

Ewa Górską, Maria Świdęrska-Bróź\*

## KWAŚNE OPADY ATMOSFERYCZNE I ICH WPŁYW NA GLEBY I WODY POWIERZCHNIOWE

### *Streszczenie*

*Omówiono przyczyny i zjawisko powstawania kwaśnych opadów atmosferycznych oraz sposób wymywania transportu zanieczyszczeń z powietrza do gleb i wód powierzchniowych. Przedstawiono skład chemiczny opadów ze szczególnym uwzględnieniem ich odczynu. Wykazano, że kwaśne opady atmosferyczne współdecydują o zmianach składu chemicznego gleb i wód powierzchniowych przyczyniając się ostatecznie do zwiększenia stopnia degradacji tych komponentów środowiska.*

### 1. WPROWADZENIE

Zjawisko degradacji środowiska glebowego i wodnego jest ściśle związane z emisją odpadów powstających w wyniku działalności gospodarczej człowieka. Skutkiem emisji do powietrza zanieczyszczeń kwasotwórczych ( $\text{SO}_2$  i  $\text{NO}_x$ ) jest zakwaszenie opadów atmosferycznych, a także mierzalne zmiany w składzie chemicznym gleb i wód powierzchniowych.

### 2. POWSTAWANIE KWAŚNYCH OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH

Naturalna zawartość  $\text{CO}_2$  w powietrzu powoduje, iż odczyn opadów atmosferycznych wynosi ok. 5,6 pH. Przyjęto, że opady charakteryzujące

---

\* Ewa GÓRSKA, Maria ŚWIDERSKA-BRÓŹ, Politechnika Wrocławska

się mniejszą wartością odczynu są zanieczyszczone antropogenicznie i należą do opadów kwaśnych. Jako niebezpieczne dla środowiska traktuje się opady, których odczyn jest mniejsze niż 3,6 pH [ 20. Zwoździak i inni., 1990]. Głównym źródłem powstawania kwaśnych opadów jest emisja do powietrza atmosferycznego dwutlenku siarki i tlenków azotu.  $\text{SO}_2$  emitowany jest przede wszystkim podczas spalania paliw energetycznych, a ilość pochodzącą z tego źródła ocenia się na ok. 80–85% całkowitej emisji antropogenicznej [6. Kabsch, 1991]. Istotnym źródłem tlenków azotu są spaliny samochodowe, z których pochodzi ok. 45% całkowitej emisji tych związków. Z uwagi na różnicę wysokości emitorów tlenków siarki i azotu, te ostatnie mają mniejszą szansę na wejście do tworzącego się systemu chmurowego i w konsekwencji szybciej powracają na powierzchnię ziemi. Mimo podejmowania działań zmierzających do ograniczenia wielkości emisji  $\text{SO}_2$  i  $\text{NO}_x$ , w dalszym ciągu, bardzo duże ich ilości trafiają do powietrza atmosferycznego. Wg danych GUS [9, 1995], w Polsce w 1995 r., całkowita emisja  $\text{SO}_2$  oraz tlenków azotu wynosiła odpowiednio 2645 i 1120 tysięcy ton. Wyemitowane do atmosfery gazy (głównie  $\text{SO}_2$ ) przenoszone są z masami powietrza czasami nawet na bardzo duże odległości. Podczas transportu gazy te utleniają się bezpośrednio lub pośrednio do bezwodników kwasów siarkowego i azotowego oraz azotanów i siarczanów [4. Hegg i in., 1986].

Rolę utleniaczy pełnią tlen, ozon, nadtlenek wodoru oraz najbardziej efektywne – rodniki hydroksylowe. Utlenianie  $\text{SO}_2$  i  $\text{NO}_x$  może odbywać się w fazie gazowej (głównie z udziałem rodników hydroksylowych), ciekłej (w kroplach chmur i mgieł, a w warunkach dużej wilgotności – również na powierzchni aerozoli) oraz na powierzchni ciał stałych (cząstek pyłów i sadzy) posiadających dużą pojemność sorpcyjną w stosunku do  $\text{SO}_2$  i  $\text{NO}_x$  oraz utleniaczy [8. Kulisz, 1988]. Powstające kwasy mogą być częściowo neutralizowane przez amoniak oraz obecne w atmosferze zanieczyszczenia pyłowe mające charakter zasadowy. Ma to istotne znaczenie szczególnie w rejonie źródeł emisji przemysłowych, w którym w powietrzu obecne są czynniki alkalizujące. Przy ich braku, kwaśne zanieczyszczenia mogą być przenoszone na duże odległości będąc powodem kwaśnych deszczy w miejscach odległych od źródła emisji. Z powietrza zanieczyszczenia wymywane są z deszczem lub śniegiem.

