

Jan TYSZKA, Teresa WAWRZONIAK, Magdalena JANEK

Instytut Badawczy Leśnictwa
Samodzielna Pracownia Gospodarki Wodnej
ul. Bitwy Warszawskiej 1920 Roku nr 3, 00-970 Warszawa
e-mail: j.tyszka@ibles.waw.pl

PRZEPŁYW JONÓW PRZEZ EKOSYSTEMY BORÓW ŚWIERKOWYCH I SOSNOWYCH W RÓŻNYCH WARUNKACH SKAŻENIA ŚRODOWISKA

FLOW OF IONS THROUGH ECOSYSTEMS
OF SPRUCE AND PINE FORESTS UNDER DIFFERENT CONDITIONS
OF ENVIRONMENTAL CONTAMINATION

Abstract: *Two year research results of chemical contents of water circulating within pine and spruce forest ecosystems are presented. Different phases of water cycle — open field precipitation, throughfall and tree stem flow and also soil water under roots, ground water and output from basin, were included. The main reason of destabilization of cycle of ions in ecosystem might be many times higher comparing to the background SO_4 inputs, which effect is decreasing water acidity in precipitation in the Sudety Mts. to $pH < 4.7$; and in the soil to $pH 3.81-4.255$.*

Above phenomenon is accompanied with washing out under stand canopy big amount of H, K, Mn, SO_4 and Na ions and also beyond ecosystem SO_4 , Al and NO_3 ions. In the condition of low contamination the main water components being mobilized in the ecosystem are Ca and Mg ions, neutralising influence of "acid rains".

Key words: *wet deposition, ecosystem, components of ion balance.*

1. WSTĘP*

Zmiana warunków funkcjonowania ekosystemów leśnych w ostatnich dziesięcioleciach ma swoje przyczyny zarówno w zwiększonym dopływie substancji antropopochodnych, jak i nasilających się anomaliach pogodowych. Zasadniczą rolę w przebiegu procesów związanych z tymi zmianami odgrywa woda w postaci opadu atmosferycznego, której ilość warunkuje wielkość depozytu mokrego. Ponadto przemieszczanie się wody decyduje o ruchu materii w jej obiegu w ekosystemie (IM Manual 1989).

2. METODYKA BADAŃ

Przepływ jonów w układzie: przychód z opadem atmosferycznym — wody podokapowe — wody gruntowe — odpływ w strumieniu, badano w dwóch najczęściej spotykanych w Polsce rodzajach ekosystemów borów sosnowego i świerkowego. W tym celu przeprowadzono w okresie 2 lat (hydrologicznych) pomiary ilości i składu chemicznego wody w wybranych czterech leśnych obiektach badawczych. Uwzględniają one zróżnicowane poziomy przychodów depozytu suchego i mokrego zanieczyszczeń (ADAMSKI, WAWRZONIAK 1998) oraz mają podobne warunki siedliskowe o zbliżonych wiekiem drzewostanach.

Do badań wyznaczono:

Nadleśnictwo Łobez — 98-letni drzewostan świerkowy z domieszką sosny, na gruntach porolnych, występujący na terenie Pojezierza Zachodniego w dolinie rzeki Regi, poza naturalnym zasięgiem świerka, na obszarze o ogólnie małym zagrożeniu skażeniami (ADAMSKI, WAWRZONIAK 1998).

Nadleśnictwo Szklarska Poręba — 81-letni drzewostan świerkowy, położony na północnym skłonie Karkonoszy 700 m n.p.m (regiel dolny), na obszarze uznanym za teren klęski ekologicznej spowodowanej emisją zanieczyszczeń energetycznych (TWAROWSKI, GENDOLLA 1994).

Puszcza Augustowska — 68-letni drzewostan sosnowy, położony na obszarze Pojezierza Suwalskiego w jednym z najczystszych rejonów w Polsce (WAWRZONIAK i inni 1996).

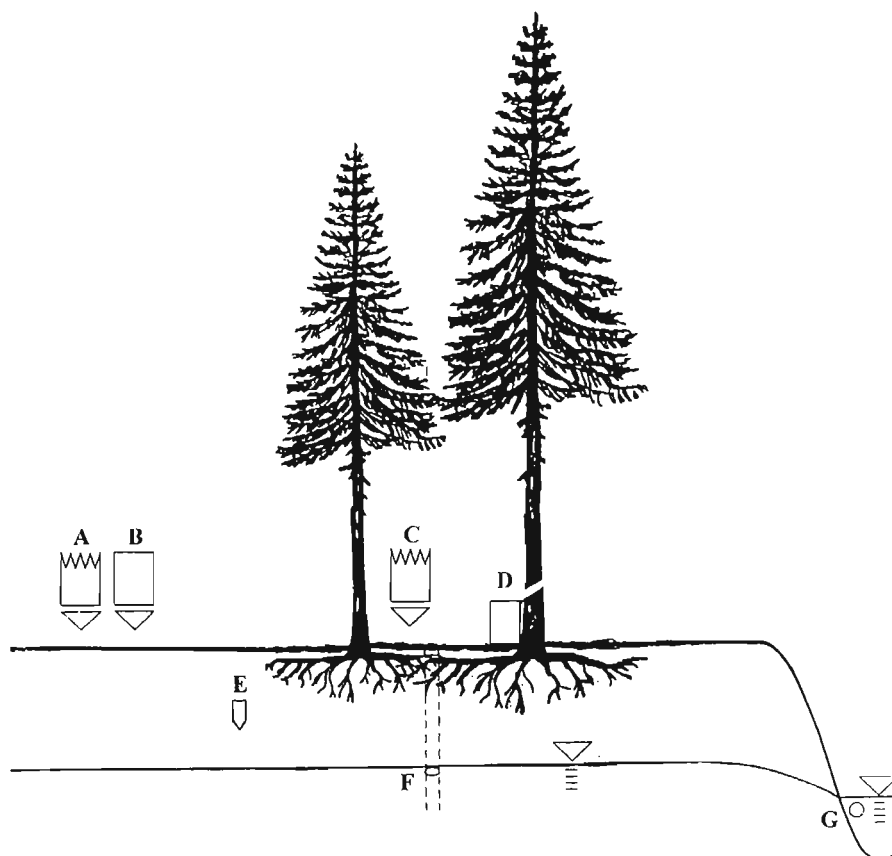
Nadleśnictwo Krzystkowice — 57-letni drzewostan sosnowy na gruntach porolnych, będący pod wpływem zanieczyszczeń przemysłowych pochodzących głównie z terenu Niemiec (ADAMSKI, WAWRZONIAK 1998).

* Badania wykonano w ramach tematu APOS sfinansowanego przez Unię Europejską.

Badania koncentrowały się na rozpoznaniu obiegu składników chemicznych w roztworach wodnych w ekosystemach leśnych znajdujących się w zróżnicowanych warunkach depozytu zanieczyszczeń atmosfery. Uwzględniono wybrane własności fizyczne i chemiczne wód opadowych na otwartej przestrzeni, pod okapem i w glebie oraz infiltrujące w głąb profilu glebowego a także odpływ w strumieniu (ryc. 1). Pobór próbek wody odbywał się 1. i 16. dnia miesiąca w okresie od 1 XI 1994 r. do 31 X 1996 r. W próbach oznaczano objętość, pH i przewodność elektrolityczną. Do analiz chemicznych przekazywano miesięczne zbiorcze próbki wody, w których oznaczano 12 składników, a mianowicie: Ca, Mg, K, Na, Al, Fe, Mn, NH_4 , NO_3 , SO_4 , PO_4 , Cl.

Do analiz chemicznych stosowano następującą aparaturę:

- pH — pehametr Horiba D-11 z elektrodą zespoloną Horiba S 8720,
- EC — konduktometr Jenway 4010,
- kationy (bez NH_4^+) — spektrometr emisyjny ze źródłem ICP Hilger Analytical D-800,
- NH_4^+ oraz aniony — chromatograf jonowy Shimadzu C-R7A.



Ryc. 1. Schemat poboru próbek wody: A — opad na otwartej przestrzeni, B — dobowy pomiar opadu na otwartej przestrzeni, C — opad pod okapem drzewostanu, D — spływ po pniu, E — woda glebowa z lizymetrów teflonowych, F — woda gruntowa, G — woda odpływająca

Fig. 1. Scheme of water sampling: A — open field precipitation, B — twenty four hours measurement of open field precipitation, C — throughfall, D — stem flow, E — soil water from lysimeter, F — ground water, G — effluent lysimeter water (outflowing water)

Opad atmosferyczny na otwartej przestrzeni

Pomiar wykonywany był jednocześnie na dwóch posterunkach wyposażonych w pojemniki typu NILU, a w okresie zimy w kolektory śniegowe. Przychód na powierzchni określono jako średnią arytmetyczną z dwóch posterunków. Celem pomiarów było oszacowanie wielkości opadu depozytu na powierzchni badawczej. Obserwacje były prowadzone na otwartej przestrzeni, poza lasem w najbliższej możliwej odległości od powierzchni badawczych, na wysokości 1 m nad terenem. Zakładamy, że tak zmierzona wielkość opadu reprezentuje opad nad drzewostanem. W Szklarskiej Porębie, na posterunku opadowym Szronowiec, mierzono oddzielnie depozyt mokry i suchy celem określenia udziału depozytu mokrego w całkowitym przychodzie.

