

MARIA SWIEBODA

Niektóre zagadnienia wpływu na lasy przemysłowych zanieczyszczeń powietrza związkami fluoru

Некоторые проблемы влияния на леса соединений флуора
в промышленных нечистотах воздуха

Certain aspects of the effect of air pollution by industrial fluorine compounds
upon forests

WSTĘP

Bardzo często spotyka się pogląd, że zagadnienie szkód przemysłowych w lasach stało się modnym współczesnym problemem. W istocie pogląd ten jest tylko częściowo słuszny. Z obszernej literatury wynika, że już we wczesnych stuleciach szkody dymowe odgrywały pewną rolę. Na przykład w 1341 r. w Anglii wprowadzono zakaz spalania węgla kamiennego w kuźniach, których dymy niszczyły roślinność w ich otoczeniu. Wszystkie jednak historyczne przypadki wyrządzonych szkód były jeszcze zjawiskami sporadycznymi i miały tylko lokalne znaczenie.

Szkody dymowe na większych przestrzeniach, które w następstwie przyniosły trwałe zmiany w składzie roślinności, wystąpiły równocześnie z intensywnym rozwojem przemysłu i są rzeczywiście problemem ostatnich 100 lat.

Pierwsze wzmianki w piśmiennictwie dotyczące niszczącego wpływu zanieczyszczeń powietrza na lasy, pochodzą z drugiej połowy XIX wieku. Nie znano jednak wówczas mechanizmu oddziaływania poszczególnych rodzajów zanieczyszczeń, jak również brak było metod pozwalających na stwierdzenie stopnia uszkodzenia roślin przez działalność zakładów przemysłowych.

Podstawy naukowe badań w tej dziedzinie dała Wyższa Szkoła Leśna w Tharandcie (NRD). Wiążą się one z takimi nazwiskami, jak Stöckhardt (24), Wislicenus (26), Neger (16) i in. Klasycznym dziełem przedstawiającym skutki wpływu pyłów i gazów na rośliny jest praca J. Stoklasy, wydana w Berlinie w 1919 r. pt. „Die Beschädigung der Vegetation durch Rauchgase und Fabrikexhalationen”.

Od tego czasu, nie tylko w Niemczech, ale i w Anglii, Belgii, Stanach Zjednoczonych AP., problematyka szkodliwego oddziaływania przemysłowych zanieczyszczeń powietrza na lasy stała się jednym z ważniejszych zagadnień badawczych w wielu instytutach naukowych.

Na terenach polskich jeszcze w okresie międzywojennym problem ten nie wzbudzał większego zainteresowania, aczkolwiek już w 1882 r. na posiedzeniu śląskiego towa-

rzystwa leśnego (Schlesischer Forstverein) omawiano m. in. szkody dymowe w lasach, występujące w hutniczym obszarze Górnego Śląska. Wprawdzie Łuczkiwicz (12) na podstawie dostępnej wówczas literatury niemieckiej przedstawił ujemny wpływ dwutlenku siarki zawartego w dymach fabrycznych na drzewostany, to jednak w późniejszym okresie zagadnieniem zanieczyszczenia powietrza zajmowano się raczej tylko z punktu widzenia higieny i medycyny.

Jedynie na Śląsku dostrzegano niebezpieczeństwo grożące lasom, wynikające z coraz większego zadymienia i zapylenia powietrza (13, 22), a w monografii lasów polskich Górnego Śląska (15) podano nawet zasięg ich oddziaływania.

W okresie powojennym, w związku z szybkim uprzemysłowieniem wielu krajów, zainteresowanie tym zagadnieniem bardzo wzrosło, czego dowodem jest obszerne dziś piśmiennictwo, zarówno europejskie jak i amerykańskie. Jakkolwiek powstały w 1961 r. Zakład Badań Naukowych Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego PAN w Zabrze, podjął m. in. badania wpływu zanieczyszczeń powietrza na lasy, to jednak w Polsce do tej pory poza nielicznymi artykułami (2, 9, 10, 11, 17, 18, 19) brak jest prac naukowych na ten temat.

Obecnie główny kierunek badań polega na ustaleniu w jakim stopniu są szkodliwe dla roślin nie sumy zanieczyszczeń, lecz poszczególne związki chemiczne takie, jak dwutlenek siarki, związki fluoru, chlorki i in. Niniejszy artykuł opracowany zarówno na podstawie dostępnej literatury jak i własnych obserwacji przedstawia możliwie wyczerpująco wpływ związków fluoru na rośliny, jako jednego z czynników zanieczyszczeń powietrza wywołującego poważne szkody w gospodarce leśnej.

