

DYNAMIKA STĘŻENIA WYBRANYCH SKŁADNIKÓW CHEMICZNYCH W OPADACH ATMOSFERYCZNYCH W ZLEWNI JEZIORA MIEDWIE

Tadeusz DURKOWSKI, Tomasz KORYBUT WORONIECKI

Instytut Melioracji i Użytków Zielonych, Zachodniopomorski Ośrodek Badawczy w Szczecinie

Słowa kluczowe: mokry opad zanieczyszczeń atmosferycznych, pH, stężenie składników chemicznych, wysokość opadów

Streszczenie

Stale zwiększające się zanieczyszczenie atmosfery powoduje coraz większe zainteresowanie gospodarki i nauki ilością substancji znajdujących się w atmosferze oraz doprowadzanych z powrotem na powierzchnię ziemi. Spośród tych ostatnich duże znaczenie mają substancje zawarte w wodzie opadowej, gdyż w postaci rozpuszczonej łatwo docierają do wód powierzchniowych, zanieczyszczając je (mokry opad zanieczyszczeń).

Badania prowadzono w latach 2001–2005 w zlewni jeziora Miedwie na trzech posterunkach opadowych: Kartno, Reńsko i Żelewo. Każdorazowo mierzono wysokość opadu oraz oznaczano skład chemiczny w pobranych próbkach mokrego opadu (jony NH_4^+ , NO_3^- i PO_4^{3-}), a także odczyn (pH). Uwzględniono także kierunki wiatru oraz rozmieszczenie głównych emiterów zanieczyszczenia powietrza. Stężenie badanych składników nawozowych w mokrym opadzie zanieczyszczeń atmosferycznych na badanych posterunkach było zróżnicowane. Największą część stanowiły opady o stężeniu: $\text{NH}_4^+ < 0,5 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$, NO_3^- od 2,0 do $5,0 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ i $\text{PO}_4^{3-} < 0,05 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$. Występowała mała ilość opadów kwaśnych. Przeważały opady o podwyższonym pH ($> 6,5$).

WSTĘP

Jednym ze źródeł zanieczyszczeń wprowadzanych na teren zlewni są opady atmosferyczne. Substancje chemiczne, emitowane głównie przez przemysł, gospo-

darke komunalną i rolnictwo, wracają na powierzchnię wody i gleby wraz z opadami atmosferycznymi. Na zanieczyszczenia zawarte w opadach atmosferycznych składa się wiele substancji, spośród których najważniejsze są związki azotu i fosforu. Jako rozpuszczone w wodzie opadowej łatwo docierają do wód powierzchniowych (ze spływem powierzchniowym i podpowierzchniowym oraz z wodami gruntowymi wprowadzanymi przez drenaż naturalny i sztuczny), zanieczyszczając je. Odgrywają one ważną rolę w kształtowaniu się zanieczyszczeń obszarowych.

Badania składu chemicznego wód opadowych stanowią jedno z podstawowych zagadnień badań zanieczyszczeń obszarowych. Bez niego poznanie procesu tworzenia się tych zanieczyszczeń i ich wartości byłoby niemożliwe. Skład chemiczny opadów atmosferycznych jest uzależniony przede wszystkim od stopnia zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego oraz od czynników klimatycznych i meteorologicznych, zwłaszcza od wysokości opadów, ich rozkładu, natężenia, kierunku i prędkości wiatru oraz innych [HUS, 1995; SZYMAŃSKA, 1990].

Zanieczyszczenia transportowane w atmosferze i wprowadzane wraz z opadem na obszar Polski stanowią znaczące źródło zanieczyszczeń obszarowych i nie mogą być pomijane w ocenie udziału opadów w ogólnym bilansie ładunków zanieczyszczeń, a także w przedsięwzięciach związanych z oceną stanu środowiska [DYGAS-CIOŁKOWSKA i in., 2005]. PAWLIK-DOBROWOLSKI [1992] zauważył, że opad spełnia w degradacji środowiska podwójną rolę – jako źródło zanieczyszczenia gleb, wód i roślin oraz jako czynnik zwiększający ługowanie gleb. Ze względu na wpływ zanieczyszczeń atmosferycznych na degradację gleb i wód już w połowie lat 70. XX w. zaczęto podkreślać znaczenie tych badań [CHOJNACKI, 1968; KRZEMIEN, KURZBAUER, PAWLIK-DOBROWOLSKI, 1990]. Zanieczyszczenia te dostają się na powierzchnię jako mokry i suchy opad. Za mokry opad uważa się opad deszczu i śniegu. Pojęcie suchego opadu jest znacznie szersze i obejmuje opad gazów i aerozoli z atmosfery w wyniku procesów turbulencji, sedymentacji i ruchów Browna [KASINA, PAWLIK-DOBROWOLSKI, RAPACZ, 1992]. Z tych dwóch form zdecydowanie większą rolę odgrywa opad mokry, który jest potencjalnym źródłem zanieczyszczeń, a jednocześnie rozpuszczalnikiem wielu substancji chemicznych w glebach. Opad suchy stanowi właściwie tylko źródło zanieczyszczeń.

Według SZPONARA, TRACZYK i PAWLIKA-DOBROWOLSKIEGO [1996], duże znaczenie ma odczyn opadów jako czynnika zwiększającego migrację azotu (także fosforu i potasu) z powierzchni zlewni do wód gruntowych i powierzchniowych. Kwaśne opady w Polsce są zjawiskiem dość powszechnym. Najniższe wartości pH wód opadowych wynosiły 3,0–3,5, a najczęściej występują opady, których pH mieści się w zakresie 5,0–6,5. Zdaniem WRÓBLA [1990], pH wody deszczowej wynosi 5,63 i jest uwarunkowane równowagą kwasu węglowego w kroplach deszczu oraz stężenia CO₂ w powietrzu. Agresywność zakwaszonych wód opadowych powoduje degradację gleb na skutek ich zakwaszenia [PAWLIK-DOBROWOLSKI, 1992]. Ługowanie wapnia i magnezu, a w jego następstwie zakwaszenie gleb, prowadzi do zmniejszenia właściwości sorpcyjnych gleb, a przez to zwiększenia migracji skład-

ników chemicznych. W wyniku nadmiernego wypłukiwania składników chemicznych z gleb zwiększa się ich stężenie w wodach gruntowych i powierzchniowych.

