

STEFAN BIALOBOK

WPLYW KWAŚNYCH OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH NA DRZEWA I LASY*

Nazwę „kwaśny deszcz” (acid rain) tak bardzo obecnie popularną zaproponował R. A. Smith już w 1852 r. i wykorzystał w opisie zmian chemicznych deszczu w Manchester w Anglii. Opisał on 3 typy składników zanieczyszczonego powietrza zawierające: 1) węglan amonu — z dala od tego miasta, 2) siarczan amonu — na jego przedmieściach i kwas siarkowy — w powietrzu ponad miastem (Garfield 1985). Dotychczas nazwa ta jest powszechnie wykorzystywana nie tylko w publikacjach naukowych na ten temat, ale również i w prasie codziennej. Zjawisko to związane jest ze zmianą pH wody deszczowej, które normalnie wynosi 5,6 i jest regulowane zawartością CO_2 w atmosferze. Obecnie jednak wiemy, że pojęcie to jest zbyt zawężone, gdyż oprócz kwaśnego deszczu mogą występować również i inne kwaśne opady atmosferyczne jak: mżawka, różne typy mgieł, śnieg, krupy śnieżne, śnieg ziarnisty i grad. Istnieją przeto powody, by używać obecnie określenia kwaśne opady atmosferyczne. Jednak Garfield (1985) wyjaśnia dlaczego pojęcie kwaśnego deszczu, po ponad 100 latach, stało się znowu aktualne i z jakich powodów. Bybee według Garfielda (1985) w publikacji, w której analizuje przyczyny powstania pojęcia „kwaśny deszcz” uważa, że ma ono związek z „rewolucją przemysłową”. Coraz bardziej rosnące emisje zanieczyszczeń powietrza przez wielki rozwój przemysłu wpłynęły na zwiększenie się kwasowości deszczu, która niekiedy dochodzi do 3,0 pH, a osiąga też i niższe war-

* Na podobny temat autor napisał w połowie 1985 r. artykuł do czasopisma Kosmos na zamówienie Redakcji.

tości dorównując odczynowi słabego octu (Garfield 1985). Sam termin „kwaśny deszcz” wiąże się też z pojęciem „katastrofy chemicznej”, co nie powinno nas dziwić, gdyż termin ten został, jak podaje Garfield (1985), wymyślony przez chemika. Jednak jeśli wziąć pod uwagę ogromne zniszczenie lasów w Norwegii i Europie środkowej, na skutek oddziaływania na nie kwaśnego deszczu, to groźba tego zjawiska nie wydaje się przesadzona.

Literatura dotycząca kwaśnego deszczu jest w państwach o rozwiniętym wielkim przemyśle ciężkim bardzo obszerna, ale niestety nie w Polsce, chociaż na temat kwaśnych opadów i ich szkodliwym wpływie na drzewa i glebę pisał już Łuczkiewicz (1922). Tematykę dotyczącą kwaśnych deszczy Garfield (1985) dzieli na dwie grupy, które dotyczą: 1) definicji i źródeł powstania szkodliwych efektów tych opadów na organizm roślinny i zwierzęcy, ekosystemy i społeczeństwa ludzkie, 2) oceny jak ludzie dostrzegają ten problem i jak go rozwiązać, ponieważ wkracza on w różnej formie do wielu dziedzin życia społecznego.

W związku ze szkodliwą rolą „kwaśnych deszczy” w przyrodzie i środowisku życia człowieka powstały programy badawcze dla wyjaśnienia i oceny tego groźnego zjawiska. Na podkreślenie zasługuje w tym przypadku raport opracowany w Szwecji w 1968 r. przez Odena według Garfielda (1985) w którym zostały ocenione w Skandynawii szkodliwe skutki zwiększonej kwasowości opadów deszczowych, na zespoły leśne i zbiorniki wodne. Gruntowną analizę problematyki kwaśnego deszczu przedstawił też Samson według Garfielda (1985), który poza analizą procesu powstawania kwaśnego deszczu i wpływu nań warunków atmosferycznych, omawia mechanizmy przenoszenia się jego na wielkie odległości sięgające setek i tysięcy kilometrów. Powoduje to, że zjawisko to coraz bardziej nabiera ogólnoeconomicznego i politycznego znaczenia, jak np. w RFN i mającego wpływ na stosunku międzynarodowe.

W związku z procesem zamierania lasów, jaki jest obserwowany prawie w całej Europie w różnym nasileniu, problem kwaśnych deszczy jest szczególnie intensywnie badany w RFN (Ulrich 1984). Tam bowiem, za jedną z głównych przyczyn zamierania lasów uważa się zmiany w chemizmie gleb powodowane przez kwaśne deszcze.

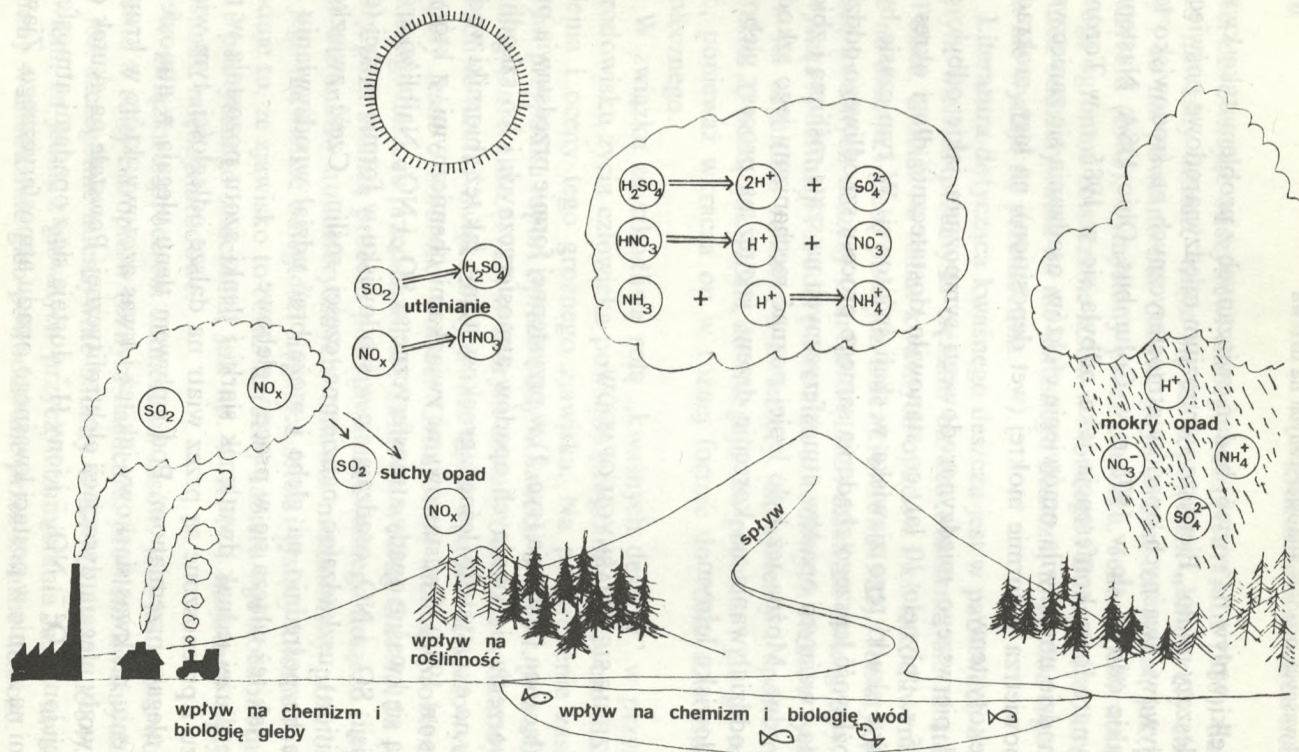
Wielki wpływ na rozwój badań związanych z problematyką kwaśnych deszczy miało „Pierwsze sympozjum międzynarodowe poświęcone wpływowi kwaśnych opadów atmosferycznych na środowisko leśne”, jakie odbyło się w 1975 r. w Columbus, Ohio USA. Następna międzynarodowa konferencja jaka odbyła się w 1985 r. w Toronto w Kanadzie umożliwiła omówienie efektów osadzania się zanieczyszczeń powietrza w formie mokrej (wet deposition), na lasy, mokradła i agroekosystemy.

