

WSPÓŁCZESNE PROCESY ZACHODZĄCE W GEOEKOSYSTEMIE W CENTRALNEJ CZĘŚCI GÓR ŚWIĘTOKRZYSKICH

Marek Józwiak

Józwiak M., 2009: Współczesne procesy zachodzące w geoekosystemie w centralnej części Gór Świętokrzyskich (*Contemporary processes occurring in the geoecosystem of the central part of the Świętokrzyskie (Holy Cross) Mountains*), Monitoring Środowiska Przyrodniczego, Nr 10, s. 9-16, Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce.

Zarys treści: W niniejszej pracy przedstawiono badania, jakie prowadzone są w centralnej części Gór Świętokrzyskich od roku 1994. Wskazano na różnokierunkowe zaawansowane i stale przyspieszające się zmiany, które następują pod wpływem emisji suchej, wilgotnej i mokrej. Główny nurt tych przemian ukierunkowany jest na postępujące zakwaszanie wskutek wzrostu stężenia w powietrzu kwasowych składników. Stwierdzono, że efektem niekorzystnie kształtujących się warunków edaficznych w geoekosystemie w centralnej części Gór Świętokrzyskich 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.

Słowa kluczowe: geoekosystem, zanieczyszczenie powietrza, zanieczyszczenie gleb, opad podkoronowy, spływ po pniach, roztwory glebowe

Key words: *geoecosystem, air pollution, soil pollution, throughfall, stemflow, soil solution*

Marek Józwiak, Uniwersytet Humanistyczno-Przyrodniczy Jana Kochanowskiego, Samodzielny Zakład Ochrony i Kształtowania Środowiska, ul. Świętokrzyska 15, 25-406 Kielce, marjo@ujk.edu.pl

1. Wprowadzenie

Rosnące zasoby danych o funkcjonowaniu ekosystemów z ich poszczególnymi składnikami i kolejne próby ich uporządkowania uczą nas pokory do przyrody. Zdawać musimy sobie sprawę, że przyczyny wielu współcześnie ważnych problemów środowiskowych przemijają niezbadane i postrzegamy je dopiero wtedy, gdy działania i presje widocznie się nasilają.

Region Gór Świętokrzyskich wyniesiony w stosunku do otoczenia od 100 do 300 m współcześnie znajduje się pod wpływem zarówno lokalnych, jak i zdalnych emisji przemysłowych i transportowych, szczególnie z kierunków dominujących zachodnich oraz północ-

no- i południowo-zachodnich wiatrów (Kowalkowski 1994, Józwiak 1998, 2001, 2007).

Obserwowany zły stan zdrowotny lasów, szczególnie w Świętokrzyskim Parku Narodowym, a także publikacje donoszące o zachwianiu równowagi środowiska wywołane silnym zakwaszeniem pochodzącym ze skażonego emisjami powietrza atmosferycznego, zagrożeniu oraz ginięciu na tym obszarze wielu gatunków flory i fauny potwierdzają tę tezę (Wróbel i Wójcik 1989, Kowalkowski i in. 2001, Józwiak, Kowalkowski 2002, Józwiak, Kozłowski 2005). W związku z przyczynowym zakwaszeniem ekosystemu leśnego jest tu od dwudziestolecia trwające obumieranie starodrzewia jodłowego, uważanego za formy degeneracyjne żyźnych

kwaśnych buczyn, grądów i borów mieszanych (Bróz 1990, Kowalkowski, Józwiak 2003). Od kilku lat rozwija się również choroba buka (Kowalkowski i wsp. 1990, Kapuściński 1993). Suma tych działań stwarza istotne zagrożenie dla dalszego funkcjonowania i zachowania naturalnych zasobów przyrody żywej i nieżywej.

Śledzenie i poznanie zmian zachodzących w geoko-systemie pod wpływem wielokierunkowej antropopresji w centralnej części Gór Świętokrzyskich jest podstawą badań Samodzielnego Zakładu Ochrony i Kształtowania Środowiska Uniwersytetu Humanistyczno-Przyrodniczego Jana Kochanowskiego w Kielcach.

2. Zakres i metody badawcze

Przedstawione w niniejszym opracowaniu badania obejmują lata 1994-2008 i przeprowadzone były w centralnej części Gór Świętokrzyskich. Pomiar

podstawowych cech reprezentatywnego ekosiedliska przeprowadzono w przekroju pionowym w systemie atmosfera (wejście) – hylosfera – pedosfera (przetwarzanie) – hydrosfera, litosfera (wyjście) – Rycina 1.

Są to założenia metodyczne systemu zintegrowanego funkcjonowania emisji w powietrzu atmosferycznym z ich transmisją i transformacjami w ekosystemie leśnym, zaproponowane przez A. Kowalkowskiego (1992), a następnie zmieniane i uzupełniane w miarę rozwoju naukowych metod badania środowiska (Józwiak, Kowalkowski 2002).