Opad pod okapem drzew

Pomiar prowadzony był w 10. kolektorach typu NILU rozmieszczonych na każdej powierzchni badawczej 1 m nad terenem w jednym z dwóch systemów: w miejscach wybranych losowo albo położonych wzdłuż przekątnej w odstępach co 6,25 m. Analiza wody wykonywana była osobno dla każdej próby, ale w przypadku małych objętości wody tworzone próby zbiorcze z sąsiednich punktów pomiarowych. Celem pomiaru było wyznaczenie wielkości depozytu mokrego dochodzącego z opadem do powierzchni gleby.

W wybranych drzewostanach — świerkowym (Szklarska Poręba) i sosnowym (Augustów), prowadzono pomiary objętości i analizy składu chemicznego miesięcznych prób zbiorczych spływu po pniach. Próby pobierano na sześciu drzewach reprezentatywnych, odpowiednio wybranych na obu powierzchniach.

Woda glebowa

Próby wody glebowej pobierano z lizymetrów teflonowych typu „Prenart”, zainstalowanych poniżej głównej masy systemu korzeniowego, to jest na głębokości 0,6–1,0 m (SZOŁTYK, WÓJCIK 1998). Lizymetry były rozmieszczone na powierzchni badawczej wzdłuż przekątnej, prostopadle do transektu z podokapowymi pojemnikami opadowymi. Możliwość poboru prób wody zależała od warunków pogodowych i była ograniczona przemarzaniem gleby. Pierwsze próbki pobrano w kwietniu 1996 r. Na trzy dni przed poborem próbek wody, w lizymetrach wytwarzano podciśnienie 0,7 atm przy użyciu pompy próżniowej. Analizowano pojedyncze próby wody glebowej, a w przypadku małych objętości tworzone próby zbiorcze z sąsiednich lizymetrów. Na powierzchniach, gdzie występowały okresowo trudności w pobieraniu próbek wód spowodowane małą wilgotnością gleby, wprowadzono dodatkowo, oprócz pomiarów lizymetrycznych, również pomiary tensjometryczne. Tensjometry zlokalizowane zostały przy co drugim stanowisku lizymetrycznym, a pomiary wykonywane były dwa

razy w miesiącu wraz z pomiarami lizymetrycznymi. Przyjęta częstotliwość pomiarów lizymetrycznych i tensjometrycznych umożliwiała poprawną charakterystykę zmian uwilgotnienia gleb w warunkach odnawialności zasobów wodnych. W okresach małych przychodów opadów w wyniku poboru prób wody mogły występować zakłócenia naturalnych warunków uwilgotnienia profilu glebowego, dlatego uzyskiwane parametry uwilgotnienia gleby dla tych okresów trzeba traktować jako wartości wskaźnikowe.

Wody gruntowe i odpływające

Wymywanie ładunków z ekosystemu określano na podstawie dynamiki zmian poziomu i składu chemicznego wód gruntowych i odpływających. Po zmierzeniu poziomu wody gruntowej w piezometrach zlokalizowanych na terenie powierzchni badawczych, pobierano próbki wody do analizy składu chemicznego. W przypadku drzewostanu świerkowego w Szklarskiej Porębie o ładunku (kg/ha) składników chemicznych wymywanych przez wodę poza powierzchnię wnioskowaliśmy tylko na podstawie odpływu rzeczno, kontrolowanego w korycie hydrometrycznym z podziałką wodowskazową i limnigrafem. Pomiary wód gruntowych i odpływu rzeczno odbywały się raz w miesiącu.

Sposób przygotowania prób wody do analiz

Próbki wody opadowej, podokapowej i glebowej pobierane były z dwóch okresów w miesiącu: jedna próba z okresu od 1 do 15 dnia miesiąca, a druga z okresu od 16 dnia do końca miesiąca. Próbkę z pierwszej połowy miesiąca przechowywano w temperaturze $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$, a następnie łączono z wodą pobraną w drugiej połowie miesiąca. Wody z rzek pobierane były w końcu miesiąca, równocześnie z wykonywanym pomiarem przepływu. W półmiesięcznych i miesięcznych próbkach wody określano w terenie łatwo wyznaczalne parametry: objętość, pH i przewodność elektrolityczną. Po połączeniu (wymieszaniu) miesięcznych prób zbiorczych, próby ze wszystkich powierzchni badawczych przesyłano w torbach chłodniczych do Samodzielnej Pracowni Analiz Chemicznych IBL w Sękocinie. Wykonywanie analiz w jednym laboratorium zapewniało większą jednorodność uzyskanych wyników.

Pomiary ilości wody

Wielkość miesięcznych opadów atmosferycznych na powierzchniach badawczych odnoszono do wielkości opadów atmosferycznych mierzonych w sieci ogólnopolskiej IMGW, uzupełnionych danymi z własnych posterunków pomiaru dobowych wartości opadu w deszczomierzach Hellmana (prowadzonych z dokładnością do 0,1 mm). Dało to możliwość oceny bieżących wielkości przychodów opadów, w porównaniu z wartościami średnimi z wielolecia.

Pomiary objętości opadów atmosferycznych, spływu po pniu i wody glebowej z lizymetrów wykonywano cylindrem miarowym, z dokładnością do 1 ml.

Poziom lustra wód gruntowych mierzono od górnej krawędzi piezometru i przeliczano na głębokość zalegania pod powierzchnią terenu (p.p.t.).

Objętość wody odpływającej była mierzona za pomocą młynków hydrometrycznych typu Ott w terminie poboru próby i odnoszona do odpływu średniego za okres poprzedzającego miesiąca.

Opracowanie wyników pomiarów

Obliczono średnie miesięczne wartości fizycznych i chemicznych parametrów wód opadowych, podokapowych i glebowych w okresie od początku badań do końca roku hydrologicznego, tj. do 1 XI 1996 r., a także półroczne ładunki poszczególnych jonów. W przypadku wystąpienia stężeń jonów $\text{PO}_4 > 10 \text{ mg/l}$, wskazujących na zanieczyszczenie próby, nie uwzględniano wyników analiz chemicznych przy obliczaniu wszystkich średnich.

Przewodność elektrolityczną podano w mS/cm, stężenia roztworów wodnych w mg/l (ppm) i $\mu\text{mol/l}$, ładunki jonów w keq/ha. Wielkość opadów przeliczono na mm słupa wody. Ilość wody glebowej w lizymetrach przedstawiono w ml, poziom wód gruntowych w cm p.p.t., a siły wiązania wody w glebie (pF) w hPa.

Wielkość spływu po pniu przeliczana była na warstwę wody w mm i w stosunku do powierzchni pierśnicowej pnia.

3. WYNIKI BADAŃ

Stan uwilgotnienia ekosystemów

Przy ogólnych przychodach opadów atmosferycznych zbliżonych do średnich wieloletnich (tab. 1), opady półroczy zimowych (XI–IV) były relatywnie niskie. Na powierzchni w Augustowie, Krzystkowicach i Łobzie w 1995 r. opady półrocza letniego dwukrotnie przewyższały opady półrocza zimowego. W 1996 r. tylko w Augustowie półrocze letnie można uznać za suche, z najniższym (0,51) wskaźnikiem Sielianinowa w sierpniu.

Wobec wysokich wartości opadów atmosferycznych w ciągu miesięcy wegetacyjnych, przy równocześnie chłodnym lecie, badany okres wyróżniał się lepszym zaspokojeniem potrzeb wodnych drzewostanów w przeciwieństwie do kilkunastu suchych okresów wegetacyjnych lat poprzednich (CIEPIEŁOWSKI i in. 1993, 1996). W Szklarskiej Porębie opady średnie roczne były prawie dwukrotnie wyższe aniżeli na pozostałych powierzchniach przy jednocześnie intensywnych przychodach mgielnych (WOŹNIAK 1975).

