badanych substancji zdeponowany na obszarze województwa podkarpackiego wyniósł 53,9 kg/ha i kształtował się na poziomie średnim dla całego obszaru Polski. W porównaniu z rokiem ubiegłym nie stwierdzono wyraźnej zmiany rocznego obciążenia i średniorocznej sumy wysokości opadów.

Największym ładunkiem badanych substancji w województwie podkarpackim został obciążony powiat jasielski (66,5 kg/ha) z najwyższymi, w porównaniu z obciążeniem pozostałych powiatów, ładunkami siarczanów, azotynów i azotanów, azotu ogólnego, azotu amonowego, azotu i fosforu ogólnego.

Najmniejsze obciążenie powierzchniowe wystąpiło w powiatach przemyskim (48,7 kg/ha) i tarnobrzeskim (48,7 kg/ha). Odnotowano najniższe, w odniesieniu do pozostałych powiatów, obciążenie ładunkami siarczanów, azotynów i azotanów, azotu ogólnego, sodu i jonów wodorowych – w przypadku powiatu tarnobrzeskiego, oraz azotu amonowego i fosforu ogólnego – w przypadku powiatu przemyskiego.

4. Podsumowanie i wnioski

Na podstawie analizy wyników z dziesięcioletniego okresu badań (1999-2008) sformułowano następujące wnioski:

1. Wszystkie wielkości średnich ważonych wartości odczynu (waga-wysokość opadów) w analizowanych latach 1999-2008 znajdowały się w przedziale odczynu poniżej naturalnej kwasowości wód opadowych, tj. 5,6 pH i powyżej 4,6 pH.
2. Największa koncentracja siarczanów – średnia ważona roczna (również chlorków) w opadach atmosferycznych wystąpiła w rejonie Nowego Sącza, który reprezentuje zachodnie pogranicze województwa, oraz niewiele niższa w rejonie Sandomierza, reprezentującego północno-zachodnią granicę województwa. Największy ładunek siarczanów został wprowadzony wraz z opadami w rejonie Nowego Sącza, a w drugiej kolejności w rejonie Leska.
3. Największa koncentracja (średnia ważona roczna) azotynów + azotanów w opadach atmosferycznych wystąpiła w rejonie Sandomierza (północno-zachodnia granica województwa), a jonów wodorowych w rejonie Leska. Największy ładunek azotynów + azotanów i jonów wodorowych został wprowadzony wraz z opadami w rejonie Leska.

4. Badania wykazują wyraźną tendencję malejącą obciążenia powierzchniowego obszaru województwa podkarpackiego depozytem jonów wodorowych, siarczanów, których znaczenie ilościowe jest decydujące, oraz słabiej zaznaczoną azotynów + azotanów. Depozyt chlorków ma zaś tendencję rosnącą.
5. Największa koncentracja azotu ogólnego (średnia ważona roczna) w opadach atmosferycznych wystąpiła w rejonie Nowego Sącza, który reprezentuje zachodnie pogranicze województwa, natomiast azotu amonowego i fosforu ogólnego w rejonie Sandomierza, reprezentującego północno-zachodnią granicę województwa. Największy ładunek azotu ogólnego i amonowego został wprowadzony wraz z opadami w rejonie Nowego Sącza, a w drugiej kolejności w rejonie Leska. Największy ładunek fosforu ogólnego został wprowadzony wraz z opadami w rejonie Sandomierza.
6. Większe ładunki związków kwasotwórczych i biogennych zostały zdeponowane w okresach ciepłych lat badań. Podobnie sumy miesięczne opadów w okresach ciepłych były wyższe (ok. 70% sum rocznych opadów).

Kwaśne opady atmosferyczne występujące na obszarze Polski, pomimo malejącej emisji kwasotwórczych związków do atmosfery, stanowią nadal wysoki procent opadów, agresywnie oddziałując na poszczególne elementy środowiska. Ocena wyników dziesięcioletnich badań monitoringowych chemizmu opadów atmosferycznych i depozycji zanieczyszczeń do podłoża, prowadzonych w sposób ciągły w latach 1999-2008, wykazała, że depozycja roczna analizowanych substancji wprowadzonych wraz z opadami na obszar województwa podkarpackiego w 2008 r. (w stosunku do średniej z 1999-2007) dla większości składników była mniejsza. Natomiast całkowite roczne obciążenie powierzchniowe obszaru województwa ładunkiem badanych substancji pochodzących z atmosfery z opadu mokrego zmalało – w porównaniu ze średnim przyjętym w poprzednich latach badań – o 8,6%, przy wyższej średniorocznej sumie wysokości opadów 5,4%.