Istnieje również możliwość powrotu do gleb i wód powierzchniowych cząstek pyłów zawierających siarczany lub azotany, a także i tlenków  $\text{SO}_2$  i  $\text{NO}_x$  z opadem suchym. Ma to na ogół istotne znaczenie w pobliżu źródeł emisji, gdzie stężenie tlenków i pyłów jest największe. Trafiające z opadem stałym zanieczyszczenia kwasogenne ulegają transformacji do kwasów nieorganicznych dopiero na powierzchni ziemi, a nie w powietrzu atmosferycznym – jak to ma miejsce w przypadku opadów mokrych. Kolejny sposób powrotu zanieczyszczeń kwasotwórczych tzw. opad okultystyczny towarzyszący mgłę i rosie [12. Seip, 1988]. Stężenia zanieczyszczeń we mgłę są zwykle większe niż w deszczu, stąd ten typ opadu może mieć istotne znaczenie w rejonach mglistych. Szacuje się, że z opadami atmosferycznymi na powierzchnię ziemi powraca 60–80% związków siarki i azotu wyemitowanych do powietrza [17. Wasilewski, 1986]. Migracja zanieczyszczeń z mokrymi opadami odbywa się w wyniku tzw. wymywania "wewnątrzchmurowego" i "podchmurowego" [8. Kulisz, 1988], które mogą zachodzić jednocześnie lecz z różną intensywnością. Uważa się, że wymywanie podchmurowe zachodzi głównie w pobliżu emitorów, zaś procesy przebiegające wewnątrz chmur mają decydujący udział w transporcie zanieczyszczeń na duże odległości.

### **3. SKŁAD CHEMICZNY OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH**

Liczne badania składu fizyczno–chemicznego suchych i mokrych opadów atmosferycznych na świecie wykazują, iż ich jakość jest alarmująco zła. Są one nie tylko czynnikiem zakwaszającym środowisko wodne i glebowe, ale również mogą być źródłem takich uciążliwych mikrozanieczyszczeń jak: metale ciężkie, PCBs, WWA oraz substancje biogenne.

Poziom zanieczyszczenia opadów atmosferycznych jest na ogół wprost proporcjonalny do stopnia zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego w danym rejonie. Z uwagi jednak na transport zanieczyszczeń z masami powietrza stwierdza się również występowanie poważnie zanieczyszczonych opadów na obszarach "czystych", znacznie oddalonych od emitorów zanieczyszczeń antropogenicznych [9. Rosseland i in., 1990, 11. Rózkowski i in., 1996, 12. Seip, 1988].

W ocenie zakwaszenia wód opadowych, poza wartością odczynu, należy uwzględnić przewodność elektrolityczną oraz zawartości anionów ( $\text{SO}_4$ ,  $\text{NO}_3$  i  $\text{Cl}^-$ ). Wody opadowe są silnie zakwaszone i zanieczyszczone jeżeli

odpowiadają poniższym warunkom: odczyn  $< 4,1$  pH, przewodność właściwa  $> 60 \mu\text{S}/\text{cm}$  i stężenia  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  i  $\text{Cl}^-$ , większe od  $8 \text{ g}/\text{m}^3$  [5. Jansen i in., 1988]. O wartości odczynu opadów, poza wymienionymi jonami współdecydują również jony  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Na}^+$  i  $\text{K}^+$ .

Kwaśne deszcze są problemem ogólnoświatowym. W Europie średnioroczne wartości odczynu opadów w 1985r, w granicach 4,1–5,3 pH stwierdzono w Norwegii, Szwecji, Finlandii, Niemczech Czechosłowacji, Danii, Holandii oraz Polsce [12. Seip, 1988].