Opady atmosferyczne są jednym ze źródeł substancji biogenych dopływających do zbiorników wód stojących. Depozycja substancji biogenych obliczona dla 488 jezior o powierzchni ponad 100 ha dla lat 1999–2001 świadczy, że ładunki azotu są znaczącym czynnikiem, utrudniającym poprawę jakości wód. Wykorzystując kryterium Vollenweidera, w którym odporność ekosystemów jezior na substancje biogenne jest uzależniona od ich średniej głębokości, dokonano oceny potencjalnych skutków depozycji na stan jezior. Wynika z niej, że wprowadzane z opadami atmosferycznymi ładunki azotu przekraczają wartości dopuszczalne i krytyczne dla znacznej ilości jezior płytkich (średnia głębokość 2–5 m) i bardzo płytkich (średnia głębokość <2 m), natomiast ładunki fosforu tylko dla jezior bardzo płytkich [BŁACHUTA i in., 2005]. Najbardziej niekorzystna sytuacja panuje w zachodniej części Polski, np. na powierzchni jeziora Miedwie (3527 ha) w 2001 r. wprowadzony został ładunek azotu ogólnego, wynoszący 41,9, i fosforu ogólnego – 1,06 t.

Celem pracy jest określenie dynamiki zmian pH oraz stężenia NH_4^+ , NO_3^- i PO_4^{3-} w mokrym opadzie zanieczyszczeń atmosferycznych w zlewni jeziora Miedwie.

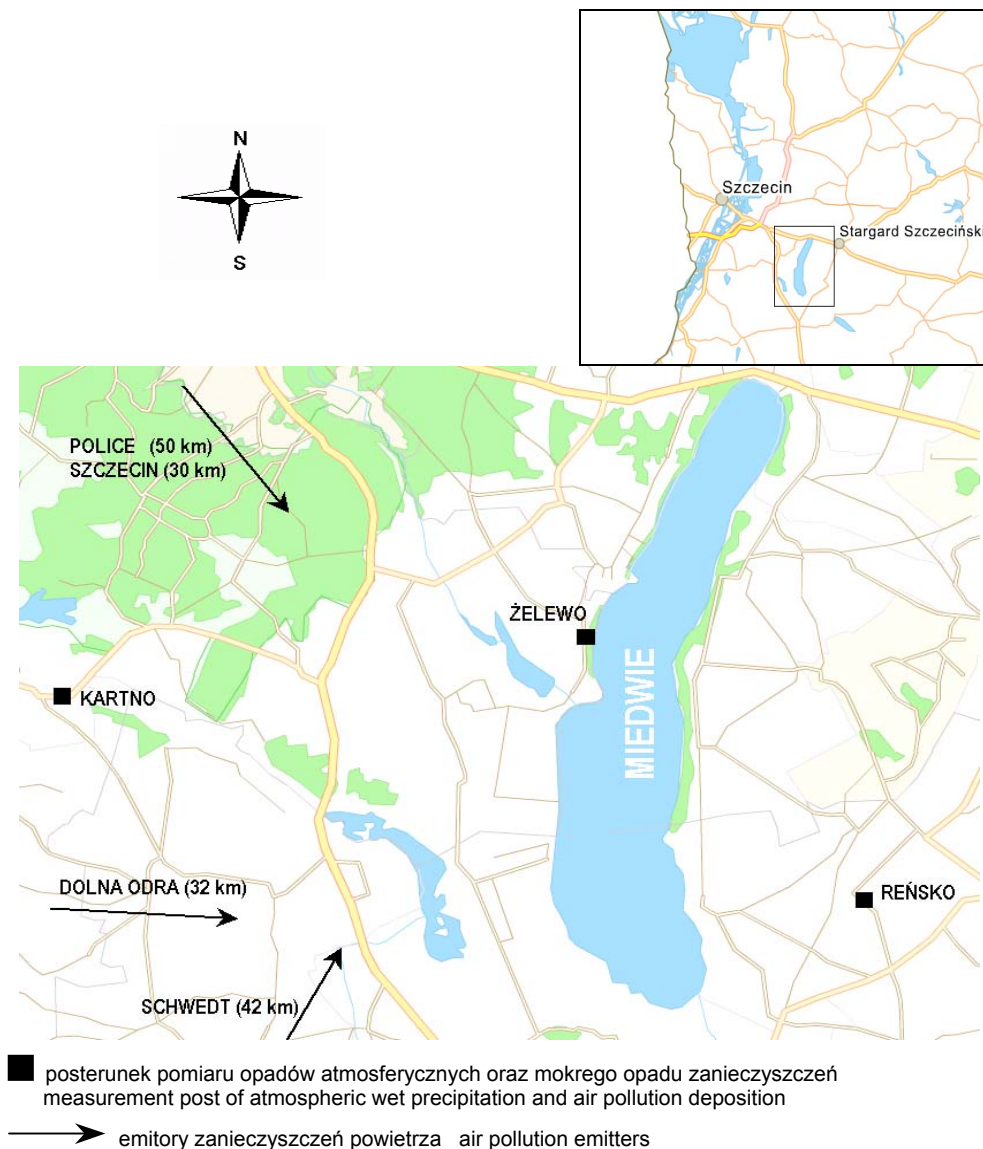
MIEJSCE I METODY BADAŃ

Badania prowadzono w latach 2001–2005 w zlewni jeziora Miedwie (woj. zachodniopomorskie). Zlewnia ta, według podziału Polski na jednostki fizyczno-geograficzne, jest położona w makroregionie Pobrzeże Szczecińskie (313.2-3) oraz mezoregionach Równina Wełtyńska (313.28) i Równina Pyrzycka (313.31) [KONDRACKI, 2001]. Zlewnia jeziora Miedwie jest typową, intensywnie użytkowaną zlewnią rolniczą. Użytki rolne zajmują blisko 85%, grunty orne 72%, a jeziora blisko 5% powierzchni zlewni. Obszar badań znajduje się w VI krainie klimatycznej Pyrzycko-Goleniowskiej. Wyróżnia się ona przeciętnie najmniejszymi rocznymi sumami opadów na Pomorzu Zachodnim, które przy ujściu rzeki Płoni do jeziora Miedwie wynoszą zaledwie 490 mm i rosną do ok. 610 mm w jej wschodniej części. Opady o sumie dobowej co najmniej 1 mm notuje się tam przeciętnie 100–115 razy w roku [KOŹMIŃSKI, MICHALSKA, CZARNECKA, 2007].