Od pierwszego międzynarodowego sympozjum jakie odbyło się w 1975 r. upłynęło 10 lat, co stanowiło dostatecznie długi okres by rozważyć skutki tego zjawiska w skali światowej. W tym czasie była też możliwość lepszego zbadania samego procesu szkodliwego oddziaływania kwaśnych opadów atmosferycznych na szatę roślinną i zbiorniki wodne. Można też było lepiej poznać mechanizmy jego szkodliwego oddziaływania na korzenie drzew, jak też na procesy glebowe w środowisku leśnym.

TWORZENIE SIĘ KWAŚNYCH OPADÓW

Załączona ilustracja (ryc. 1) w przystępnej formie przedstawia proces tworzenia się kwaśnych opadów atmosferycznych i ich szkodliwy wpływ na ekosystemy leśne, agroekosystemy, jak też zbiorniki wodne (Persson 1982). Podstawowymi związkami chemicznymi, z których tworzą się kwaśne opady atmosferyczne są SO_2 i NO_x . Najbliżej źródła emisji, SO_2 i NO_x osadzają się w środowisku w formie suchej (dry deposition) uszkadzając nadziemne części roślin. Część związków osiada bezpośrednio na glebę i może brać udział w odżywianiu się roślin, jak też włącza się w procesy glebowe.

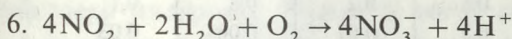
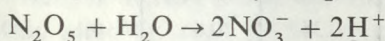
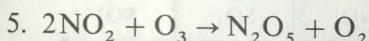
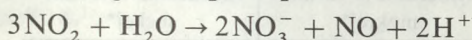
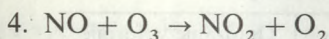
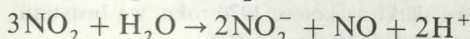
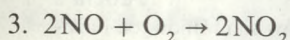
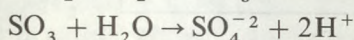
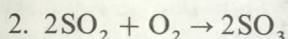
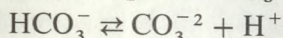
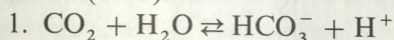
Im dłużej jednak dwutlenek siarki i tlenki azotu pozostają w powietrzu i przenoszone są przez wiatr na dalsze odległości, tym większym ulegają przemianom. Pod wpływem tlenu ulegają w atmosferze utlenieniu na kwas siarkowy jak też i kwas azotowy, które w kropelkach wody ulegają dysocjacji elektrolitycznej. Powstałe na skutek dysocjacji jony SO_4^{2-} , NO_3^- i jony H^+ dostają się z opadami atmosferycznymi na ziemię w postaci kwaśnego opadu atmosferycznego. Zjawis-



Ryc. 1. Schematyczny rysunek dotyczący tworzenia się suchego i mokrego opadu atmosferycznego i ich wpływu na środowisko. Na podstawie Persson (1982) opracował mgr J. Dolatowski <http://rcin.org.pl>

ko to nazywamy osadzaniem się tych związków chemicznych w formie mokrej (wet deposition) (Persson 1982). Pewna ich ilość zostaje neutralizowana przez związki amonowe, znajdujące się w powietrzu lub przez związki wapnia pochodzące z pyłów unoszących się w powietrzu emitowanych przez wielkie zakłady przemysłowe.

Przebieg tych reakcji jakie zachodzą w powietrzu przy tworzeniu się kwaśnych opadów atmosferycznych podano poniżej według Vermeulena (1979).



Szybkość przebiegu tych reakcji jak też ilościowy wzajemny stosunek powstałych poszczególnych związków w powietrzu, będących wynikiem tych reakcji, zależy od składu chemicznego powietrza zanieczyszczonego produktami emisji i ich stężenia. Reakcje te mogą trwać w atmosferze od kilku do wielu godzin (Vermeulen 1979).

Skład chemiczny kwaśnych opadów deszczowych jest nader złożony, jak wynika to z badań wykonanych w południowej Szwecji (Persson 1982) (tab. 1).

Stężenie SO_2 i NO_x w atmosferze na półkuli północnej jest najwyższe w zimie, a najniższe w lecie. Sezonowe i dobowe stężenia tych związków w powietrzu mogą ulegać znacznym wahaniom w zależności od przebiegu warunków pogody i oddalenia od źródeł emisji.

W okresie letnim cząsteczki gazów SO_2 i NO_x szybciej niż zimą

Tabela 1

Typowy skład chemiczny wody deszczowej w południowej Szwecji w połowie 1970 r. (Persson 1982)

Jony	Stężenie w mikrorównoważnikach na litr
H ⁺	52
SO ₄ ²⁻	70
NO ₃ ⁻	31
NH ₄ ⁺	31
Cl ⁻	18
Na ⁺	15
Ca ²⁺	14
Mg ²⁺	8
K ⁺	3

Tabela 2

Przybliżone wartości rocznego osadzania jonów siarczanowych i azotanowych oraz dwutlenku siarki na koniec 1970 roku, wg Instytutu Meteorologicznego w Sztokholmie (Persson 1982)

	Osadzanie w formie mokrej*		Osadzanie w formie suchej*	
	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	SO ₂	SO ₄ ²⁻
Szwecja południowa	1	0,35	0,6	0,1
Szwecja środkowa	0,6	0,2	0,3	0,1
Szwecja północna	0,3	0,07	0,06	0,03

* Jednostka: gramy siarki/azotu × m⁻² × rok⁻¹

Tabela 3

Zmiany w stężeniu siarczanów i azotanów w opadach, w Szwecji południowej w różnych latach. Każda liczba jest średnią rocznej wartości z 5 lat, z 15 stacji (Persson 1982)

Jony	1955—59	1960—64	1965—69	1970—74	1975—79
SO ₄ ²⁻	55	90	90	90	85
NO ₃ ⁻	15	20	25	35	40

Jednostka: w mikrorównoważnikach na litr

ulegają rozproszeniu. Łączą się z cząsteczkami pyłów, zostają utlenione lub łączą się z innymi substancjami gazowymi (Maj, Rejman-Czajkowska 1980).

Przykład osadzania się różnych ilości jonów siarczanowych i azotanowych oraz SO_2 w formie suchej i mokrej w zależności od odległości źródeł emisji podano w tabeli 2 i dotyczą Szwecji. Z danych tych wynika, że znacznie wyższy jest udział oddziaływania na środowisko tlenków siarki i tlenków azotu w formie mokrej niż suchej, co stwarza duże zagrożenie tej formy zanieczyszczeń powietrza dla szaty roślinnej. Rośnie coraz bardziej w zanieczyszczeniach powietrza udział tlenków azotu, a maleje zawartość tlenków siarki. Wynika to wyraźnie z badań składu powietrza (od 1955 do 1979) w południowej Szwecji. Niepokojące jest przeto szybkie tempo wzrostu tlenków azotu w powietrzu (Persson 1982) (tab. 3).

ROZPRZESTRZENIANIE SIĘ ZANIECZYSZCZEŃ PRZEMYSŁOWYCH W POWIETRZU

Dwutlenek siarki i tlenki azotu, z których głównie powstają kwaśne opady atmosferyczne pochodzą z emisji krajowej, jak też z transgranicznego transportu. Wysokość emisji zanieczyszczeń przemysłowych powietrza w Polsce przedstawiono w tej Monografii w publikacji Białoboka (1988 tab. 1, 2, 3, 1984). Dane dotyczące bilansu emisji i absorpcji siarki w krajach europejskich cytowano według Latochy (1985), (tab. 4). Na rycinie 2 przedstawiono też średni miesięczny opad siarki w Europie w $\mu\text{g} \times \text{m}^{-2}$. Z materiałów tych jest widoczne, jak wielkie ilości siarki przenoszone są do nas. Dane te mają charakter orientacyjny, gdyż metody ich zbierania są jeszcze niezbyt precyzyjne.

Ze względu na przewagę u nas wiatrów zachodnich jak też południowo-zachodnich, z którymi są związane deszczowe układy pogodowe znacznie większe ilości siarki są do nas importowane z zachodniej Europy jak eksportowane do niej. Poza Czechosłowacją i NRD największymi emitarami do nas siarki jest RFN — 74 tys. t, Wielka Brytania (Irlandia) — 26 tys. t, Węgry 32 tys. t oraz Jugosławia 19 tys. t.