Przeprowadzone w latach 1994–1995 badania składu chemicznego opadów w 33 stacjach pomiarowych zlokalizowanych w dorzeczu środkowej i górnej Odry (stanowiącym 13,5% powierzchni kraju) wykazały duży poziom zanieczyszczenia opadów oraz znaczne zróżnicowanie ich jakości w czasie i przestrzeni. Największy poziom zanieczyszczenia stwierdzono dla opadów atmosferycznych w środkowej części zlewni, zaś najmniejszy w południowej części zlewni górnej Odry oraz w woj. zielonogórskim. Porównanie stężeń badanych wskaźników z zawartościami dopuszczalnymi w wodach powierzchniowych wykazało, że opady we wszystkich stacjach pomiarowych okresowo charakteryzowały się niską wartością (min. = 3,7 pH), a maksymalne stężenia ołowiu, miedzi i cynku (odpowiednio równe: 0,099, 0,285 i  $0,367 \text{ g}/\text{m}^3$ ) były większe od dopuszczalnych w środkowej części zlewni. W 70% wszystkich próbek zawartość fosforu ogólnego była większa od dopuszczalnej w wodzie III klasy czystości, a maksymalna wynosiła  $1,05 \text{ gP}/\text{m}^3$  [16. Twarowski i in., 1996]. Istotne zakwaszenie (4,1–4,8 pH) stwierdzono również w próbkach zbieranych w odległości 0,2–13,5 km od elektrowni Dolna Odra [19. Zabłocki, 1996].

Woda opadowa zbierana na terenie miasta Krakowa w latach 1992–1993 charakteryzowała się niskim odczynem. Średnioroczna wartość odczynu była równa 5,05 pH. Odczyn podczas gdy dla opadów w okolicach Krakowa była zdecydowanie niższy i wynosił 3,7 pH. Różnicę na korzyść aglomeracji miejskiej tłumaczy się obecnością w powietrzu pyłów neutralizujących [2. Godzik, 1994]. Bardzo duże zakwaszenie opadów mokrych (śr. miesięczne 3,8–5,3 pH, najczęściej  $< 4,3$  pH) oraz opadów całkowitych (śr. miesięczne 4,0–6,1 pH, a przeważnie  $< 5,0$  pH) stwierdzono dla śródmieścia Wrocławia [14. Twarowski i in., 1994].

Przykładem wpływu zanieczyszczeń napływowych było zanieczyszczenie opadów atmosferycznych na terenie Karkonoszy w latach 1991–1993.

Wartość odczynu mieściła się w granicach 3,2–6,6 pH, a maksymalne stężenia  $\text{SO}_4$ ,  $\text{NO} + \text{NO}_2$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  i  $\text{Cu}^{2+}$  były odpowiednio równe:  $22 \text{ g/m}^3$ ,  $2,64 \text{ gN/m}^3$ ,  $0,284 \text{ g/m}^3$  i  $0,172 \text{ g/m}^3$  [15. Twarowski i in., 1994]. Jeszcze większe zakwaszenie (do 2,5 pH) i zasolenie wykazywały opady w Ojcowskim Parku Narodowym w latach 1988–1995 (OPN). Zwierały one do  $26 \text{ gSO}_4/\text{m}^3$ ,  $22 \text{ gNO}_x/\text{m}^3$ ,  $3 \text{ gCl}^-/\text{m}^3$  oraz do  $0,86 \text{ gZn}^{2+}/\text{m}^3$  [11. Rózkowski i in., 1996]. Stwierdzony poziom zanieczyszczenia był wynikiem sąsiedztwa OPN z GOP oraz aglomeracjami miejskimi.

Omówione przykłady świadczą, że problem kwaśnych opadów atmosferycznych oraz wynikających z tego skutków jest bardzo istotny w Polsce.

