

## Funkcjonowanie wybranego geoekosystemu w Górach Świętokrzyskich w warunkach kwaśnej imisji

Marek Józwiak\*

Marek Józwiak — **Functioning of the selected geoecosystem in the Holy Cross Mts under acid immision (Central Poland).** Prz. Geol. 49: 775–779.

*Summary.* The geoecosystems of the Holy Cross Mts are constantly affected by immisions of different elements from the air. Acid precipitation has a strong influence on over- and underground parts of plants. Rains wash out many important ions including  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $N$  of  $NO_3^-$  from overground parts of trees, especially from needles, leaves and bark. The resulting effect is dying out of old firs and diseases younger trees. Beech bark shows gray and white-gray spots caused by flowing aggressive acid rains. These also wash out  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$  and  $Na^+$ . Many damages are noted at top of tree crowns.

**Key words:** monitoring, geoecosystem, acid immision, air pollution

W latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych obecnego stulecia w literaturze światowej opisywano bardzo wiele różnych metod i technik oceny środowiska, biorąc pod uwagę zarówno aspekt poznawczy, jak i praktyczny. Było to spowodowane ogromnym zapotrzebowaniem na takie oceny, bez których niemożliwe jest zrozumienie podstawowych prawidłowości określających wzajemne związki między człowiekiem a jego otoczeniem. W większości jednak oceny te, jak podaje Kostrowicki (1992), dotyczyły zjawisk jednostronnych, elementarnych, a wnioski z nich płynące często rozszerzano na całokształt badanych relacji. W efekcie rzeczywista ocena mijała się z prawdą, co skutkowało podejmowaniem błędnych decyzji w zarządzaniu środowiskiem, a informacja zwrotna w postaci reakcji środowiska była inna, niż się spodziewano. Stało się jasne, że konieczne jest badanie całokształtu środowiska przyrodniczego, ujmowanie go w sposób dynamiczny, przy jednoczesnym uwzględnianiu strukturalno-funkcjonalnych powiązań, jakie występują między jego elementami składowymi. Wykorzystanie teorii systemów von Bertalanffy'ego (1984) umożliwiło wyodrębnienie geoekosystemu jako jednostki przestrzennej, mającej strukturę wewnętrzną. Specyficzną właściwością tego systemu jest jego wewnętrzna niespójność. Składa się on z dwóch różnych pod względem systemowym układów: środowiska abiotycznego i biotycznego, które choć tak odmienne, są ze sobą ściśle powiązane. Środowisko abiotyczne jest tzw. systemem zamkniętym, zmieniającym się na tyle wolno, że jego parametry fizykochemiczne można uważać za stałe. Z kolei biocenoza jest systemem otwartym, stosunkowo zmiennym w czasie. Stanowiąc cienką warstewkę przykrywającą jak gdyby struktury abiotyczne, oddziałuje na nie znacznie silniej, niż można by było się tego spodziewać. Z drugiej strony przyjmuje ona wszelkie oddziaływania płynące zarówno z podłoża abiotycznego, jak i otoczenia, odpowiednio je transformując. Efektem tych transformacji jest m.in. informacja, jaką biosystem przekazuje nam o stanie i parametrach jego środowiska zewnętrznego. Nadinformatywność, charakterystyczna dla układów przyrody żywej, ma dla nas duże znaczenie praktyczne. Pozwala ona odczytać, bezpośrednio lub pośrednio, około 90% stanów i zachowań pozostałych, niebiologicznych parametrów systemu geologicznego.

Na tle zróżnicowania przyrodniczego, geoekosystemy górskie różnią się od niżowych nadwyżkami doprowadzanej energii i materii, przy jednoczesnym przyspieszonym ich odprowadzaniu. Dodatkowo, wyniesienie tych geoekosystemów ponad otaczające tereny powoduje ich ekspozycję na osadzanie emisji zarówno pochodzenia lokalnego, jak również odległych źródeł skażeń. Wzrost stężeń w powietrzu atmosferycznym składników o działaniu kwasowym powoduje ukierunkowanie głównego nurtu przemian na postępujące, sięgające głęboko w glebach, zakwaszenie środowiska całego geoekosystemu.

Bardzo ważnym problemem zarówno z punktu widzenia poznawczego, jak i aplikacyjnego, jest rozpoznanie w geoekosystemach górskich wielkości i zróżnicowania przestrzennego doprowadzanej energii i materii oraz dróg i tempa ich odprowadzania. Wymaga to zorganizowanych, prowadzonych systematycznie badań wytypowanych elementów geoekosystemu, przy wykorzystaniu specjalistycznej automatycznej aparatury.

Badania takie prowadzone są przez Akademię Świętokrzyską od 1994 r. w centralnej części Gór Świętokrzyskich, w ramach realizacji programu pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego.