W przekroju pionowym badania prowadzone były na stałej powierzchni (4000 m²) – Rycina 2. W centralnej jej części znajduje się stalowa wieża wysokości 30 m z czujnikami meteorologicznymi Vaisala oraz czerpniami powietrza do pomiaru imisji (Horiba), na poziomie 30 metrów nad powierzchnią gleby. Zakres badań obejmował:

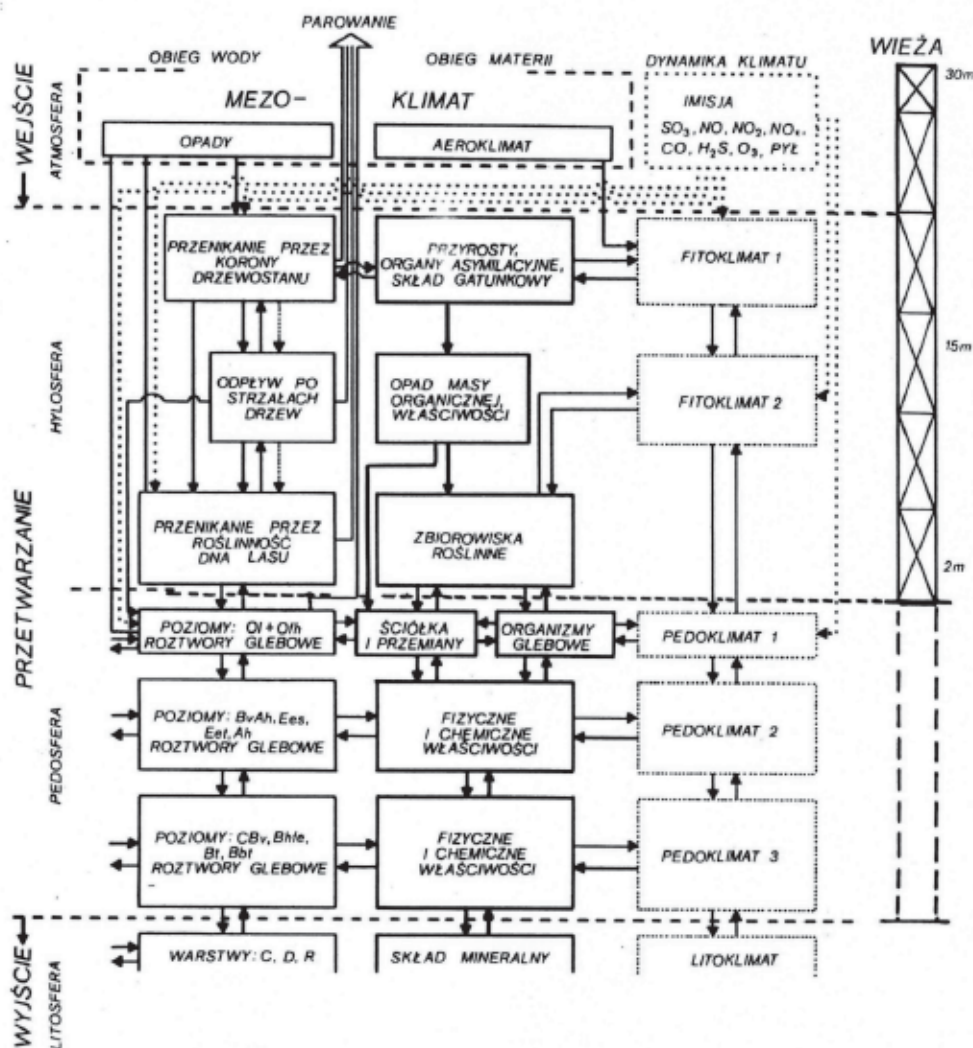
– badania meteorologiczne rejestrowane automatycznie,

których celem są obserwacje zjawisk i procesów zachodzących w atmosferze i na tej podstawie dokonywanie oceny ilościowej stanu wszystkich elementów biosfery;

– pomiary zanieczyszczeń powietrza (SO₂, NO₂, O₃, CO, pył zawieszony całkowity) rejestrowane automatycznie. Imisja sucha mierzona była pośrednio przez stwierdzenie stężeń gazowych i stałych składników w jednostce objętościowej powietrza atmosferycznego nad koronami drzew. Ich celem było badanie strumieni zanieczyszczeń docierających z powietrza do innych komponentów środowiska;

– pomiary chemizmu opadów atmosferycznych prowadzone zarówno na otwartej przestrzeni, wody opadu bezpośredniego, jak i pod okapem koron drzew: wody opadu pośredniego spływającego po pniach drzew, wody przenikające przez zwartą koronę drzewostanu;