Posterunki opadowe były zlokalizowane w trzech wsiach: Kartno i Żelewo (w zachodniej części zlewni jeziora) oraz Reńsko (w części wschodniej) – rysunek 1.

Zakres badań terenowych obejmował:

- pomiary dobowych sum opadów atmosferycznych (deszczomierzem Hellmanna);
- pobieranie mokrego opadu zanieczyszczeń atmosferycznych (za pomocą urządzenia konstrukcji ZD IMUZ do rozdzielczego pobierania prób), po każdorazowym opadzie;
- oznaczanie pH (pehametrem CP-251 oraz Slandi) bezpośrednio po każdym opadzie.



Rys. 1. Rozmieszczenie posterunków opadowych

Fig. 1. Location of rainfall posts

Skład chemiczny mokrego opadu zanieczyszczeń określano, używając fotometru LF 204 i odczynników fabrycznych firmy Slandi do oznaczania NH_4^+ , NO_3^- i PO_4^{3-} .

W opracowaniu wykorzystano dane o kierunku wiatru (IMGW Szczecin Dąbie) oraz o rozmieszczeniu głównych emiterów zanieczyszczenia powietrza.

W ocenie kwasowości opadów przyjęto skalę zalecaną przez JANSENA, BLOCKA i KNAACKA [1988], modyfikując ją przez dodanie jednej grupy, o pH >6,5 [TWAROWSKI i in., 2006]. W związku z tym wyróżniono 6 grup kwasowości:

- I – pH >6,5 – podwyższone,
- II – pH 6,1–6,5 – lekko podwyższone,
- III – pH 5,1–6,1 – normalne,
- IV – pH 4,6–5,1 – lekko obniżone,
- V – pH 4,1–4,6 – znacznie obniżone,
- VI – pH <4,1 – silnie obniżone.

Skala pH jest ilościową skalą kwasowości i zasadowości roztworów wodnych związków chemicznych. Tradycyjnie pH definiuje się jako ujemny logarytm dziesiętny aktywności jonów hydroniowych wyrażonych w molach na decymetr sześcienny ($\text{pH} = -\lg[\text{H}_3\text{O}^+]$). Współcześnie jednak nie uznaje się jej za ścisłą definicję tej wielkości – pH roztworów jest jednostką bezwymiarową i ma charakter jedynie porównawczy, nie przekładający się bezpośrednio na stężenie czy aktywność jonów hydroniowych. Deszcz czysty ma pH równe 5,65, co uwarunkowane jest obecnością kwasu węglowego, powstającego w wyniku reakcji H_2O z CO_2 znajdującym się nawet w czystym powietrzu.

WYNIKI BADAŃ

Suma opadów atmosferycznych w poszczególnych latach badań i na posterunkach była zróżnicowana. Średnia suma opadów atmosferycznych z całego okresu badań (2001–2005) była większa po zachodniej stronie jeziora Miedwie – posterunki Kartno i Żelewo (491,4 i 568,7 mm) niż po stronie wschodniej – posterunek Reńsko (459,3 mm) (tab. 1).

Na posterunkach Kartno i Żelewo najniższe sumy zanotowano w 2003 r. – odpowiednio 369,4 i 465,1 mm, najwyższe natomiast w 2002 r. (Kartno – 556,1 mm, Żelewo – 650,6 mm). Inaczej przedstawiała się sytuacja na posterunku w Reńsku, po wschodniej stronie jeziora. Najniższą sumę opadów zanotowano w 2003 r. – 339,4 mm, najwyższą natomiast w 2005 r. – 517,9 mm. Wyniki porównywano z opadami z wielolecia 1956–1985 na posterunku Pyrzyce (IMGW). W latach 2001–2005 roczne sumy opadów atmosferycznych na posterunkach opadowych IMUZ stanowiły od 66 do 127% średnich opadów z wielolecia. Analiza sum opadów na posterunkach opadowych wskazuje na istotną rolę jeziora Miedwie jako bariery klimatycznej – dużo wyższe opady po stronie zachodniej, w warunkach dominacji zachodniego i północno-zachodniego kierunku wiatru.

Przyjmując skalę zalecaną przez JANSENA, BLOCKA i KNAACKA [1988], stwierdzono, że pH opadów poniżej normalnego stwierdzono w 17,1% pobranych próbek w Kartnie ($n = 312$), 2,1% w Żelewie ($n = 631$) i tylko w Reńsku 1,0% ($n = 499$). Opady o pH normalnym stwierdzono z podobną do siebie częstością na posterunkach

Tabela 1. Średnie roczne stężenie składników chemicznych i wartość pH w opadach atmosferycznych oraz roczne sumy opadów w latach 2001–2005 na posterunkach Kartno, Reńsko i Żelewo¹⁾

Table 1. Annual mean concentration of chemical components, pH in precipitation and the annual sums of precipitation in the years 2001–2005 in posts Kartno, Reńsko and Żelewo¹⁾