Tabela 1

Typowy skład chemiczny wody deszczowej w południowej Szwecji w połowie 1970 r. (Persson 1982)

Jony	Stężenie w mikrorównoważnikach na litr
H ⁺	52
SO ₄ ²⁻	70
NO ₃ ⁻	31
NH ₄ ⁺	31
Cl ⁻	18
Na ⁺	15
Ca ²⁺	14
Mg ²⁺	8
K ⁺	3

Tabela 2

Przybliżone wartości rocznego osadzania jonów siarczanowych i azotanowych oraz dwutlenku siarki na koniec 1970 roku, wg Instytutu Meteorologicznego w Sztokholmie (Persson 1982)

	Osadzanie w formie mokrej*		Osadzanie w formie suchej*	
	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	SO ₂	SO ₄ ²⁻
Szwecja południowa	1	0,35	0,6	0,1
Szwecja środkowa	0,6	0,2	0,3	0,1
Szwecja północna	0,3	0,07	0,06	0,03

* Jednostka: gramy siarki/azotu × m⁻² × rok⁻¹

Tabela 3

Zmiany w stężeniu siarczanów i azotanów w opadach, w Szwecji południowej w różnych latach. Każda liczba jest średnią rocznej wartości z 5 lat, z 15 stacji (Persson 1982)

Jony	1955—59	1960—64	1965—69	1970—74	1975—79
SO ₄ ²⁻	55	90	90	90	85
NO ₃ ⁻	15	20	25	35	40

Jednostka: w mikrorównoważnikach na litr

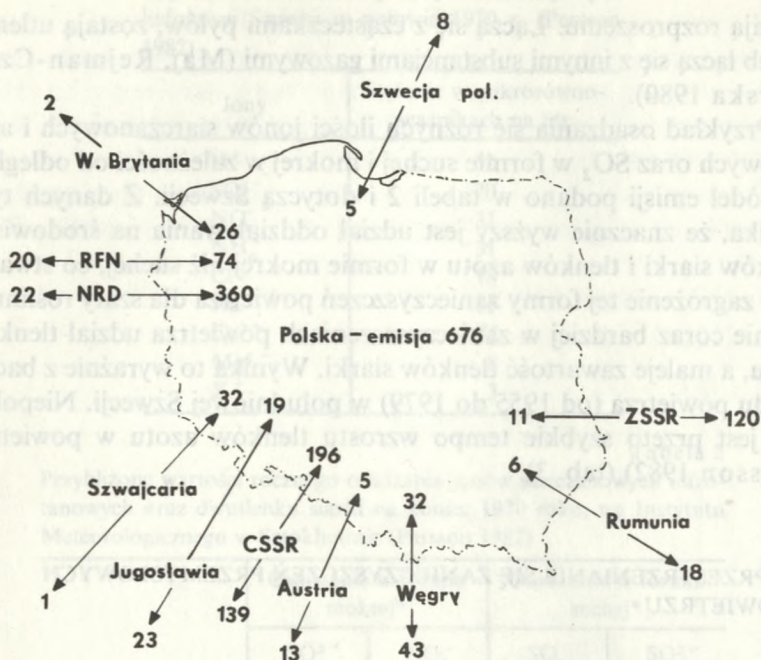
ulegają rozproszeniu. Łączą się z cząsteczkami pyłów, zostają utlenione lub łączą się z innymi substancjami gazowymi (Maj, Rejman-Czajkowska 1980).

Przykład osadzania się różnych ilości jonów siarczanowych i azotanowych oraz SO_2 w formie suchej i mokrej w zależności od odległości źródeł emisji podano w tabeli 2 i dotyczą Szwecji. Z danych tych wynika, że znacznie wyższy jest udział oddziaływania na środowisko tlenków siarki i tlenków azotu w formie mokrej niż suchej, co stwarza duże zagrożenie tej formy zanieczyszczeń powietrza dla szaty roślinnej. Rośnie coraz bardziej w zanieczyszczeniach powietrza udział tlenków azotu, a maleje zawartość tlenków siarki. Wynika to wyraźnie z badań składu powietrza (od 1955 do 1979) w południowej Szwecji. Niepokojące jest przeto szybkie tempo wzrostu tlenków azotu w powietrzu (Persson 1982) (tab. 3).

ROZPRZESTRZENIANIE SIĘ ZANIECZYSZCZEŃ PRZEMYSŁOWYCH W POWIETRZU

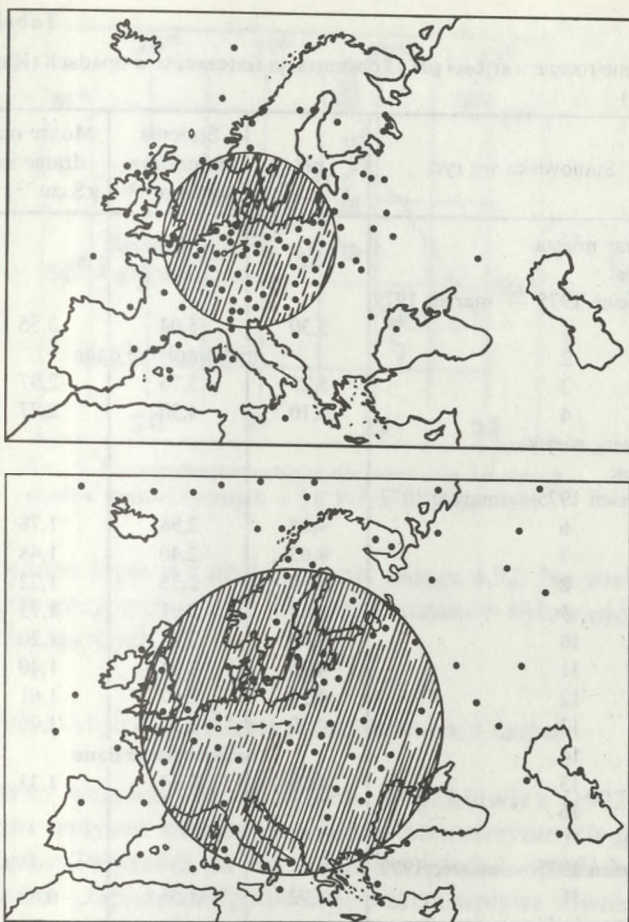
Dwutlenek siarki i tlenki azotu, z których głównie powstają kwaśne opady atmosferyczne pochodzą z emisji krajowej, jak też z transgranicznego transportu. Wysokość emisji zanieczyszczeń przemysłowych powietrza w Polsce przedstawiono w tej Monografii w publikacji Białoboka (1988 tab. 1, 2, 3, 1984). Dane dotyczące bilansu emisji i absorpcji siarki w krajach europejskich cytowano według Latochy (1985), (tab. 4). Na rycinie 2 przedstawiono też średni miesięczny opad siarki w Europie w $\mu\text{g} \times \text{m}^{-2}$. Z materiałów tych jest widoczne, jak wielkie ilości siarki przenoszone są do nas. Dane te mają charakter orientacyjny, gdyż metody ich zbierania są jeszcze niezbyt precyzyjne.

Ze względu na przewagę u nas wiatrów zachodnich jak też południowo-zachodnich, z którymi są związane deszczowe układy pogodowe znacznie większe ilości siarki są do nas importowane z zachodniej Europy jak eksportowane do niej. Poza Czechosłowacją i NRD największymi emitorami do nas siarki jest RFN — 74 tys. t, Wielka Brytania (Irlandia) — 26 tys. t, Węgry 32 tys. t oraz Jugosławia 19 tys. t.



Ryc. 2. Emisja i absorpcja siarki w 1978 r. w tys. ton (Polska) (wg Latochy 1985)

Szybkość przenoszenia się emitowanych gazowych zanieczyszczeń powietrza w Europie jest bardzo duża. Przejrzyście obrazują to zjawisko dwie załączone ryciny 3, 4. Jeśli przyjąć teoretycznie, że z RFN została emitowana „porcja powietrza”, to dzięki panującym wiatrom już po 24 godzinach ta porcja gazu dotrze do punktów objętym mniejszym kołem (ryc. 3). Jednak po 60 godzinach jej zasięg obejmie znacznie większą część Europy (ryc. 4). W Polsce pomiary pH kwaśnych opadów atmosferycznych dokonywane są przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej na Śnieżce i w Suwałkach (Hryniiewicz według Chudzyńskiej 1985). Według tych danych pH opadów na około 1/3 powierzchni naszego kraju wynosi około 4,1, natomiast na 2/3 jego powierzchni osiąga ono około 4,3. Nie są znane bliższe dane na ten temat, gdyż nie zamieszcza ich GUS (1984).



