

## ZNACZENIE MOKREGO I SUCHEGO OPADU ZANIECZYSZCZEŃ W EUTROFIZACJI WÓD W STAWACH NA PRZYKŁADZIE REZERWATU „STAWY RASZYŃSKIE”

Jacek PAWLIK-DOBROWOLSKI<sup>1)</sup>, Anna ŁEMPICKA<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej

<sup>2)</sup> Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach, Zakład Studiów Regionalnych Rozwoju Obszarów Wiejskich

*Słowa kluczowe: wody powierzchniowe, trofizm wód, kwaśny opad, stężenie zanieczyszczeń, ładunek zanieczyszczeń*

### Streszczenie

W latach 1999–2001 na obszarze rezerwatu „Stawy Raszyńskie”, w ciekach dopływających do stawów i w stawach, badano stężenie i ładunek  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{PO}_4$ , K oraz wartość pH w opadzie zanieczyszczeń atmosferycznych. Stwierdzono, że opad jest istotnym źródłem azotu, głównie w postaci  $\text{N-NH}_4$ , a w mniejszym stopniu także azotu azotanowego, fosforanów i potasu. Wykazano znaczne stężenie i ładunek fosforanów i potasu w ciekach i stawach. Wartości pH w opadzie mokrym wynosiły od 2,4 do 7,4, zdecydowanie przeważały opady: bardzo kwaśny, kwaśny i słabo kwaśny. W opadzie suchym pH wynosiło od 3,6 do 6,9. Średnia wartość pH w opadzie mokrym wynosiła 5,5, w wodzie cieków – 7,3, a stawów – 7,7. Badania wykazały, że opad zanieczyszczeń atmosferycznych wpływa znacząco na żyzność wody w stawach, ponieważ jest źródłem znacznych ładunków mineralnych składników pokarmowych. W wyniku erozji mechanicznej i chemicznej, zintensyfikowanej opadami kwaśnymi, wprowadzane są do stawów także składniki pochodzące z innych źródeł zanieczyszczeń obszarowych.

## WSTĘP

Opad zanieczyszczeń atmosferycznych składa się z opadu mokrego i suchego. Z tych dwu form zdecydowanie większą rolę odgrywa opad mokry. Dotyczy to jego istotnej roli jako źródła zanieczyszczeń, a w jeszcze większym stopniu czynnika zanieczyszczenia wód powierzchniowych i gruntowych. Opad suchy pełni w zasadzie tylko rolę źródła zanieczyszczeń. Ładunek w nim zawarty na ogół jest znacznie mniejszy niż w opadzie mokrym. Jego rola jest więc drugorzędna. Dotychczasowe badania wykazały, że imisja zanieczyszczeń (opad mokry i suchy) jest źródłem znacznego ładunku mineralnych składników pokarmowych wnoszonych na dany obszar. Potwierdzeniem tego są przede wszystkim wyniki badań bilansu zanieczyszczeń w obszarach rolniczych [SCHLEEF, KLEINHASS, 1994; SZPONAR i in., 1996], a także bilansu zanieczyszczeń w zlewniach [DURKOWSKI i in., 1999; PAWLIK-DOBROWOLSKI, DURKOWSKI, 1998; PAWLIK-DOBROWOLSKI, MIODUSZEWSKI, 1995; PAWLIK-DOBROWOLSKI i in., 1996, 1997]. Wyniki tych badań były często zaskakujące. W przypadku bilansu na obszarach rolniczych udział depozytu azotu i potasu z atmosfery przekraczał niekiedy 40% ładunku tych składników wnoszonych na dany obszar ze wszystkich podstawowych źródeł zanieczyszczeń (depozyt z atmosfery, nawożenie mineralne, odchody zwierząt). Jeszcze większe znaczenie opadu zanieczyszczeń atmosferycznych wykazały badania bilansu zanieczyszczeń w zlewniach.

## CEL, OBSZAR I METODY BADAŃ

Celem badań było określenie zróżnicowania stężenia i ładunku mineralnych składników pokarmowych, a także odczynu wody w opadzie zanieczyszczeń atmosferycznych i porównanie ich z odpowiednimi parametrami chemicznymi w wodach powierzchniowych.

Badania, wykonywane w projekcie badawczym KBN, prowadzono w latach 1999–2001 na obszarze rezerwatu „Stawy Raszyńskie”. Kompleks ten, składający się z trzynastu stawów, jest położony na południe od Raszyna, w dolnej części zlewni Raszynki – dopływu Utraty.