ZWIĄZKI FLUORU, JAKO RODZAJ ZANIECZYSZCZEŃ POWIETRZA

W okresie ostatniego dziesięciolecia zwrócono dużą uwagę na związki fluoru w ogóle, a gazowe w szczególności, jako na rodzaj zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego. Zainteresowanie to wynikało po pierwsze dlatego, że fluorowodór (HF) i czterofluorek krzemu (SiF_4) są toksyczne dla niektórych roślin już w tak słabym stężeniu, jak 0,1 części na miliard części powietrza, a po drugie, że wszystkie związki fluoru zarówno w postaci pyłu jak i gazu mogą nagromadzać się w roślinach pastewnych w dość dużych ilościach. Jakkolwiek u roślin tych nie obserwuje się żadnych zewnętrznych porażen, to jednak są one szkodliwe dla bydła rogatego i wywołują chorobę zwaną fluorozą.

Źródłem zanieczyszczenia powietrza związkami fluoru są głównie następujące rodzaje przemysłu: aluminiowy, metalurgiczny oraz nawozów sztucznych. Ponadto węgiel kamienny zawiera dość znaczne ilości związków fluoru, których większa część ulatnia się do atmosfery podczas jego spalania.

Problem chronicznego zanieczyszczenia atmosfery związkami fluoru sięga początku rozwoju przemysłu aluminiowego i produkcji nawozów fosforowych, a pierwsze porażenia roślinności były stwierdzone w Europie 50 lat temu.

ZAWARTOŚĆ ZWIĄZKÓW FLUORU W POWIETRZU I GLEBIE

Duże zakłady przemysłowe wyrzucają w powietrze 100—1 000 kg związków fluoru na dobę, tak w postaci stałej, jak i gazowej. W piśmiennictwie znajduje się sporo danych o zawartości tych zanieczyszczeń w powietrzu. Thomas (25) podaje, że w odległości 90—1 600 m (w kierunku najczęściej wiejących wiatrów) od huty aluminium stwierdzono koncentrację 6—140 części związków fluoru na miliard części powietrza.

Tak duże stężenie spowodowało zupełne zniszczenie lasu sosnowego w pobliżu tego zakładu.

Zawartość związków fluoru w glebie jest zazwyczaj dość duża, ale rośliny przyjmują je w nieznacznym stopniu ponieważ znajdują się one w postaci nierozpuszczalnych związków, a ponadto korzenie same ograniczają ich wsysanie, szczególnie przy kwaśnym odczynie gleby. Dobrze przyswajany jest tylko fluorek sodu (NaF), ale on rzadko występuje w glebie.

M a j e r n i k (14) przeprowadził doświadczenie z jednorocznymi sadzonkami sosny zwyczajnej (*Pinus silvestris* L.) i „mikoryzowym” grzybem (*Boletus luridus* Schaeff.) poddanych działaniu roztworu fluorku sodu wprowadzonego do gleby. Roztwór 0,1-procentowy nie wywołał widocznych zmian w nadziemnej części rośliny; wystąpiła tylko zmiana w liczbie korzonków bocznych. Roztwór 2-procentowy wywołał po 18 dniach wyraźne symptomy uszkodzenia. Pojawiły się nekrotyczne zmiany na wierzchołkach niektórych igieł. Równocześnie ze wzrostem stężenia roztworu zwiększyły się ilościowe i jakościowe zmiany aminokwasów świadczące o uszkodzeniu aparatu asymilacyjnego, a także o naruszeniu korelacji między nadziemną i podziemną częścią rośliny.

Roztwór 4-procentowy spowodował oznaki wędnięcia i usychania, tak igieł jak i całej rośliny. Wysokie stężenie wpłynęło szkodliwie nie tylko na wymianę gazową i krążenie wody, lecz także zniszczyło system korzonków bocznych. Jeśli nawet jakiś korzonek pozostał przy życiu to nie był on zdolny do pełnienia swej funkcji.

Roztwór NaF 0,1-procentowy ograniczał rozwój czystej kultury grzybni, a 0,5-procentowy zahamował zupełnie wzrost strzępków grzybni.

Z doświadczeń wynika, że grzybnia może spełniać w glebie rolę biologicznego filtra, jednakże nie niweczy szkodliwego oddziaływania silnych roztworów fluorku sodu lecz tylko je osłabia.