#### 4. WPLYW KWAŚNYCH OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH NA GLEBY

Gleba jako układ otwarty jest bardzo podatna na wpływ czynników zewnętrznych, czego wynikiem jest jej zakwaszenie spowodowane kwaśnymi opadami atmosferycznymi. Jony  $\text{H}^+$  wprowadzone do gleby wraz z mokrymi i suchymi opadami mogą być w niej częściowo neutralizowane. Zdolność przyjmowania protonów bez zmiany wartości odczynu określa się odpornością gleby na zakwaszenie. Zmniejszenie wartości odczynu w środowiska glebowego następuje gdy zawartość czynników zakwaszających jest duża i przekracza możliwości buforujące gleby. Odporność gleby na zakwaszenie zależy od rodzaju i zawartości substancji buforujących oraz produktów reakcji neutralizacji. W glebie istnieją różne systemy buforujące działające w określonym zakresie odczynu (tab 1), a przedstawiono je w tab. 1. W wyniku neutralizacji kwasów z kompleksu sorpcyjnego gleb wraz ze zmniejszającą się wartością odczynu wymywane są kolejno kationy wymienne:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  i  $\text{Fe}^{2+}$ , a ich ilość zależy od rodzaju gleby i jest większa dla gleb lekkich. Jony te przechodzą do roztworu glebowego i są pobierane przez rośliny lub, w wyniku migracji wodnej, transportowane do wód podziemnych bądź, z wodami gruntowymi, do wód powierzchniowych. Spośród kationów wymiennych największe znaczenie, w aspekcie toksycznego działania, mają jony glinu, których stężenie jest wprost proporcjonalne do poziomu zakwaszenia gleby.

TABELA 1

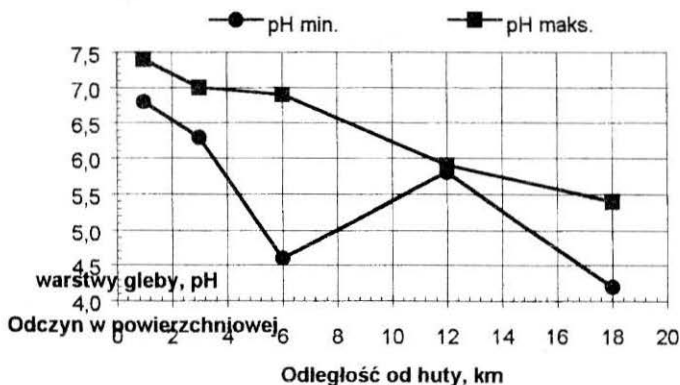
*Systemy buforowania i zakresy ich odczyn w glebie*  
 [I. Gliński i in., 1993]

Substancje buforujące	Zakres odczynu, pH	Główne produkty reakcji zmniejszające pojemność buforową
Węglan wapnia	8,6÷6,2	Wodorowęglan wapnia
Krzemiany	cały zakres (dominująca reakcja buforująca w glebach bezwęglanowych o odczynie >5)	Minerały ilaste np. $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$
Tlenki manganu, Minerale ilaste, Glin międzypakietowy $n[\text{Al}(\text{OH})^{-x}]$	5÷4,2	Niewymienialne $n[\text{Al}(\text{OH})^{-x}]$ , $\text{Mn}^{+2}$ wymienny, $\text{Al}^{+3}$ wymienny, Hydroksysiarczan glinu [ $\text{Al}(\text{OHSO}_4)$ ]
Glin międzypakietowy, Hydroksysiarczan glinu	<4,2	$\text{Al}^{+3}$ w roztworze
Glin i żelazo	<3,8 (w obecności rozpuszczonych związków organicznych)	$\text{H}^+$ i $\text{Fe}^{+2}$ wymienne, kompleksy organiczno żelazowe
Żelazo $\text{Fe}(\text{OH})^{+2}$	<3,2	$\text{H}^+$ i $\text{Fe}^{+2}$ wymienne

O zakwaszeniu gleb, poza ich budową chemiczną, współdecydują warunki meteorologiczne, intensywność nawożenia nawozami nieorganicznymi oraz zanieczyszczenie powietrza pyłami przemysłowymi. Jak wykazują wyniki badań, stopień kwasowej degradacji gleb jest często większy na obszarach odległych od aglomeracji miejsko-przemysłowych.