Badania prowadzono w sieci monitoringu w sposób zbliżony do stosowanego w systemie zintegrowanego monitoringu środowiska przyrodniczego. Były to badania kompleksowe, obejmujące elementy hydrometeorologiczne, hydrochemiczne, hydrobiologiczne, ornitologiczne i gospodarki rybnej. Część tych badań, związana ze składem chemicznym wód była realizowana z wykorzystaniem stacji meteorologicznej IMUZ oraz następujących stanowisk pomiarowych: stacji pomiaru imisji zanieczyszczeń, urządzeń do pomiarów hydrologicznych oraz punktów poboru prób w ciekach i stawach. W próbach wody oznaczano stężenie: N-NH<sub>4</sub>, N-NO<sub>3</sub>, P-PO<sub>4</sub> i K oraz wartość pH. Ponadto sporadycznie oznaczano w ciekach: N-NO<sub>2</sub>, BZT<sub>5</sub> i ChZT, a w stawach – temperaturę wody, nasycenie tlenem O<sub>2</sub>

i BZT<sub>5</sub>. Parametry jakości wód powierzchniowych oznaczano następującymi metodami: odczyn – elektrochemicznie wg PN-90/C-04540.01, fosforany – metodą fotometryczną z molibdenianem amonu wg PN-83/C-04537.02, potas – fotometrycznie wg metodyki proponowanej przez firmę Slandi, ChZT – metodą fotometryczną dwuchromianową, azot amonowy – metodą fotometryczną indofenolową, azot azotanowy – metodą fotometryczną z nitrospektralem wg metodyki proponowanej przez firmę Merck. W opadach badano odczyn oraz stężenie: azotu amonowego i azotanowego, fosforanów i potasu z zastosowaniem metod analogicznych, jak do wód powierzchniowych. Do oznaczeń chemicznych użyto pehametru Elmetron 315, spektrofotometru Merck SQ 118 oraz jonometru Solomat Neotronics. Badania opadu zanieczyszczeń atmosferycznych były prowadzone przez pełne trzy lata, natomiast wód powierzchniowych, z uwagi na sterowanie obiegiem wody na potrzeby gospodarki rybackiej, tylko w okresach wegetacyjnych. Ładunek składników chemicznych w opadzie mokrym obliczono jako iloczyn stężenia i wysokości opadu dla każdej pobranej próby osobno. Ładunek miesięczny, półroczny i roczny stanowił sumę ładunków elementarnych z odpowiednich okresów. Próby opadu suchego pobierano raz na miesiąc. Mimo metodycznie innego oznaczania stężenia składników chemicznych i wartości pH w opadzie suchym niż mokrym, wielkości te także uwzględniono w niniejszym opracowaniu. Postąpiono tak, aby wykazać, że opad suchy również przyczynia się do zakwaszania wód powierzchniowych, ponieważ wartość pH tego opadu, po jego rozpuszczeniu wodą destylowaną, jest na ogół niższa od odczynu obojętnego. Wyniki pomiarów hydrologicznych umożliwiły obliczenie ładunku zanieczyszczeń w ciekach i stawach. Badaniami objęto cztery stawy: Falencki (o powierzchni 17,1 ha), Parkowy Górny (4,5 ha), Parkowy Dolny (2,0 ha) i Puchalski (20,9 ha).

## **ANALIZA I Dyskusja Wyników Badań**

Wyniki badań obejmują stężenie i ładunek badanych składników w mokrym lub łącznie mokrym i suchym opadzie zanieczyszczeń atmosferycznych, a także w wodzie badanych cieków i stawów (tab. 1, 2) oraz wartość pH w opadzie mokrym i suchym, również w odniesieniu do wody w ciekach i stawach (tab. 3). Wszystkie wyniki zestawiono w sposób, który ma podkreślać różnice obliczonych wielkości, występujące między rodzajami wód i parametrami chemicznymi w czterech badanych stawach.