Ryc. 3 i 4. Przemieszczanie się gazowych zanieczyszczeń powietrza pod wpływem wiatru. Pozycja teoretycznie przyjętej „porcji powietrza” po 24 godzinach (u góry), po 60 godzinach (u dołu), która jak się przyjmuje została wypuszczona w RFN. Obliczenia były dokonywane co trzeci dzień w czasie jednego roku. Duże koło nakreślono wokół średniej pozycji wszystkich punktów i obejmuje ich 50% (Rodhe według Persson 1982)

Wyczerpująco opracowane obserwacje z tego zakresu podaje jedynie Kasina (1980) (tab. 4, ryc. 5). Dane te dotyczące kwaśnych opadów atmosferycznych odnoszą się jedynie do Polski południowej i do-

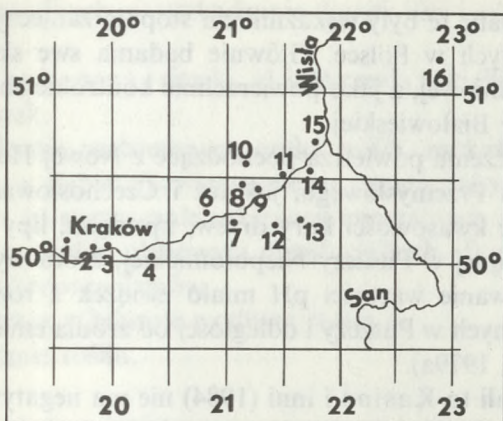
Tabela 4

Średnie roczne wartości pH i koncentracja siarczanów w opadach (Kasina 1980)

Stanowiska wg ryc.	pH	Stężenie siarczanów $\mu\text{g S}\cdot\text{cm}^{-3}$	Mokre osadzanie się $\text{g S}\cdot\text{cm}^{-2}\text{ r}^{-1}$
Obszar miasta			
Okres: kwiecień 1975 — marzec 1979			
1	5,30	5,04	3,55
2		niekompletne dane	
3	5,25	5,76	2,97
4	5,10	4,30	2,77
Obszary wiejskie			
Okres: kwiecień 1975 — marzec 1977			
6	4,64	2,98	1,78
7	4,65	2,40	1,48
8	4,40	2,35	1,22
9	4,85	2,91	1,73
10	4,50	2,41	1,20
11	4,95	3,01	1,40
12	4,30	2,67	1,61
13	4,50	2,59	1,79
14		niekompletne dane	
15	4,30	2,34	1,33
16			
Okres: kwiecień 1977 — marzec 1979			
16	4,92	1,56	0,80
Obszar górski			
Okres: kwiecień 1975 — marzec 1979			
5	4,45	0,55	0,88

liny Wisły do Sandomierza. Punkty pomiarowe pH bardziej oddalone od wielkich ośrodków przemysłowych umiejscowiono w Tatrach i w Lubelskiem.

Nad obszarem Krakowa pH opadu wynosi od 5,10—5,30. Jednak w obrębie obszarów wiejskich wartość pH kształtuje się od 4,30—4,95.



Ryc. 5. Rozmieszczenie sytuacji dla pomiarów kwaśnych opadów atmosferycznych w SE Polsce (Kasina 1980)

W punkcie kontrolnym w Lubelskiem pH osiąga 4,92. Na większości punktów obserwacyjnych wyższe stężenie siarczanów było stwierdzone w miesiącach zimowych.

KWAŚNE OPADY ATMOSFERYCZNE A ZBIOROWISKA LEŚNE

Stosunkowo wcześniej, bo w 1922 r. Łuczkiwicz (1922) pisał o szkodliwym wpływie kwaśnych opadów atmosferycznych na lasy Górnego Śląska. Przytacza na ten temat następujące opinie badaczy obcych autorów. „Opady i wilgotność powietrza wpływa również bardzo dodatnio na roślinę. Ściągają one zwykle kwaśne dymy na roślinność powodując znaczne ich skoncentrowanie, wskutek czego niebezpieczeństwo uszkodzeń wzrasta, choć koncentracje te nie szkodzą na szczęście tak intensywnie jak bezpośrednie działanie gazów, np. SO_2 przy silnej insolacji. Poza tym opady ściągają też na glebę znaczne ilości kwaśnych substancji bądź to spływając po strzale drzew, bądź też spadając bezpośrednio. Dlatego też drzewa słabo ulistnione o kory gładkiej cierpią zwykle wskutek zatrucia gleby kwaśnymi opadami”. Pierwsze badania naukowe stopnia i skutków zakwaszenia kory drzew podjęła Grodzińska (1971) (lipy, jesionu, dębu, grabu, olszy

i leszczyny). Dane te były wskaźnikiem stopnia zanieczyszczenia ekosystemów leśnych w Polsce. Głównie badania swe skoncentrowała w Polsce południowej, a jako powierzchnie kontrolne zostały wybrane lasy w Puszczy Białowieskiej.

Zanieczyszczenia powietrza pochodzące z Nowej Huty, Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego, jak też i Czechosłowacji, powodują zwiększenie się kwasowości kory drzew, np. dębu, lipy drobnolistnej i sosny zwyczajnej w Puszczy Niepołomickiej, która wynosi 2,2—4,7 pH. Zróżnicowanie wartości pH miało związek z rozmieszczeniem zbiorowisk leśnych w Puszczy i odległości od źródła emisji SO_2 (Grodzińska 1971, 1979a).

Jak wykazali to Kasina i inni (1984) nie ma negatywnej korelacji między pH a stężeniem siarczanów w opadach w aglomeracji krakowskiej ani w Puszczy Niepołomickiej. Wysokie wartości pH są związane z wysokimi stężeniami jonów siarczanowych w sąsiedztwie emitora. Udział opadów o $\text{pH} \leq 5,6$ w centralnej części Puszczy jest około 70%, a tylko 30% na jej peryferiach bliżej emitora koło Hysne. Analiza mineralogiczna pyłów w opadach atmosferycznych wskazuje na wysoki udział $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, co wskazuje na możliwość zobojętniania kwasu siarkowego w opadach atmosferycznych.

Grodzińska (1979b) wykazała, że w obrębie Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego (LGOM) kora dębu szypułkowego i sosny zwyczajnej była bardziej kwaśna niż w Puszczy Białowieskiej, w krakowskim okręgu przemysłowym i Puszczy Kampinoskiej. Wartości pH kory drzew z LGOM były bliskie w ocenie stopnia zakwaszenia jakie są podawane przez autorów szwedzkich (Grodzińska 1979a).

STOPIEŃ USZKODZENIA ROŚLIN DRZEWIASTYCH PRZEZ KWAŚNE OPADY ATMOSFERYCZNE

Szkodliwy wpływ kwaśnych opadów atmosferycznych na rośliny drzewiaste jest wieloraki i obejmuje ich części nadziemne jak też i podziemne.

1. Wpływ na części nadziemne (liście), a) uszkodzeniu ulega kutykula, ewentualnie warstwa wosku pokrywająca skórkę, b) wymywanie

substancji mineralnych, c) uszkodzanie tkanek liści i ich przedwczesne opadanie.

2. Wpływ na nasiona i siewki, a) zaburzenia w kiełkowaniu nasion i wzroście siewek.

3. Uszkodzanie podziemnych części roślin, uszkodzanie korzeni.

4. Zmiany w glebie: a) zwiększenie się stopnia zakwaszenia w profilu glebowym, b) wymywanie substancji mineralnych z gleby, c) uaktywnienie się w profilu glebowym metali ciężkich, d) zmniejszenie się aktywności mikroorganizmów.