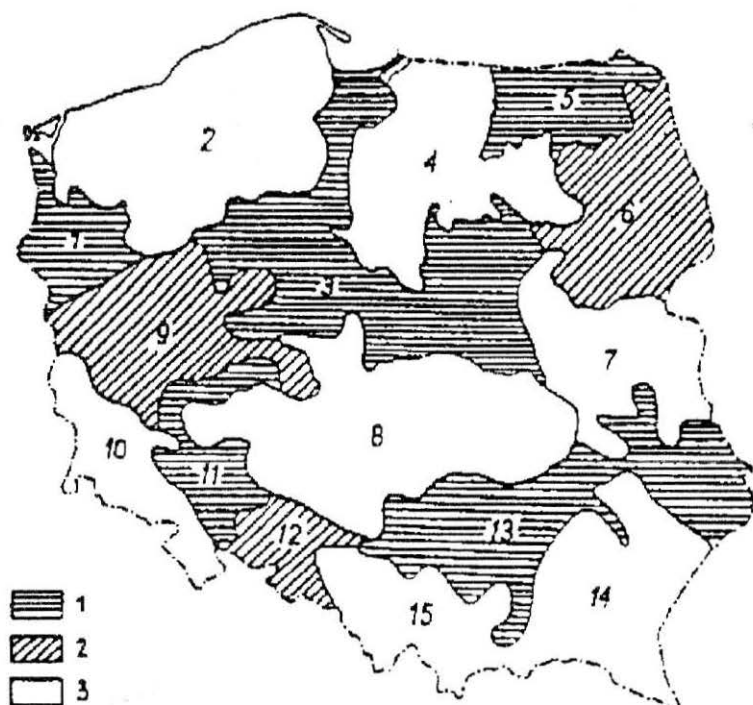
Ten pozorny paradoks wynika stąd, że na terenach uprzemysłowionych powietrze zanieczyszczone jest pyłami zasadowymi, neutralizującymi kwasowość opadów. Potwierdzają to dane przedstawione na rys. 1, który obrazuje zakwaszenie powierzchniowej warstwy gleby (w 1991 r.) w funkcji odległości od Huty im. Sendzimira [13. Siuta, 1993]. Ocena poziomu zakwaszenia gleb w profilu pionowym wykazuje, że wartość odczynu zwiększa się wraz z głębokością warstwy gleby.

W zakwaszonym środowisku glebowym znacznemu ograniczeniu ulega aktywność biologiczna bakterii i promieniowców, co hamuje wiele korzystnych przemian związków azotu w glebie. Ponadto w środowisku kwaśnym i w obecności jonów glinu i żelaza następuje wytrącanie trudno rozpuszczalnych związków fosforu.



Rys. 1 Wpływ odległości emitora na odczyn powierzchniowej warstwy gleby.

Widoczną miarą skutków zakwaszenia gleb są zmiany patologiczne szaty roślinnej, a szczególnie wrażliwe są lasy. Postępująca degradacja lasów polskich obrazuje rosące zakwaszenie gleb. Kern [3. Górską, 1996] analizując wyniki licznych pomiarów wartości odczynu w środowiska glebowego w Polsce, wydzielił na terenie kraju 15 obszarów różniących się stopniem zakwaszenia gleb (rys. 2).



Rys. 2. Regiony występowania gleb o określonym odczynie, wg Kerna: 1—odczyn obojętny lub alkaliczny, 2—odczyn lekko kwaśny i kwaśny, 3—odczyn kwaśny i bardzo kwaśny [3. Górską, 1996]

Kwaśne opady zwiększają rozpuszczalność zdeponowanych w glebie trudno rozpuszczalnych związków metali ciężkich, przyczyniając się do ich migracji do głębszych warstw, a następnie do wód naturalnych. Często są również przyczyną istotnego zanieczyszczenia gleb tymi metalami, co wyraźnie stwierdza się w rejonach uprzemysłowionych. Stwierdzone stężenia niektórych metali ciężkich w glebach takich rejonów oraz ich stężenia naturalne i dopuszczalne w glebach przedstawiono w tabeli 2.

Kwaśne opady atmosferyczne mają również udział w zwiększaniu zawartości azotanów, siarczanów i chlorków w glebach.



Ocenia się, że przynajmniej na 1/3 powierzchni kraju zaszły trwałe zmiany w glebie spowodowane zanieczyszczeniem środowiska [7. Kozłowski, 1991].