Tabela 1
Table 1

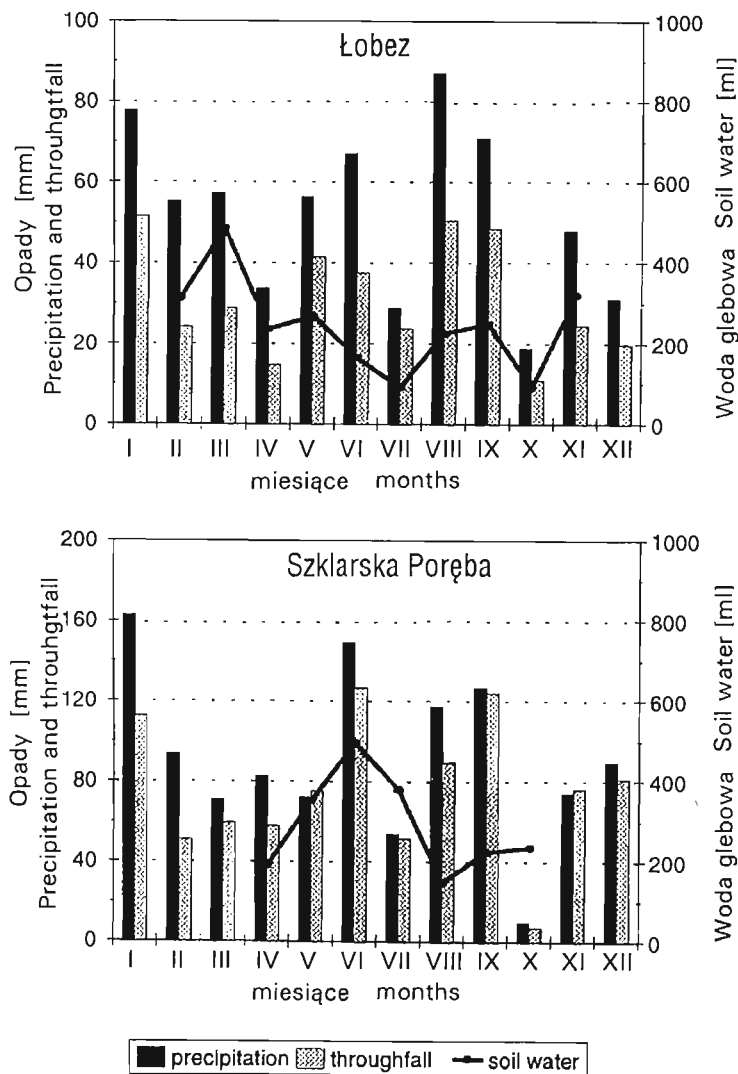
Charakterystyki hydrologiczne obiektów badań
Hydrological characteristics of research objects

Powierzchnia badawcza Experimental plot	Rok hydrologiczny Hydrological year	Opad atmosfer. Precipitation	Opad podokapowy Throughfall		Spływ po pniu Stem flow	Wskaźnik Sielanianowa Sielaninov index	Objętość wody w lizymetrze Volume of water in lysimeter	Wskazania tensjometru Tensiometer indication	Głęb. zaleg. wody grunt. Depth of ground water	Odptyw rzeczny Stream water
		mm	mm	%	l/mies. l/month		ml/mies. ml/month	hPa	m	mm
Łobez	1995	632	333	52,6899	—	—	187	47	—	—
	1996	613	403	65,7423	—	—	245	59	5,2	—
Szklarska Poręba	1995	1179	938	79,5589	34,64	—	290	—	—	758
	1996	1192	862	72,3154	20,17	—	522	—	0.8*	914
Augustów	1995	854	687	80,4450	55,4	0.70 (VIII)	90	88	—	69
	1996	490	434	88,5714	21,3	0.51 (VIII)	85	70	3,9	51
Krzystkowice	1995	765	512	66,9281	—	0.36 (X)	96	—	3.0	—
	1996	566	386	68,1979	—	0.56 (VI)	61	81	3.0	—

* okresowo
periodically

Stan uwilgotnienia gleby (pF 4,2) we wszystkich terminach badań wskazywał na możliwość poboru wody przez system korzeniowy drzew (MUSIEROWICZ 1955). Ilość wody glebowej dyspozycyjnej dla roślin była największa w Szklarskiej Porębie, wyraźnie niższa w Łobzie i na nieco niższym poziomie w Augustowie i w Krzystkowicach, o czym świadczą objętości wody pobierane z lizymetrów (tab. 1). Przeciwnie kształtowała się siła wiążąca wodę z glebą; odczyty tensjometryczne były wyższe w drzewostanach sosnowych aniżeli w świerkowych (w Łobzie). Tylko w Szklarskiej Porębie, przy płytkim profilu glebowym, była możliwość okresowego podsiąku wody gruntowej do strefy korzenia się drzew. Na pozostałych powierzchniach woda gruntowa była poza zasięgiem systemu korzeniowego.

Okap drzewostanów wpływał na zmiany wielkości i rozkładu w czasie dopływu wody opadowej do dna lasu. Śnieżny charakter opadów w przypadku chłodnej zimy 1996 roku spowodował opóźnienie czasu docierania opadu atmo-



Ryc. 2. Opad na otwartej przestrzeni i pod okapem drzewostanu oraz woda glebowa w 1995 roku

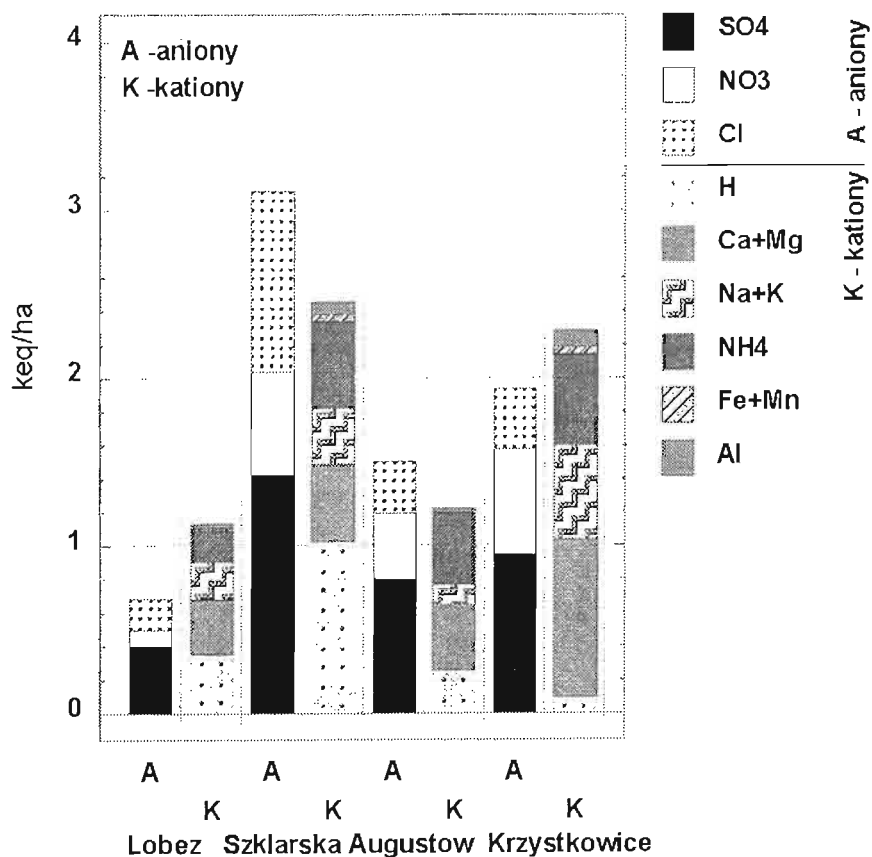
Fig. 2. Open field precipitation, throughfall and soilwater in the year 1995

sferycznego wzbogacając opad podokapowy w okresie tajania śniegu (ryc. 2). Średnia roczna intercepcja okapowa, liczona jako różnica opadu na otwartej przestrzeni i podokapowego, wyniosła w drzewostanach świerkowych w Łobzie 40,8%, w Szklarskiej Porębie 24,1%, a w drzewostanach sosnowych w Augustowie 17,0% i w Krzystkowicach 37,0%. Faktyczna intercepcja opadu była pomniejszona o spływ wody po pniu. Depozyt mokry z opadem atmosferycznym

Przychód depozytu docierającego do powierzchni lasu z opadem atmosferycznym był wyraźnie zróżnicowany w obrębie par powierzchni z drzewostanami świerkowymi i sosnowymi — większy w południowo-zachodniej Polsce (Szklarska Poręba i Krzystkowice) aniżeli w Polsce północnej. W drzewostanie świerkowym w Szklarskiej Porębie o wielkości depozytu decydowały głównie aniony SO_4 i Cl oraz jony H , a w drzewostanie sosnowym w Krzystkowicach aniony SO_4 i NO_3 oraz kationy Ca , K , Na (tab. 2).

Różnica w poziomie dopływu składników na powierzchniach w drzewostanach świerkowych dotyczyła wszystkich anionów oraz kationów NH_4 i H , a w drzewostanie sosnowym — NO_3 oraz Ca i K (ryc. 3).