5. Zaburzenia w bilansie wodnym roślin.

6. Zamieranie roślin.

ZETKNIĘCIE SIĘ KWAŚNYCH OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH Z LIŚCIAMI

Ocena uszkodzeń ilości roślin na otwartej przestrzeni przez kwaśne opady atmosferyczne jest bardzo utrudniona, ponieważ równocześnie z nimi działają na ich powierzchnię mieszaniny gazów, a sam proces uszkodzania komórek i tkanek liści jest bardzo złożony. Wobec tego dla potrzeb badawczych najpewniejsze wyniki charakteryzujące wpływ kwaśnych opadów atmosferycznych na liście dokonuje się w warunkach kontrolowanych.

Same opady kwaśne mają różną postać (deszcz, mżawka, mgła, śnieg) i zmienną częstotliwość, na skutek czego ich oddziaływanie na powierzchni liścia jest zróżnicowane. Zależy ono również od gatunku rośliny, położenia liści, ich kształtu, chropowatości powierzchni i innych cech morfologicznych blaszki liściowej, które składają się na ich zdolność nawilgocenia „wettability”. Na zdolność nawilgocenia liści wpływają przede wszystkim właściwości chemiczne i fizyczne wosków nabłonkowych, a w mniejszym stopniu chropowatość powierzchni nabłonka (Martin, Juniper według Evans 1984).

Kwaśny deszcz dostaje się do wnętrza liścia przez włoski, wyrostki skórki, hydatomy i ewentualnie przez szparki (Schnepf według Evans 1984). Zdolność nawilgacania powierzchni liści wyraźnie się zwiększa jeśli zostają usunięte substancje woskowe.

Po przeanalizowaniu wyników badań nad przenikaniem kwaśnych

opadów do liści stwierdzono, że zachodzi ono głównie przez nabłonek (kutykula), a nie przez szparki.

Budowa nabłonka, jak też charakter warstwy wosków epikutykularnych decyduje o tempie przenikania kwaśnych roztworów do liścia. Stwierdzono, że stosunek grubości warstwy kutykularnej do epikutykularnej ma wielki wpływ na przenikanie do wnętrza liścia substancji polarnych (Martin, Juniper według Evans 1984). W doświadczeniach z izolowanym nabłonkiem liści moreli stwierdzono, że przenikanie substancji kwaśnych zwiększa się wraz ze zwiększającą się kwasowością roztworu, a przenikanie substancji zasadowych rośnie wraz ze zmniejszaniem się poziomu kwasowości roztworu (Orgell według Evans 1984).

Związki chemiczne przenikające do wnętrza liści mają wpływ na metaboliczne i niem metaboliczne procesy, a ich przenikanie jest w nieokreślonym bliżej stopniu selektywne i zależne od przebiegu metabolicznych procesów zachodzących w komórkach (Evans 1984).

Przepuszczalność nabłonka liści jest również zależna od warunków środowiska. Doświadczalnie stwierdzono również, że fitotoksyczne związki znajdujące się w kwaśnej wodzie deszczowej przenikają nabłonek liścia szybciej w pobliżu tkanek przewodzących i u podstawy trichomów i hydatorodów (Evans 1984).

Kwaśne opady atmosferyczne powodują charakterystyczne zmiany w submikroskopowej strukturze w warstwie wosków nabłonka. Badania w mikroskopie skaningowym wykazały, że działanie sztucznego kwaśnego deszczu o pH 3,2 spowodowało na liściach fasoli szparagowej i dębu laurowego (*Quercus phellos*) zniszczenie powierzchniowych wosków i kutyny (Shriner według Evans 1984). Przy pH 6,0 uszkodzenie liści było niewielkie. Papanozzi według Evans (1984) przy użyciu innego mikroskopu skaningowego nie zaobserwował zniszczenia kutykularnych i epikutykularnych wosków na powierzchni liści w przypadku brzozy żółtej (*Betula lutea*) i u fasoli szparagowej pod działaniem sztucznego kwaśnego deszczu o pH 2,8. Podając wynik tego doświadczenia z brzozą żółtą chciałbym wysunąć przypuszczenia, że liście rodzimej brzozy gruczalkowatej rosnącej w pobliżu zakładów przemysłowych w Polsce są z tych samych powodów co brzoza żółta bardziej tolerancyjne na uszkodzenia powodowane przez kwaśne opa-

dy atmosferyczne. Badań nad budową powierzchniowych warstw liści brzozy gruczołkowej nie prowadzono. Powierzchnia liści pod wpływem kwaśnego deszczu zmienia swój skład chemiczny. Z drugiej jednak strony kwasowość deszczu może się również zmieniać na powierzchni liścia pod wpływem różnych chemicznych związków liścia (Evans 1984).

PRZENIKANIE SUBSTANCJI CHEMICZNYCH DO LIŚCIA

Z danych podanych w tabeli 1 wynika, że jak rozmaitych związków chemicznych mogą się składać kwaśne deszcze. Interesujące jest przede wszystkim zagadnienie poznania ich wpływu na roślinę i stwierdzenie, jakie związki z kwaśnego deszczu przedostają się do wnętrza komórek i jakie są tego następstwa. Zależy to w dużym stopniu od pH. Siarczany, np. przenikają do liści szybciej przy pH 2,7 niż przy 5,7, chociaż jony $^{86}\text{Rb}^+$ przechodzą szybciej do liścia przy pH deszczu 5,7 niż przy niższym pH.

Natomiast molekuly wody przedostają się do liścia około tysiąc razy szybciej niż jony siarczanów (Evans i in. według Evans 1984). Wobec czego Evans (1984) przypuszcza, że przenikanie substancji rozpuszczonych w wodzie do liścia jest procesem selektywnym, który może być regulowany przez kwasowość opadów atmosferycznych, metabolizmem komórki i prawdopodobnie jeszcze inne czynniki. I chociaż różne jony mają swoją indywidualną zdolność przenikania do liści, to jednak mogą tu oddziaływać jeszcze inne wewnętrzne i zewnętrzne czynniki (Evans 1984).

WYMYWANIE SUBSTANCJI Z LIŚCI

Stopniowe działanie kwaśnych opadów deszczowych na powierzchnię liści i usunięcie z nich substancji ochronnych prowadzi do wymywania pokarmów z komórek położonych w głębszych warstwach. Wykazały to badania Wood i Bormann według Evans (1984), któ-

opadów do liści stwierdzono, że zachodzi ono głównie przez nabłonek (kutykula), a nie przez szparki.

Budowa nabłonka, jak też charakter warstwy wosków epikutykularnych decyduje o tempie przenikania kwaśnych roztworów do liścia. Stwierdzono, że stosunek grubości warstwy kutykularnej do epikutykularnej ma wielki wpływ na przenikanie do wnętrza liścia substancji polarnych (Martin, Juniper według Evans 1984). W doświadczeniach z izolowanym nabłonkiem liści moreli stwierdzono, że przenikanie substancji kwaśnych zwiększa się wraz ze zwiększającą się kwasowością roztworu, a przenikanie substancji zasadowych rośnie wraz ze zmniejszaniem się poziomu kwasowości roztworu (Orgell według Evans 1984).

Związki chemiczne przenikające do wnętrza liści mają wpływ na metaboliczne i niemetaliczne procesy, a ich przenikanie jest w nieokreślonym bliżej stopniu selektywne i zależne od przebiegu metabolicznych procesów zachodzących w komórkach (Evans 1984).

Przepuszczalność nabłonka liści jest również zależna od warunków środowiska. Doświadczalnie stwierdzono również, że fitotoksyczne związki znajdujące się w kwaśnej wodzie deszczowej przenikają nabłonek liścia szybciej w pobliżu tkanek przewodzących i u podstawy trichomów i hydatorodów (Evans 1984).