Obszar ten, ze względu na wyniesienie ok. 400 m ponad otaczające tereny, znajduje się pod wpływem zarówno lokalnych, jak i zdalnych imisji przemysłowych i transportowych, szczególnie z kierunków dominujących wiatrów zachodnich oraz północno- i południowo-zachodnich (Józwiak, 1998). Wcześniejsze badania Wróbla i Wójcika (1989) oraz Szczęsnego (1989) wykazały silne zakwaszenie wód powierzchniowych na obszarze Świętokrzyskiego Parku Narodowego i zagrożenie w nich życia biologicznego, pochodzące ze skażonego emisjami powietrza atmosferycznego. Obserwowany zły stan zdrowotny drzewostanu (Sierpiński, 1977), a także dane z licznych publikacji (Cieśliński, 1985; Bróz & Kapuściński, 1990; Kowalkowski i in., 1990; Liana i in., 1990) przedstawiających zachwianie równowagi środowiska, zagrożenie oraz wymieranie na tym obszarze wielu gatunków flory i fauny, uzasadniają podjęcie badań, których celem jest:

□ rejestracja i analiza krótko i długookresowych zmian zachodzących w systemach ekologicznych, pod wpływem przemian klimatu, zanieczyszczeń i innych przejawów aktywności człowieka;

□ poznanie mechanizmów procesów przepływów wody, energii i materii, składników odżywczych i substancji

\*Stacja Monitoringu, Instytut Geografii, Akademia Świętokrzyska, ul. Świętokrzyska 15, 25-406 Kielce

zanieczyszczających w czasoprzestrzeni systemu bioekologicznego;

□ określenie rozmiarów trendów naturalnych i nakładających się antropogenicznych transformacji struktur funkcjonowania geosystemów;

□ ustalenie bilansu energetycznego i materialnego systemu ekologicznego;

□ poznanie wartości progowych buforowania geosystemów w stosunku do czynników naturalnych i antropogenicznych, a także w stosunku do regionalnych i globalnych trendów zmian klimatu;

□ modelowanie systemu funkcjonowania geosystemów, prognozowanie ewolucyjnych trendów z uwzględnieniem zmieniającej się antropopresji i zmian klimatycznych oraz wypracowanie niezbędnych korekt sprzyjających zachowaniu bioróżnorodności i trwałości jego funkcjonowania.

### Zakres i metodyka badań

Odpowiednio do założeń koncepcyjnych monitoringu środowiska przyrodniczego regionu świętokrzyskiego (Kowalkowski & Piskorz, 1994) oraz wymagań programu ZMŚP (Kostrzewski i in., 1995), Stacja Monitoringu Akademii Świętokrzyskiej na Św. Krzyżu prowadzi pomiary podstawowych cech reprezentatywnego ekosiedliska w przekroju pionowym, w systemie atmosfera (wejście) — hydrosfera, pedosfera (przetwarzanie) — hydrosfera, litosfera (wyjście) oraz poziomym — mikrozelewnia.

W przekroju pionowym badania prowadzone są na stałej powierzchni (4000 m<sup>2</sup>). W centralnej jej części znajduje się stalowa wieża wysokości 30 m z czujnikami meteorologicz-

nymi i czerpniami powietrza do pomiaru imisji, na poziomie 30 metrów nad powierzchnią gleby (ryc. 1). Zakres badań obejmuje:

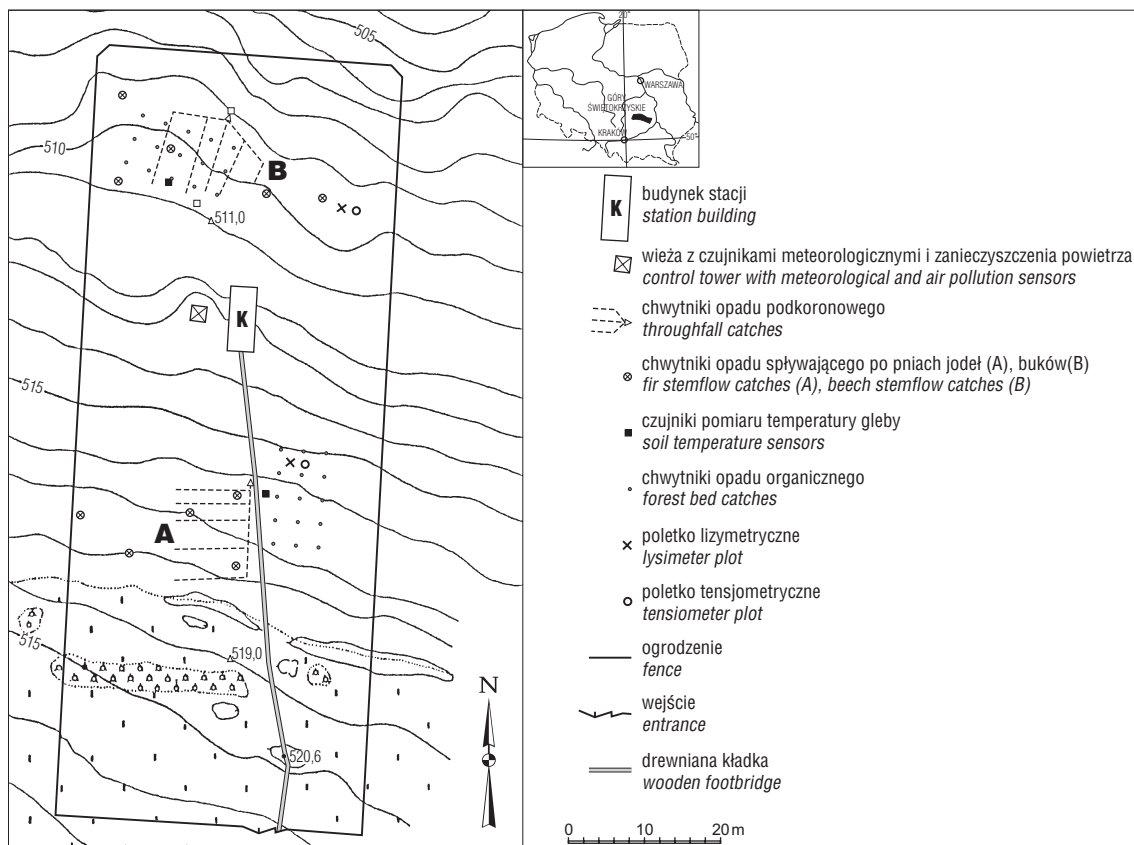
□ badania meteorologiczne rejestrowane automatycznie, których celem są obserwacje zjawisk i procesów zachodzących w atmosferze i na tej podstawie dokonywanie oceny ilościowej stanu wszystkich elementów biosfery;