Roczne sumy opadów w latach badań wynosiły kolejno 580, 541 i 578 mm, podczas gdy średnia z wielolecia (1969–2000) – 548 mm. W okresie wegetacyjnym tych lat sumy opadów wynosiły odpowiednio: 381, 289 i 397 mm, a średnia z wielolecia – 345 mm. Wynika z tego, że w 2000 r. roczna suma opadów była niższa o blisko 40 mm, a suma opadów w okresie wegetacyjnym – niższa aż o około 100 mm niż w latach 1999 i 2001. Różnice te miały znaczący wpływ na kształtowanie się stężenia, a zwłaszcza ładunku zanieczyszczeń, w opadzie mo-

**Tabela 1.** Średnie wazone stężenie badanych składników w okresie wegetacyjnym w wodzie opadowej, ciekach i stawach w latach 1999–2001,  $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$

**Table 1.** Weighed average concentration of analysed components in precipitation, running waters and ponds in the vegetative periods of 1999–2001,  $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$

Miesiące lub okresy wegetacyjne Months or vegetative periods	Opad Precipitation				Cieki Running waters				Stawy Ponds			
	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>	P-PO <sub>4</sub>	K	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>	P-PO <sub>4</sub>	K	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>	P-PO <sub>4</sub>	K
IV	0,84	1,38	0,059	1,0	0,13	7,51	0,917	5,0	0,13	0,45	0,086	2,3
V	1,04	2,12	0,253	3,2	0,23	4,52	0,228	11,2	0,57	0,73	0,180	10,5
VI	0,79	1,23	0,080	1,6	0,32	4,21	0,369	7,2	0,26	0,46	0,423	8,7
VII	1,13	1,66	0,137	1,5	0,15	3,61	0,358	4,0	0,51	1,08	0,449	5,1
VIII	0,87	1,43	0,107	1,6	0,20	3,50	0,274	2,9	0,33	0,95	0,275	6,4
IX	2,23	2,89	0,193	1,6	0,44	5,13	0,283	6,4	0,29	0,55	0,188	9,4
1999	1,69	1,80	0,080	0,8	0,38	5,75	0,298	10,3	0,42	0,86	0,232	12,1
2000	0,91	2,57	0,182	1,8	0,19	3,51	0,253	5,1	0,41	0,82	0,339	5,9
2001	0,95	1,18	0,161	2,5	0,17	4,98	0,663	3,0	0,21	0,43	0,229	3,2
1999–2001	1,17	1,81	0,142	1,7	0,25	4,75	0,405	6,1	0,35	0,70	0,267	7,1

krym zanieczyszczeń atmosferycznych. Z dotychczasowych badań wynika, że wielkość ładunku w opadzie mokrym zależy w większym stopniu od wysokości opadów atmosferycznych, niż od stężenia w nich danego składnika chemicznego. Odnosi się to tak do opadów dobowych, jak miesięcznych, półrocznych i rocznych [PAWLIK-DOBROWOLSKI, 1983; TWAROWSKI, 1996].

Porównanie średnich stężeń badanych składników w okresie wegetacyjnym wykazało (tab. 1), że stężenie  $N-NH_4$  było największe w opadzie mokrym, a znacznie mniejsze w stawach i ciekach. Odwrotny układ wartości stężenia stwierdzono w przypadku  $P-PO_4$ , chociaż stężenia tego składnika w opadzie mokrym nie można uznać za małe. Podobny, jak w  $P-PO_4$ , był układ wartości stężenia potasu, z tą różnicą że stężenie potasu w stawach były nieco większe niż w ciekach do nich dopływających. Stężenie  $N-NO_3$  w opadzie mokrym było wyraźnie mniejsze niż w ciekach, ale też wyraźnie większe niż w stawach. Przedstawiony układ średnich wartości stężenia badanych składników był charakterystyczny zarówno dla całego okresu (trzy lata), jak dla poszczególnych lat i miesięcy okresów wegetacyjnych.

Stężenie jest tylko częściową przesłanką wpływu opadu zanieczyszczeń na trofizm wody w stawach, tym bardziej że przedstawione wyniki obejmowały tylko opad mokry. Znacznie bardziej o takim wpływie świadczy wielkość depozytu, zwłaszcza jeśli jest on sumą opadu mokrego i suchego. Ze względu na konieczność ograniczenia objętości niniejszego rozdziału relacje ładunku (depozytu) badanych składników wnoszonych do stawów z opadem mokrym i suchym do wnoszonych w dopływach stawów oraz relacje sumarycznego ładunku wnoszonego do ładunku w stawach zostały przedstawione na przykładzie Stawu Falenckiego (tab. 2).

Na podstawie analizy wielkości ładunków zauważono niżej przedstawione relacje.