WPŁYW ZWIĄZKÓW FLUORU NA ROŚLINY

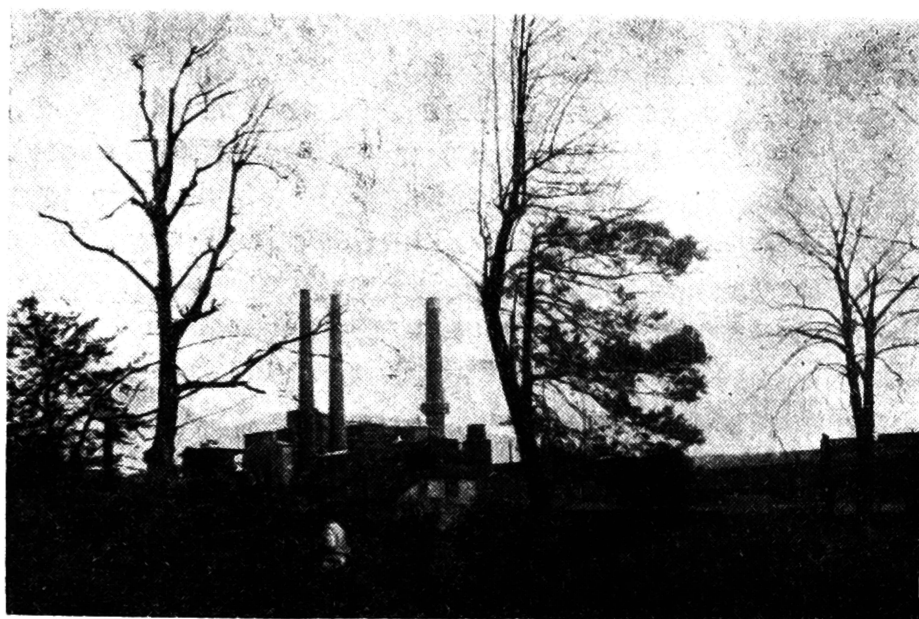
Już bardzo małe ilości związków fluoru znajdujące się w powietrzu wykazują niekorzystne oddziaływanie na rośliny wyrażające się przedwczesnym opadaniem liści, ograniczeniem owocowania, zmniejszeniem przyrostu i obumieraniem drzew leśnych.

L e m k e (10) badając wpływ zanieczyszczeń na lasy podmiejskie Poznania, powstałych przy produkcji superfosfatu granulowanego, zawierających m. in. fluorowodór i czterofluorek krzemu, stwierdził, że w bezpośrednim otoczeniu zakładu drzewa były martwe o czarnych, odymionych pniach, pokrytych szklistym nalotem. Nieliczne pozostałe przy życiu okazy miały uschnięte wierzchołki i silnie prześwietlone korony. Zmarniałe i skrócone igły w dużym stopniu wykazywały nekrotyczne przebarwienie.

Absorbowanie związków fluoru odbywa się całą powierzchnią liści, a następnie systemem waskularnym transportowane są ku brzegom liścia. Miejsce, gdzie zaszła absorpcja może zawierać stosunkowo niewielką ilość związków fluoru, natomiast na brzegu liścia jest ich 2—3, a czasem nawet i 100 razy więcej.

Związki fluoru mogą odkładać się w tkankach w postaci nierozpuszczalnych soli o znacznie mniejszej szkodliwości. W liściach mogą również powstawać organiczne związki fluoru, jednakże ani jeden z nich nie został wydzielony w czystej postaci, jak również nie wyjaśniono dotychczas ich znaczenia dla rośliny.

Ostre porażenie roślin związkami fluoru odznacza się dosyć charakterystycznymi, lecz niejednakowymi dla wszystkich gatunków roślin objawami i waha się w zależności od stężenia gazu i długotrwałości jego oddziaływania.



Ryc. 1. Skutki oddziaływania związków fluoru na drzewa rosnące w otoczeniu fabryki supertomasyny w Krakowie.

Drzewa liściaste, zwłaszcza buki wykazują najpierw rozjaśnienie, a następnie zciemnienie brzegu liścia. U drzew iglastych nekroza zwolna zajmuje szczyt igły. Z chwilą objęcia połowy lub jednej trzeciej długości, igła opada. Powodem opadania igieł jest zarówno trujący wpływ związków fluoru na całe drzewo, jak i zakłócenie w odżywianiu spowodowane zmniejszeniem powierzchni asymilacyjnej.

Krótkotrwałe oddziaływanie (godzinowe) wysokich stężeń rzędu kilku części na milion wywołuje obraz podobny do porażenia wywołanego przez dwutlenek siarki. Takie oddziaływanie nie jest jednak charakterystyczne, ponieważ koncentracja fluorowodoru w rejonach przemysłowych rzadko przewyższa kilka części na miliard części powietrza. Najczęściej spotyka się porażenie wywołane długim oddziaływaniem niskich stężeń (kilka części na miliard lub nawet 10 miliardów). W takim przypadku młode igły sosny przybierają czerwono-brunatny kolor. Porażenie zaczyna się od wierzchołka igły i stopniowo się rozprzestrzenia.

U drzew liściastych, których liście mają siatkowate unerwienie, porażenie występuje na brzegu liści z ostrą granicą między zdrową i nekrotyczną tkanką.