## 5. WPŁYW KWAŚNYCH OPADÓW NA WODY POWIERZCHNIOWE

Oddziaływanie kwaśnych opadów atmosferycznych na jakość wód powierzchniowych ma charakter bezpośredni i pośredni, a jego efekt zależy przede wszystkim od pojemności buforującej zlewni i minerałów budujących koryta rzek, strumieni, oraz poziomu zakwaszenia i zanieczyszczenia tych opadów i gleb.

TABELA 2

*Naturalne i dopuszczalne zawartości metali ciężkich w glebach oraz ich stężenia w zanieczyszczonych glebach rejonów uprzemysłowionych w Polsce [7. Kozłowski, 1991]*

Metale	Zawartość, mg/kg		
	<i>naturalna (najczęstsza)</i>	<i>w glebach zanieczyszczonych</i>	<i>dopuszczalna</i>
Cynk	20–50	300–1000 (maks. 20000)	300
Kadm	0,2–1,0	10–40 (maks. 280)	5
Miedź	5–20	100–300 (maks. 1200)	100
Ołów	10–40	100–500 (maks. 4650)	100

Skutkiem kwaśnych opadów atmosferycznych jest zakwaszenie roztworu glebowego oraz zwiększenie w nim stężeń wielu kationów, w tym również metali ciężkich, które wraz z wodami gruntowymi mogą być transportowane do wód powierzchniowych – powodując w sposób pośredni ich zanieczyszczanie. Bezpośrednie zanieczyszczenie powodują

opady trafiające wprost do wód powierzchniowych oraz spływy powierzchniowe i wody roztopowe nie mające większego kontaktu z glebą lub skalą macierzystą. Jest to możliwe przy bardzo małej powierzchni zlewni, w przeciwnym wypadku kontakt wody opadowej z powierzchnią gleby jest wystarczająco długi aby wyraźnie zmienił się skład chemiczny spływu z takiej powierzchni.

Ostatecznie stężenie jonów  $H^+$  w wodzie powierzchniowej jest wynikiem oddziaływania opadów atmosferycznych oraz produktów reakcji zachodzących w wodzie powierzchniowej i na granicy faz: woda–koryto cieku powierzchniowego. Bardzo istotnym czynnikiem decydującym o wynikowej wartości odczynu wody jest rodzaj minerałów budujących zlewnię. W zlewniach bogatych w minerały głównie węglanowe do zakwaszenia wód powierzchniowych zwykle nie dochodzi. Miarą podatności wód powierzchniowych na zakwaszenie jest zasadowość  $M$  wody i jest ona odwrotnie proporcjonalna do zasadowość  $M$ . Jako mało wrażliwe na zakwaszenie uznaje się wody o zasadowości  $M > 1,5 \text{ val/m}^3$  [7. Kozłowski, 1991]. Do wód płynących podatnych na zakwaszenie należą głównie wody potoków i rzek górskich. Badania prowadzone dla wód kilkunastu potoków karkonoskich oraz wód w zlewni rz. Kamienna wykazały, że charakteryzowały się one wartością odczynu od 4,55 do 6,9 pH oraz bardzo małą zasadowością wynoszącą  $0,06\text{--}0,45 \text{ val/m}^3$  [18. Wasilewski i in., 1993].

Gwałtowne zmiany wartości odczynu obserwuje się wiosną, w okresie spływów wód roztopowych. Pierwsze objętości wody roztopowej są bardzo zakwaszone, a ich odczyn obniża się wówczas do wartości  $< 3,0$  pH powodując tzw. "szok pH" w wodach odbiornika. W pozostałych porach roku ładunek jonów  $H^+$  wnoszonych z opadami atmosferycznymi jest zwykle mniejszy. Jak wykazały badania prowadzone na obszarze zlewni górnej i środkowej Odry, roczny ładunek jonów  $[H^+]$  zmieniał się od  $0,02 \text{ kg}[H^+]/\text{ha}$  do ponad  $0,4 \text{ kg}[H^+]/\text{ha}$  [16. Twarowski i in., 1996]. W wodach płynących, ujemny wpływ kwaśnych opadów ujawnia się również podczas intensywnych opadów atmosferycznych tj. w okresie dużej intensywności zasilania powierzchniowego. W okresach suchych zakwaszenie wód powierzchniowych jest zwykle mniejsze dzięki buforującej aktywności gleb (bogatych w materiały buforujące).