1. Opad zanieczyszczeń atmosferycznych wnosi do stawów większy ładunek azotu amonowego, niż ładunek wnoszony w dopływie cieków, mimo że objętość wody dopływającej jest o wiele większa od objętości opadów atmosferycznych. W tym przypadku główną rolę odgrywa duże stężenie  $N-NH_4$  w opadzie zanieczyszczeń powietrza. W dawniejszych publikacjach jon amonowy jawił się prawie zawsze jako podstawowy składnik azotu mineralnego w wodzie opadowej, wnoszony do wód powierzchniowych w stosunkowo dużej ilości [CHOJACKI, 1967–1968; PAWLIK-DOBROWOLSKI, 1983]. W związku ze zmniejszeniem się emisji amoniaku i tlenków azotu do atmosfery jon  $NH_4$ , jako nośnik azotu, od niedawna nie odgrywa tak dużej roli w opadzie zanieczyszczeń powietrza. Nie powinno to jednak być przyczyną eliminacji oznaczania  $NH_4$  w opadzie zanieczyszczeń, co spotyka się w niektórych publikacjach [TURZAŃSKI, GODZIK, 1996; TWAROWSKI, 1996]. Ma on nadal znaczący udział w bilansach zanieczyszczeń [PAWLIK-DOBROWOLSKI, MIODUSZEWSKI, 1995; SZPONAR i in., 1996]. Wiele badań nadal wskazuje na znaczny jego ładunek w opadzie zanieczyszczeń [DURKOWSKI i in., 1999; WALNA, SIEPAK, 1996; ZIMKA, STACHURSKI, 1996].

**Tabela 2.** Ładunek składników chemicznych wnoszony i magazynowany w Stawie Falenckim**Table 2.** Load of chemical components introduced and stored in Falencki Pond in the vegetative

Lata Years	Miesiąc Month	Ładunek wnoszony w opadzie mokrym i suchym Input in wet and dry deposition				Dopływ wody tys. m <sup>3</sup> Water inflow thous. m <sup>3</sup>
		kg				
		N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>	P-PO <sub>4</sub>	K	
1999	IV	11,4	7,7	2,0	9,1	4,3
	V	9,9	11,9	1,4	9,9	1,1
	VI	14,2	29,1	1,1	11,1	27,5
	VII	5,7	10,7	0,5	8,0	44,6
	VIII	4,0	4,2	0,5	5,5	35,8
	IX	40,5	28,2	0,6	17,8	39,9
	suma sum	85,7	91,8	6,2	61,4	153,2
	średnia mean	14,3	15,3	1,0	10,2	25,5
	2000	IV	3,3	10,2	0,3	10,0
V		7,1	23,1	1,7	16,5	39,5
VI		1,3	5,6	1,0	1,4	42,7
VII		19,6	53,0	2,5	25,6	34,2
VIII		7,3	16,9	1,0	9,6	44,9
IX		4,3	18,5	3,5	13,4	45,5
suma sum		42,9	127,3	10,1	76,5	238,5
średnia mean		7,2	21,2	1,7	12,8	39,8

2. Głównym źródłem fosforanów i potasu w badanych stawach była woda w ciekach, na co złożyło się przede wszystkim większe stężenie tych składników w ciekach niż w opadzie zanieczyszczeń oraz znacznie większa objętość wody w dopływach.

3. Podobnie jak w przypadku fosforanów i potasu, azot azotanowy jest wnoszony do stawów w większej części przez ich dopływy.

Ładunek azotu amonowego i potasu w stawach był większy od sumy ładunków tych składników wnoszonych do stawów w opadzie zanieczyszczeń i w dopływie wody w ciekach. Taki stan tylko w pewnym stopniu jest wynikiem większej objętości wody w stawach niż łącznie w opadach i dopływach (tab. 2). Duże stężenie wymienionych składników w stawach wskazuje, że na różnice ich ładunku duży wpływ ma zróżnicowanie stężenia. Różnice stężenia i ładunku w obiegu wody: opad → ciek → staw w niemałym stopniu zależą od zawartości tlenu w wodzie. Wskutek turbulencji nasycenie tlenem jest na ogół największe w ciekach i tym należy tłumaczyć zmiany relacji stężenia N-NH<sub>4</sub> do N-NO<sub>3</sub> w trzech wymienionych rodzajach wód (tab. 1). Zazwyczaj mała zawartość tlenu w stawach jest konsekwencją hodowli ryb, które oddychając zużywają dużą jego ilość [WRÓBEL, 2002]. Stwierdzono stosunkowo duże stężenie fosforanów i potasu w opadzie mo-