– pomiary roztworów glebowych na pięciu głęboko-

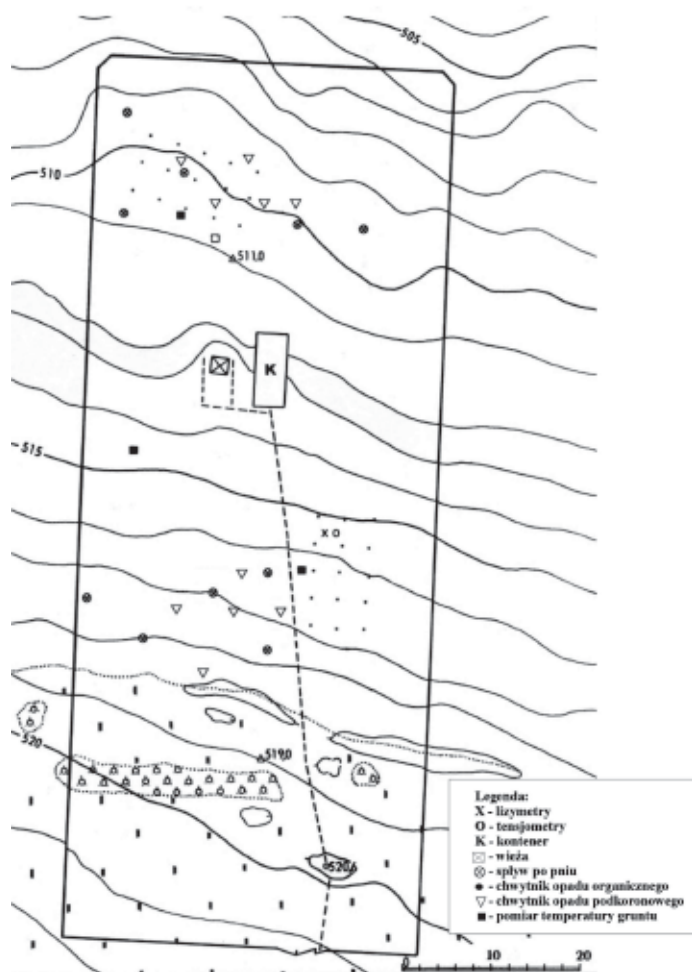


Ryc. 1. Założenia metodyczne modelu systemu geoeologicznego (za Kowalkowskim 1992 zmienione)
Fig. 1. Methodological assumptions of a model of the geoeological system (after Kowalkowski 1992 modified)

- ściach (15 cm, 30 cm, 60 cm, 90 cm, 120 cm);
 - pomiary temperatury gleby do głębokości 150 cm.
- Szczegółową metodykę poboru prób opisano w publikacjach Józwiaka (2001), Józwiaka i Kowalkowskiego (2003).

3. Współczesne procesy zachodzące w geosystemie

Geosystem w centralnej części Gór Świętokrzyskich znajduje się w fazie zaawansowanych, różnokierun-



Ryc. 2. Rozmieszczenie podsystemów pomiarowych na stałej powierzchni doświadczalnej w ekosystemie leśnym w Świętokrzyskim Parku Narodowym
 Objasnienia: 1-kontener; 2-wieża z czujnikami meteorologicznymi i czerpniami powietrza; 3-chwytniki opadu podkoronowego; 4-chwytniki opadu spływającego po pniach jodeł (A), buków (B); 5-czujniki pomiaru temperatury gleby; 6-chwytniki opadu organicznego; 7-poletko lizymetryczne; 8-poletko tensjometryczne; 9-wejście; 10-drewniana kładka

Fig. 2. Location of measurement subsystems in the permanent study area in the forest ecosystem of the Świętokrzyskie National Park
 Symbols: 1-container; 2-tower with meteorological sensors and air catchers; 3-throughfall gauges; 4-fir stemflow gauges (A), beech stemflow gauges (B); 5-soil temperature measurement sensors; 6-organic deposition gauge; 7-lysimetric plot; 8-tensiometric plot; 9-entrance; 10-wooden footbridge

kowych, przyspieszających się przemian pod wpływem imisji suchej, wilgotnej i mokrej. Główny nurt tych przemian ukierunkowany jest na postępujące zakwaszanie wskutek wzrostu stężenia w powietrzu kwasowych składników. Podatność na zakwaszanie obszarów leśnych zależy od układu wielu czynników: gatunku drzewa, budowy poziomej gleby, uziarnienia gleby i miąższości poziomu próchnicznego, obecności litych skał, dynamiki wilgotności itp. Wiadomo, że SO_2 w postaci gazowej, a szczególnie w kwasowej formie w wodach opadowych działa wielokierunkowo na nadziemne organy roślin. Ich wrażliwość na działanie SO_2 jest uzależniona od temperatury i wilgotności powietrza, dostępu światła i zdolności gleb do uzupełniania składników odżywczych. W badanym geosystemie te właśnie czynniki są niekorzystnie stymulowane imisją S- SO_2 , która przez wiele lat była na wysokim poziomie (lata 1994-1997). Dopiero w 1999 roku uległa obniżeniu do poziomu poniżej $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ i nadal ma tendencję spadkową (Tab.1).

Tab. 1. Wielkość imisji podstawowych zanieczyszczeń w centralnej części Gór Świętokrzyskich
 Table 1. Volume of basic ambient concentrations in the central part of the Świętokrzyskie Mountains

Rok	Wielkość imisji				
	S- SO_2	N- NO_2	TSP	O ₃	CO
Year	$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$				
1994	16,1	3,6	38,5	78,4	410,3
1995	12,5	2,8	25,5	61,7	482,6
1996	11,1	2,6	26,9		401,0
1997	10,7		24,6	77,5	360,7
1999	7,9	2,4	21,6	54,5	361,3
2000	6,9	0,5	24,4	61,9	364,2
2001	6,0	0,8	21,7	65,3	343,8
2002	5,1	1,5	25,6	82,1	392,7
2003	7,8	2,4	26,2	77,5	409,1
2004	8,5	2,7	23,5	76,3	325,9
2005	8,2	3,9	24,9	74,2	472,6
2006	8,4	3,6	24,2	81,8	537,6
2007	6,1	0,5	17,6	69,0	474,6
2008	5,5	0,7	22,8	78,8	512,9

Mniej toksyczne tlenki azotu natomiast działają długookresowo deformująco na środowisko glebowe, zbiorniki wodne i zbiorowiska roślinne (Kowalkowski, Józwiak 2000a, b, Józwiak, Kozłowski 2005, Józwiak i wsp. 2009). Stężenia tego składnika są na ogół niższe niż S- SO_2 , mają jednak istotny wpływ na dalsze kształtowanie właściwości występujących tu gleb. W kwaśnych glebach leśnych, wskutek zwolnionej amonifikacji, przebiega zredukowana mineralizacja materii organicznej, połączona ze znaczną nityfikacją, która przebiega nawet przy pH około 3,5. W takich wa-

runkach 50-90% mineralizowanego N występuje w formie NO_2 , zwiększającej zakwaszenie gleb i środowisko rozwoju korzeni wraz z migracją tego składnika z wodami śródglebowymi i gruntowymi w dół stoku.