Bezpośredni sposób zakwaszania ma większy udział w przypadku wód płynących niż stojących. Reakcja jezior na zakwaszanie jest zwykle

wolniejsza, co nie zmienia faktu, iż bardzo duża objętość wód jeziorowych na świecie jest zdecydowanie bardziej zakwaszona niż wody płynące. W zakwaszonych wodach stwierdza się podwyższone stężenie kompleksów glinu, a przy wartościach  $< 4,0$  pH również toksycznych jonów  $Al^{3+}$ .

Badania wód jeziorowych w Norwegii wykazały, że w wodach charakteryzujących się około 4,8 pH zawartość glinu wynosiła ok.  $128 \mu gAl dm^3$  [10. Rosseland i in., 1990]. Zakwaszenie wód zwiększa również rozpuszczalność metali ciężkich powodując ich wtórne uwalnianie z osadów dennych, a kwaśne opady atmosferyczne często są również źródłem tych trwałych i niebezpiecznych zanieczyszczeń. W wodzie w obecności glinu przebiega proces samoagregacji zanieczyszczeń, w tym także substancji humusowych, zwiększając przezroczystość wody. Zjawisko to obserwuje się głównie w wodach jeziorowych, a jego bezpośrednim skutkiem jest wzrost produkcji pierwotnej substancji organicznych, których rozkład w wodach zakwaszonych przebiega wolniej.

Kwaśne opady atmosferyczne są również źródłem substancji biogenych trafiających w sposób bezpośredni lub pośredni do wód powierzchniowych. Ponadto kwaśne opady zakwaszając gleby skracają czas zatrzymania w środowisku glebowym substancji nawozowych – sprzyjając szybszemu ich wymywaniu do wód powierzchniowych i ostatecznie intensyfikacji eutrofizacji. Roczne ładunki fosforu i azotu ogólnego wnoszone z opadami atmosferycznymi na teren zlewni górnej i środkowej Odry były większe od dopuszczalnych (wyznaczonych wg kryterium Vollenweidera;  $1 gN/m^2$  i  $0,1-0,15 gP/m^2$ ) dla wód większości zbiorników na tym terenie [16. Twarowski i in., 1996].

Poza wymienionymi skutkami, kwaśne opady atmosferyczne zwiększają stężenie siarczanów w wodach powierzchniowych, a w rejonach nadmorskich również chlorków. Azotany wnoszone z opadami do środowiska wodnego, jako dobrze przyswajalne substraty pokarmowe, włączane są do łańcucha biologicznego i nie rzutują na zwiększenie ich zawartości w wodzie.

Zakwaszenie wód i wynikające z niego skutki są głównym powodem zachwiania równowagi biologicznej wód naturalnych, co znajduje również

odzwierciedlenie w przebiegu procesów samoczyszczenia się wód powierzchniowych.

## 6. PODSUMOWANIE

Kwaśne opady atmosferyczne są istotnym źródłem zanieczyszczenia środowiska glebowego oraz wód powierzchniowych. Ich ujemny wpływ ujawnia się przede wszystkim w zakwaszeniu powyższych komponentów środowiska oraz w zanieczyszczeniu ich związkami biogennymi, metalami ciężkimi, a także mikrozanieczyszczeniami organicznymi.

Skutki oddziaływania kwaśnych opadów znajdują odzwierciedlenie nie tylko w niekorzystnych zmianach chemizmu wód i gleb ale również zakłócają równowagę biologiczną biocenozy i prawidłowy rozwój organizmów wyższych.

Rozmiar szkód w środowisku powodowany tymi opadami zależy głównie od wielkości emisji zanieczyszczeń do powietrza, budowy zlewni, a jedynym skutecznym sposobem zmniejszenia stopnia "kwasowej" degradacji środowiska jej eliminacja zanieczyszczeń kwasogennych w miejscu ich powstawania.