w okresach wegetacyjnych lat 1999 i 2000

periods of 1999 and 2000

Ładunek wnoszony ciekami Input in running water				Objętość stawu tys. m <sup>3</sup> Pond volume thous. m <sup>3</sup>	Ładunek magazynowany w stawie Load stored in the pond			
kg					kg			
N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>	P-PO <sub>4</sub>	K		N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>	P-PO <sub>4</sub>	K
0,2	34,8	1,0	29,7	159,0	12,7	127,2	5,2	540,6
0,3	10,0	0,1	20,6	151,0	219,0	90,6	44,3	2536,8
4,7	162,3	8,1	343,8	184,5	38,7	110,7	84,3	2767,5
8,0	432,6	6,9	223,0	165,3	57,9	324,0	7,0	1041,4
10,4	45,8	5,8	286,4	148,3	37,1	185,4	25,6	2224,5
41,5	187,5	31,3	450,9	151,0	21,1	95,1	17,8	2340,5
65,1	505,5	53,1	1354,4	–	–	–	–	–
10,9	145,5	8,8	225,7	159,9	64,4	155,5	30,7	1485,8
1,9	105,9	0,2	157,9	139,2	20,9	83,5	13,2	214,4
5,8	323,9	5,2	453,9	131,8	171,3	113,3	47,3	1410,3
3,4	358,7	7,0	196,4	111,2	104,5	121,2	18,2	633,8
2,7	74,2	7,1	116,3	117,8	160,2	128,4	62,6	494,8
4,2	404,1	8,1	89,8	116,5	130,5	106,0	70,8	256,3
8,6	482,3	9,2	577,9	130,5	33,9	62,6	45,1	909,6
26,6	1749,1	36,7	1592,2	–	–	–	–	–
4,4	291,5	6,1	265,4	124,5	103,6	102,5	42,9	653,2

krym (tab. 1) oraz znaczny depozyt tych składników wnoszony na powierzchnię stawów w opadzie mokrym i suchym łącznie (tab. 2). Zawartość obydwu składników zwiększa się bardzo wyraźnie w wodzie cieków i stawów, fosforanów – bardziej w ciekach, a potasu – w stawach. Dużą zawartość fosforanów, a także azotanów i potasu w ciekach można tłumaczyć spływem z użytków rolnych, znajdujących się w zlewniach cieków. Jeszcze większą zawartość potasu w stawach niż w ciekach należy tłumaczyć dodatkowym nawożeniem potasem.

Wartości pH, oznaczane w ciągu całego okresu badań, wynosiły od 2,4 do 7,4 w opadzie mokrym (160 prób) oraz od 3,6 do 6,9 (36 prób) w suchym. W związku z takimi wartościami skrajnymi, wyróżniono sześć klas pH w opadzie mokrym i cztery – w suchym (tab. 3). Rozkład wartości pH w poszczególnych klasach był zróżnicowany i wyraźnie wskazywał na znaczne zakwaszenie opadów.

W opadzie mokrym udział prób o odczynie kwaśnym i bardzo kwaśnym (pH<5,0) w całym okresie badań był duży i wynosił 37%. Dominowały opady słabo kwaśne – 55%, natomiast mało było obojętnych – tylko 8%. Największy udział opadów kwaśnych i bardzo kwaśnych wystąpił w 2000 r., w którym suma opadów atmosferycznych była najmniejsza. Średnia wartość pH wynosiła w tamtym roku 4,8, podczas gdy w 1999 r. – 5,0, w 2001 r. – 6,0, a średnia z trzech lat – 5,3.