Tlenek węgla i pył zawieszony całkowity utrzymują się na stałym poziomie. Szczególnie pył zawieszony odgrywa znaczącą rolę jako nosiciel metali ciężkich, które wykazują podwyższone stężenia w analizowanym obszarze (Sawicka-Kapusta i in. 2005, Józwiak 2009). Kolejnym ważnym zanieczyszczeniem powietrza w centralnej części Gór Świętokrzyskich jest ozon. Powstaje jako wtórne zanieczyszczenie w reakcjach tlenku węgla, metanu i niemetalo- wych lotnych związków organicznych w obecności tlenków azotu (Guicherit, Roemer 2000). Jego średnie roczne stężenia są wysokie i wahają się od $61,7 \mu\text{g}^{-3}$ do $82,1 \mu\text{g}^{-3}$ (Tab.1). Ozon wnika- jąc przez aparaty szparkowe do organów asymilacyjnych powoduje zwiększanie błon komórkowych, co z kolei ułatwia dostanie się tam kwaśnym związkom zawartym w powietrzu. To synergistyczne działanie prowadzi do punktowych chloroz i nekroz. Corocznie na igłach jodły obserwowana jest tzw. chloryczna pstrokatość widoczna jako blado-zielono-żółte przebarwienie opisane przez Kleya i in. (1999). Również na liściach buka, na przełomie maja i czerwca, pojawiają się białe przebarwienia jako wynik negatywnego oddziaływania ozonu na chlorofil blaszki liściowej. Emisja różnych gazów związana z aktywnością gospodarczą i bytową człowieka powoduje powstawanie mieszanin gazów, a pyły zawieszone w powietrzu atmosferycznym przekształcają się w aerozole przeważnie o silnie kwasowym charakterze. Efekty działania tych mieszanin na roślinność, gleby i wody mogą być: addytywne w czasie, synergistyczne lub antagonistyczne, co prowadzi do selektywnego obumierania starych drzewostanów, zagęszczenia pokrywy roślinnej dna lasu, zmian kwasowości gleb, zmian w przebiegu wzrostu i statusu żywieniowego roślin, zmian obiegu wody i substancji.

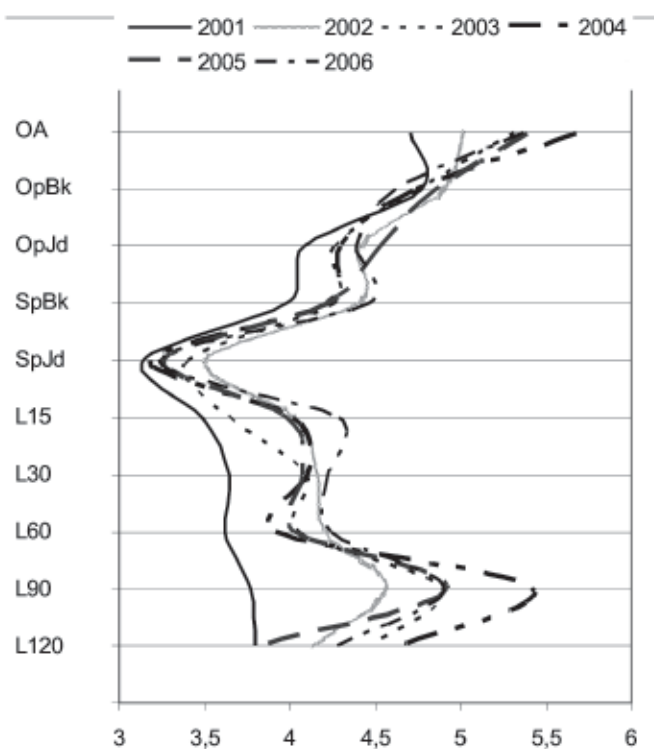
Na badanym terenie zmiany te są niezwykle ostro zarysowane, zarówno w kierunku negatywnym, jak i pozytywnym. W zasadzie możliwe są dwa kierunki zmian funkcjonalnych – wzrastania zasadowości lub częściej wzrastania kwasowości biotopów.

Wody przenikające przez drzewostan w geoko- systemie w centralnej części Gór Świętokrzyskich ulegają transformacji w kierunku zakwaszenia (Ryc. 3). Dotychczasowe badania wykazały, że w wyniku kontaktu wód opadowych z powierzchnią roślin pH obni- ża się pod bukami do wartości pH 4,78, a pod jodłami do pH 4,31. Uzyskane wartości związane są ze zmy- waniem w koronach drzew kwasogennych składników

NO_3^- i SO_4^{2-} i towarzyszących im protonów H^+ zaadsor- bowanych na powierzchni roślin w wyniku depozycji suchej. Zmienność ta wynika, jak wykazały badania Józwiaka (2001), ze zmian w wielkości imisji SO_2 oraz NO_2 . Kozłowski (2003) podaje, że proces ten dotyczy zwłaszcza drzew iglastych, co związane jest z procesem wyczesywania zanieczyszczeń z powietrza atmosferycznego przez korony tych gatunków drzew.