Lata Years	Suma opadów Annual sum of precipitation mm	pH		Stężenie, g·m ⁻³ Concentration, g·m ⁻³					
				NH ₄ ⁺		NO ₃ ⁻		PO ₄ ³⁻	
		<i>x</i>	<i>SD</i>	<i>x</i>	<i>SD</i>	<i>x</i>	<i>SD</i>	<i>x</i>	<i>SD</i>
Posterunek Kartno Post Kartno <i>n</i> = 312									
2001	489,6	6,14	0,10	1,31	1,05	8,68	10,66	0,156	0,212
2002	556,1	6,17	0,91	1,03	1,16	4,99	6,29	0,150	0,294
2003	369,4	6,18	0,69	0,65	0,56	3,94	3,04	0,170	0,198
2004	534,8	6,61	0,53	0,74	0,74	4,04	3,16	0,113	0,069
2005	507,2	5,94	1,08	1,81	1,26	5,38	8,66	0,135	0,181
Średnia Mean	491,4								
Posterunek Żelewo Post Żelewo <i>n</i> = 631									
2001	611,5	6,59	0,57	1,01	0,86	6,17	5,65	0,200	0,329
2002	650,6	6,65	0,40	0,54	0,43	5,53	4,61	0,198	0,434
2003	465,1	6,63	0,38	0,50	0,34	7,30	10,51	0,140	0,113
2004	591,8	6,69	0,42	0,41	0,32	5,17	2,78	0,143	0,125
2005	524,5	6,11	1,16	0,90	0,72	5,43	3,49	0,102	0,023
Średnia Mean	568,7								
Posterunek Reńsko Post Reńsko <i>n</i> = 499									
2001	513,8	6,69	0,89	1,52	1,42	5,80	7,90	0,131	0,287
2002	446,9	7,29	0,44	0,63	0,78	9,82	12,50	0,169	0,262
2003	339,4	7,20	0,38	0,45	0,32	6,91	10,48	0,299	0,482
2004	478,6	7,19	0,47	0,64	0,46	7,54	7,31	0,242	0,309
2005	517,9	7,03	0,71	2,35	1,14	14,81	17,19	0,108	0,270
Średnia Mean	459,3								

¹⁾ Średnia suma opadów z wielolecia 1956–1985 z posterunku Pyrzyce – 512,0 mm (IMGW).

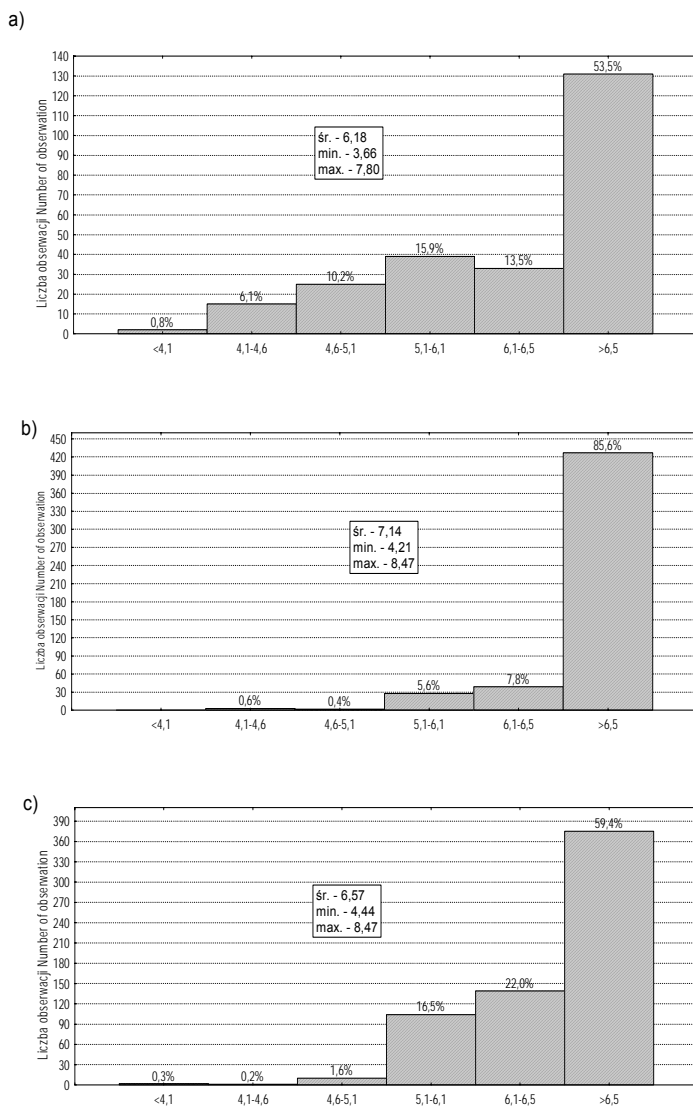
¹⁾ Mean sum of precipitation in the years 1956–1985 in the post Pyrzyce – 512.0 mm (Institute of Meteorology and Water Management).

Objaśnienia: *x* – wartość średnia, *n* – liczba próbek, *SD* – odchylenie standardowe.

Explanation: *x* – mean, *n* – number of samples, *SD* – standard deviation.

Kartno i Żelewo (15,9 i 16, 5%), a w Reńsku tylko z częstotliwością 5,6%. Wynika z tego, że zachodnie rejony zlewni jeziora Miedwie, szczególnie Kartno, były w większym stopniu narażone na działanie kwaśnych opadów i w związku z tym na rozpuszczanie składników chemicznych w glebach i przyspieszenie ich migracji do wód. Mogło to być związane z bliskością głównych emiterów zanieczyszczeń powietrza oraz z przewagą wiatru z kierunków SW, W i NW, na których położone są

te duże emityery (Szczecin, Zakłady Chemiczne Police, Zakłady Chemiczne oraz Rafineria w Schwedt i Elektrownia „Dolna Odra”) (rys. 1). Rozkład wartości pH opadu z badanych posterunków opadowych był zbliżony w przypadku Kartna i Żelewa, położonych po zachodniej stronie jeziora. Według przyjętej klasyfikacji, w ciągu pięciu lat badań większość badanych próbek wód opadowych, ze wszyst-