O antropogenicznym pochodzeniu depozytu w Szklarskiej Porębie i Krzystkowicach świadczą zatem nie tylko większe ładunki jonów, ale także jego skład:



Ryc. 3. Średnie roczne ładunki jonów w opadzie atmosferycznym w latach 1995–1996 (keq/ha)

Fig. 3. Average annual charges of ions in precipitation in the years 1995–1996 (keq/ha)

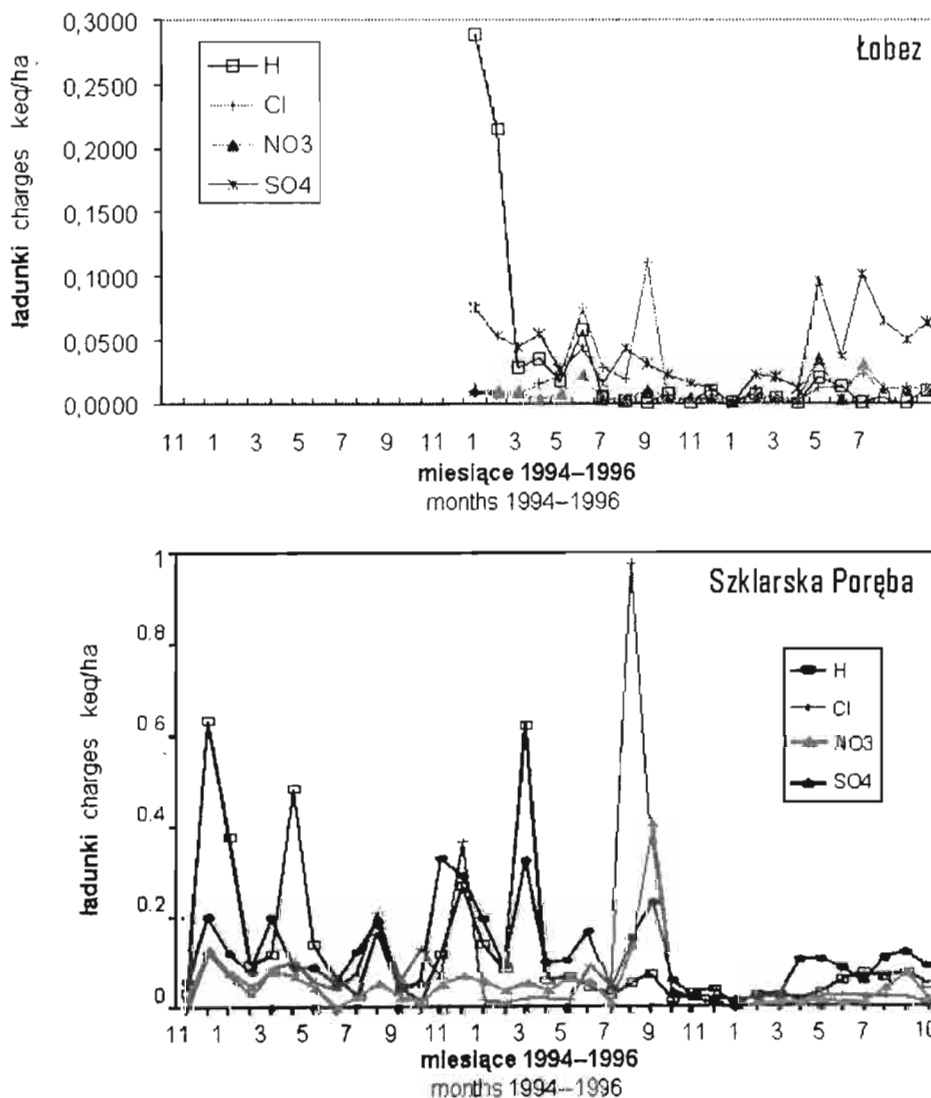
Tabela 2
Table 2

Przychód jonów w depozycie mokrym w kg/ha/rok (1995–96)
Ions input in wet deposition in kg/ha/year (1995–96)

Powierzchnia badawcza Experimental plot	Rodzaj wody Kind of water	SO ₄	NO ₃	Cl	H	Ca	Mg	Na	K	NH ₄	Fe	Mn	Al
Łobez	opad precipitation	19,908	5,572	6,803	0,364	5,279	0,737	3,494	3,014	3,250	0,341	0,047	0,260
Szklarska Poręba	opad precipitation	68,779	37,541	38,400	1,034	7,325	1,125	3,517	7,155	9,110	0,796	0,288	0,683
Augustów	opad precipitation	38,808	24,149	11,133	0,257	6,683	0,663	1,466	2,053	7,586	0,279	0,041	0,175
Krzystkowice	opad precipitation	45,681	38,959	12,718	0,096	14,923	2,409	5,382	12,533	9,791	0,761	0,580	0,897
Łobez	okap throughfall	42,124	11,822	6,529	0,700	8,159	1,793	4,537	10,068	4,471	0,254	1,016	0,386
Szklarska Poręba	okap throughfall	103,192	31,031	12,965	1,525	11,336	2,112	4,716	20,130	8,482	2,695	2,568	3,578
Augustów	okap throughfall	58,437	24,810	10,933	0,372	11,910	1,877	2,516	8,791	8,064	0,456	0,897	0,467
Krzystkowice	okap throughfall	54,994	16,281	12,776	0,775	13,979	2,629	3,269	14,713	6,910	1,010	1,629	1,222
Szklarska Poręba	po pniu on stem	0,817	0,124	0,035	0,014	0,190	0,006	0,000	0,176	0,027	0,000	0,000	0,000
Augustów	po pniu on stem	1,513	0,186	0,089	0,016	0,421	0,043	0,011	0,156	0,072	0,000	0,000	0,009

przewaga S, Na, NO₃, Cl łącznie z towarzyszącymi im jonami wodorowymi, które warunkują kwaśny charakter opadów).

Na obniżenie wartości pH najsilniej oddziaływał mokry depozyt SO₄, ale ładunki SO₄ pomierzone w półroczu letnim w Łobzie i Augustowie można uznać za niewiele przewyższające naturalne tło (RODHE i in. 1995). Ważnym czynnikiem wpływającym na zmniejszenie wpływu zakwaszania wody opadowej na drzewostany było występowanie kulminacji przychodu jonów SO₄ w okresie pozawegetacyjnym. Jedynie w Szklarskiej Porębie przez cały okres badań odczyn opadu utrzymywał się w granicy pH = 3,0–4,5. Na pozostałych powierzchniach, co można wiązać z dopływem pyłów o zasadowym odczynie, pH opadu wzrastało okresowo do 7,0–8,0. W miesiącach VIII i IX 1995 r. odnotowano wyraźną kulminację przychodu ładunków związaną z intensywnymi opadami deszczu przy napływie mas powietrza z południa (ryc. 4, 5). Zjawiska tego nie zaobserwowano



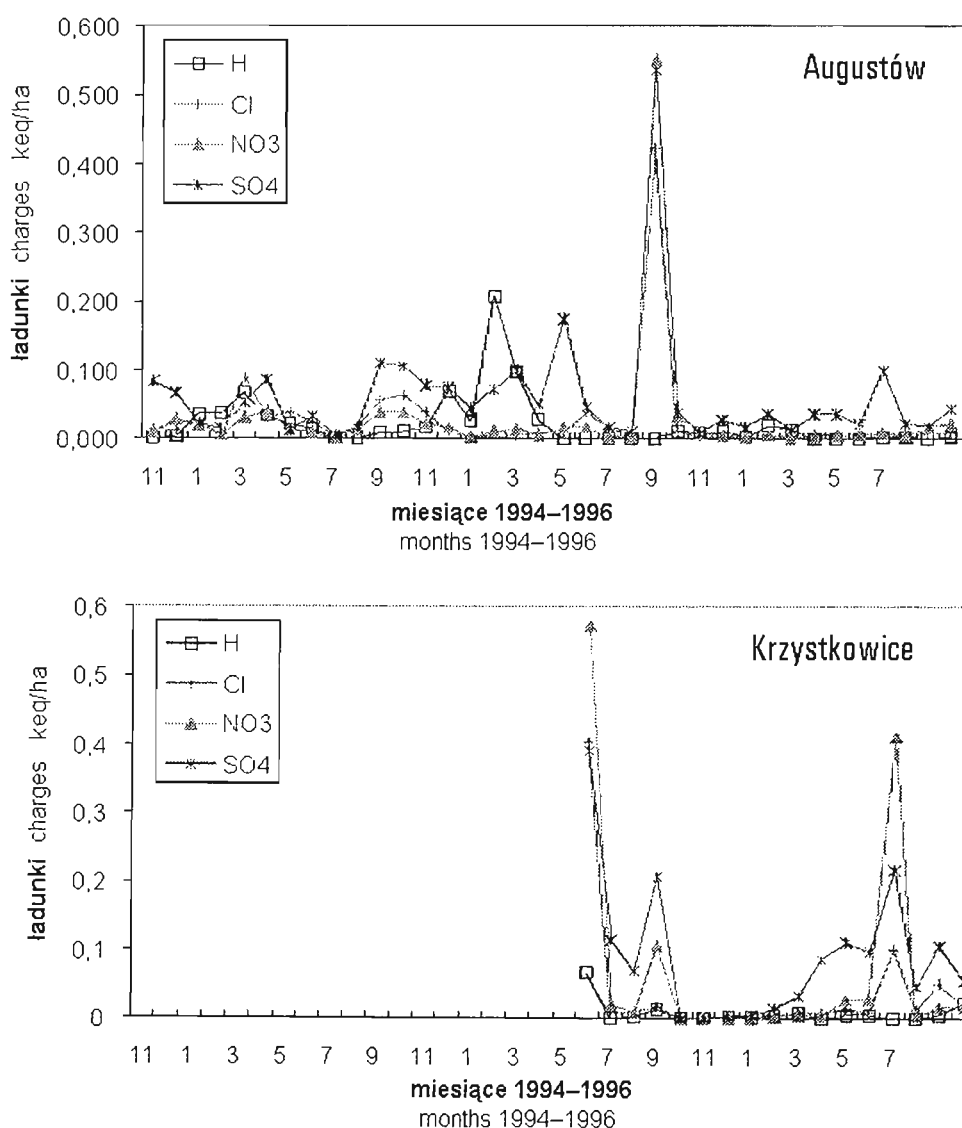
Ryc. 4. Miesięczny depozyt kwaśnych jonów z opadu atmosferycznego w drzewostanie świerkowym

Fig. 4. Monthly deposit of acid ions from precipitation in spruce stand

na powierzchni w Łobzie. Ze względu na krótki okres badań, ocena stanu skażenia środowiska w poszczególnych obiektach może być niepełna (ryc. 6).