□ pomiary zanieczyszczeń powietrza (SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, CO, pyłu zawieszonego całkowitego) rejestrowane automatycznie. Opad suchy mierzony jest pośrednio przez stwierdzenie stężeń gazowych i stałych składników w jednostce objętościowej powietrza atmosferycznego nad koronami drzew. Ich celem jest badanie strumieni zanieczyszczeń docierających z powietrza do innych komponentów środowiska;

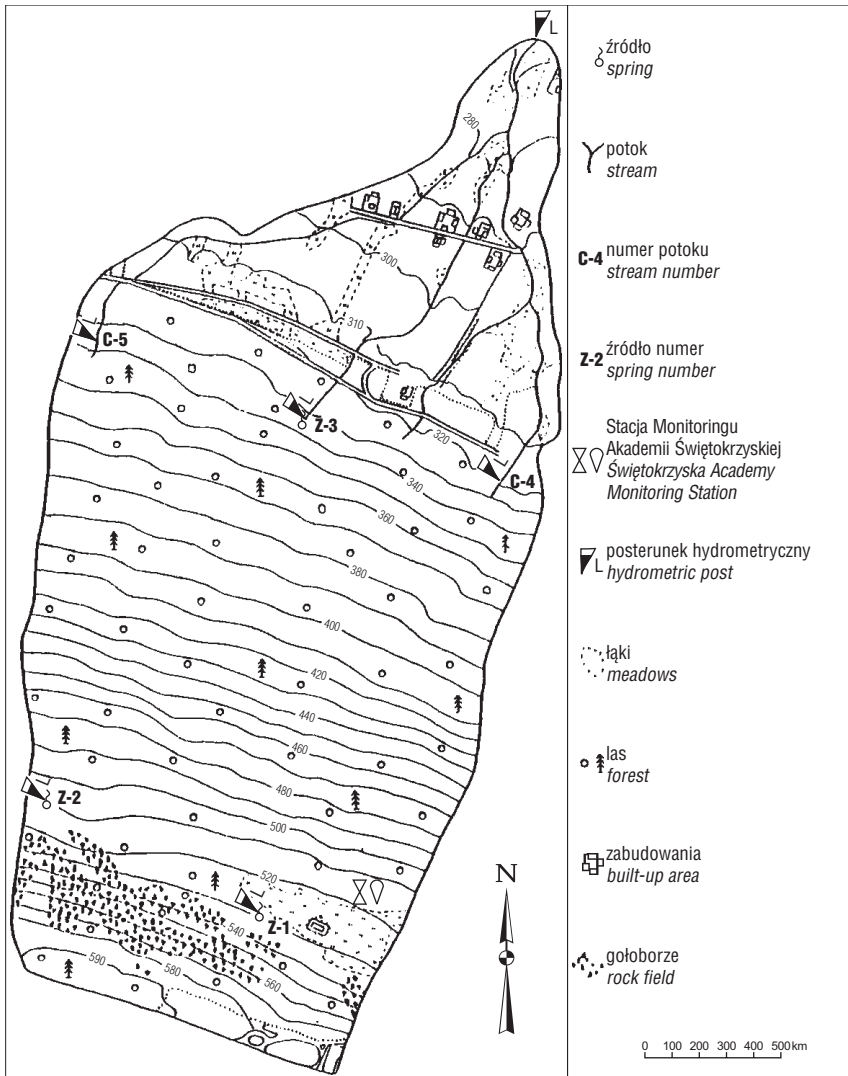
□ oznaczenie składu chemicznego opadów atmosferycznych na otwartej przestrzeni, wody opadu bezpośredniego na wysokości 30 m nad powierzchnią gleby i pod okapem koron drzew, wody opadu pośredniego spływającego po pniach drzew, wody przenikającej przez zwartą koronę drzewostanu;

□ analizy wód gruntowych i powierzchniowych.