Rys. 2. Rozkład wartości pH w opadach atmosferycznych w latach 2001–2005 na posterunkach opadowych: a) Kartno ($n = 312$), b) Żelewo ($n = 631$), c) Reńsko ($n = 499$)

Fig. 2. Distribution of pH in atmospheric precipitation in the years 2001–2003 in posts: a) Kartno ($n = 312$), b) Żelewo ($n = 631$), c) Reńsko ($n = 499$)

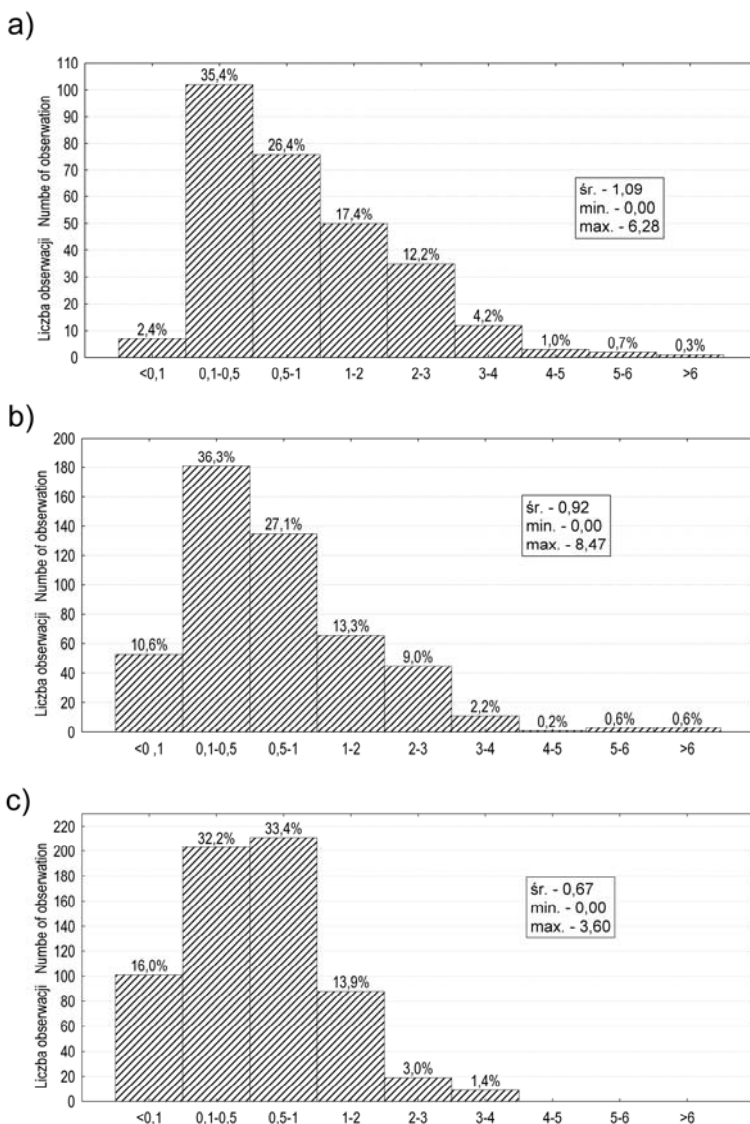
kich posterunków miała podwyższone pH ($>6,5$) – rysunek 2. Na posterunku Kartno było to 53,5%, w Żelewie 59,4%, a w Reńsku aż 85,6%. Średnie roczne wartości pH na posterunku Kartno mieściły się w granicach od 5,94 do 6,61, w Żelewie od 6,11 do 6,69, a w Reńsku na ogół >7 (tab. 1).

Przyjmując zasady klasyfikacji wód opadowych stosowane w odniesieniu do wód powierzchniowych, można stwierdzić, że najczęściej próbek opadów o klasach niższych (III i IV) stwierdzono w stacjach Kartno, Żelewo, a najmniej w Reńsku. Próbek opadów w V klasie najczęściej było na posterunku Kartno – 24,1%, w Żelewie – 10,1%, a w Reńsku tylko 4,0%.

Pobieranie próbek wody z pojedynczych opadów umożliwiło poznanie rozkładu stężenia badanych składników, których wartości w poszczególnych granicach przyjęto za DURKOWSKIM i in. [1999] (rys. 3–5).

Rozkłady stężenia badanych składników nawozowych na posterunkach Kartno, Żelewo i Reńsko w mokrym opadzie zanieczyszczeń atmosferycznych były zróżnicowane (rys. 3–5). Średnie roczne stężenie NH_4^+ w wodach opadowych na poszczególnych posterunkach wynosiło odpowiednio: 0,65–1,81, 0,41–1,01 i 0,45–2,35 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (tab. 1). Rozkłady stężenia NH_4^+ na wszystkich badanych posterunkach wykazały duże podobieństwo (rys. 3). Największą część stanowiły próbki opadów o małym stężeniu NH_4^+ – od poniżej 0,5 do 1,0 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (Kartno 64,2% na 312 próbek, Żelewo 81,6% na 631 i Reńsko 74,1% na 499). Przyjmując klasyfikację wód powierzchniowych, opady można zaliczyć do I i II klasy czystości (rys. 3). Z uwagi na stężenie NH_4^+ do klasy IV należy zaliczyć 18,4% próbek opadów w Kartnie, 12,6% w Reńsku i tylko 4,4% w Żelewie, natomiast do klasy V tylko 2% w Kartnie i 1,4% w Reńsku, z tym że zaobserwowano tam opady o stężeniu tego składnika wynoszącym 7,0–8,0 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Stwierdzono duże średnie roczne stężenie NO_3^- w wodach opadowych na wszystkich posterunkach: Kartno – 3,94–8,68, Reńsko – 5,80–14,81 i Żelewo – 5,17–7,30 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (tab. 1). Rozkład stężenia tego składnika na poszczególnych posterunkach był różny. Na posterunku Kartno największą część stanowiły opady o stężeniu od 2,0 do 4,0 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (46,8% próbek), w Reńsku było to 35,2%, a w Żelewie 31,8% próbek (rys. 4). Stężenie wynoszące 10,0 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ było przekraczane aż w 21,8% próbek opadów w Reńsku, w 11,8% w Żelewie i tylko w 10,6% w Żelewie (rys. 4). W 2005 r. średnie stężenie NO_3^- w Reńsku wynosiło aż 14,8 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Należy przypuszczać, że stężenia tego składnika wiąże się ze znaczną przewagą wiatrów z kierunków SW i NW, a więc kierunków, na których znajdują się duże emitory zanieczyszczeń powietrza (rys. 1). Ponadto wieś Reńsko jest położona wśród intensywnie użytkowanych gruntów ornych i funkcjonują tam duża ferma krów mlecznych oraz ferma drobiu (składowiska nawozów naturalnych stałych i płynnych), co w pewnym stopniu (wymaga to dalszych badań) może też tłumaczyć występowanie dużego stężenia azotanów w wodzie opadowej. Z uwagi na stężenie tego składnika w I klasie czystości wód powierzchniowych stwierdzono odpowiednio: 71,1% próbek opadów – Kartno, 57,9% – Żelewo i 58,4% – Reńsko,