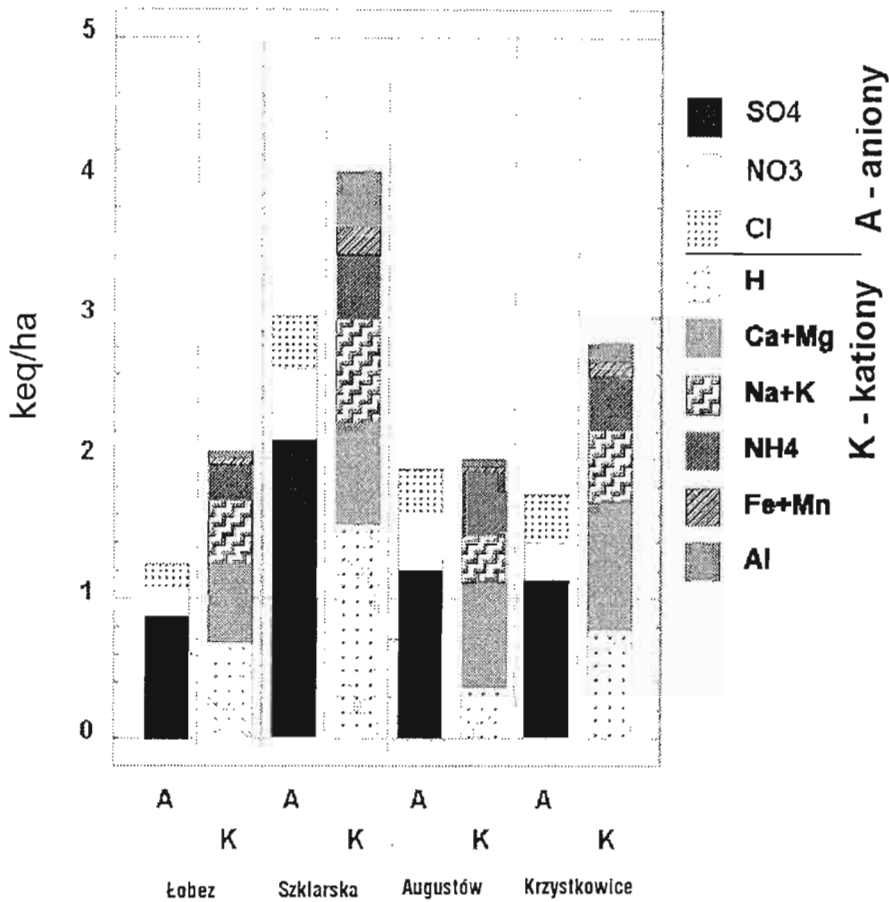
Przeprowadzony w 1996 r. w Szklarskiej Porębie cykl pomiarów suchego i mokrego depozytu wykazał, szczególnie w półroczu letnim, zdominowanie ogólnej depozycji przez przychód jonów z mokrym opadem atmosferycznym (tab. 3). Dotyczyło to jonów NH_4 , SO_4 , Al, Cl, Na, NO_3 , Ca, K, stanowiących więcej niż 80% depozytu ogólnego, ale także Fe i Mn. W półroczu zimowym również duży udział miały w depozycie ogólnym jony Cl i Na przynieszone przez wiatry z północy i północnego zachodu znad morza (OSTROWSKA i in. 1994).

Również w pozostałych zlewniach główny ładunek jonów docierał z wodami opadowymi.



Ryc. 5. Miesięczny depozyt kwaśnych jonów z opadu atmosferycznego w drzewostanie sosnowym

Fig. 5. Monthly deposit of acid ions from precipitation in pine stand



Ryc. 6. Średnie roczne ładunki jonów w opadzie pod okapem drzewostanu w latach 1995–1996 (keq/ha)

Fig. 6. Average annual charges of ions in throughfall in the years 1995–1996 (keq/ha)

Tabela 3

Table 3

Udział depozytu mokrego w całkowitym na podstawie badań w Szklarskiej Porębie (leśnictwo Szronowiec) w 1996 r.

The share of wet deposit in total based on the research in Szklarska Poręba in 1996.

Termin poboru	Rodzaj depozyt Kind of deposit	Jedn. miary Units	Cl	NO ₃	SO ₄	NH ₄	Mg	Ca	K	Na	Mn	Fe	Al
XI–IV	s	eq/l	10	15	34	24	6	11	5	4	1	3	2
	m	eq/l	69	33	62	26	4	4	6	18	0	0	4
	m/s+m	%	87	69	65	2	40	26	55	82	–	–	67
V–X	s	eq/l	38	24	81	16	23	37	41	16	0	0	7
	m	eq/l	262	113	62	301	38	162	135	109	8	11	55
	m/s+m	%	87	82	89	9	62	81	77	87	–	–	89

Depozyt mokry w przestrzeni podokapowej

Na wielkość depozytu mokrego docierającego do dna lasu składało się kilka czynników. Najważniejsze z nich to: wielkość opadów atmosferycznych, stężenia jonów w wodzie opadowej i stopień przetwarzania opadu dochodzącego do lasu przez korony drzew w zależności od składu gatunkowego i struktury drzewostanów (HANSEN 1994, TYSZKA i in. 1995).

Ładunki jonów docierające do dna lasu, mimo zatrzymywania części opadu w procesie intercepcji, są często zwielokrotnione w stosunku do ładunków w opadzie atmosferycznym. Wiąże się to ze zmywaniem z powierzchni listowia substancji pochodzących z atmosfery i wypłukiwania składników z listowia. Ładunek kwaśnego depozytu substancji docierającego z opadem atmosferycznym może być przynajmniej częściowo neutralizowany przez wymywanie z listowia kationów zasadowych (OSTROWSKA i in. 1994).

Stwierdzono wymywanie zwiększonych ilości jonów w porównaniu z opadem na otwartej przestrzeni (tab. 2):

— w drzewostanach świerkowych: w Łobzie — SO_4 , H, Ca, Mg, Na, K, Mn, NO_3 ; w Szklarskiej Porębie — H, Na, K, Mn, Al, SO_4 ;

— w drzewostanach sosnowych: w Augustowie — Ca, Mg, Na, K, Mn, SO_4 ; w Krzystkowicach — H, Mn, SO_4 .

Następujące składniki zatrzymywane były przez okap lasu:

— w drzewostanach świerkowych: w Łobzie — wszystkie oprócz Cl i Fe; w Szklarskiej Porębie — NO_3 , Cl, NH_4 ;

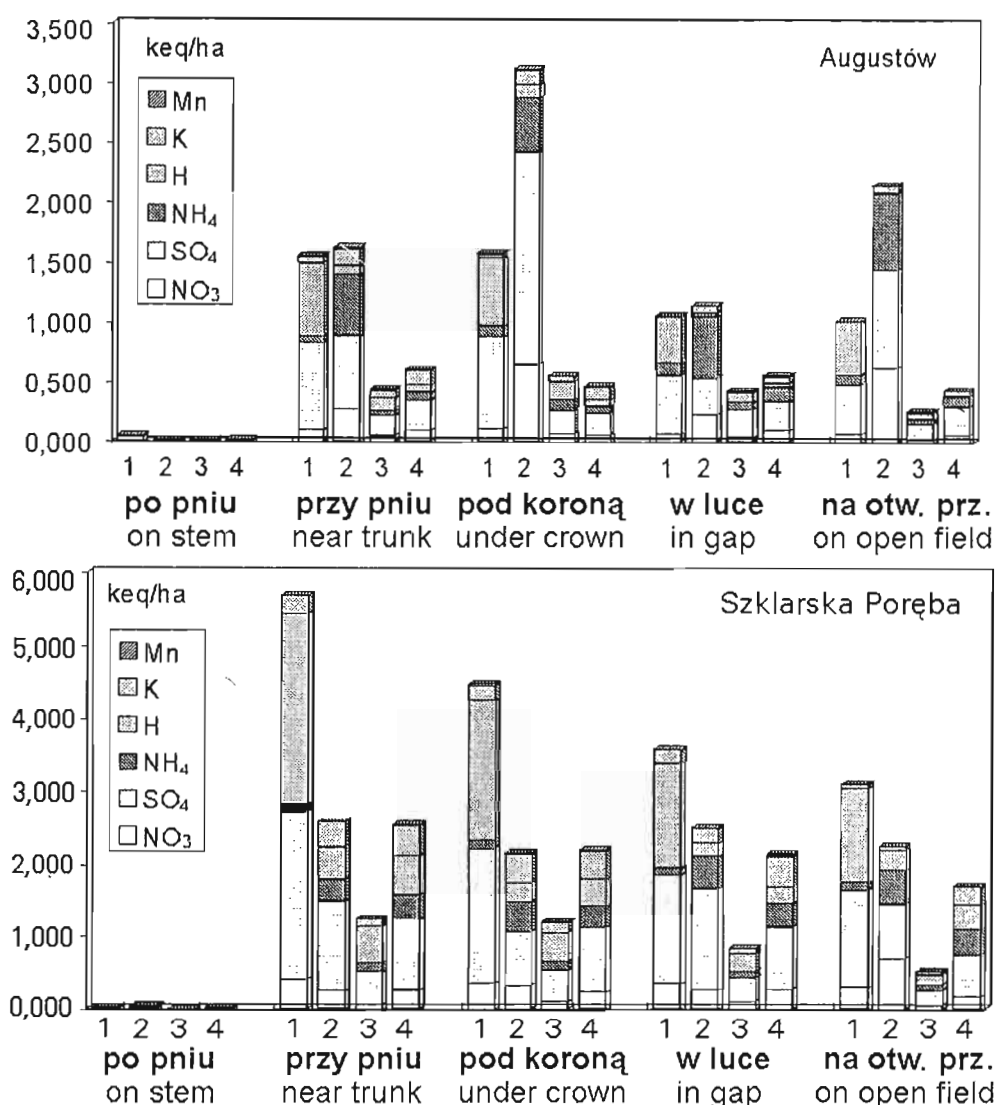
— w drzewostanach sosnowych: w Augustowie — NH_4 , Cl; w Krzystkowicach: NO_3 , Cl, Na, K, NH_4 .