Kwaśne opady atmosferyczne powodują charakterystyczne zmiany w submikroskopowej strukturze w warstwie wosków nabłonka. Badania w mikroskopie skaningowym wykazały, że działanie sztucznego kwaśnego deszczu o pH 3,2 spowodowało na liściach fasoli szparagowej i dębu laurowego (*Quercus phellos*) zniszczenie powierzchniowych wosków i kutyny (Shriner według Evans 1984). Przy pH 6,0 uszkodzenie liści było niewielkie. Papanozzi według Evans (1984) przy użyciu innego mikroskopu skaningowego nie zaobserwował zniszczenia kutykularnych i epikutykularnych wosków na powierzchni liści w przypadku brzozy żółtej (*Betula lutea*) i u fasoli szparagowej pod działaniem sztucznego kwaśnego deszczu o pH 2,8. Podając wynik tego doświadczenia z brzozą żółtą chciałbym wysunąć przypuszczenia, że liście rodzimej brzozy gruczalkowatej rosnącej w pobliżu zakładów przemysłowych w Polsce są z tych samych powodów co brzoza żółta bardziej tolerancyjne na uszkodzenia powodowane przez kwaśne opa-

dy atmosferyczne. Badań nad budową powierzchniowych warstw liści brzozy gruczołkowej nie prowadzono. Powierzchnia liści pod wpływem kwaśnego deszczu zmienia swój skład chemiczny. Z drugiej jednak strony kwasowość deszczu może się również zmieniać na powierzchni liścia pod wpływem różnych chemicznych związków liścia (Evans 1984).

PRZENIKANIE SUBSTANCJI CHEMICZNYCH DO LIŚCIA

Z danych podanych w tabeli 1 wynika, że jak rozmaitych związków chemicznych mogą się składać kwaśne deszcze. Interesujące jest przede wszystkim zagadnienie poznania ich wpływu na roślinę i stwierdzenie, jakie związki z kwaśnego deszczu przedostają się do wnętrza komórek i jakie są tego następstwa. Zależy to w dużym stopniu od pH. Siarczany, np. przenikają do liści szybciej przy pH 2,7 niż przy 5,7, chociaż jony $^{86}\text{Rb}^+$ przechodzą szybciej do liścia przy pH deszczu 5,7 niż przy niższym pH.

Natomiast molekuly wody przedostają się do liścia około tysiąc razy szybciej niż jony siarczanów (Evans i in. według Evans 1984). Wobec czego Evans (1984) przypuszcza, że przenikanie substancji rozpuszczonych w wodzie do liścia jest procesem selektywnym, który może być regulowany przez kwasowość opadów atmosferycznych, metabolizmem komórki i prawdopodobnie jeszcze inne czynniki. I chociaż różne jony mają swoją indywidualną zdolność przenikania do liści, to jednak mogą tu oddziaływać jeszcze inne wewnętrzne i zewnętrzne czynniki (Evans 1984).

WYMYWANIE SUBSTANCJI Z LIŚCI

Stopniowe działanie kwaśnych opadów deszczowych na powierzchnię liści i usunięcie z nich substancji ochronnych prowadzi do wymywania pokarmów z komórek położonych w głębszych warstwach. Wykazały to badania Wood i Bormann według Evans (1984), któ-

rzy stwierdzili, że K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} były wymywane z liści fasoli 'Pinto' szybciej gdy poziom pH był 3,0 i 3,3, niż 4,0 i 5,0. Również jony wapnia wymywane szybciej z liści klonu cukrowego przy pH 3,0 niż przy pH 3,3. Proces wymywania różnych związków chemicznych z liści po działaniu kwaśnego deszczu był stwierdzony też przy użyciu izotopów (Evans 1984).

Nie ma jednak obecnie danych, na podstawie których można by stwierdzić, że kwaśne opady wymywają z liści substancje w takich ilościach, które by miały wyraźny wpływ na wzrost i produktywność roślin.

WIDOCZNE ŚLADY USZKODZEŃ

Pewne dane z tego zakresu można uzyskać z doświadczeń zakładanych w warunkach kontrolowanych. Kwaśne opady o pH 3,9 powodują uszkodzenie powierzchni liści. Evans i Lewin według Evans (1984) wykazali, że powierzchnie liści fasoli 'Pinto' po jednym do czterokrotnego działaniu sztucznego kwaśnego deszczu o pH 3,0, 2,7, 2,5 i 2,3 były uszkodzane odpowiednio w procentach: około 0,5, 2—3, 5—10, 10—15.

Uszkodzenia liści przez kwaśne opady były wyraźniejsze u młodych liści przed ich pełnym rozwojem. Chociaż u młodych liści jest większe zagęszczenie trichomów i szparek na jednostkę powierzchni jak po osiągnięciu przez nie pełnego rozwoju, to jednak trudno się dopatrzeć w tym zjawisku pełnej zależności (Evans 1984).

Interesujące są badania (Wood i Bormann według Evans 1984) dotyczące stopnia uszkodzenia liści brzozy przez kwaśne opady atmosferyczne. Stwierdzili oni ich większą wrażliwość u siewek w wieku 14 dni jak u starszych sześciotygodniowych sadzonek. Jeśli wziąć pod uwagę wrażliwość roślin w ogóle na działanie kwaśnych opadów, to Evans (1984) klasyfikuje je w zależności od stopnia widzialnych uszkodzeń liści w następującej kolejności od najwrażliwszych, a to: rośliny zielne dwuliścienne, rośliny drzewiaste dwuliścienne, jednoliścienne i iglaste.

WPŁYW KWAŚNYCH OPADÓW NA WEGETACJĘ ROŚLIN

Pośredni wpływ kwaśnych opadów atmosferycznych na rośliny wydaje się być znacznie większy i groźniejszy w skutkach jak bezpośrednie ich oddziaływanie na uszkodzenie organów wegetacyjnych. Jak wykazały to badania Evans według Evans (1984) na przykładzie *Phaseolus vulgaris* oporność dyfuzyjna była niższa u liści będących pod działaniem sztucznego kwaśnego deszczu o pH 2,7—3,4, w porównaniu z poziomem tej wartości przy pH 5,7. Zjawisko to spowodowane działaniem kwaśnych opadów jak przypuszcza Evans (1984) ma związek z większą podatnością tych roślin na wędnięcie.

KIELKOWANIE NASION I ROZWÓJ SIEWEK

Szkodliwy wpływ kwaśnych opadów atmosferycznych dla kiełkujących nasion roślin dziko rosnących, jak też uprawnych na ogół ma doniosłe znaczenie dla egzystencji i działania ekosystemów naturalnych i plonowania roślin uprawnych. Mamy z tego zakresu niewiele informacji i doświadczeń. W jednym z bardziej znanym z tego zakresu doświadczeniu, Lee i Weber według Evansa poddali siewki 11 gatunków drzew działaniu sztucznego deszczu o pH 3,0, 3,5, 4,0, 5,6. Ustalono wysokość opadu tygodniowo na 23 mm w ciągu 9 miesięcy. Wschody nasion *Pinus strobus*, *Betula alleghaniensis*, *Juniperus virginiana* i *Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii*, były istotnie wyższe w porównaniu z kontrolą, w przypadku działania kwaśnego deszczu. W przeciwieństwie do tego opad kwaśnego deszczu powodował słabe wschody nasion *Rhus typhina*, a w przypadku innych gatunków drzew wyniki doświadczenia nie były statystycznie istotne.

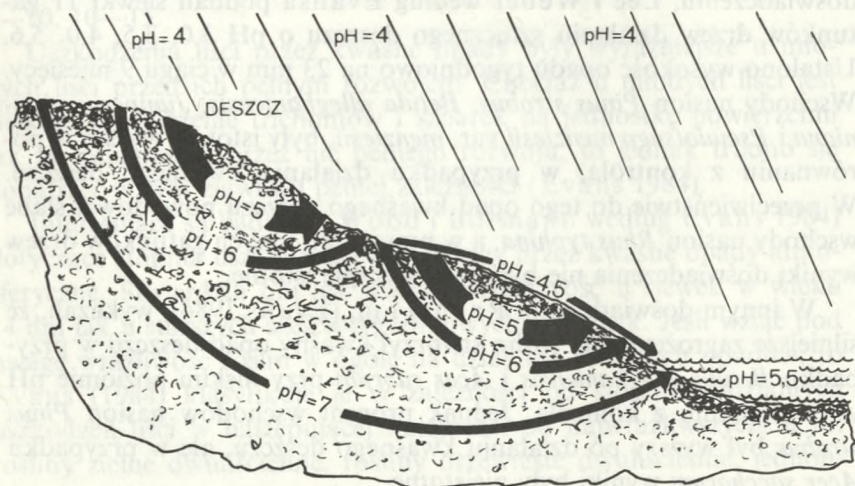
W innym doświadczeniu Raynal i in. (Evans 1984), wykazali, że silniejsze zagrożenie dla roślin stworzył kwaśny opad deszczu w przypadku *Betula alleghaniensis* i *Acer rubrum* przy niskim poziomie pH w porównaniu z kontrolą. Jednak procent wschodów nasion *Pinus strobus* był wyższy po działaniu kwaśnego deszczu, ale w przypadku *Acer saccharum* wyniki były nieistotne.