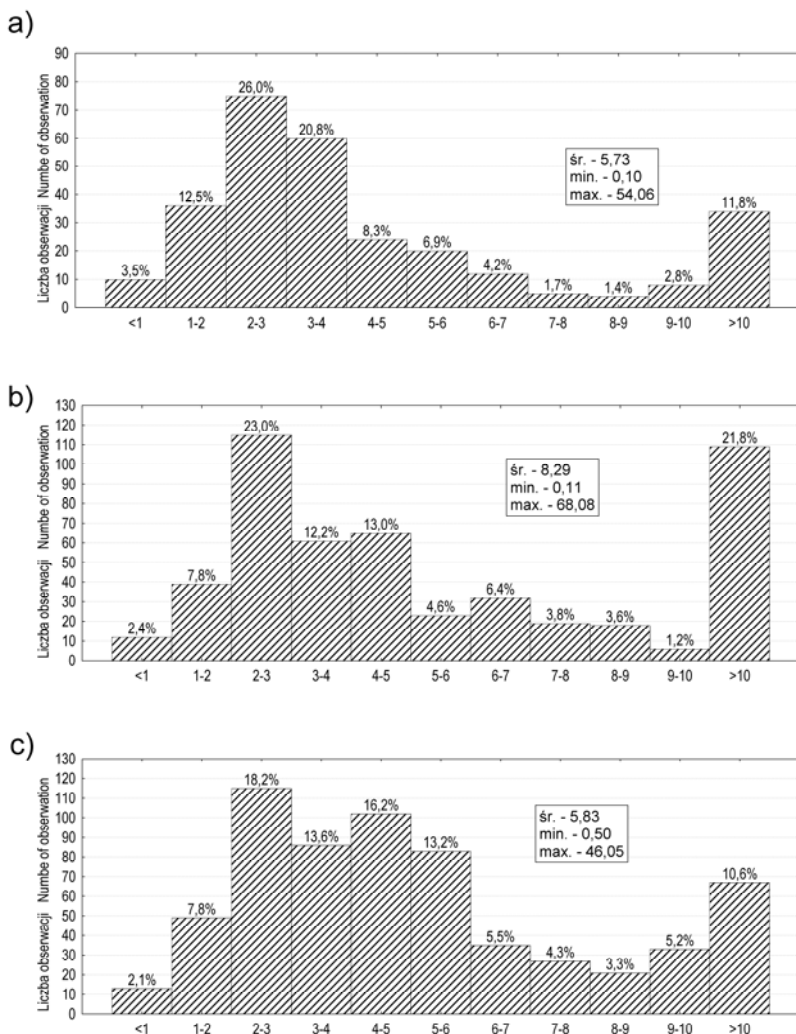


Rys. 3. Rozkład stężenia NH_4^+ ($\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) w opadach atmosferycznych w latach 2001–2005 na posterunkach: a) Kartno, b) Żelewo c) Reńsko

Fig. 3. Distribution of NH_4^+ concentrations ($\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) in precipitation in the years 2001–2005 in posts: a) Kartno, b) Żelewo c) Reńsko

a pozostałe opady prawie w całości kwalifikowały się do II klasy (w Reńsku pojedyncze opady można zaliczyć do IV klasy).

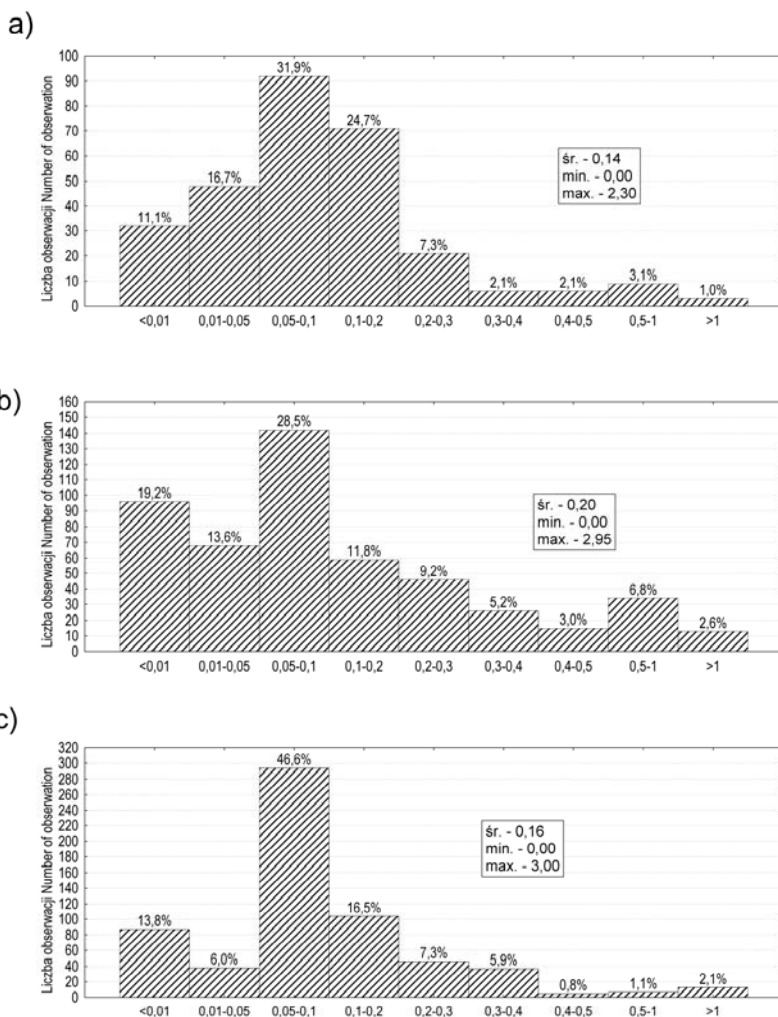
Średnie roczne stężenie PO_4^{3-} na poszczególnych posterunkach wynosiło: Kartno – 0,113–0,170, Reńsko – 0,108–0,299 i Żelewo – 0,102–0,200 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (tab. 1).