**Tabela 3.** Liczba i udział oznaczeń odczynu w mokrym i suchym opadzie zanieczyszczeń atmosferycznych według klas wartości pH

**Table 3.** Number and percentage of pH records in wet and dry atmospheric deposition according to pH classes

Klasa wartości pH pH class	Lata Years							
	1999		2000		2001		1999–2001	
	liczba number	%	liczba number	%	liczba number	%	liczba number	%
	Opad mokry Wet deposition							
2–3	0	0,0	3	5,7	0	0,0	3	1,9
3–4	6	11,3	8	15,1	0	0,0	14	8,7
4–5	18	34,0	16	30,2	8	14,8	42	26,3
5–6	25	47,2	18	33,9	14	25,9	57	35,6
6–7	4	7,5	5	9,4	32	59,3	41	25,6
7–8	0	0,0	3	5,7	0	0,0	3	1,9
Suma Sum	53	100,0	53	100,0	54	100,0	160	100,0
	Opad suchy Dry deposition							
3–4	1	8,3	1	8,3	0	0	2	5,6
4–5	1	8,3	3	25,0	2	16,6	6	16,7
5–6	6	50,0	5	41,7	5	41,7	16	44,4
6–7	4	33,4	3	25,0	5	41,7	12	33,3
Suma Sum	12	100,0	12	100,0	12	100,0	36	100,0

W opadzie suchym udział prób o odczynie kwaśnym i bardzo kwaśnym wyniósł 22%, słabo kwaśnym – 60%, a obojętnym – 18%. Podobnie jak w opadzie mokrym, największy udział prób o odczynie kwaśnym i bardzo kwaśnym w opadzie suchym był w 2000 r. Średnia wartość pH wynosiła w tym roku 5,3, w 1999 r. – 5,6, w 2001 r. – 5,9, a średnia z trzech lat – 5,6.

Wartości pH opadu mokrego na badanym terenie nie odbiegają wiele od wartości pH uzyskanych w latach dziewięćdziesiątych w innych obszarach kraju [DURKOWSKI i in., 1999; ŚNIEŻEK, DEGÓRSKA, 1996; TWAROWSKI, 1996; WALNA, SIĘPAK, 1996]. Stwierdzone różnice to przede wszystkim większa amplituda skrajnych wartości pH w badaniach prowadzonych w kompleksie stawów, wynosząca od 2,4 (najniższa stwierdzona w kraju wartość) do 7,4 (jedna z najwyższych w kraju) oraz nieco wyższa średnia wartość pH (5,3).

Z porównania średnich w okresach wegetacyjnych wartości pH w opadzie mokrym i suchym z lat 1999–2001 z odpowiednimi wartościami pH wody w stawach i ciekach wynika, że najniższe wartości występowały w opadzie mokrym, a najwyższe w stawach (tab. 4). Woda w ciekach miała zawsze większe wartości pH niż opady, a mniejsze niż woda w stawach. Jest to układ typowy, wskazujący na zwiększanie się wartości pH zgodnie z kierunkiem ruchu wody, co oznacza, że



**Tabela 4.** Średnia wartość pH w opadzie mokrym i suchym oraz w ciekach i stawach w okresach wegetacyjnych

**Table 4.** Mean pH in wet and dry deposition, running waters and ponds in the vegetative seasons

Rodzaj wód Type of waters	Lata Years			
	1999	2000	2001	1999–2001
Opad mokry Wet deposition	5,1	4,8	6,3	5,5
Opad suchy Dry deposition	5,9	5,4	6,1	5,8
Woda w ciekach Running water	7,2	7,5	7,1	7,3
Woda w stawach Pond water	7,6	7,6	7,9	7,7

agresywna, kwaśna woda opadowa doprowadza do ługowania i wymywania składników chemicznych z powierzchni ziemi i wnoszenia ich do wód. W tym procesie zwiększa się także migracja mineralnych składników pokarmowych, ich stężenie i wartość pH wody. Tak więc nie tylko ładunek składników wnoszonych w opadzie mokrym, lecz również agresywność tego opadu wpływa na zwiększenie żyzności wody w stawach [PAWLIK-DOBROWOLSKI i in., 1997; TWAROWSKI, 1996; WALNA, SIEPAK, 1996].

## PODSUMOWANIE

W latach 1999–2001 na obszarze rezerwatu „Stawy Raszyńskie” przeprowadzono badania, których celem było określenie stężenia i ładunku mineralnych składników pokarmowych ( $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{PO}_4$ , K) oraz wartości pH w opadzie zanieczyszczeń atmosferycznych, który jest jednym ze źródeł zanieczyszczenia i czynnikiem eutrofizacji wód powierzchniowych.