Monitoring wód gruntowych i powierzchniowych jest realizowany na północnym stoku głównego masywu Łysogór na obszarze zlewni badawczej (ryc. 2). ródła Z1 i Z2 zlokalizowane są pod gołoborzami na wysokościach odpowiednio 536 m i 512 m n.p.m. ródło Z3 znajduje się u podnóża stoku na wysokości 328 m n.p.m., potoki bez nazwy oznaczone symbolami C4 i C5 odpowiednio na wysokościach 318 m i 320 m n.p.m. Zlewnię zamyka punkt pomiarowy, znajdujący się na wysokości 268 m n.p.m., oznaczony symbolem C6.



Ryc. 1. Rozmieszczenie podsystemów pomiarowych w Stacji Monitoringu Akademii Świętokrzyskiej  
 Fig. 1. Location of surveying subsystems at Monitoring Station of the Holy Cross Academy



Ryc. 2. Rozmieszczenie stanowisk pomiarowych w zlewni reprezentatywnej na Świętym Krzyżu

Fig. 2. Location of measurement stands at the representative Święty Krzyż (Holy Cross Mt.) catchment

Badania właściwości fizyko-chemicznych wód opadowych, gruntowych i powierzchniowych przeprowadzane są bezpośrednio w terenie raz w tygodniu. Do pomiarów wykorzystywany jest miernik jakości wody U-10 firmy Horiba. Analizy chemiczne wykonywane są w próbkę miesięcznej w laboratorium Instytutu Geografii Akademii Świętokrzyskiej w Kielcach.

### Omówienie wyników

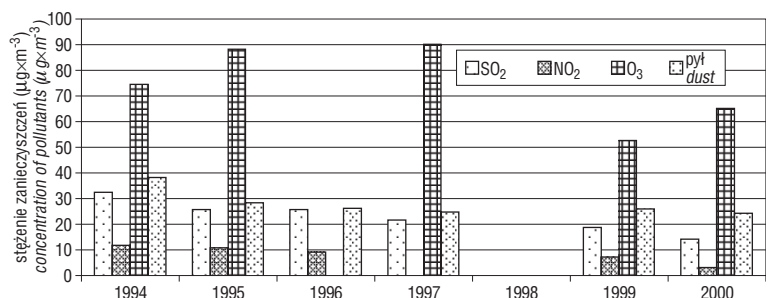
**Atmosfera.** Wyniki pomiarów zanieczyszczeń powietrza prowadzonych w Stacji Monitoringu Akademii Świętokrzyskiej są odzwierciedleniem zmian zachodzących w polu emisji zanieczyszczeń pierwotnych oraz reakcji fotochemicznych i chemicznych, zachodzących w określonych warunkach meteorologicznych podczas transportu z masami powietrza na mniejsze lub większe odległości. W województwie świętokrzyskim największymi źródłami zanieczyszczeń powietrza są obiekty energetyki zawodowej, które emitują do atmosfery największe ilości gazów i pyłów. Kolejne znaczące

źródła zanieczyszczeń stanowią zakłady przemysłu cementowo-wapienniczego, hutniczo-metalurgicznego, maszynowego oraz wydobycia i przetwórstwa siarki. Bardzo istotnym źródłem zanieczyszczeń jest także komunikacja. Szczególnie w ostatnich latach szybki rozwój motoryzacji odgrywa dużą rolę w kształtowaniu jakości środowiska w miastach oraz na terenach pozamiejskich — w rejonach tras komunikacyjnych o dużym natężeniu ruchu.

Imisja jest końcową fazą funkcjonowania wyemitowanych do atmosfery i transmitowanych związków gazowych i cząstek stałych, podczas której przechodzą one z powietrza atmosferycznego do roślin, gleb i wód powierzchniowych. Obliczone na podstawie trzydziestominutowych pomiarów wartości średnie stężenia  $\text{SO}_2$  w latach 1994–2000 w Stacji Monitoringu AŚ wyniosło  $21,75 \mu\text{g}\times\text{m}^{-3}$ , wykazując tendencję spadkową (ryc. 3). Podobny trend ujawnia  $\text{NO}_2$  (średnia dla lat 1994–2000 odpowiednio —  $7,79 \mu\text{g}\times\text{m}^{-3}$ ). Na stosunkowo wysokim poziomie utrzymują się średnie stężenia roczne  $\text{O}_3$ , CO i pyłu zawieszono.