Z dużym depozytem w opadzie atmosferycznym w Szklarskiej Porębie i Krzystkowicach związane było zatem zarówno kumulowanie biogenów i kwaśnych kationów (NH_4) jak i procesy wymywania m.in. H, Mn, SO_4 .

Ilość okresowo kumulowanych w listowiu jonów SO_4 decyduje o stopniu zakwaszenia ekosystemu, a intensywność tego procesu związana jest z nawilżeniem powierzchni listowia, tj. z aktualną wilgotnością powietrza (MATZNER 1986). W badanych drzewostanach w ogólnym bilansie proces wymywania jonów SO_4 przeważał nad ich kumulacją. Zmienna zawartość SO_4 w igliwii może świadczyć jednakże o tym, że okresowo, w czasie występowania kwaśnych mgieł podczas suszy glebowej, dominującym mógł być proces kumulacji (KLIMO 1992).

Charakterystyczną cechą terenów o mniejszym „skażeniu” było wymywanie z koron drzew jonów Ca i Mg. Efektem splotu po pniu było wnoszenie do gleby przede wszystkim jonów SO_4 , H, Ca i Mg.

Ilość substancji docierającej do dna lasu była zróżnicowana w przestrzeni podokapowej i w drzewostanach świerkowych (ryc. 7) wzrastała począwszy od luk w drzewostanie w kierunku pnia drzew, natomiast w drzewostanach sosno-



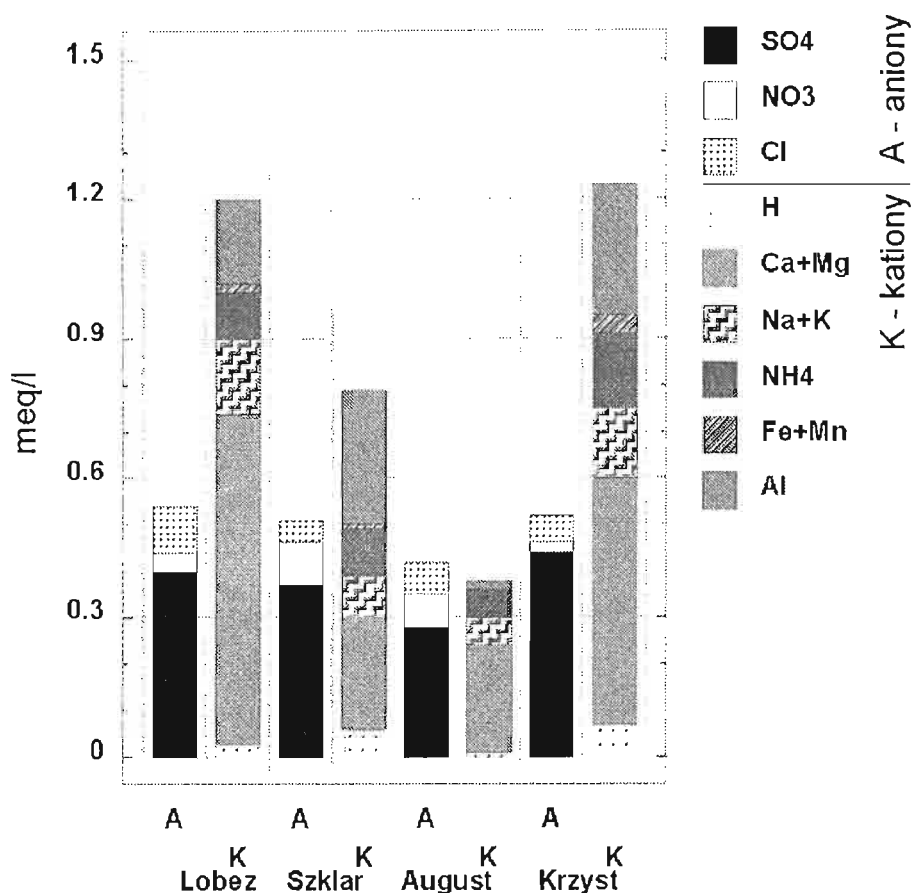
Ryc. 7. Zróżnicowanie półrocznych ładunków jonów w opadzie pod okapem w zależności od usytuowania punktu pomiaru: 1 — zima 1995, 2 — lato 1995, 3 — zima 1996, 4 — lato 1996

Fig. 7. Differentiation of half-year ion charges in throughfall according to localization of measurement point: 1 winter 1995, 2 — summer 1995, 3 — winter 1996, 4 — summer 1996

wych największe stężenie składników w wodach opadowych występowało w środkowej partii rzutu korony.

Woda glebowa

Poza strefę korzeniową gleb wymywane były na wszystkich powierzchniach jony Ca, SO₄, Na, Mg, a w Szklarskiej Porębie i Krzystkowicach również jony Al, Mn i K (ryc. 8 i tab 4). Wymywanie ruchomego Al jest dobrym wskaźnikiem osłabienia struktur glebowych (VOGT i in. 1994), a wysoka wartość stosunku $k_{kr} = \text{Al}^{3+} / (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ świadczy o postępującej degradacji siedlisk leśnych i toksycznym charakterze skażeń. Największe stężenia wapnia występowały w wodach glebowych Łobza, nieco niższe były one w wodach w Augustowie i Szklarskiej Porębie. Kwaśny odczyn wód w Szklarskiej Porębie wynikał z naturalnych



Ryc. 8. Stężenie jonów w wodzie glebowej w okresie 1995-1996 (meq/l)

Fig. 8. Concentrations of ions in soil water in the years 1995–1996 (meq/l)

warunków (kwaśne skały podłoża) i w mniejszym stopniu aniżeli w pozostałych powierzchniach pH wody zwiększało się w odpływie rzeczonym. W półroczu letnim pH wody glebowej w Szklarskiej Porębie wynosiło 4,25, w Krzystkowiach 4,31, w Łobzie 4,58 a w Augustowie 5,24 (tab. 5). W okresie zimowym pH wody w Szklarskiej Porębie w 1995 r. zmniejszyło się do wartości 3,81. Zatem warunki funkcjonowania ekosystemów leśnych w Szklarskiej Porębie należy uznać za trudne, ponieważ nawet poniżej poziomu korzenia się drzew wartość k_{kr} w wodzie glebowej wynosiła 2. Jedynie tutaj stężenia jonów wodorowych przewyższały stężenia jonów wapnia, a stężenie Al dochodziło do 200 $\mu\text{mol/l}$. Dopiero w odpływie rzeczonym relacje pomiędzy H : Ca były odwrotne.

Stwierdzono, że na skład chemiczny wody glebowej decydujący wpływ ma typ gleb. W obrębie powierzchni w Szklarskiej Porębie i Augustowie podobne stosunki Ca : Al występowały w poszczególnych partiach powierzchni w ramach wydzieleni gleb o zbliżonych własnościach fizyko-chemicznych.