Wniesiony wraz z opadami w 2008 r. ładunek siarczanów – w porównaniu ze średnim przyjętym w latach 1999-2007 – zmalał o 18,2%, ładunek chlorków o 5,6%, fosforu ogólnego o 8,7%, i jonów wodorowych o 30,3%. Ładunki azotu amonowego oraz azotynów i azotanów kształtowały się na poziomie wartości średniej, nastąpił zaś wzrost depozycji azotu ogólnego o 7,2%.

Badania monitoringowe chemizmu opadów atmosferycznych i depozycji zanieczyszczeń do podłoża prowadzone w sposób ciągły od 1999 r. dostarczają niezbędnych danych o stanie jakości wód opadowych i rzeczywistych wielkościach wprowadzanych ładunków w danym miejscu i czasie oraz o przyczynach tego stanu. Badania te umożliwiają również określenie tendencji zmian mokrej depozycji, która stanowi znaczące źródło zanieczyszczeń oddziałujących na stan środowiska naturalnego województwa podkarpackiego.

Literatura

1. Degórska A., Przybylska G., Twarowski R., Dygas-Ciołkowska L.: Zakwaszenie. Raport „Stan środowiska w Polsce w latach 1996-2001”, IOŚ, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa 2003, s. 69-77.
2. Dygas-Ciołkowska L., Twarowski R., Błachuta J., Brodowska M., Sienkiewicz R., Wyrodek S., Liana E., Gendolla T., Wostek K.: Monitoring chemizmu opadów atmosferycznych i depozycji zanieczyszczeń do podłoża – jedno z zadań PMŚ, [w:] Zintegrowany monitoring środowiska przyrodniczego. Funkcjonowanie geoekosystemów Polski w warunkach zmian klimatu i różnokierunkowej antropopresji, pod red. A. Kostrzewskiego i R. Kolandera, IOŚ, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Poznań 2005, 25-38.
3. Kulisz I.: Kwaśne opady i ich wpływ na środowisko, IOŚ, Wydaw. Geologiczne, Warszawa 1988, s. 40-50.
4. Twarowski R., Karska L., Bogucka M., Gendolla T., Liana E., Wostek-Zagrabka K.: Geneza powstawania opadów atmosferycznych i kierunki napływu mas powietrza na wysokości występowania opadów na obszarze Polski, Zanieczyszczenie powietrza w Polsce w latach 2005-2006, IOŚ, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Poznań 2007, s. 40-45.
5. Twarowski R. i in.: Monitoring chemizmu opadów atmosferycznych i depozycji zanieczyszczeń do podłoża w latach 2000-2001. Raport z realizacji badań monitoringowych w I kwartale 2001 r. w zależności od cyrkulacji mas powietrza, IMGW, Wrocław 2001.
6. Zwoździak J., Zwoździak A., Szczurek A.: Meteorologia w ochronie atmosfery, Wydaw. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1998, s. 85-94.

CHEMISTRY OF PRECIPITATION THE REGION OF THE PODKARPACKIE PROVINCE

Abstract

On the basis of data obtained in the years 1999-2008 within the Monitoring of chemism of atmospheric precipitation conducted by Wrocław Branch of the Institute of Meteorology and Water Management, degree of contamination of atmospheric precipitation in following years as well as loads of pollution carried by precipitation have been characterized.

This publication discusses the acidifying and biogenic compounds with the wet atmospheric precipitation in the area of the Podkarpackie Province in 1999-2008. The data used in the IOŚ, obtained in studies of precipitation chemistry monitoring and evaluation of the deposition of pollutants to the ground, funded by grants NFOŚiGW. The study was conducted the four monitoring stations located in the region and in its immediate vicinity.

The acidity of precipitation dropped significantly. In spite of the diminishing tendency of precipitations' acidity between 1999-2008, „acid rains” on area southeastern of Poland still constitutes a significant percentage of the precipitation. The acid rains has a negative impact on the maintenance of the ecological balance in this region. Compounds of sulphur, nitrogen and biogenic compounds, deposited from the atmosphere with precipitation, have a major impact on it.

Złożono w Oficynie Wydawniczej w lipcu 2011 r.