Ozon troposferyczny, powstający pod wpływem promieniowania słonecznego na drodze fotochemicznego utleniania  $\text{NO}_2$  i  $\text{SO}_2$ , powoduje uszkodzenia chlorofilu w komórkach palisadowych organów asymilacyjnych drzew liściastych i iglastych, przebarwienia ciemnobrunatne, purpurowe, czerwone i nekrozy o zabarwieniu jasnoszarym, mlecznobiałym do srebrzystobiałego. Średnie roczne stężenie  $\text{O}_3$  w omawianym okresie wahało się od  $78,38 \mu\text{g}\times\text{m}^{-3}$  w 1994 r. do  $61,94 \mu\text{g}\times\text{m}^{-3}$  w 2000 r., przy średniej —  $66,81 \mu\text{g}\times\text{m}^{-3}$ .

Dopuszczalne wartości stężeń dobowych, ozonu zgodnie z Rozporządzeniem MOŚZNiL z dn. 28 kwietnia 1998 r. (Dz. U. Nr 55, poz. 355), na obszarze parków narodowych wynoszą  $65 \mu\text{g}\times\text{m}^{-3}$ . W 2000 r. przekroczenia normy stężenia dobowego D24 stwierdzono w ciągu 130 dni. Od 1994 r. stwierdza się corocznie na górnych powierzchniach liści buka, grabu, dębu i klonu nekrozy dochodzące do 40%



Ryc. 3. Średnie roczne stężenia badanych zanieczyszczeń powietrza w latach 1994–2000

Fig. 3. Annual mean concentrations of air pollutants during 1994–2000

powierzchni, co pośrednio wskazuje na zmniejszenie zdolności do wytwarzania asymilatów.

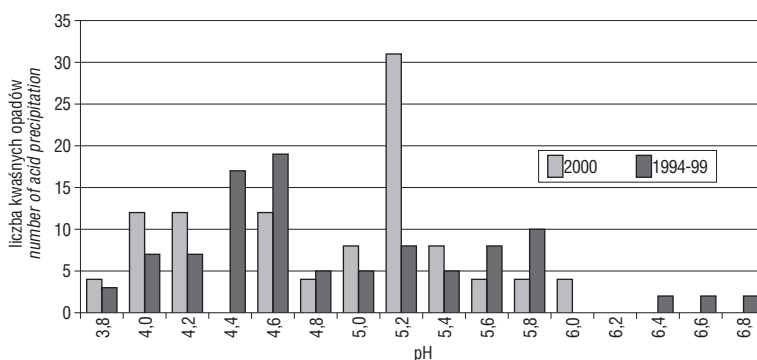
Średnie stężenie CO w badanym okresie wynosiło  $396,71 \text{ mg} \times \text{m}^{-3}$ , a pyłu zawieszonego całkowitego  $26,92 \text{ } \mu\text{g} \times \text{m}^{-3}$ .

**Opady.** Obecność zanieczyszczeń w powietrzu decyduje o występowaniu w centralnej części Gór Świętokrzyskich kwaśnych deszczów (Józwiak, 1998; Kowalkowski & Józwiak, 2000a; Kozłowski, 2001). Średnie wartości pH opadów atmosferycznych wahają się od 4,54 w 1994 r. do 4,67 w 2000 r., przy wartościach minimalnych i maksymalnych — 3,92 i 5,43. Najniższe pH odnotowuje się w miesiącach luty i marzec (odpowiednio 3,97 i 3,92), najwyższe w maju — pH 5,43. Analiza danych z lat 1994–2000 wykazała, że częstość występowania opadów bardzo kwaśnych ze względu na spadek emisji składników kwaśnych ulega również zmniejszeniu (ryc. 4). Główną przyczyną zakwaszenia wód opadu bezpośredniego są:  $\text{S-SO}_4^{2-}$ , których roczne średnie ważone stężenie waha się od  $4,05 \text{ mg} \times \text{dm}^{-3}$  w 1995 r. do  $3,6 \text{ mg} \times \text{dm}^{-3}$  w 2000 r.;  $\text{Cl}^-$  — odpowiednio od  $3,69 \text{ mg} \times \text{dm}^{-3}$  w 1995 r. do  $3,56 \text{ mg} \times \text{dm}^{-3}$  w 2000 r.;  $\text{N-NO}_3^-$  —  $3,01 \text{ mg} \times \text{dm}^{-3}$  w 2000 r. Najwyższe sumaryczne ładunki badanych zanieczyszczeń, doprowadzonych do podłoża wraz z opadem bezpośrednim, przypadają na siarczany, azotany i chlorki.