Dodatkowo, w wyniku spływu po pniach, do gle- by docierają bardzo agresywne wody o pH od 2,93 do 7,31, przy średniej ważonej 3,41.

Wody opadowe są najbardziej wzbogacane w kationy potasu, fosforanów i manganu. Ulrich i Matzner. (1986), Balázs (1988), Lorz (1999) i Kozłowski (2003) wskazują na roślinne pochodzenie tych elementów. Feger (1994) za pomocą obliczeń modelowych ustalił wy- sokie wskaźniki wymywania elementów mineralnych z koron drzewostanów w Czarnym Lesie, szczególnie K, Ca, Mg, Cl, Al, SO_4 , Na i Mg. Żaden z badanych elementów w wodach przenikających przez warstwę drzew pod względem ilościowym nie odpowiadał stę- żeniu w opadzie bezpośrednim nad dachem koron.



Ryc. 3. Zmienność pH w przekroju pionowym w geoko- systemie w centralnej części Gór Świętokrzyskich
OA – opad bezpośredni, OpBk – opad podkoronowy buk, OpJd – opad podkoronowy jodły, SpBk – spływ po pniach buka, SpJd – spływ po pniach jodły, L15-L120 – roztwory glebowe na głą- bokości 15-120 cm

Fig. 3. Vertical profile of pH variability in the geoe- cosystem of the central part of the Świętokrzyskie Mountains
OA – rainfall, OpBk – throughfall, beech, OpJd – throughfall, fir, SpBk – stemflow, beech, SpJd – stemflow, fir, L15-L120 – soil solution at depths 15-120 cm.

Należy zatem przyjąć, że część składników wzbogacających wody opadowe w warstwie drzew, szczególnie S-SO₄ może pochodzić z depozycji wilgotnej. Według Lorza (1999) czasowy przebieg depozycji S-SO₄ jest sterowany głównie wielkością opadu. W centralnej części Gór Świętokrzyskich wykazuje on także związek przyczynowy z zimowym okresem grzewczym.

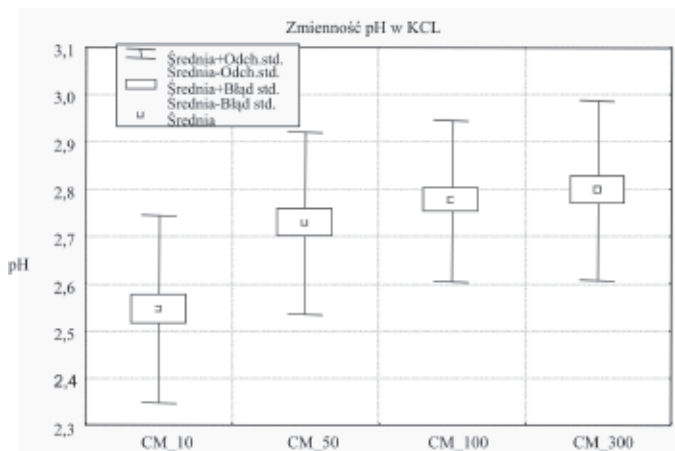
Wysokie stężenia anionów silnych kwasów w opadzie bezpośrednim, istotnie zwiększone w opadach podkoronowych i szczególnie w wodach spływających po pniach drzew, większe u jodeł i mniejsze u buków spowodowały, iż wody te należy zaliczyć do często spotykanego w Europie 7 typu w skali 8-stopniowej wód znajdujących się w ruchu bardzo agresywnych, powodujących silne wymywanie kationów zasadowych z wszystkich organów nadziemnych roślin i silnie mineralizowanych. W tym typie wód przemywających lasy w Europie dominują siarczany (Block i wsp. 2000), a suma SO₄ i NO₃ wynosi ponad 80% sumy anionów. Pomimo stale malejącej imisji w wodach przenikających przez warstwę drzewostanu stężenia kationów zasadowych i anionów kwasowych pozostają nadal na wysokim poziomie na dużych obszarach Europy (Lorz 1999), również w centralnej części Gór Świętokrzyskich.

W zależności od rodzaju drzewa i kształtu jego korony, u buka z lejkowatym typem korony i gładką korą, u jodły ze stożkowym typem korony oraz porowatą korą do powierzchni gleby docierają większe, lecz zróżnicowane ilości wód opadowych, o zasadniczo różnych ładunkach kationów zasadowych i anionów silnych kwasów, w porównaniu z najbliższym ich otoczeniem. Wody te spływając po pniach drzew powodowały powstawanie na gładkiej korze buka wybielonych, popielatych zacieków i smug w miejscach spływów ich strumieni, na co zwrócili już uwagę Kowalkowski i Józwiak (2000b). Można zatem z dużym prawdopodobieństwem stwierdzić, że wokół pni drzew funkcjonują obszary, które poddane są oddziaływaniu roztworów wodnych o właściwościach chemicznych odbiegających od poziomu średniego. Potwierdzają to badania Józwiaka i Kozłowskiego (2003) oraz Kozłowskiego (2003), które wykazały znaczący wpływ agresywnych, kwaśnych wód spływających po pniach drzew na przestrzenną mikromozajkowatość pH w wierzchnim poziomie mineralnym gleb. Najniższe wartości zanotowano tuż przy pniach drzew. W miarę wzrostu odległości wpływ wód malał, czego efektem był wzrost notowanych wartości pH (Ryc. 4).