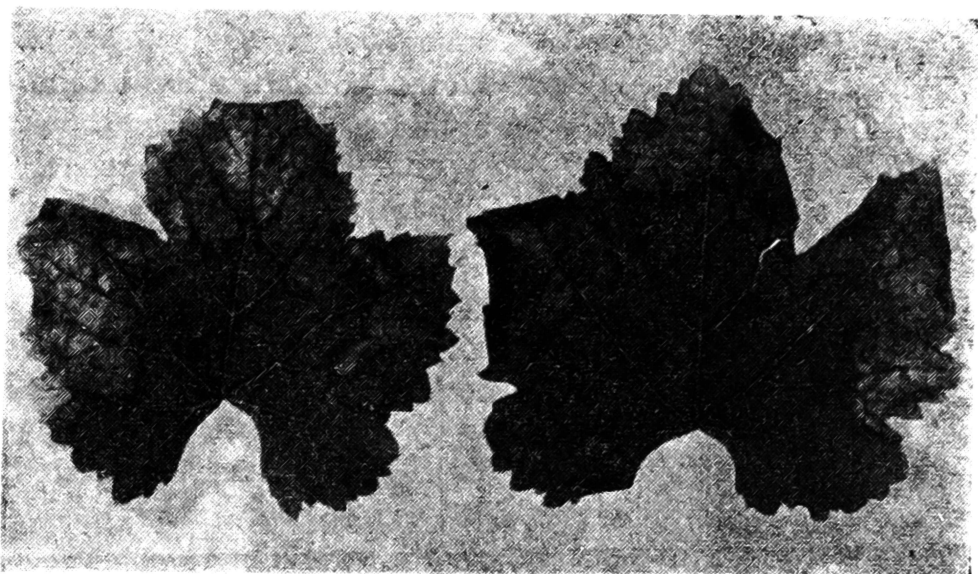
B. Strom (3) badał w Upsali wpływ związków fluoru na liście klonów i stwierdził, że stężenie 22 części na milion części powietrza powodowało nekrozę brzegową, natomiast przy zawartości 6 części na milion nie występowały widoczne uszkodzenia.

Fakt, że związki fluoru wywołują nekrozę brzegową potwierdziło interesujące doświadczenie z użyciem bibuły filtracyjnej, pociętej w kształcie liści różnych gatunków drzew. Skrawki bibuły nasyciono najpierw barwnym odczynnikiem, a następnie umieszczono je w atmosferze o dużej zawartości związków fluoru. W wyniku nastąpiło żółte zabarwienie bibuły, a zarys przypominał nekrozę brzegową liści.

ZAWARTOŚĆ ZWIĄZKÓW FLUORU W ROŚLINACH

Liczni badacze amerykańscy (25) przeprowadzili analizę liści wielu drzew i stwierdzili, że uszkodzone związkami fluoru igły sosny zawierały objętościowo 462 części tych związków na milion. Według innych autorów, w pobliżu huty aluminium i zakładu nawozów sztucznych, zawartość związków fluoru w roślinach wynosiła do 30 części na milion, przy czym największa ich ilość była w roślinach rosnących w pobliżu zakładu i zmniejszała się wraz z oddalaniem. Z rozwojem roślin zawartość tych związków w roślinach stopniowo wzrastała. Maksymalne stężenie osiągało 211 części na milion (w suchej masie) w liściach cytryn i 462 części na milion w liściach wino-

Ryc. 2. Liście winorośli uszkodzone związkami fluoru (wg M. D. Thomasa).



rośli. W odległości 14 km od zakładu stwierdzono 114 części na milion w liściach winogron i 0,7 w jagodach, a w odległości 32 km w liściach roślin cytrusowych było jeszcze 25 części związków fluoru na milion.

ODPORNOŚĆ GATUNKOWA ROŚLIN NA DZIAŁANIE ZWIĄZKÓW FLUORU

Toksyczne działanie związków fluoru przejawia się rozmaicie u poszczególnych gatunków roślin. Niektóre rośliny poraża już bardzo mała koncentracja tych związków w powietrzu atmosferycznym, a tym samym i w tkankach roślinnych. Inne natomiast mogą oprzeć się stężeniom 100 razy większym. Przyczyna tak ogromnej różnicy w tolerancji nie jest jeszcze jasna.

Spośród czterech rodzajów drzew iglastych (sosna pospolita, świerk, jodła, modrzew), najbardziej wrażliwa jest sosna. U świerka igły odbarwiają się częściowo lub całkowicie, następnie opadają, powodując obumieranie zarówno młodych jak i starszych drzew. Często nawet siewki noszą już ślady zaatakowania szkodliwymi związkami. Jodła reaguje podobnie jak świerk. Symptomami uszkodzenia są usychanie i opadanie igieł oraz bardzo rzadkie owocowanie.

Najbardziej odpornym drzewem jest modrzew, jednak i u niego związki fluoru wywołują nekrozę, a niekiedy nawet opadanie wszystkich igieł. Po ostrym porażeniu, które ma miejsce zwykle na wiosnę, wkrótce po rozwinięciu się igieł, modrzew wypuszcza nowe pędy. Są one krótsze od normalnych i obumierają częściowo lub całkowicie w drugiej połowie lata.

Bossavy (3) podaje, że przeprowadzone obserwacje tych 4 gatunków drzew w obszarze silnego zanieczyszczenia powietrza związkami fluoru pozwala wnioskować o indywidualnej odporności gatunkowej. Uzyskane wyniki przedstawia tabela 1.