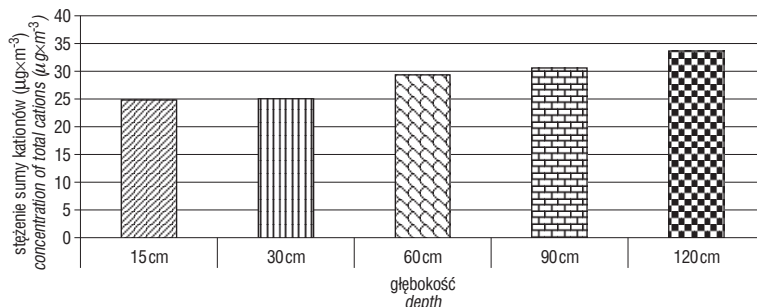
Wody opadowe po przejściu przez korony w drzewostanie jodłowo-bukowym ulegają dalszemu zakwaszeniu do pH 4,38. Jednocześnie następuje proces ługowania z igieł i liści jonów  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  i  $\text{Na}^+$ , których średnie stężenie w opadzie podkoronowym wynosiło od 18,88 do  $52,19 \text{ mg} \times \text{dm}^{-3}$ . W porównaniu z zawartością tych jonów w wodzie opadowej na wysokości 30 m stwierdzono ośmiokrotny wzrost sumy wymienionych kationów. W drzewostanie bukowym ich stężenie jest sześciokrotnie wyższe. Wody opadu podkoronowego są także wzbogacane w  $\text{N-NO}_3^-$  (3,5-krotnie w drzewostanie jodłowo-bukowym i 4,2-krotnie w drzewostanie bukowym) oraz w  $\text{N-NH}_4^+$  (2,9-krotnie w drzewostanie jodłowo-bukowym i 3,2-krotnie w drzewostanie bukowym). O znacznym zakwaszeniu i agresywności chemicznej wód opadu podkoronowego świadczy większe w nich (3,9-krotne i 2,1-krotne) stężenie  $\text{SO}_4^{2-}$  w porównaniu z wodami opadowymi.

Specyficzne właściwości wykazują wody spływające po pniach buków i jodeł. Na podstawie danych obejmujących lata 1994–2000 stwierdzono, że średnie roczne wartości pH wód spływających po pniach jodeł wynoszą od 3,26 do 4,02, przy wartościach granicznych — 2,91 i 5,11; wartości pH wód spływających po pniach buków wahają się od 4,1 do 4,57 (min. 2,91, maks. 5,11). W wodach tych dominuje  $\text{S-SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{K}^+$  oraz  $\text{N-NO}_3^-$  i  $\text{N-NH}_4^+$ .

**Gleby.** Zanieczyszczenia gazowe z powietrza, kwaśne wody opadowe oraz kwaśne wody powierzchniowe i glebowo-gruntowe wywołują określone zmiany w środowisku glebowym i są jednocześnie stymulatorem nowych przemian fizykochemicznych i chemicznych. W silnie kwaśnym środowisku glebowym o pH KCl < 4,0 dominują kationy o charakterze kwasowym. Są to głównie  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  i  $\text{H}^+$ , wypierające z kompleksu sorpcyjnego gleby



Ryc. 4. Liczba kwaśnych opadów w Stacji Monitoringu Akademii Świętokrzyskiej  
Fig. 4. Number of acid precipitation at Monitoring Station of the Holy Cross Academy



Ryc. 5. Średnie stężenia sumy kationów  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  w roztworach glebowych  
Fig. 5. Mean concentrations of total cations  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  in soil waters

kationy o charakterze zasadowym. Stwierdzono, że w kompleksie sorpcyjnym poziomów Ofh, Ah, E, Bv, Bhfe, BC i C,  $\text{Al}^{3+}$  stanowi 65–95% sumy kationów, a malejące wysycenie wymiennymi kationami  $\text{K}^+$  i  $\text{Mg}^{2+}$  przesuwają je do ostatnich miejsc w szeregach ilościowych (Kowalkowski & Józwiak, 1999). Poziom Ofh, będący w normalnych warunkach kwasowości gleb głównym źródłem kationów o charakterze zasadowym, z zachwianymi stosunkami ilościowymi  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  i  $\text{K}^+$ , przy pH KCl < 4,2, utracił zdolność regulującego oddziaływania na stosunki kationowe leżących pod nim poziomów mineralnych gleb. Przechodzące od kwaśnych roztworów glebowych kationy  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  i  $\text{Na}^+$  w obecności  $\text{SO}_4^{2-}$  migrują wraz z roztworami do podłoża gleb i następnie poza zasięg pedonów. Wyniki badań lizymetrycznych, wskazują, że największe stężenie sumy kationów  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  i  $\text{Na}^+$  występuje na głębokości 120 cm (ryc. 5).

**Wody gruntowe.** Z przemysłowym typem gospodarki wodnej w glebach i kwaśnymi opadami związane jest pH wód gruntowych badanego geosystemu. W latach 1994–2000 w źródłach Z1 i Z2 pod gołoborzami, w części wierzchowinowej zlewni (ryc. 2), średnie roczne wartości pH wahały się od 4,20 (1995 r.) do 3,63 (1998 r.). W dynamice silnie kwaśnych do kwaśnych wód źródeł Z1 i Z2 zaznacza się postępujące w czasie zakwaszenie. Mniej kwaśne są wody przemywające gleby stokowej części zlewni (źródło Z3 u podnóża stoku), ze średnimi wartościami pH od 4,96 (1994 r.) do 4,61 (1998 r.). Wody wymienionych źródeł charakteryzowały się zróżnicowanymi stężeniami badanych pierwiastków w zależności od położenia w obrębie zlewni. Stężenia  $\text{Ca}^{2+}$  i  $\text{Mg}^{2+}$  w wodach ze źródeł Z1 i Z2 pod gołoborzami były stosunkowo niskie ( $5,39$ – $5,66 \text{ mg Ca}^{2+}/\text{dm}^3$  oraz  $4,63$ – $4,17 \text{ mg Mg}^{2+}/\text{dm}^3$ ), przy wydajności tych źródeł od  $0,07 \text{ m}^3 \times \text{h}^{-1}$  do  $39,7 \text{ m}^3 \times \text{h}^{-1}$ .