Neumeister i wsp. (1997) stwierdzają, że skład gatunkowy i wiek drzew tworzących las mogą istotnie wpływać na intensywność obiegu anionów silnych kwa-

sów i kationów o charakterze zasadowym poprzez opad podokapowy i spływ po pniach. W lesie zbiorowiska drzew różnego wieku i składu gatunkowego wyczesują z powietrza, głównie za pomocą koron, gazowe składniki powietrza pochodzące z emisji i wody opadowe. Wody te tworzą liczne, przestrzennie zdeterminowane przez drzewa, strumienie docierające do gleb. Źródłem anionów SO₄⁻², NO₃⁻ i Cl⁻ jest powietrze atmosferyczne, z którego gazy te są adsorbowane w postaci suchego lub wilgotnego opadu przez korę i organy asymilacyjne. Podczas opadów są one zmywane z drzew do powierzchni gleby w kilkakrotnie większych stężeniach niż w bezpośrednim opadzie. Warstwa drzew w omawianym geosystemie jest miejscem suchej i wilgotnej depozycji (wyczesywania) zanieczyszczeń z powietrza atmosferycznego, od wielkości których zależy tak zwany „leaching effect” procesu wymywania przez kwaśne opady kationów zasadowych z organów asymilacyjnych i z kory w ilościach zależnych od budowy koron i cech fizycznych kory. Jak wykazały badania Kozłowskiego (2003) z zastosowaniem modelu Ulricha (1983), udział drzewostanów, np. w kształtowaniu ładunku potasu dostarczanego do dna lasu, wynosi w drzewostanie liściastym 83,5%, a iglastym 75,2%, osiągając wartości maksymalne podczas sezonu wegetacyjnego. Badania te potwierdzają przeprowadzone procedury testowania statystycznego z zastosowaniem testu Walda-Wolfowitza, które wykazały istotne statystycznie różnice pomiędzy ładunkiem jonów potasu w opadzie bezpośrednim i docierającym do dna lasu. Uzyskane wyniki wskazują zatem, że w badanym geosystemie mamy do czynienia z intensywnym wymywaniem potasu z organów asymilacyjnych drzew.

Wiadomo, że kwasowość gleb ma istotny wpływ na warunki życiowe organizmów glebowych, dostępność makro- i mikroelementów potrzebnych roślinom oraz



Ryc. 4. Rozkład pH w wierzchnim, mineralnym poziomie gleby (0-10 cm) w zależności od odległości od pnia drzewa (10 cm-300 cm)
 Fig. 4. pH distribution in the top soil mineral horizon (0-10 cm) in relation to the distance from the tree trunk (10 cm-300 cm)

na procesy nitryfikacji i występowanie toksycznie działających metali ciężkich, a szczególnie glinu. W przypadku przekroczenia zakresu buforowości gleby, wskutek nagromadzenia w glebie składników o charakterze kwasowym spowodowanego wietrzeniem krzemianów lub z imisji z powietrza atmosferycznego, należy liczyć się ze zmianami stanów chemicznych, fizycznych i biologicznych gleby w zależności od stanu wyjściowego, o zróżnicowanych skutkach ekologicznych.

Efektom niekorzystnie kształtujących się warunków edaficznych w geoekosystemie w centralnej części Gór Świętokrzyskich 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^+ , Al^{3+} i Fe^{3+} , kationy zasadowe pochodzące z drzewostanu są wymywane z gleb w zasięgu systemów korzeniowych. W ten sposób bezpośrednio pod drzewami i w zasięgu korzeni gleby są najsilniej zakwaszane i wyjąławiane ze składników odżywczych. Ten proces jest szczególnie stymulowany w drzewostanach bukowo-jodłowych i jodłowych. Stan ten, który został opisany przez Kowalkowskiego i Józwiaka (2000a), stale się pogłębia.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2007-2010 jako projekt badawczy własny nr NN 305 3622 33.