Z tabeli tej wynika, że na badanym obszarze wystąpiło duże obumieranie sosny zwyczajnej i świerka, natomiast jodła i modrzew wykazały większą odporność. Wrażliwość poszczególnych gatunków drzew iglastych wyrażona w procentach przedstawia się następująco: sosna zwyczajna 75—85% z tendencją do 100%, świerk 26—75%, jodła 3—12%, modrzew — poniżej 1%.

Z drzew liściastych najbardziej wrażliwy jest buk zwyczajny. Inne drzewa, np. klon, platan, dąb wirgiński są znacznie odporniejsze.

Z roślin zielnych rosnących w runie leśnym najbardziej czułe na wpływ związków fluoru są: czworolist pospolity (*Paris quadrifolia* L.), konwalijka dwulistna (*Majanthemum bifolium* (L.) F. W. Schm.), lilia złotogłów (*Lilium martagon* L.).

Wpływ zanieczyszczeń powietrza związkami fluoru na drzewa iglaste po dwóch latach obserwowania (według Bossavy)

Gatunek	Ogólna liczba drzew	W tym		
		mar- twych	ginących	nie wyka- zujących zmian
Sosna zwyczajna	150	23	127	—
Świerk	59	5	33	21
Jodła	9	—	9	—
Modrzew	45	—	—	45

W Stanach Zjednoczonych AP w Instytucie Thompsona (25) badano wrażliwość poszczególnych roślin na wpływ fluorowodoru. Badane rośliny poddawano przez okres 7—9 dni w warunkach laboratoryjnych oddziaływaniu różnych jego stężeń, aż do momentu pojawienia się pierwszych oznak porażenia. Rośliny te ze względu na rozmaitą wrażliwość zaliczono do 6 klas (tab. 2).

Tabela 2

Porównanie wrażliwości roślin na szkodliwe oddziaływanie fluorowodoru (według Thomasa)

Wrażliwe	Srednio wrażliwe	Odporne
Klasa 1 sosna (młode igły) modrzew czernica (Jersey) rózaniecznik	Klasa 3 brzoza brzoza żółta klon srebrzysty jarzębina głóg morwa malina (Washington)	Klasa 4 platan berberys róża tawuła werbena
Klasa 2 żywotnik wschodni wiciokrzew jaśmin winorośl (niektóre europejskie odmiany)		Klasa 5 sosna żółta (stare igły) dąb wirgiński dereń bez
		Klasa 6 wejmutka świerk Engelmanna daglezja

Stężenie wywołujące lekkie porażenia:
klasa 1 i 2 — 5 części na miliard i mniejsze,
klasa 3, 5 — 10 części na miliard
klasa 4, 5, 6 — więcej niż 10 części na miliard.
Roślin nieuszkodzonych nie umieszczono w tabeli.

METODY BADANIA ROŚLIN USZKODZONYCH ZWIĄZKAMI FLUORU

Zanikanie roślinności na coraz to większych obszarach w otoczeniu źródeł zanieczyszczenia powietrza związkami fluoru było powodem szukania metod, które pozwo-

liłyby określić zasięg oddziaływania tych zanieczyszczeń oraz ustalić wysokość szkód wyrządzanych w leśnictwie i rolnictwie.

Najpierw zwrócono uwagę na zmiany morfologiczne uszkodzonych roślin. Okazało się, że w pobliżu zakładów przemysłowych, gdzie stężenie zanieczyszczeń jest bardzo duże, rośliny giną zupełnie w ciągu 2—3 lat. W miarę jednak oddalania się od źródła związków fluoru, symptomami uszkodzenia są przede wszystkim zmiany barwy liści. Charakterystyczne brązowienie brzegów liści i igieł wywołane związkami fluoru nie może być jednak cechą diagnostyczną odróżniania szkód przemysłowych. Zmiana barwy liści nie jest jednak związana ściśle z zanieczyszczeniem powietrza. Zjawisko to może być spowodowane zmiennymi warunkami klimatycznymi (mrozy, susza) albo jest wynikiem stanu fizjologicznego rośliny. Niektórzy autorzy starali się odróżnić szkody gazowe od mrozowych, wykazując, że mróz uszkadza raczej pędy młode i wystawione na silną insolację (strona południowo-zachodnia), gdy natomiast uszkodzenia gazowe, występują głównie od strony przeważającego kierunku wiatrów (12).

Nieco później zastosowano metodę chemiczną dla stwierdzenia szkód wywołanych zanieczyszczeniami powietrza polegającą na analizie ilościowej i jakościowej popiołu ze spalanych liści lub igieł uszkodzonych roślin. Analiza liści buka, igieł sosny, świerka, jodły i modrzewia upewniła o znacznie wyższej ilości związków fluoru w organach roślinnych w porównaniu z ilością zawartą w liściach drzew zdrowych, rosnących w tych samych warunkach siedliskowych, lecz w różnej odległości od źródła zanieczyszczenia.