Tabela 4
Table 4

Skład chemiczny wód odpływających z ekosystemu
Chemical contents of effluent water from the ecosystem (in meq/l)

Powierzchnia badawcza Experimental plot	Rodzaj wody Kind of water	SO ₄	NO ₃	CL	H	Ca+Mg	Na+K	NH ₄	Fe+Mn	AL
Łobez	*glebowa soil water	0,405	0,037	0,097	0,027	0,709	0,156	0,104	0,016	0,179
Szklarska Poręba	*glebowa soil water	0,371	0,086	0,051	0,059	0,241	0,088	0,100	0,008	0,287
Augustów	*glebowa soil water	0,284	0,065	0,069	0,007	0,235	0,064	0,056	0,004	0,016
Krzystkowice	*glebowa soil water	0,439	0,019	0,063	0,074	0,529	0,155	0,161	0,039	0,280
Augustów	gruntowa subsoil water	1,093	0,084	0,137	0,000	5,212	0,281	0,180	0,007	0,005
Łobez	gruntowa subsoil water	4,138	0,118	0,208	0,000	9,226	0,695	0,104	0,019	0,074
Augustów	rzeczna fluvial	0,311	0,033	0,060	0,000	2,670	0,118	0,046	0,028	0,004
Szklarska Poręba	rzeczna fluvial	0,396	0,077	0,044	0,053	0,328	0,133	0,088	0,010	0,078

* dane z półroczy letnich

* data from summer half-year

Tabela 5
Table 5Wybrane charakterystyki chemiczne wód glebowych
Chosen chemical characteristics of soil water

Powierzchnia badawcza Experimental plot	Gatunek gleb Soil type	Nr lizymetru No of lysimeter	Rodzaj stężenia Concentration*	pH	Ca	Al	N-NH ₄	N-NH ₃	S-SO ₄	Wskaźnik K K index
					µmol/l					
Łobez	piaski luźne light sand	1–10	min.	3,52	48,68	0,13	5,48	00,0	55,31	0,121
			śred.	5,07	369,88	52,74	87,55	41,36	277,39	
			maks.	7,97	2008,5	219,9	649,4	551,5	906,25	
Szklarska Poręba	glina pyłowa dust clay	1–6	min.	3,44	2,52	1,48	10,41	0,00	26,46	1,901
			śred.	4,03	37,65	105,4	90,02	82,51	169,21	
			maks.	4,81	205,59	195,0	223,9	485,0	530,63	
		7–10	min.	3,98	56,14	1,87	17,49	8,06	46,35	0,325
			śred.	4,20	147,72	66,47	91,60	88,34	234,39	
			maks.	5,67	454,09	141,3	277,8	4855,0	576,44	
Augustów	piaski luźne light sand		min.	4,35	32,19	2,16	7,22	0,00	39,90	0,11
			śred.	5,41	112,40	14,91	58,26	47,83	132,95	
			maks.	6,84	239,77	50,43	131,7	556,5	309,92	
			min.	0,00	69,61	0,00	5,56	0,00	46,56	0,014
			śred.	5,84	109,82	1,79	59,59	23,18	177,56	
			maks.	7,54	176,6	7,20	178,9	210,3	587,81	
Krzystkowo	piaski luźne light sand		min.	3,91	119,26	1,05	3,33	0,00	44,79	0,271
			śred.	4,56	274,36	92,24	237,5	24,71	283,33	
			maks.	6,51	770,48	240,3	1104	306,0	1206,8	

* concentration minimum, average and maximum

4. Dyskusja wyników

Wyniki dwuletnich badań przepływu jonów w ekosystemach lasów świerkowych i sosnowych nie upoważniają do jednoznacznej oceny wielkości ogólnego poziomu depozytu, a raczej stanowią przesłankę do stwierdzenia jego zróżnicowania w poszczególnych regionach badań. Duże amplitudy miesięcznych, sezonowych i rocznych wartości ładunków jonów spowodowane były zmiennością w czasie m.in. przychodu opadów atmosferycznych, roczną cyklicznością skażeń i sezonową aktywnością biologiczną drzew, stanem zasobów wodnych gleby i wilgotnością powietrza atmosferycznego. Ponieważ na aktualny stan ekosystemu

mają wpływ długofalowe procesy, przy analizie oddziaływania antropopresji na ekosystemy leśne, uzyskane wielkości przychodu składników chcemy traktować jako wskaźnikowe.

Dla obiegu składników chemicznych w przyrodzie decydujące znaczenie mają warunki hydrologiczne. Na terenach nizinnych o głębokim poziomie wody gruntowej, porośniętych lasem, odpływ powierzchniowy jest związany ze spływami wczesnowiosennymi przypadającymi na okres zamarznięcia pokrywy glebowej. Z taką sytuacją mamy do czynienia w Augustowie (TYSZKA 1990), gdzie odpływ całkowity ze zlewni Święty Jan wynosił 10% opadu rocznego, a odpływ wody z ekosystemu odbywa się z dużym udziałem odpływu gruntowego. W przypadku zlewni górskiej rzeki Czerniawki, w której znajduje się powierzchnia badawcza Szklarska Poręba, odpływ rzeczny przy pływających i bardziej zwięzłych glebach i dużych spadkach terenu ($i=28\%$) stanowi około 70% opadów i jest zdominowany przez spływ powierzchniowy wody (KUCHARSKA i in. 1994).

Ekosystem leśny modyfikuje ilość i skład chemiczny wód w procesach ich przepływu w zlewni — od przemywania w koronach drzew, poprzez infiltrację przez warstwę glebową, do wody gruntowej i odpływu rzecznej. I tak np. w drzewostanach sosnowych spływ wody po pniu jest większy aniżeli w litych świerczynach, co może wynikać z pokroju i gęstości korony, stopnia gładkości kory pnia. Woda spływająca po pniu przenika do głębszych poziomów glebowych aniżeli opad podokapowy, zasilając zasoby wody glebowej w obrębie korzenia palowego (TYSZKA 1995, HANSEN 1994). W warunkach niezakłóconego funkcjonowania fitocenozy drzewostany wpływają na zrównoważenie obiegu materii, a wpływ zmian antropogenicznych do pewnych granic buforowany jest przez własności sorpcyjne gleb. Uwidacznia się to zróżnicowaniem intensywności wymywania Ca. Środowisko gleb leśnych, o ile nie została wyczerpana ich pojemność sorpcyjna, ma duże zdolności neutralizowania „kwaśnych” opadów. W warunkach naturalnych stężenie soli w roztworze glebowym jest większe aniżeli w opadzie atmosferycznym dochodzącym do dna lasu z tym, że w roztworze glebowym występują głównie jony Ca i Mg (Łobez, Augustów). W przypadku gleb mało zasobnych w wapń i magnez do roztworu przechodzą, w procesie neutralizacji kwaśnego depozytu, przede wszystkim jony Al, Fe, Mn (OSTROWSKA i in. 1994). Z taką sytuacją mamy obecnie do czynienia na obszarze Sudetów.

Wzrostowi przychodu substancji obcego pochodzenia towarzyszy wiele procesów, w przebiegu których las odgrywa rolę ochronną ze względu na:

- filtrowanie powietrza atmosferycznego z pyłów, aerozoli i „kwaśnych” mgieł;
- przyswajanie substancji obcego pochodzenia przez korony drzew, sorbowanie ich z roztworów glebowych i wbudowywanie w tkanki roślinne oraz gromadzenie w ściółce leśnej;

— akumulację zanieczyszczeń w terenach leśnych dzięki własnościom rencyjnym gleb leśnych. Wprowadzanie z wodą do profilu glebowego i gruntowego substancji obcego pochodzenia przyczynia się do ograniczania zanieczyszczenia otwartych wód powierzchniowych.

Ujemnymi przejawami oddziaływania lasu są:

— obniżanie, szczególnie przez drzewostany świerkowe, pH wód opadowych, co prowadzi do zubożenia potencjalnej żyzności siedliska;

— zwiększanie dopływu kwaśnego depozytu do dna lasu, co powoduje przy dużych okresowych stężeniach lub długotrwałym działaniu anionów zakwaszających (głównie SO_4 , NO_3 i Cl) procesy erozji chemicznej, a następnie erozji mechanicznej gleb (KUCHARSKA i in. 1995).

W wyniku tych przeciwstawnych oddziaływań lasu reakcją na wzrost skażeń atmosfery i zwiększającą się zawartość CO_2 może być przyrost masy organicznej przy jednoczesnym obniżeniu odporności drzewostanów na stresy. Wtórny następstwem ponadkrytycznych kwaśnych opadów jest ograniczenie produktywności siedliska i osłabienie struktury gleb w wyniku wymywania składników mineralnych. Niepokojącym tego objawem jest odpływ poza ekosystemy zwiększonych ponad tło hydrochemiczne ilości SO_4 , NO_3 , Na, K (zubożający ekosystem), ale przede wszystkim toksyczne oddziaływanie na drzewostany uwalnianych kationów H i Al. Z taką sytuacją mamy do czynienia w Szklarskiej Porębie, gdzie wartość współczynnika k_{kr} w roztworze wodnym gleby poziomu B wynosi 1,9 (SKOTTE 1995).

W glebach średnio zwięzłych proces erozji gleb leśnych i ich degradacja zachodzą w różnym tempie, zależnym od ich własności fizyczno-wodnych i sorpcyjnych. W przypadku gleb lekkich ich degradacja zależy również od lokalnych warunków w zróżnicowanej strukturze drzewostanowej i jest mniejsza w lukach drzewostanów, a większa pod okapem drzew. Obumieranie drzew i zamiana roślinności drzewiastej na zielną, o ile nie wiąże się to ze stratami erozyjnymi odkrytej pokrywy glebowej, stanowi okoliczność sprzyjającą odbudowaniu zachwianych proporcji substancji chemicznych i spowolnieniu procesu wymywania substancji mineralnych w glebie (KUCHARSKA i in. 1995). Wypadanie drzewostanów w warunkach silnych skażeń wiąże się z relatywnie gorszym stanem skażenia atmosfery (nie oczyszczonej przez las), co naraża sąsiednie ekosystemy na jej wpływ.

5. WNIOSKI I STWIERDZENIA KOŃCOWE

Zróżnicowanie dopływu depozytu mokrego do poszczególnych powierzchni w głównej mierze związane było z odmiennymi cyklami opadów atmosferycznych i zanieczyszczeniem wody opadowej w południowo-zachodniej Polsce.