WPŁYW NA GLEBĘ

Wpływ kwaśnych deszczów na zakwaszenie gleby, wód gruntowych jak też zbiorników wodnych został bardzo plastycznie przedstawiony na rycinie 6 (Persson 1982). Nie wymaga on przeto bliższych objaśnień. Pozwala on na zrozumienie samego procesu zakwaszenia środowiska i wzajemnych zależności między pH deszczu, gruntów, wód gruntowych i zbiornika wodnego.

Badania skutków zakwaszenia gleb leśnych zostały rozwinięte w związku ze wzrastającym niebezpieczeństwem zamierania lasu. Proces ten objął wielkie obszary Europy i zagroził również w niektórych jej częściach istnieniu lasów i zmniejszył ich produktywność.

Badania wpływu zanieczyszczeń przemysłowych na przebieg procesów glebowych rozwinęły się później niż analizowanie mechanizmów reakcji roślin drzewiastych w zanieczyszczonym powietrzu. Otrzymało z tych badań niepokojące stwierdzenie, że szkodliwość skażenia gleb staje się groźniejsza dla życia drzew niż zanieczyszczenia powietrza, gdyż jest przede wszystkim długotrwałe i niezwykle trudne do usunięcia. Przeto badania te stały się w niektórych ośrodkach badaw-



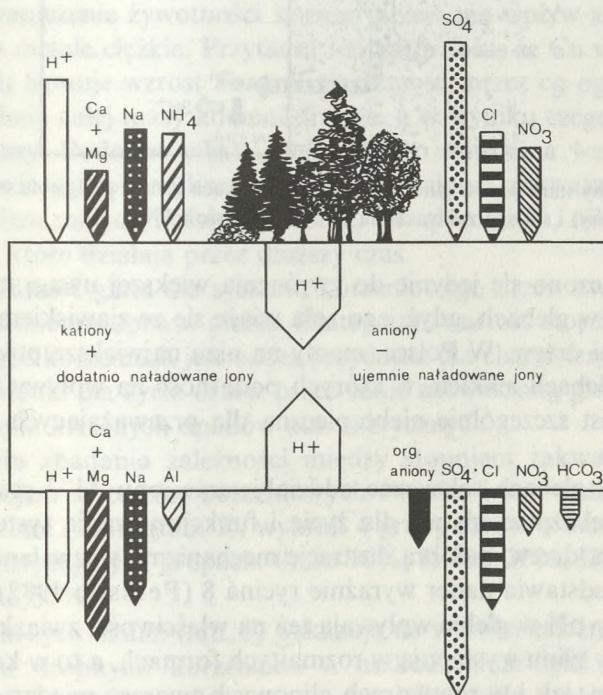
Ryc. 6. Przykład przemieszczania się wód gruntowych i ich pH (Persson 1982)

czych zasadniczym problemem, gdyż w zatruciu gleb widzi się główną przyczynę zamierania lasów.

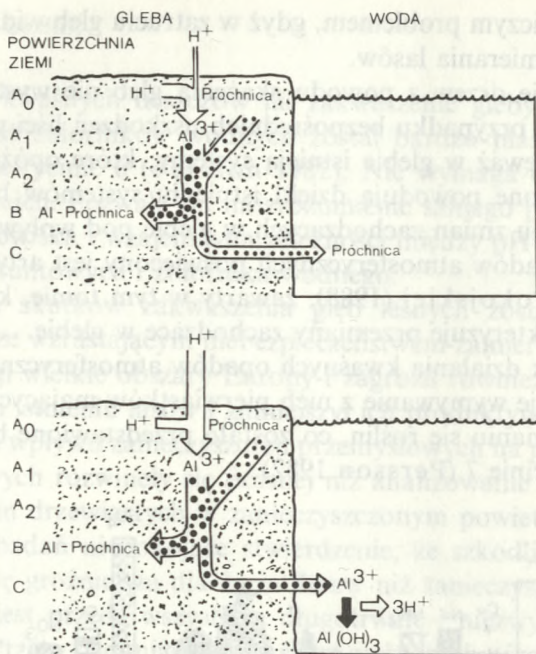
Zamieranie drzew z powodu skażenia gleb nie występowały tak szybko jak w przypadku bezpośrednich uszkodzeń liści przez kwaśne deszcze, ponieważ w glebie istnieją systemy, które opóźniają ujemne skutki jakie one powodują dzięki istnieniu systemów buforujących.

Omówieniu zmian zachodzących w glebie pod wpływem działania kwaśnych opadów atmosferycznych poświęcony jest artykuł Prusinkiewicza i Pokojskiej (1988), zawarty w tym tomie, który wyczerpująco charakteryzuje przemiany zachodzące w glebie.

Na skutek działania kwaśnych opadów atmosferycznych na gleby leśne następuje wymywanie z nich pierwiastków mających zasadniczą rolę w odżywianiu się roślin, co zostało przedstawione bardzo przejrzyście na rycinie 7 (Persson 1982).



Ryc. 7. Przemieszczanie się jonów na zakwaszonej powierzchni (Persson 1982)



Ryc. 8. Zmiany stanu jonów glinu w górnych warstwach gleby i podglebiu w warunkach słabego (u góry) i silnego zakwaszenia (u dołu) (Persson 1982)

Ograniczono się jedynie do zwrócenia większej uwagi na rolę jonów Al^{3+} w glebach, gdyż jego rola wiąże się ze zjawiskiem zamierania korzeni drzew. W Polsce, mamy na niżu największe powierzchnie leśne na glebach lekkich, w których podatność na wpływy kwaśnych opadów jest szczególnie niebezpieczna dla przeważających tu borów sosnowych.

W tych glebach toksyczne oddziaływanie jonu Al^{3+} stwarza największe niebezpieczeństwo dla życia i funkcjonowania systemów korzeniowych, drzew, a dobrą ilustrację mechanizmu wyzwiania się tych jonów przedstawia nader wyraźnie rycina 8 (Persson 1982).

Zmiany pH w glebie wpływają też na właściwości związków glinowych. Jony glinu występują w rozmaitych formach, a to w kompleksie sorbcyjnym, jak i w roztworach glinowych tworząc między sobą stan równowagi.

USZKODZENIE KORZENI

Ulrich (1984), Ulrich i inni (1984), Schütt (1984) informują, że w procesie zamierania drzew, a następnie lasu zachodzi zjawisko zamierania drobnych korzeni. Ulega też zmniejszeniu powierzchnia jakby „mufki” utworzonej z grzybni oplatającej młode korzonki drzew. Zamierają następnie też korzenie grube. Regeneracja systemu korzeniowego nie może wyrównać jego znacznych ubytków. Jak przypuszcza Schütt (1984) jest to wynikiem z jednej strony znacznych zmian zachodzących w procesach glebowych, a z drugiej strony zjawisko to jest następstwem oddziaływania zanieczyszczeń powietrza.

Schütt (1984) uzasadnia swój pogląd o przyczynach zamierania drobnych korzeni drzew na skutek działania kwaśnych opadów atmosferycznych wynikami badań laboratoryjnych, w których stwierdzono, że na ograniczenie żywotności korzeni drzew ma wpływ zakwaszona woda lub metale ciężkie. Przytacza ten autor fakt, że Cu w wyższych stężeniach hamuje wzrost korzeni na długość, przez co ogranicza się powierzchnia całej masy korzeni drzewa, a w wyniku czego i produkcja biomasy. Podobne efekty, według tego autora, a wzrost drzew i żywotność grzybni mikoryzowej daje działanie zakwaszonej wody z dodatkiem małych ilości soli metali, jak aluminium, niklu, kadmu i ołowiu, które działają przez dłuższy czas.

Szkodliwość glinu dla systemu korzeniowego drzew związana jest z niedostatkiem wapna w glebie. Dlatego też wartość stosunku Ca:Al w drobnych korzeniach jest nader przydatna dla charakterystyki stopnia zagrożenia dla życia drzew przez silnie zakwaszoną glebę w wyniku działania kwaśnych opadów atmosferycznych.