Wkrótce jednak okazało się, że metoda chemiczna jest niewystarczająca do określenia zasięgu i rozmiaru szkód wyrządzonych roślinności przez wzrastające zanieczyszczenia. Dlatego też w późniejszym okresie przystąpiono do określania ilości wydzielanych dymów przez poszczególne zakłady przemysłowe oraz do ustalania zawartości szkodliwych związków w powietrzu.

Obecnie opracowano już bardzo precyzyjne przyrządy do pomiarów zanieczyszczeń powietrza. Rejestrują one w sposób ciągły nawet tak małe stężenie fluoru, jak 0,1 jego części na bilion części powietrza (21).

Wielu autorów uważa jednak, że badanie uszkodzeń roślin należy prowadzić metodami botanicznymi, które są dostępiej i łatwiejsze niż, np. analiza chemiczna. Metody te są jednak mniej pewne, bo podobne objawy uszkodzeń anatomicznych mogą mieć zupełnie odmienne przyczyny, np. mogą być spowodowane suszą. Dlatego też ustalił się pogląd, że metoda chemiczna, jak i botaniczna nadają się jedynie do rozpoznania ostrych uszkodzeń, zawodzą natomiast przy uszkodzeniach chronicznych.

Szerokie zastosowanie znalazła metoda tzw. „testu zmętnienia” opublikowana w 1953 r. przez Härtela (5). Metoda ta opiera się na zjawisku samoobrony roślin, które polega na częściowym zatykaniu szparek żywicą. Zjawisko to mające na celu ochronę przed wpływem szkodliwych gazów powoduje zmniejszenie przyswajania CO₂ niezbędnego do fotosyntezy, a tym samym zmniejszenie ilości asymilatów w roślinie, co z kolei wpływa na słabszy rozwój igieł i ich wielkość.

Badanie skutków oddziaływania związków fluoru na rośliny przy pomocy „testu zmętnienia” polega na poddawaniu pewnej określonej liczby igieł świerka działaniu wrzącej wody. Rozpuszczona żywica powoduje zmętnienie płynu, a stopień zmętnienia oznaczony fotometrycznie wyraża się w skali 0—6 stopni. (0 — gdy nie ma widocznego zmętnienia przechodzi 70% światła, 6 — gdy przejrzystość jest znikoma, przechodzi tylko 20% światła).

Istnieje także pewna korelacja między ciężarem igieł drzew znajdujących się w pobliżu źródła zanieczyszczenia, a tymi które są poza zasięgiem szkodliwego wpływu.

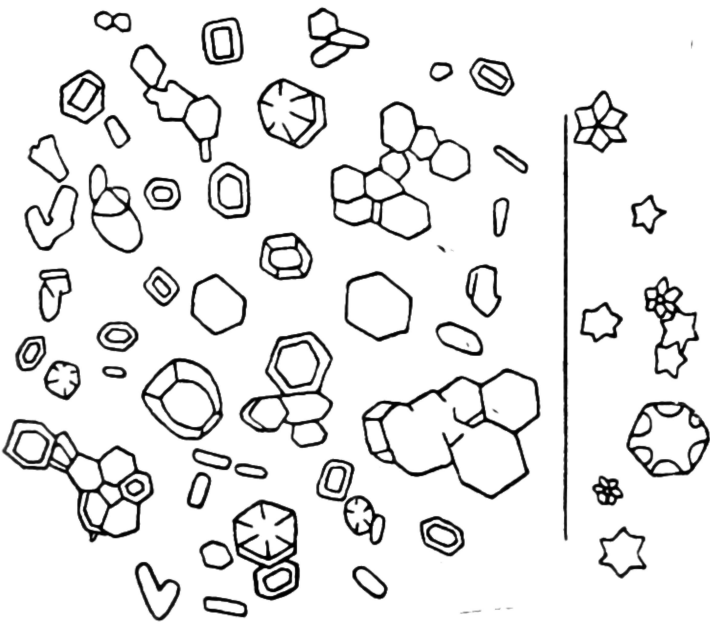
Na przykład 100 igieł z miejsc oddalonych od zakładu o 400 — 1 000 m miało ciężar 280—392 g, a z odległości 2 000—5 000 m — 500—987 g (20).

Jamrich i Pagan (7) przyjęli metodę biometryczną jako podstawę dla badania wzrostu liści i igieł w warunkach wpływu gazowych zanieczyszczeń powietrza, zawierających główne związki fluoru. Badaniami objęto 4 gatunki drzew: sosnę zwyczajną (*Pinus silvestris* L.), dąb (*Quercus petraea* Matusch/Liebl.), grab zwyczajny (*Carpinus betulus* L.) i buk zwyczajny (*Fagus silvatica* L.).

Wyniki badań wykazały niejednakowy wpływ zanieczyszczeń powietrza na poszczególne gatunki. U sosny wystąpił większy wzrost igieł na długość niż na szerokość, natomiast u gatunków liściastych w pierwszej fazie wzrostu związki fluoru stymulowały wzrost blaszek liściowych na szerokość, a następnie hamowały rozwój liści na długość tak, że w końcu nie osiągały one normalnych rozmiarów. Kształt blaszki liściowej zasadniczo nie zmienił się, nastąpiło tylko łyżkowate i trąbkowate zwijanie się liści.