Wielokrotnie wyższe były stężenia tych kationów w wodach źródła Z3 w dolnej części stoku (19,97 mg Ca<sup>2+</sup>/dm<sup>3</sup> i 9,77 mg Mg<sup>2+</sup>/dm<sup>3</sup>), co wskazuje na wymywanie tych elementów z gleb podczas transportu śródglebowego wód pochodzenia opadowego. Inny jest rodzaj migracji Fe i Mn, których stężenia były w okresie badań na ogół niższe w wodach Z3 niż w wodach Z1 i Z2. Z tego należy wnioskować, że wymienione kationy podczas migracji śródglebowej są akumulowane w glebach lub też pobierane przez korzenie drzew.

### Podsumowanie

Geosystem w centralnej części Gór Świętokrzyskich znajduje się w fazie zaawansowanych, różnokierunkowych, przyspieszających się przemian pod wpływem imisji suchej, wilgotnej i mokrej. Główny nurt tych przemian, wskutek wzrostu stężenia w powietrzu kwasowych składników, ukierunkowany jest na postępujące zakwaszanie. Stwierdzone na badanym obszarze imisje i wywołane przez nie zmiany w środowisku przyrodniczym są charakterystyczne i rozpowszechnione na rozległych przestrzeniach nie tylko regionu Gór Świętokrzyskich. Szczególnie niebezpieczne dla ekosystemów leśnych są kwaśne imisje. Antropogeniczne pochodzenie zanieczyszczeń przenoszonych drogą powietrzną zostało potwierdzone przez zbliżony skład izotopowy siarki biowskaźników roślinnych gleb, wód opadowych i ze źródeł oraz pyłów z lokalnych zakładów przemysłowych (Migaszewski, 1996, 1997). Podatność obszarów leśnych na zakwaszanie zależy od układu wielu czynników. Według doświadczeń szwedzkich (Larsen, 1975), czynnikami tymi są: gatunek drzewa, budowa poziomowa gleby, uziarnienie i miąższość gleby, miąższość poziomu próchnicznego, obecność litych skał i bagien oraz dynamika wilgotności. Na wymienione czynniki nakładają się bezpośrednio z powietrza (i pośrednio przez drzewostany) kwaśne deszcze.

W badanym geosystemie Świętokrzyskiego Parku Narodowego kwaśne wody deszczowe (związane z emisjami przemysłowymi), zawierające rozpuszczone jony SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>, Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, Mn<sup>2+</sup> i Fe<sup>3+</sup> oddziałują niekorzystnie na nadziemne i podziemne części roślin. Z nadziemnych ich części, szczególnie z igliwia i liści oraz z kory pni, wymywane są znaczne ilości Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> i Na<sup>+</sup>, wywołując deficyt tych składników. W igłach jodły, wskutek spadku koncentracji kationów o charakterze zasadowym, powstają wolne kwasy organiczne i kwasy mineralne, co może być przyczyną zakłóceń w procesach fotosyntezy i powstania uszkodzeń błony komórkowej (Kowalkowski & Józwiak, 2000b). Rozpłynięcie się pręcików wosku krystalicznego, stwierdzone u trzyletnich i starszych igieł jodły, powoduje zaskorupienie szparek oddechowych i utracenie przez nie funkcji ewapotranspiracji, nadmierne uwodnienie ich komórek i rozwój w nich grzybów pasożytniczych (Kowalkowski i in., 1990).

Efektom niekorzystnie kształtujących się warunków edaficznych w badanym geosystemie jest zaawansowane obumieranie starodrzewi jodłowych i stan chorobowy dużej części drzew jodły w drugim piętrze, a także w podrostach i nalotach. U buka wykształciła się biczowatość pędów w górnej części koron, a na korze pni występują popielate i białopopielate zacieki, wymyte przez spływające agresywne kwaśne wody opadowe. W warunkach kwaśnych gleb nasyconych kwasowymi jonami H<sup>+</sup>, Al<sup>3+</sup> i Fe<sup>3+</sup>,

kationy zasadowe pochodzące z drzewostanu są wymywane z gleb w zasięgu systemów korzeniowych (Kowalkowski & Józwiak, 2000b). W ten sposób bezpośrednio pod drzewami i w zasięgu korzeni, gleby są najsilniej zakwaszane i wyjaławiane ze składników odżywczych. Ten proces jest szczególnie stymulowany w drzewostanach bukowo-jodłowych i jodłowych.