## LITERATURA

- [1] **GLIŃSKI J., STĘPNIEWSKA Z.:** *Właściwości gleb zakwaszonych*, Mat. Symp. Nauk. "Przyrodnicze i antropogeniczne przyczyny oraz skutki zakwaszenia gleb", Lublin, 1993.
- [2] **GODZIK B.:** *Skład chemiczny opadów w Krakowie i okolicy*, Aura, 1994/10
- [3] **GÓRSKA E.:** *Wpływ opadów atmosferycznych na środowisko wodne i glebowe*, praca dyplomowa (maszynopis), Polit. Wrocławska, I-15, Wrocław, 1996
- [4] **HEGG D.A., HOBBS P.V.:** *Atmospheric Environment*, 1986/20
- [5] **JANSEN W., BLOCK A., KNAACK I.:** *Kwaśne deszcze – z doświadczeń RFN*, Aura 1988/4
- [6] **KABSCH P.:** *Emisje produktów spalania do atmosfery w świecie*, Ochrona Powietrza, 1991/3

- [7] **KOZŁOWSKI S.:** *Gospodarka a środowisko przyrodnicze*, PWN, 1991
- [8] **KULISZ I.:** *Kwaśne opady i ich wpływ na środowisko*, Wydawnictwa Geologiczne, 1988
- [9] *Ochrona Środowiska 1995, Informacje i opracowania statystyczne*, GUS, Warszawa 1995
- [10] **ROSSELAND B.O., HENRIKSEN A.:** *Acidification in Norway loss of fish populations and the 1000 – Lake Survey 1986*, The Science of the Total Environment 1990/96
- [11] **RÓŻKOWSKI J., LEŚNIOK M., PARTYKA J.:** *Zanieczyszczenie opadów, wód powierzchniowych i podziemnych w wybranym rejonie krasowym Polski południowej*, Mat. Konf., "Problemy hydrogeologiczne południowo–zachodniej Polski", Wrocław 1996
- [12] **SEIP J.:** *Zakwaszenie wód – najważniejszy problem zakwaszenia środowiska w Norwegii*, Aura 1988/4
- [13] **SIUTA J.:** *Przemysłowe czynniki kwasowej degradacji pokrywy glebowo–roślinnej*, Mat. Symp. Nauk., "Przyrodnicze i antropogeniczne przyczyny oraz skutki zakwaszenia gleb", Lublin, 1993
- [14] **TWAROWSKI R., GENDOLLA T.:** *Udział zanieczyszczeń z opadów mokrych w całkowitym obciążeniu powierzchniowym ładunkami wnoszonymi przez opady atmosferyczne w aglomeracji miejsko–przemysłowej na przykładzie miasta Wrocławia*, Mat. Konf. VII Międzynarodowej Konf. Nauk., "Chemizm opadów atmosferycznych wód powierzchniowych i podziemnych", Łódź, 1994
- [15] **TWAROWSKI R., GENDOLLA T.:** *Zmienność powierzchniowego obciążenia obszaru Karkonoszy zanieczyszczeniami wnoszonymi przez opady atmosferyczne*, Prace Inst. Badawczego Leśnictwa, 1994
- [16] **TWAROWSKI R., SZYJKOWSKI A., GENDOLLA T.:** *Monitoring zanieczyszczeń wnoszonych przez opady atmosferyczne na obszary zlewni górnej i środkowej Odry i ocena wynikających stąd zagrożeń geosystemów*, Mat. Konf., "Problemy hydrogeologiczne południowo–zachodniej Polski", Wrocław, 1996
- [17] **WASILEWSKI W.:** *Ocena jakości zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego*, Ochrona Powietrza 1986/3

- [18] **WASILEWSKI M., TWAROWSKI R., NOWOSIELSKI M.:** *Chemizm wód płynących w Karkonoszach i niektóre jego uwarunkowania*, Mat. Konf. "Odra i jej dorzecze", Wrocław, 1993
- [19] **ZABŁOCKI Z.,** *Zmiany chemizmu opadów na obszarze oddziaływania emisji z elektrowni opalanej węglem w latach 1977–1994*, Mat. Konf., Problemy hydrogeologiczne południowo-zachodniej Polski, Wrocław, 1996.
- [20] **ZWOŹDZIAK J., LISOWSKI A., KMIEĆ G., ZWOŹDZIAK A., MATYNIAK Z., JAGIELŁO R.:** *Określenie rodzaju i stopnia skażenia chemicznego poszczególnych komponentów środowiska. Identyfikacja zanieczyszczeń napływowych*, Raport SPR, Politechnika Wrocławska, I–15, 1990