Kozinka i inni (8) zastosowali do wykrywania skutków oddziaływania związków fluoru metodę ilościowej analizy intensywności transpiracji. Przeprowadzone obserwacje potwierdziły pogląd, że związki fluoru wpływają ujemnie na bilans wodny rośliny, uszkodzają szparki, a tym samym wykluczają możliwość fizjologicznego regulowania transpiracji.

Metoda histochemicznej analizy liści (1,6) może także służyć do ujawniania szkodliwego oddziaływania związków fluoru na rośliny. Badany materiał roślinny poddaje się działaniu pewnych odczynników chemicznych, które w przypadku uszkodzenia liści dają w wyniku zachodzącej reakcji, charakterystyczne, silnie łamiące światło kryształy (ryc. 3).



Ryc. 3. Kryształy związków fluoru uzyskane z liści uszkodzonych fluorowodorem. Z prawej — rzadko występujące formy gwiazdziste (według R. Balksa).

Starano się również badać wpływ związków fluoru za pomocą roślin wskaźnikowych, np. fasoli zwykłej (*Phaseolus vulgaris* L.), rdestu sachalińskiego (*Polygonum sacchalinese* Schm.), rabarbaru (*Rheum sp.*) i in. szybko rosnących roślin z dużą powierzchnią liści (4,27). Umieszczenie tych roślin w pobliżu źródeł zanieczyszczenia, a następnie badanie ich metodami chemicznymi i botanicznymi pozwala ustalić, czy stężenie związków fluoru w danej odległości wywołuje dające się wykryć uszkodzenia.

Dużym postępowaniem w zakresie metod biologicznych jest stosowana od 1957 r. metoda chromatograficzna, która pozwala na badanie zmian zachodzących w uszkodzonych organach roślinnych, a dotyczących zarówno składników organicznych jak i mineralnych.

Wszystkie przedstawione wyżej metody mogą być stosowane do badania ujemnego wpływu zanieczyszczeń powietrza na rośliny przy stosunkowo dużych stężeniach. W celu ustalenia, jak daleko może sięgać oddziaływanie słabszych koncentracji stosuje się jednakże metody pomiaru stopnia zanieczyszczenia powietrza. Przy wykryciu, np. znacznej zawartości związków fluoru w powietrzu należy spodziewać się, że roślinność wcześniej czy później ulegnie zniszczeniu, a zatem wyniki pomiarów ostrzegają przed groźącym lasom niebezpieczeństwem i pozwalają na wcześniejsze stosowanie środków zaradczych.

ZAPOBIEGANIE SZKODLIWYM WPŁYWOM ZWIĄZKÓW FLUORU

Prof. Chouard z Sorbony, który przeprowadzał badania w 1956 r. w dolinie Sabaudii, gdzie na roślinność leśną oddziaływały zanieczyszczenia z huty aluminium, stwierdził: „Można uważać za pewnik, że jeżeli nie zajdzie zmiana w procesach technologicznych, to drzewa iglaste znajdujące się w zasięgu zadymienia wcześniej czy później zostaną zupełnie zniszczone” (3).

Jakkolwiek w większości hut aluminium i zakładów nawozów sztucznych prowadzi się obecnie oczyszczanie gazów odlotowych z wychwytywaniem nie mniej niż 85—90% gazowych związków fluoru, to jednak ilości te, które ulatniają się do atmosfery są wystarczająco duże, aby spowodować zanikanie roślinności w zasięgu ich oddziaływania.

Niektórzy autorzy (25) podają, że opryskiwanie roślin wapnem chroni je od uszkodzenia, obniżając procent porażenia liści 5—10 razy. Z powierzchni liści otrzymano 74—94% opadających na rośliny związków fluoru, dzięki ich reakcji z wapnem, skąd łatwo są zmywane przez deszcz.

Stanisławski (23) wspomina o przeprowadzonym wiosną doświadczeniu z opryskiwaniem roślin specjalną emulsją tłuszczową w okresie rozwijania liści oraz latem zwłaszcza podczas dni chłodnych i pochmurnych. Opryskiwanie roślin powodowało pokrywanie powierzchni liści cienką tłustą błonką, po której kropelki wody z rozpuszczonymi w nich związkami chemicznymi zanieczyszczeń powietrza łatwo spływały, nie powodując ich porażenia.

Jak dotąd, brak jest jednak radykalnych środków, które mogłyby ochronić roślinność przed szkodliwym wpływem związków fluoru.

Wszyscy jednak badacze są zgodni, że poprawa istniejącej sytuacji uzależniona jest przede wszystkim od przemysłu. Instalowanie urządzeń absorbcyjnych przy równoczesnym usprawnieniu procesów technologicznych, spowoduje w konsekwencji zmniejszenie stopnia zanieczyszczenia powietrza, a tym samym zmniejszy istniejący stan zniszczenia i zagrożenia lasów.