4. Literatura

- Balázs Á., 1998:** *14 Jahre Niederschlagsdeposition in Hessischen Waldgebieten*, Hann, Münden: 1-129.
- Block J., Eichborn J., Gehrmann J., Kölling C., Matzner E., Meiwes K.J., V. Wilpert K., Wolff B., 2000:** *Kennwerte zur Charakterisierung des ökochemischen Bodenzustandes und des Gefährdungspotentials durch Bodenversauerung und Stickstoffsättigung an Level II-Waldökosystem-Dauerbeobachtungsflächen*. Arbeitskreis C der Bund-Länder Arbeitsgruppe Level II. BML, Bonn: 1-167.
- Bróz E., 1990:** *Lista wymierających i zagrożonych gatunków roślin naczyniowych Krainy Świętokrzyskiej*. Rocznik Świętokrzyski XVII, PWN, Warszawa, Kraków: 97-105.
- Feger K.H., 1994:** *Influence of soil development and management practices on freshwater acidification in Central European forest ecosystems*. In: C. Steinberg, R.F. Wright (Eds.). *Acidification of Freshwater Ecosystems*. Envir. Sci. Res. Rep. 14, London: 68-82.
- Guicherit R., Roemer M., 2000:** *Tropospheric ozone trends*. *Chemosphere – Global Change*. Science. 2: 167-183.
- Józwiak M., 1998:** *Rola kwaśnych deszczy w destabilizacji ekosystemu leśnego Świętokrzyskiego Parku Narodowego*. Europejskie Forum Ekologiczne (EFE'98), Instytut Badań i Ekspertyz Naukowych, XVI, 1-2: 182-189.
- Józwiak M., 2001:** *Funkcjonowanie wybranego geoekosystemu w Górach Świętokrzyskich w warunkach kwaśnej imisji*. *Przeł. Geolog.* 49, 9: 775-779.
- Józwiak M., 2007:** *Processes presently progressing in geoecosystems: an example of the Świętokrzyskie region*. *Geography science in the regional studies*, V, Kielce: 155-173.
- Józwiak M.A., 2009:** *Możliwości wykorzystania epifitów do oceny zanieczyszczenia powietrza w centralnej części Gór Świętokrzyskich*. *Monitoring Środowiska Przyrodniczego*. 10/09: 57-64.
- Józwiak M., Kowalkowski A., 2002:** *Rozwinięta koncepcja monitoringu leśno-rolnego ekosystemu Regionu Świętokrzyskiego*. *Reg. Monit. Środ.* 3/02: 17-24.
- Józwiak M., Kowalkowski A., 2003:** *10 lat zintegrowanego monitoringu ekosystemu leśnego w Górach Świętokrzyskich*. W: M. Józwiak (red.). „Regionalny monitoring środowiska przyrodniczego w 10-lecie działalności Stacji Monitoringu Akademii Świętokrzyskiej, Funkcjonowanie środowiska przyrodniczego w warunkach działalności przemysłu cementowo-wapienniczego” mat. konf. 5 czerwca 2003 Sitkówka k. Kielc: 11-25.
- Józwiak M., Kozłowski R., 2003:** *Wpływ wód opadowych i roślinności na przestrzenne zróżnicowanie pH w glebach zlewni reprezentatywnej Stacji Bazowej ZMŚP Święty Krzyż*. W: Kostrzewski A., Szpikowski J. (red.). *Funkcjonowanie geoekosystemów zlewni rzecznych, obieg wody, uwarunkowania i skutki w środowisku przyrodniczym*. Poznań: 335-344.
- Józwiak M., Kozłowski R., 2005:** *Właściwości fizykochemiczne i chemizm opadów atmosferycznych w Górach Świętokrzyskich*. *Przeł. Geolog.* 53, nr 11: 1059-1060
- Józwiak M., Kozłowski R., Sykała E., 2009:** *Prze-strzenny rozkład węgla i azotu w poziomie mineralnym gleb (0-10 cm) w centralnej części Gór Świętokrzyskich*. *Rocznik Świętokrzyski*, Nr 30: 29-38.
- Kapuściński R., 1993:** *Funkcje i organizacja moni-*

- toringu skażeń na terenie Świętokrzyskiego Parku Narodowego*, W: A. Kowalkowski (red.). Monitoring Środowiska Regionu Świętokrzyskiego 1/93, KTN, Kielce: 59-63.
- Kley D., Klinmann M., Sanderman H., Krupa S., 1999:** *Photochemical oxidants: state of the science*. Environmental pollution 100:19-42.
- Kowalkowski A., 1992:** *Koncepcja organizacji Świętokrzyskiej Stacji Kompleksowego Monitoringu Powierzchni Ziemi*. Mat. I Sesji Hydrograficznej, KTN, Kielce :13-29.
- Kowalkowski A., 1994:** *Interpretacja niektórych układów imisji na Stacji Geoekologicznej Św. Krzyż*. W: Kowalkowski A. (red.). Funkcjonowanie i monitoring ekosystemów, Kielce: 56-62.
- Kowalkowski A., Brogowski Z., Kocoń J., Swaldek M., 1990:** *Stan odżywienia i zdrowotności jodły (Abies alba Mill.) w Świętokrzyskim Parku Narodowym*, Roczn. Świętok. Warszawa-Kraków, 12: 215-222.
- Kowalkowski A., Józwiak M., 2000a:** *Zmiany w środowisku glebowym*. W: S. Cieśliński, A. Kowalkowski (red.). Monografia Świętokrzyskiego Parku Narodowego, Wyd. Świętokrzyski Park Narodowy: 427-439.
- Kowalkowski A., Józwiak M., 2000b:** *Wpływ warunków środowiska na zdrowotność jodły*. W: S. Cieśliński, A. Kowalkowski (red.). Monografia Świętokrzyskiego Parku Narodowego, Wyd. Świętokrzyski Park Narodowy: 454-467.
- Kowalkowski A., Józwiak M., Kozłowski R., 2001:** *Pedogeniczne czynniki procesów zakwaszania wód w ekosystemie leśnym Świętokrzyskiego Parku Narodowego*, W: M. Józwiak, A. Kowalkowski (red.). Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego, Funkcjonowanie i monitoring geoekosystemów z uwzględnieniem zanieczyszczenia powietrza, Biblioteka Monitoringu Środowiska: 253-270.
- Kowalkowski A., Józwiak M., 2003:** *Die Bedeutung des Streufallmonitorings für die Ermittlung des Elementumlaufts im Waldökosystem*, BMVEL in Zusammenarbeit mit der Bund-Länder-Arbeitsgruppe „Forstliches Umweltmonitoring“ und dem IFOM Projekt des BMBF: 229-234.
- Kozłowski R., 2003:** *Przestrzenne zróżnicowanie opadu podkoronowego w drzewostanie jodłowo-bukowym w centralnej części Gór Świętokrzyskich*. Regionalny Monitoring Środowiska Przyrodniczego, nr 4/2003, KTN, Kielce: 99-106.
- Lorz C., 1999:** *Gewässerversauerung und Bodenstatus im Westerzgebirge*. UFZ-Bericht Nr 14. Dissertation. Leipzig: 1-154.
- Neumeister H., Haase D., Regber R., 1997:** *Methodische Aspekte zur Ermittlung von Versauerungstendenzen und zur Erfassung von pH-Werten in Waldböden*, Peterm. Geogr. Mitt., 141, Gotha: 385-399.
- Reuss J.O., Johnson D.W., 1986:** *Acid deposition and the acidification of soils and water*. Ecological studies 59. Springer Verlag, New York etc: 1-120.
- Sawicka-Kapusta K., Zakrzewska M., Gdula-Argasińska J., 2005:** *Air pollution in the base stations of the Environmental Integrated Monitoring System in Poland*. Air Pollution XIII: 465-475.
- Ulrich B., 1983:** *Interaction of forest canopies with atmospheric constituents: SO₂, alkali and earth alkali cations and chloride*. In: B. Ulrich, J. Pankrath (Eds.). Effects of accumulation of air pollutants in forest ecosystems, D. Reidel Publishing.
- Ulrich B., Matzner W., 1986:** *Anthropogenic and natural acidification in the terrestrial ecosystems*, Experimentia. 42: 344-350.
- Wróbel S., Wójcik D., 1989:** *Zakwaszenie wód w Świętokrzyskim Parku Narodowym i w rezerwacie przyrody na Baraniej Górze*. W: Wróbel S. (red.). Zanieczyszczenia atmosfery a degradacja wód, Mat. Symp. Kraków: 77-84.