Badaniami stężenia i ładunku wymienionych składników pokarmowych i wartości pH objęto mokry i suchy opad zanieczyszczeń, wodę w ciekach dopływających do stawów i w stawach. Na podstawie porównania wyników uzyskanych dla poszczególnych rodzajów wód stwierdzono, że opad zanieczyszczeń atmosferycznych jest istotnym źródłem mineralnych składników pokarmowych dla wód powierzchniowych na badanym obiekcie. Dotyczy to zwłaszcza azotu, głównie w postaci amonowej, w mniejszym stopniu azotanowej, a także fosforanów i potasu. W całkowitym depozycie tych składników udział opadu suchego był znacznie mniejszy i wynosił: N- $\text{NH}_4$  – 13,4, N- $\text{NO}_3$  – 15,1, P- $\text{PO}_4$  – 19,5 i K – 19,7%. Na odcinku obiegu wody opad → ciek → staw zmieniają się proporcje stężenia między  $\text{NH}_4$  a  $\text{NO}_3$ . Stężenie  $\text{NH}_4$  jest największe w opadzie mokrym i w stawach, a  $\text{NO}_3$  – w wodach płynących. Należy przyjąć, zgodnie z danymi podawanymi w literaturze, że jest to konsekwencją znacznej zawartości tlenu w wodach płynących. Stwierdzono znaczne stężenie i ładunek fosforanów i potasu w ciekach

i stawach, w stawach szczególnie potasu, co wynika ze stosowania dużej ilości mineralnych nawozów potasowych.

Badania odczynu opadu mokrego wykazały, że wartości pH mieściły się w granicach od 2,4 do 7,4 ze zdecydowaną przewagą opadów bardzo kwaśnych, kwaśnych i słabo kwaśnych. Wynika to z tego, że w opadzie mokrym znajdują się agresywne kwasy, które po zetknięciu się z powierzchnią ziemi rozpuszczają, a następnie wymywają znajdujące się w glebie składniki chemiczne, w tym także mineralne składniki pokarmowe, pochodzące z różnych źródeł zanieczyszczeń obszarowych, nie wyłączając opadu suchego. Składniki te pod wpływem opadów atmosferycznych migrują – bezpośrednio lub z wodami gruntowymi – do wód powierzchniowych. Badania wykazały, że średnie wartości pH wody w ciekach i stawach były wyraźnie większe niż opadu mokrego. Średnia wartość pH w opadzie mokrym wynosiła 5,5, w wodzie cieków – 7,3, a stawów – 7,7.

Przeprowadzone badania wykazały znaczący wpływ opadu zanieczyszczeń atmosferycznych na żyzność wody w stawach. Opad ten jest źródłem znacznego ładunku mineralnych składników pokarmowych, a w wyniku erozji mechanicznej i chemicznej, zintensyfikowanej kwaśnymi opadami, wprowadza do stawów także składniki pochodzące z innych źródeł zanieczyszczeń obszarowych.

## LITERATURA

- CHOJNACKI A., 1967–1968. Wyniki badań składu chemicznego wód opadowych w Polsce. Cz. 1–4. Pam. Puł. z. 24, 29, 35.
- DURKOWSKI T., ŁEMPICKA A., PAWLIK-DOBROWOLSKI J., WORONIECKI T., 1999. Mokry opad zanieczyszczeń atmosferycznych jako podstawowe źródło zanieczyszczeń zbiorników wodnych (na przykładzie jeziora Miedwie). Roczn. AR Pozn. 310 Melior. Inż. Środ. 20 cz. 1 s. 391–402.
- PAWLIK-DOBROWOLSKI J., 1983. Zmiany składu chemicznego wód powierzchniowych pod wpływem zanieczyszczeń obszarowych (w Karpatach Zachodnich). Falenty: IMUZ rozpr. habil. ss. 144.
- PAWLIK-DOBROWOLSKI J., DURKOWSKI T., 1998. Ocena transferu zanieczyszczeń w wodach zlewni cząstkowych rzeki Krzekny. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. z. 458 s. 461–471.
- PAWLIK-DOBROWOLSKI J., DOMAGAŁA R., KOSTUCH M., MACHNIK A., PAWLIK-DOBROWOLSKA B., TWARDY S., 1996. Zanieczyszczenia obszarowe. Cz. 1. Stan przed napełnieniem zbiornika. W: Zbiornik Dobczyce – Zagrożenia środowiska naturalnego w zlewni rzeki Raby powyżej i poniżej zbiornika i ich wpływ na jakość wody. Warszawa: MOŚZNiL maszyn. ss. 120.
- PAWLIK-DOBROWOLSKI J., KOSTUCH M., PAWLIK-DOBROWOLSKA B., TWARDY S., 1997. Zanieczyszczenia obszarowe. Cz. 2. Stan po napełnieniu zbiornika. W: Zbiornik Dobczyce – Zagrożenia środowiska naturalnego w zlewni rzeki Raby powyżej i poniżej zbiornika i ich wpływ na jakość wody. Warszawa: MOŚZNiL maszyn. ss. 108.
- PAWLIK-DOBROWOLSKI J., MIODUSZEWSKI W., 1995. Problematyka bilansowania biogenów w granicach podziału administracyjnego i hydrograficznego. Melior. Rol. nr 3/4 s. 34–39.
- SCHLEEF, KLEINHASS, 1994. National and EC nitrate policies – agriculture in the EU. Cz. 1. The Regional Level. Braunschweig, Germany: FAL s. 42.
- SZPONAR L., PAWLIK-DOBROWOLSKI J., DOMAGAŁA R., TWARDY S., TRACZYK J., 1996. Bilans azotu, fosforu i potasu w rolnictwie polskim. Pr. IŻŻ nr 80 ss. 102.