Zadaniem leśnictwa jest obecnie jedynie ochrona zagrożonych drzewostanów i częściowe zapobieganie powstawaniu dalszych szkód.

LITERATURA

1. Balks R. — Die Untersuchung von Rauchschäden — Methodenbuch, B. XVI, Neumann Verlag, Radebeul u. Berlin, 1953.
2. Benben K. — Szkody wyrządzone w lasach przez substancje pochodzenia przemysłowego. „Las Polski”, nr 17, 1957.
3. Bossavy J. — Le problème des fumées industrielles dans les vallées forestières de Savoie. Revue Forestière Française, nr 1, 1962.
4. Faith W. L. — Air Pollution Control. New York. 1959. John Wiley a. Sons, Inc.
5. Härtel O. — Eine neue Methode zur Erkennung von Raucheinwirkungen an Fichte (Trübungstest). Zentralblatt f. d. gesamte Forst- und Holzwirtschaft, Wien, 1953, 72. Jahrg.
6. Hölte W. — Rauchschadenprobleme in Industriegebieten. Natur u. Landschaft, nr 3, 1960.
7. Jamrich V., Pagan J. — Účinky tovarenských dymových plynov na rast a vývin listových čepeli niektorých lesných drevin. Lesnický Čas. R. VI. č. 6. 1960.
8. Kozinka V., Klasová A., Nižňanský A. — Izmeneniya w fizjologičeskoj regulirovke transpiracii wyzwannye wozdejstwem promyšlennych wydelenij. Biologia Bratislava. R. XVIII, č. 8. 1963.
9. Lemke J. — Dymy fabryczne niszczą lasy podmiejskie Poznania. „Las Polski”, nr 6, 1960.
10. Lemke J. — Wpływ dymów fabrycznych na przyrost podmiejskich lasów Poznania. „Sylwan”, nr 6, 1961.
11. Lemke J. — Kilka uwag na temat szkód dymowych. „Las Polski”, nr 3, 1963.
12. Łuczkiwicz W. — Wpływ dymów fabrycznych na drzewostany. „Sylwan”, 1922.
13. Łuczkiwicz W. — Kilka słów o szkodach dymowych w okolicy Katowic. „Sylwan”. R. XL, 1922.
14. Majernik O. — Posóbenie fluóru na rastliny pri jeho aplikácii na koreňový systém. III. celostátni bioklimatologická konferencie v Praze. 4—7. 10. 1961. Nakl. Československé akademie ved. Praha, 1963.
15. Marter H. — Der ostoberschlesische Wald und seine Nutzung. Berlin, 1936.
16. Neger F., Wislicenus H. — Experimentelle Untersuchungen über die Wirkungen der Abgassäuren auf die Pflanze. Mitt. Sächs. Forstl. Versuchsanstalt Tharandt 1. 1914.
17. Paprzycki E. — Zasięg szkodliwego działania zanieczyszczeń powietrza na terenie Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego w oparciu o sosnę i świerk. Biul. nr 1 Komit. dla spraw GOP przy Prezydium PAN. Warszawa, 1956.
18. Paprzycki E. — Wpływ zanieczyszczeń powietrza na lasy Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego. „Sylwan”, nr 12, 1960.
19. Paprzycki E. — Oddziaływanie przemysłu górnośląskiego na gospodarstwo leśne „Las Polski”, nr 2 i 3, 1961.
20. Pelz E. — Erfahrungen mit dem Trübungstest nach Härtel bei der Rauchschadendiagnose an Fichte. Archiv f. Forstwesen, nr 2, 1958.
21. Pelz E. — Rauchschadendiagnose. Archiv f. Forstwesen, nr 8, 1959.
22. Ruśkiwicz S. — Szkody wyrządzone lasom przez wielki przemysł, „Przegląd leśniczy”, 1926.
23. Stanisławskij P. G. — Opyt ozielenienija zawoda „Kauczuk”. Ochrana Prirody i Ozielenienije. Wyp. I. Moskwa, 1959.
24. Stöckhardt J. A. — Untersuchungen über die schädliche Einwirkung des Hütten und Steinkohlenrauches auf das Wachstum der Pflanzen, insbesondere der Fichte und Tanne. Tharandter Forstl. Jahrbuch, 1871.
25. Thomas M. D. — Vlijanije zagraznenija atmosfernovo vozducha na rastienija. Zagraznenije atmosfernovo vozducha. Vsemirnaja Organizacija Zdravoochranenija. Ženeva, 1962.
26. Wislicenus H. — Zur Beurteilung und Abwehr von Ruchschäden. Zeitschrift Angewandte Chemie. H. 28, 1901.
27. Zieger E. — Die heutige Bedeutung der Industrie-Rauchschäden für den Wald. Archiv f. Forstwesen, nr 1, 1955.

Praca wpłynęła do Komitetu Redakcyjnego 5 marca 1964 r.