CONTEMPORARY PROCESSES
OCCURRING IN THE GEOECOSYSTEM
OF THE CENTRAL PART
OF THE ŚWIĘTOKRZYSKIE
(HOLY CROSS) MOUNTAINS

Summary

Growing amounts of data pertaining to the functioning of ecosystems, including their respective components and successive attempts at ordering them, have taught us humility with respect to nature. It must be realised that the causes of many presently significant environmental problems remain uninvestigated and only come to be noted when their activity and pressure aggravate considerably.

The region of the Świętokrzyskie (Holy Cross) Mountains, elevated 100-300 m above its surroundings, is currently exposed to both local and remote industrial and transport-related emissions, particularly from the dominant western as well as north- and south-western winds (Kowalkowski 1994; Józwiak 1998, 2001, 2007). The research discussed in the present article has covered the years 1994-2008 and was conducted in the central part of the Świętokrzyskie Mountains. Measurements of the basic features of a representative eco-habitat were taken in the vertical section of the system: atmosphere (input) – hylosphere – pedosphere (transformation) – hydrosphere, lithosphere (output), Fig. 1. A detailed sample collection methodology has been described in the works by Józwiak (2001) as well as Józwiak and Kowalkowski (2003).

The geoecosystem of the central part of the Świętokrzyskie Mountains is undergoing advanced, multi-faceted, accelerating changes caused by dry, moist and wet ambient concentrations. The main trend of these changes is towards progressive acidification due to increasing

concentration of acid elements in the air. Emission of various gases, due to economic and living-related human activities, generates gas mixtures, while dusts suspended in atmospheric air are turned into aerosols which are mostly strongly acidic and directly affect vegetation.

Water penetrating tree stands in the geoecosystem of the central part of the Świętokrzyskie Mountains is subject to transformation through acidification (Fig. 3). The research so far has shown that, as a result of contact between precipitation water and plant surface, the pH decreases: under beeches – to the pH value of 4.78, under firs – to 4.31. The obtained values are related to acidogenic elements of NO_3^- and SO_4^{2-} being washed out in tree crowns, together with H^+ protons, adsorbed on plant surface due to dry deposition. In addition, as a result of stemflow, very aggressive water whose pH ranges from 2.93 to 7.31 (the weighted average amounting to 3.41) reaches the soil, causing the appearance of areas characterised by considerable impact of aggressive acid water around tree trunks (Fig. 4).

The result of adverse edaphic conditions in the central part of the Świętokrzyskie Mountains is advanced die-back of old-growth fir tree forests, and disease in the majority of fir overwood, as well as saplings and wildings. The beech has developed shoot whipping in upper crowns, while trunk bark demonstrates greyish and white-greyish seepage washed by the flow of aggressive acidic precipitation water. In the conditions of acidic soil, saturated with acidic H^+ , Al^{3+} and Fe^{3+} ions, alkaline cations originating from the tree stand are washed out of the soil within the range of root systems. In this way, under the very trees and within their root ranges, the soil is most strongly acidified and nutrient depleted. This process is particularly stimulated in beech-fir and beech stands. This state, as described by Kowalkowski and Józwiak (2000a), continues to aggravate.