Praca wykonana w ramach tematu badawczego KBN SPOGH 02515.

### Literatura

- BERTALLANFFY L. 1984 — Ogólna teoria systemów. PWN Warszawa.
- BRÓŹ E. & KAPUŚCIŃSKI R. 1990 — Chronione i zagrożone gatunki roślin naczyniowych Świętokrzyskiego Parku Narodowego oraz projektowanego Zespołu Parków Krajobrazowych Gór Świętokrzyskich. Roczn. Świąt. XVII, PWN, Warszawa, Kraków: 107–133.
- CIEŚLIŃSKI S. 1985 — Zmiany we florze porostów epifitycznych i epiksylicznych na obszarze Świętokrzyskiego Parku Narodowego. Roczn. Świąt. XII, PWN, Warszawa, Kraków: 125–142.
- JÓ WIĄK M. 1998 — Rola kwaśnych deszczy w destabilizacji ekosystemu leśnego Świętokrzyskiego Parku Narodowego. Europejskie Forum Ekologiczne (EFE'98). Inst. Bad. i Eksp. Nauk., XVI, 1–2: 182–189.
- KOSTROWICKI A.S. 1992 — System „Człowiek-Środowisko” w świetle teorii ocen. Pr. Geogr., 156, PAN.
- KOSTRZEWSKI A., MAZUREK M. & STACH A. 1995 — Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Zasady organizacji, system pomiarowy, wybrane metody badań. Bibl. Monit. Środow., Warszawa.
- KOWALKOWSKI A., BROGOWSKI Z., KOCOŃ J. & SWALDEK M. 1990 — Stan odżywienia i zdrowotności jodły (*Abies alba* Mill.) w Świętokrzyskim Parku Narodowym. Roczn. Świąt. XVII, PWN, Warszawa, Kraków: 11–26.
- KOWALKOWSKI A. & PISKORZ S. 1994 — Założenia metodologiczne i metodyczne programu. ZMŚP Stacja Bazowa Święty Krzyż. Bibl. Monit. Środow., Warszawa.
- KOWALKOWSKI A. & JÓ WIĄK M. 1999 — Wpływ kwaśnych deszczy na środowisko glebowe w Świętokrzyskim Parku Narodowym. [W:] R. Dębicki & J. Chodorowski (red.) Mat. Kon. Pol. Tow. Gleb. 07–10.09.1999 r.: 224.
- KOWALKOWSKI A. & JÓ WIĄK M. 2000a — Skład chemiczny wód opadowych [W:] S. Cieśliński & A. Kowalkowski (red.) Monografia Świętokrzyskiego Parku Narodowego. Wyd. Świąt. Park Narod.: 407–414.
- KOWALKOWSKI A. & JÓ WIĄK M. 2000b — Wpływ warunków środowiska na zdrowotność jodły. [W:] S. Cieśliński & A. Kowalkowski (red.) Monografia Świętokrzyskiego Parku Narodowego, Wyd. Świąt. Park Narod.: 454–467.
- KOZŁOWSKI R. 2001 — Zmiana właściwości fizyko-chemicznych wód opadu atmosferycznego przenikającego w drzewostanie jodłowo-bukowym w warunkach kwaśnej imisji. Mat. IV Krajowego Sympozjum „Reakcje biologiczne drzew na zanieczyszczenia przemysłowe”, Poznań-Kórnik 2001: 111–112.
- LARSEN J.B. 1975 — Ecological stability of forests and sustainable silviculture. Forest Ecology and Management, 73: 85–96.
- LIANA A., JABŁOŃSKI B. & MIKOŁAJCZYK W. 1990 — Stan fauny Świętokrzyskiego Parku Narodowego, jej walory, zagrożenia i możliwości ochrony. Roczn. Świąt., XII, Warszawa-Kraków: 135–172.
- MIGASZEWSKI Z.M. 1996 — Badania skażeń gleb i roślinności na przykładzie Gór Świętokrzyskich. VII Konf. Analityka w Służbie Geologii i Ochrony Środowiska, Szelnat, 17–21.06: 20–21.
- MIGASZEWSKI Z.M. 1997 — Wpływ pierwiastków chemicznych i izotopów siarki na środowisko przyrodnicze Gór Świętokrzyskich. Arch. Oddz. Świąt. PiG w Kielcach, nr arch. 1436.
- SZCZĘSNY B. 1989 — Wpływ zakwaszenia wód na zbiorowiska organizmów wodnych. [W:] S. Wróbel (red.) Zanieczyszczenia atmosfery a degradacja wód. Mat. Symp., Kraków: 111–123.
- SIERPIŃSKI Z. 1977 — Przyczyny zamierania jodły w Górach Świętokrzyskich. Sylwan: 1.
- WRÓBEL S. & WÓJCIK D. 1989 — Zakwaszenie wód w Świętokrzyskim Parku Narodowym i w rezerwacie przyrody na Baraniej Górze. [W:] S. Wróbel S. (red.) Zanieczyszczenia atmosfery a degradacja wód. Mat. Symp., Kraków: 77–84.