Rys. 4. Rozkład stężenia NO_3^- ($\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) w opadach atmosferycznych w latach 2001–2005 na posterunkach: a) Kartno, b) Żelewo, c) Reńsko

Fig. 4. Distribution of NO_3^- concentrations ($\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) in precipitation in the years 2001–2005 in posts: a) Kartno, b) Żelewo, c) Reńsko

Największą część stanowiły opady o stężeniu od 0,01 do 0,20 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, czyli w I klasie wód powierzchniowych czystości, odpowiednio: Kartno – 73,3% próbek, Reńsko – 53,9% i Żelewo – 69,1% (rys. 5). Najwięcej opadów w klasach IV i V zanotowano na posterunku Reńsko – blisko 7% próbek.



Rys. 5. Rozkład stężenia PO_4^{3-} ($\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) w opadach atmosferycznych w latach 2001–2005 na posterunkach: a) Kartno, b) Żelewo c) Reńsko

Fig. 5. Distribution of PO_4^{3-} concentrations ($\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) in precipitation in the years 2001–2005 in posts: a) Kartno, b) Żelewo c) Reńsko

DYSKUSJA WYNIKÓW

Średnie stężenie badanych składników nawozowych w mokrym opadzie zanieczyszczeń atmosferycznych w różnych regionach Polski – wg badań wielu autorów (PAWLIK-DOBROWOLSKI, ŁEMPICKA [2003]; SAPEK, NAWALANY [2003]; SZYMAŃSKA [1990]; WITKOWSKI [1982]) – było podobne lub większe.

Przedstawione wyniki świadczą, że opady atmosferyczne mogą stanowić znaczące źródło składników nawozowych dla gleby i wód powierzchniowych, co potwierdzają prace realizowane w ramach państwowego monitoringu środowiska – monitoringu chemizmu opadów atmosferycznych i depozycji zanieczyszczeń do podłoża [BLACHUTA i in., 2005]. Wody te – w odróżnieniu od nawozów mineralnych – zawierają składniki już rozpuszczone, co ułatwia ich migrację (dotyczy to szczególnie azotanów). Dlatego nie można ich pomijać, gdy rozpatruje się zagadnienia związane z wypłukiwaniem składników nawozowych z gleb, dopływem zanieczyszczeń do wód powierzchniowych oraz udziałem opadów w ogólnym bilansie ładunków zanieczyszczeń. Wiedza na temat ilości i przestrzennego rozkładu depozycji związków biogenych i substancji kwasogennych jest jednym z podstawowych warunków realizacji strategii ochrony środowiska [DYGAS-CIOŁKOWSKA i in., 2005]. Wyniki badań potwierdzają tezę o dużej zmienności składu chemicznego opadów atmosferycznych, wynikającej zwłaszcza z położenia posterunku opadowego w stosunku do źródeł zanieczyszczeń atmosferycznych.

WNIOSKI

1. Opady o pH poniżej 5,63 (kwaśne), stwierdzono w niewielu badanych próbkach (od 3,2 do 24,1%). Większość stanowiły opady o podwyższonym pH (>6,5) – od 53,5 do 85,6%.

2. Rozkład stężenia NH_4^+ na wszystkich badanych posterunkach był zbliżony, przeważały próbki o stężeniu poniżej $0,5 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$. Ze względu na stężenie NO_3^- największą część stanowiły opady, w których stwierdzano od $2,0$ do $5,0 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$, natomiast opady o stężeniu NO_3^- ponad $10,0 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ – od $10,6$ do $21,8\%$. Ponad połowę badanych próbek stanowiły opady o najmniejszym stężeniu PO_4^{3-} – od poniżej $0,05$ do $0,10 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$.

3. Opady atmosferyczne, a w szczególności mokry opad zanieczyszczeń, stanowią znaczące źródło zanieczyszczenia wód powierzchniowych i gleb składnikami nawozowymi na terenie zlewni.