W celu zbadania zależności między stopniem zakwaszenia gleby, rozwojem systemów korzeniowych świerka i jego uszkodzeniem, Ulrich i inni (1984) (tab. 5), wybrali 4 grupy drzew o uszkodzeniach igieł w następujących grupach: 0) do 10%, I) 10—25%, II) 25—50%. III) ponad 50%.

Wyniki tych badań (tab. 5) wskazują na wysoką zależność między martwymi drobnymi korzeniami a uszkodzeniem igieł. W grupie drzew „0”, o bardzo małym procencie uszkodzenia drobnych korzeni, waga korzeni żywych wynosi 2200 kg/ha na ogólną ich masę 2940

Tabela 5

Masa korzeni drobnych świerka (kg/ha) i procentowy ich udział w zależności od stopnia uszkodzenia igieł, pH gleb i $\frac{\text{mol Ca}}{\text{mol Al}}$ (Ulrich i in. 1984, nieco zmienione)

Grupy drzew	Korzenie				Parametry stopnia zakwaszenia gleby i korzeni	
	żyjące kg/ha	martwe kg/ha	suma kg/ha	udział korzeni żyjących w ogólnej ich masie w %	wartość $\frac{\text{mol Ca}}{\text{mol Al}}$ na głębokości 40—60 cm	pH (CaCl ₂) gleby na głębokości 40—60 cm
0	2200	739	2940	75	10,3	4,9
1	2200	1100	3320	67	4,9	4,4
2	1800	1070	2870	62	2,6	4,2
3	1100	667	1770	62	1,8	3,7

kg/ha, gdy natomiast w grupie III, w której drzewa mają silnie uszkodzone korzenie, masa korzeni żywych liczy tylko 1100 kg/ha na ich całkowitą ilość 1770 kg/ha. Przykładowo wybrano z badań Ulricha i in. (1984) tylko wartości pH i $\frac{\text{mol Ca}}{\text{mol Al}}$ z głębokości 40—60 cm jako wskaźniki pogarszającej się wegetacji drzew w związku z postępującym zakwaszeniem gleby. Wraz ze wzrostem wagi martwych korzeni zwiększa się kwasowość gleby, jak również rośnie zawartość glinu, którego niektóre frakcje są toksyczne dla systemu korzeniowego. Działania kwaśnych opadów atmosferycznych na ekosystem leśny prowadzi do jego destabilizacji, której nie wiadomo jak zapobiegać.

W artykule tym nakreślony został ogólny opis zjawisk towarzyszących działaniu na rośliny i ekosystemy kwaśnych opadów atmosferycznych. Starano się przedstawić kompleksowo wiele zjawisk wywołanych w środowisku przez kwaśne opady atmosferyczne, by jaśniej wystąpiły związki między zanieczyszczeniami powietrza a glebą.

Przedstawiono zakres tego zjawiska nie tylko w naszym kraju, ale również w skali szerszej, by podkreślić związek jaki istnieje między skażeniem środowiska u nas i w innych częściach Europy. Usunięcie zagrożeń kwaśnych opadów atmosferycznych to nie tylko nasze zadanie, ale również i naszych sąsiadów, ponieważ między sobą wymieniamy duże ilości skażeń działających szczególnie na zdrowie ludzi i niszczących środowisko.

Dla usunięcia tych zagrożeń wymagane jest rozwinięcie międzynarodowych konkretnych akcji dla ochrony człowieka i zasobów przyrody, by utrzymać możliwości produkcji żywności na wysokim poziomie i stworzyć znośne warunki egzystencji ludności.

Instytut Dendrologii PAN
ul. Parkowa 5
62-035 Kórnik

LITERATURA

- Białobok S. 1989. Zagrożenie lasów w Polsce przez zanieczyszczenia powietrza. Życie drzew w skażonym środowisku. PWN.
- Chojnacki A. 1980. Zawartość związków siarki w opadach atmosferycznych. W: Siarka w biosferze. Red. J. Siuta, M. Rejman-Czajkowska PWRiL Warszawa, 130—146.

- Chudzyńska I. 1985. Uleje usieczę. *Przegląd Techniczny* 4, 12—13.
- Evans L. S. 1984. Botanical aspects of acidic precipitation. *The Botanical Review* 50,4, 449—490.
- Garfield E. 1985. Acid rain. Part 1. What is it and what does it do. *Current Contents*, 16, 9, 3—12. Institute for Scientific Inform. Philadelphia Penn. USA.
- Godzik S. 1984. Air pollution problems in some central European countries—Czechoslovakia. The German Democratic Republik and Poland. Chapter 2-th W- Gaseous Air Pollutants and Plant Metabolism. Ed. M. J. Koziół, F. R. Whatley, Butterworth, London, 25—34.
- Grodzińska K. 1971. Acidification of tree bark as Measure of Air Pollution in Southern Poland. *Bull. Acad. Pol. Sci. Cl. II* 19,3, 189—195.
- Grodzińska K. 1979a. Tree bark-sensitive biotest for environment. *Environment International* 2, 173—176.
- Grodzińska K. 1979b. Bioindykacja skażeń środowiska Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego związkami siarki i metalami ciężkimi. Komisja Nauk o Ziemi. Oddz. PAN Wrocław, 299—308.
- Kasina S. 1980. On precipitation acidity in southeastern Poland. *Atmospheric Environment* 14, 1217—1221.
- Kasina S., Kwiec J., Lewińska J. 1984. Concentration Transformation and Deposition of Sulfur Compounds. W: *Forest Ecosystems in Industrial Regions*. Red. W. Grodziński, J. Weiner and P. F. Maycock, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo.
- Latocha E. 1985. Stan zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego w Polsce. W: *Prace IBL Seria B*. nr 3, 16—38.
- Lee J. J., Weber D. E. 1979. The effect of simulated acid rain on seedling emergence and growth of eleven woody species. *Forest Sci.* 25, 3, 393—398.
- Łukaszewicz W. 1922. Wpływ dymów fabrycznych na drzewostany. *Sylvan*, maj, XL, 103—106.
- Maj U., Rejman-Czajkowska M. 1980. Zachowanie się związków siarki w atmosferze. W: *Siarka w biosferze*. Red. J. Siuta, M. Rejman-Czajkowska. PWRiL Warszawa, 125—130.
- Oden S. 1976. The acidity problem—an outline of concepts. *Proceedings of the first international symposium on acid precipitation and the forest ecosystem*. Red. L. S. Dochinger, T. A. Seliga. USDA Forest Service, General Tech. Report NE-23, 1—36.
- Persson G. Ed. 1982. *Acidification today and tomorrow*. Ministry of Agr. Environment 82 Com. Stockholm.
- Schütt P. 1984. *Der Wald stirbt am Stress*. C. Bertelsmann Verlagsgesellschaft mbH, München.
- Ulrich B. 1984. Waldsterben durch saure Niederschläge. *Die Umschau*, 11, 348—354.
- Ulrich B., Pirouzpanah D., Murach D. 1984. Beziehungen zwischen Bodenversauerung und Wurzelentwicklung von Fichten mit unterschiedlichstarken Schadsymptomen. *Forstarchiv* 55,4, 127—134.

Vermeulen A. J. 1979. The acidic precipitation phenomenon. A study of this phenomenon and of a relationship between the acid contents of precipitation and the emission of sulfur dioxide and nitrogen oxides in the Netherlands. Ed. T. Y. Toribara, M. W. Miller and P. E. Morrow, W: Polluted rain. Plenum Press. New York and London 7—60.

EFFECT OF ACID PRECIPITATION ON TREES AND FOREST

Summary

To start with the author discusses the history of the concept of acid rain, dating back to the mid—XIX c. Following is a characterisation of the scope of interest of various investigators in the problem around the world. The scope is large because the phenomenon of acid rain is of socio-political importance on an international level. The great interest in research on the phenomenon appeared only 100 years after it was first observed.

Next the author describes how acid rain forms as well as the occurrence of this phenomenon in Poland in respect to its extent and pH value. In the latter part of the chapter the author describes research on the acidification of the environment in the Poland in its historical context and the consequences of its injurious influence on leaves, roots and the soil. The author draws special attention to the description of the mechanisms of acid rain penetration into leaves and of the consequences of its action on plant leaves. A closer characteristic is also given of the injurious effect of aluminum on the root systems of trees.