- ŚNIEZEK T., DEGÓRSKA A., 1996. Opady atmosferyczne w rejonie północno-wschodniej Polski. Badania prowadzone w Stacji Kompleksowego Monitoringu Środowiska „Puszcza Borecka”. W: Chemizm i oddziaływanie kwaśnych deszczy na środowisko przyrodnicze. Sesja naukowa, Jezioro 10.06.1996. Poznań: UAM s. 85–102.
- TURZAŃSKI P. T., GODZIK B., 1996. Mokra depozycja zanieczyszczeń w rejonie krakowskim. W: Półwiecze działalności rybackiego ośrodka PAN w Gołyszach. Gołysz: PAN s. 11–40.
- TWAROWSKI R., 1996. Kwasowość i stan zanieczyszczeń opadów atmosferycznych w Karkonoszach. W: Półwiecze działalności rybackiego ośrodka PAN w Gołyszach. Gołysz: PAN s. 61–83.
- WALNA B., SIEPAK J., 1996. Chemizm kwaśnych deszczy na terenie Wielkopolskiego Parku Narodowego. W: Półwiecze działalności rybackiego ośrodka PAN w Gołyszach. Gołysz: PAN s. 103–124.
- WRÓBEL S., 2002. Badania chemiczne stawów. W: Półwiecze działalności rybackiego ośrodka PAN w Gołyszach. Gołysz: PAN s. 47–57.
- ZIMKA J. R., STACHURSKI A., 1996. Kwaśne opady deszczu a obumieranie lasów świerkowych w Karkonoszach. W: Chemizm i oddziaływanie kwaśnych deszczy na środowisko przyrodnicze. Sesja naukowa, Jezioro 10.06.1996. Poznań: UAM s. 41–59.

*Jacek PAWLIK-DOBROWOLSKI, Anna ŁEMPICKA*

**THE IMPORTANCE OF DRY AND WET DEPOSITION OF POLLUTANTS  
FOR EUTROPHICATION OF POND WATER – THE RESERVE  
“STAWY RASZYŃSKIE” EXAMPLE**

*Key words: surface waters, trophic status, acid rain, concentrations of pollutants, loads of pollutants*

**S u m m a r y**

Concentrations and loads of  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{PO}_4$ , K in ponds and inflowing streams and pH of atmospheric deposition were measured in 1999 and 2001 on the area of the reserve “Stawy Raszyńskie”. Atmospheric deposition was found to be an important source of nitrogen, mainly in the  $\text{N-NH}_4$  form, and, to a lesser extent, of nitrates, phosphates and potassium. Remarkable concentrations and loads of phosphates and potassium were found in running waters and ponds. pH in wet deposition varied between 2.4 and 7.4 with the prevalence of strongly acidic, acidic and slightly acidic precipitation. The values in dry deposition ranged between 3.6 and 6.9. Average pH of wet deposition was 5.5, that of running waters – 7.3 and of pond water – 7.7. The studies revealed that atmospheric precipitation can strongly affect water status in ponds since it is an important source of nutrients. Moreover, due to mechanical and chemical erosion intensified by acid rains, pond waters are fed with pollutants from other diffuse sources.

---

Recenzenci:

*prof. dr hab. Aleksandra Macioszczyk*

*prof. dr hab. Henryk Pawlat*

Praca wpłynęła do Redakcji 1.10.2002 r.