W Szklarskiej Porębie w depozycie mokrym dominowały jony SO_4 , tak że wody opadowe przez cały okres badań miały $\text{pH} < 4,7$. Na pozostałych powierzchniach równie kwaśne były opady jedynie w półroczach zimowych.

Na powierzchniach o dużym skażeniu z koron drzew były wymywane m.in. zwiększone ilości H, K, Mn, SO_4 , Na (w porównaniu z przychodem depozytu mokrego), a na powierzchniach o małym skażeniu — Ca i Mg.

O stanie braku równowagi w ekosystemie można wnioskować na podstawie składu jonowego wody glebowej pobieranej spod systemu korzeniowego drzewostanów. Jako najbardziej zagrożony destabilizacją, spośród badanych, należy uznać drzewostan świerkowy w Szklarskiej Porębie, o czym świadczy duża zawartość w wodzie glebowej jonów H i Al.

Poza ekosystemy wymywane były przede wszystkim jony Ca i Mg (buforujące kwaśne składniki w opadzie), a na obszarach skażonych także SO_4 , Al i NO_3 .

Praca została przyjęta przez Komitet Redakcyjny 20 sierpnia 1997 r.

FLOW OF IONS THROUGH ECOSYSTEMS OF SPRUCE AND PINE FORESTS UNDER DIFFERENT CONDITIONS OF ENVIRONMENTAL CONTAMINATION

Summary

In order to evaluate the state of matter cycling within the forest ecosystem, the research on the quantity and quality of water circled in conifer ecosystems was carried out. On two plots with pine and two with spruce situated in contrast conditions of acid deposition input the quantitative and qualitative water parameters including: precipitation receipts, penetration through crowns, flow on tree trunks, infiltration through the soil to ground water and to the river outflow, were measured. Every month measurements included the following physico-chemical features of the water: volume, soil acidity, electrolic conductivity and concentration of PO_4 , NO_3 , Cl, H, Ca, Mg, Na, K, NH_4 , Fe, Mn, Al ions. Chemical contents of water in particular phases of the translocation within ecosystem was balanced; what indicated significant role for chemical transformations of water of following factors: the level of air pollution, species composition and stand structure, forming of water resources, type and sorbtion properties of the soil.

Water conditions were differentiated on particular experimental plots and were changing during investigation period. The precipitation ranged from 490 mm to 1192 mm per year with low share of winter precipitation. Average interception in pine stands amounted 6 and 32% but in spruce stands 24 and 40%. On three plots situated in lowland areas the level of groundwater was under the range of tree roots. Input of acid deposit was dominated by SO_4 ions of which the biggest and most even charges originated from the Sudety Mts. In lowland objects the winter deposit overbalanced the summer one. The share of wet deposit in total input on every investigated plot and nearly for all elements exceeded 70%. The H, SO_4 and Mn ions were intensively washed out from tree crowns. Deposit of Ca, Mg, Na, and K under

stands canopy in the zone of low contamination was higher than input coming with precipitation. Forest stands accumulated first of all ions of nitrate and ammonium. The quantity of substances which reached the spruce forest floor was clearly higher in tree surroundings than in stand gaps, what influenced on the chemical contents of the soil water and reflected local differentiation in degradation state of light soil.

Ca, SO₄, Na and Mg ions were washed out beyond tree root zone as well as Al, Mn and K ions on the plots with their high deposition. The biggest index $k_{kr} > 2$ (calculated as ratio $Al \times (Ca + Mg)^{-1}$), was found for the Sudety Mts. — the area where pH of soil water in summer period amounted around 4,3. Intensive washing out of Ca and Mg ions and on contaminated areas additionally SO₄, Al and NO₃, outside of basin terrain, was stated.

Water contamination in ecosystems corresponded well with the condition of stands, indicating the highest danger on experimental plots located in south-western Poland.

(transl. by T. O.)

LITERATURA

- ADAMSKI L., WAWRZONIAK J. 1997: Zanieczyszczenie powietrza w czterech wybranych regionach Polski. *Prace Inst. Bad. Leś., Ser. A*, 863: 5–34.
- CIEPIEŁOWSKI A. 1996: Trendy zmian okresowych zasobów wodnych i wybranych elementów klimatu. *Przegl. Nauk. Wydz. Mel. i Inż. Środ. z.* 10.
- CIEPIEŁOWSKI A., DUNIKOWSKI S., ZAJĄCZKOWSKI S. 1993: Analiza porównawcza kształtowania się warunków klimatycznych i wodnych w okresie dwóch ostatnich dziesięcioleci i wpływ zachodzących zmian na stan lasów. *Dok. nauk Inst. Bad. Leś. Warszawa.*
- ČERNÝ J., PAČES T. 1995: Acidification in the Black Triangle Region. Czech Geological Survey, Prague.
- GRODZIĘSKA K., LASKOWSKI R. 1996: Ocena stanu środowiska i procesów zachodzących w lasach zlewni potoku Ratanica. *PIOŚ, Warszawa.*
- HANSEN K. 1994: Throughfall and canopy interaction in spruce forest. *Forskningsserien Nr 8. Danish Forest and Landscape Research Inst., Lyngby.*
- KLIMO E. 1992: Cycling of elements in the ecosystem of spruce monoculture. Man made spruce ecosystem. *Raport from project Rajec. Brno.*
- KUCHARSKA K., WOŹNIAK Z. 1994: Kształtowanie się odpływu w zlewniach sudeckich pod wpływem wieloobszarowych wylesień. *Prace Inst. Bad. Leś. Ser. B*, 21.
- KUCHARSKA K., CIEPIEŁOWSKI A., TYSZKA J., LASKOWSKI L., WOŹNIAK Z. 1995: Wpływ wylesień na ilość i jakość odpływu wód z małych zlewni sudeckich. *Prace Inst. Bad. Leś. Ser. B*, 25: 43–72.
- MATZNER E. 1986: Deposition/canopy interactions in two forest ecosystems of Northwest Germany. *Atmospheric Pollutions in Forest Areas. D. Reidel Publ. Comp.*
- Manual for input to the ECE/IM Data Bank National Board of waters and environment. 1987 Finland.
- MUSIEROWICZ A., ŚWIĘCICKI Cz., HAMNY J. 1955: Niektóre właściwości ważniejszych gleb terenów nizinnych i wyżynnych Polski. *Rocznik Gleboznawczy t. 4.*
- OSTROWSKA A., GAWLIŃSKI S., SIENKIEWICZ J., PORĘBSKA G. 1994: Ocena chemizmu wód opadowych, powierzchniowych i glebowych na tle badań w stacji kompleksowego monitoringu Puszcza Borecka. *PIOŚ, Warszawa.*
- RODHE H., GRENNFELT P., WISNIEWSKI J., GREN C., BENGTSSON G., JOHANSSON K., KAUPPI P., KUCERA V., RASMUSSEN L., ROSSELAND B., SCHOTTE L. I SELDÉN G. 1995: Acid Reign'95? Conference summary statement. *Water, Air and Soil Pollut* 85: 1-14.
- SKOTTE G. C. 1995: Virkonger av sur nedbør på jordog vannkjemi i tre polske nedbørfelter. *Hoved fagsoppgave i miljøkjemi Kjemisk institutt, Avd C Universitetet i Oslo, Oslo: 1–122.*

- SZOŁTYK G., WÓJCIK J. 1997: Fizyczne i fizyko-chemiczne właściwości gleb leśnych na powierzchniach badawczych Augustów, Krzystkowice, Łobez i Szklarska Poręba. *Prace Inst. Bad. Leś., Ser. A*, 865: 59–73.
- TWAROWSKI R., GENDOLLA T. 1994: Zmienność powierzchniowego obciążenia obszaru Karkonoszy zanieczyszczeniami wnoszonymi przez opady atmosferyczne. *Prace Inst. Bad. Leś. Ser. B*, 21/1.
- TYSZKA J. 1990: Wpływ lasu na obieg zanieczyszczeń w zlewni rzecznej w różnych warunkach skażenia środowiska. *Dok. Inst. Bad. Leś., Warszawa*.
- TYSZKA J., KUCHARSKA K., WAWRZONIAK T. 1995: Zmiany składu chemicznego wody opadowej w drzewostanach sosnowych i świerkowych w różnych strefach skażeń. *Prace Inst. Bad. Leś. Ser. B*, 24.
- VOGT R., GODZIK S., KOTOWSKI M., NIKLIŃSKA M., PAWIOWSKI L., SEIP H., SIENKIEWICZ J., SKOTTE G., STASZEWSKI T., SZAREK G., TYSZKA J. 1994: Soil, soil water and stream water chemistry at some Polish sites with varying acid deposition. *J. Ecol. Chem.* 3: 325-356.
- WAWRZONIAK J., MALACHOWSKA J., WÓJCIK J., LIWIŃSKA A. 1996: Stan uszkodzeń lasów w Polsce w 1995 r. na podstawie badań monitoringowych. *PIOŚ*.
- WOŹNIAK Z. 1975: Próba określenia wody z osadów w bilansie wodnym północnych stoków Karkonoszy. *Post. Nauk Roln.*, 162.