LITERATURA

- BLACHUTA J., DYGAS-CIOŁKOWSKA L., DUBICKI A., TWAROWSKI R., 2005. Ocena potencjalnych skutków depozycji ładunków substancji biogenych na ekosystemy wód stojących. W: Funkcjonowanie geosystemów Polski w warunkach zmian klimatu i różnokierunkowej antropopresji. Zintegrowany monitoring środowiska przyrodniczego. Bibl. Monitor. Środ. Poznań: UAM, GIOŚ s. 361–368.
- CHOJNACKI A., 1968. Wyniki badań składu chemicznego wód opadowych w Polsce. Cz. 1–4. Pam. Puł. 24 s. 29–35.
- DYGAS-CIOŁKOWSKA L., TWAROWSKI R., BLACHUTA J., BRODOWSKA M., SIENKIEWICZ R., WYRODEK S., LIANA E., GENDOLLA E., WOSTEK K., 2005. Monitoring chemizmu opadów atmosferycznych

- i depozycji zanieczyszczeń do podłoża – jedno z zadań Państwowego Monitoringu Środowiska. W: Funkcjonowanie geoekosystemów Polski w warunkach zmian klimatu i różnokierunkowej antropopresji. Zintegrowany monitoring środowiska przyrodniczego. Bibl. Monitor. Środ. Poznań: UAM, GIOŚ s. 25–38.
- 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 Poznań 310 Melior. Inż. Środ. 20 cz. 1 s. 391–402.
- HUS S., 1995. Chemia wody, ścieków i gnojowicy. Skrypty nr 401. Wrocław: AR s. 125.
- JANSEN W., BLOCK A., KNAACK J., 1988. Kwaśne deszcze. Historia, powstawanie, skutki. *Aura* 4 s. 18–19.
- KASINA S., PAWLIK-DOBROWOLSKI J., RAPACZ J., 1992. Pomiary opadu zanieczyszczeń atmosferycznych w badaniach wpływu rolnictwa na jakość wód na przykładzie związków siarki. *Wiad. IMUZ* t. 17 z. 2 s. 497–508.
- KONDRACKI J., 2001. Geografia regionalna Polski. Warszawa: Wydaw. Nauk. PWN ss. 441.
- KOŹMIŃSKI CZ., MICHALSKA B., CZARNECKA M., 2007. Klimat województwa zachodniopomorskiego. Monografia. Szczecin: AR, USzczec. ss. 147.
- KRZEMIEŃ E., KURZBAUER E., PAWLIK-DOBROWOLSKI J., 1990. Wody opadowe jako źródło zanieczyszczeń. W: Zanieczyszczenia obszarowe w zlewniach rolniczych. Mater. Semin. 26. Falenty: Wydaw. IMUZ s. 45–52.
- PAWLIK-DOBROWOLSKI J., 1992. Rolnicze zanieczyszczenia obszarowe i ograniczanie ich wpływu na jakość wód. *Zesz. Nauk. AR Krak.* nr 260 Ses. Nauk. z. 32 s. 243–250.
- PAWLIK-DOBROWOLSKI J., ŁEMPICKA A., 2003. Znaczenie mokrego i suchego opadu zanieczyszczeń w eutrofizacji wód w stawach na przykładzie rezerwatu „Stawy Raszyńskie”. *Woda Środ. Obsz. Wiej.* t. 3 z. specj. (6) s. 167–177.
- SAPEK A., NAWALANY P., 2003. Stężenia i ładunki składników nawozowych wnoszonych z opadem atmosferycznym na powierzchnię ziemi w zlewniach rolniczych regionu ostrołęckiego w latach 1993–1996. Konferencja Naukowa „Woda Środ. Obsz. Wiej.”. Streszczenia. Falenty 24–25 listopada 2003. Falenty: Wydaw. IMUZ s. 170–172.
- SZPONAR L., TRACZYK L., PAWLIK-DOBROWOLSKI J., 1996. Nadmiar azotu w rolnictwie zagrożeniem zdrowia człowieka. *Aneks Pr. IZiŻ* 80 ss. 118.
- SZYMAŃSKA H., 1990. Skład chemiczny wód opadowych. W: Zanieczyszczenia obszarowe w zlewniach rolniczych. Mater. Semin. 26. Falenty: Wydaw. IMUZ s. 53–60.
- TWAROWSKI R., BLACHUTA J., DĄBROWSKI A., GENDOLLA T., WYRODEK S., SIENKIEWICZ S., 2006. Częstość występowania kwaśnych opadów atmosferycznych na obszarze Polski w latach 2001–2004. W: Funkcjonowanie i monitoring geoekosystemów Polski w warunkach narastającej antropopresji. Zintegrowany monitoring środowiska przyrodniczego. Warszawa: UAM, GIOŚ s. 214–223.
- WITKOWSKI D., 1982. Przyczynek do metodyki badań składu chemicznego opadów atmosferycznych. *Gosp. Wod.* nr 11–12 s. 247–248.
- WRÓBEL S., 1990. Kwaśne deszcze a degradacja wód i gleb w Polsce. W: Ochrona wód przed wpływem rolniczych zanieczyszczeń obszarowych. Mater. Semin. 27. Falenty: Wydaw. IMUZ s. 49–60.

Tadeusz DURKOWSKI, Tomasz KORYBUT WORONIECKI

**THE DYNAMICS OF CONCENTRATION OF SELECTED CHEMICAL COMPONENTS
OF RAINFALLS IN THE LAKE MIEDWIE CATCHMENT BASIN**

Key words: concentration of chemical components, pH, precipitation, wet precipitation of atmospheric pollution

S u m m a r y

Constantly rising pollution of the atmosphere causes an increasing interest of economists and scientists in the amount of substances present in the atmosphere and that delivered to the ground. Among the latter there are substances dissolved in rainwater and hence easily transported to surface waters increasing their pollution (wet precipitation of atmospheric pollution).

The study was carried out in the years 2001–2005 in the catchment basin of Lake Miedwie in three different rainfall posts in Kartno, Reńsko and Żelewo. On each sampling occasion the amount of rainfall was measured and chemical composition of wet precipitation (NH_4^+ , NO_3^- and PO_4^{3-}) and pH were determined in collected samples. Wind directions and the main pollution emitters were taken into consideration.

Concentrations of chemical components in wet precipitation in sampling posts were differentiated. Most rainfalls contained $<0.5 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3} \text{ NH}_4^+$, $2.0\text{--}5.0 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3} \text{ NO}_3^-$ and $<0.05 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3} \text{ PO}_4^{3-}$. Acid rains were rare; most rainfalls had $\text{pH} > 6.5$.

Recenzenci:

dr Michał Fic

prof. dr hab. Stanisław Twardy

Praca wpłynęła do Redakcji 10.09.2008 r.