

WPLÝW DWUTLENKU SIARKI NA ROŚLINY

Maria Warteresiewicz

Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska PAN w Zabrze

W zespole gazowych zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego najbardziej powszechnym jest dwutlenek siarki, którego źródłem są wszelkie procesy spalania i chemicznej przeróbki węgla, ropy naftowej, rud i innych surowców zawierających siarkę, a zatem elektrownie, elektrociepłownie, kotłownie, huty, zakłady przeróbki siarki, trakcja parowa i inne oraz szczególnie w okresie zimowym paleniska domowe.

Udział przemysłowych źródeł zanieczyszczeń w krajowym bilansie emisji waha się od 60-70%. Wielkość emisji SO_2 ocenia się na około 3 mln ton rocznie, przy czym według prognoz Ministerstwa Gospodarki Terenowej i Ochrony Środowiska w okresie najbliższych lat przewiduje się znaczny wzrost emisji dwutlenku siarki w stosunku do obecnego poziomu. Perspektywy takie wynikają z zaplanowanego rozwoju energetyki i innych przemysłów opartych na przeróbce surowców zawierających siarkę, jak również z powodu trudności związanych z praktycznym odsiarczaniem spalin [9].

Najpowaźniejszym źródłem emisji dwutlenku siarki jest przemysł energetyczny; w elektrowniach spala się najgorsze gatunki węgla kamiennego, co powoduje, że emisja dwutlenku siarki — jak podaje Skawina [15] — wynosi przeciętnie około 34 kg/tonę spalonego węgla. Zróżnicowanie wielkości emisji w poszczególnych gałęziach przemysłu zestawiono w tabeli 1 wg danych GUS [3].

Na pierwsze miejsce w kraju pod względem wielkości emisji wysuwa się Górnośląski Okręg Przemysłowy, gdzie zgrupowane są liczne kopalnie i zakłady przemysłowe, głównie przemysłu ciężkiego. Emisja dwutlenku siarki w Górnośląskim Okręgu Przemysłowym i Rybnickim Okręgu Węglowym wg materiałów GUS stanowi ponad 20% emisji krajowej. Ponad 100 tys. ton/rok wynosi wielkość emisji dwutlenku siarki z zakładów przemysłowych w rejonach: Kraków, Jaworzno — Wadowice, Adamów — Pątnów, Bolesław — Legnica — Jelenia Góra — Głó-

Tabela 1

Wielkość emisji SO₂ w poszczególnych gałęziach przemysłu
w procentach (wg danych GUS)

Gałęzie i branże przemysłu	Emisja dwutlenku siarki w %
Ogółem	100,00
Przemysł paliwowo-energetyczny	69,84
węglowy	3,01
paliwowy	5,54
energetyczny	61,29
Przemysł metalurgiczny	9,82
hutnictwa żelaza	5,77
metali nieżelaznych	4,05
Przemysł elektromaszynowy	2,16
Przemysł chemiczny	9,12
Przemysł mineralny	3,50
Przemysł drzewno-papierniczy	1,28
Przemysł lekki	0,94
Przemysł spożywczy	2,30
Pozostałe gałęzie	1,04

gów, Turoszów; ponad 50 tys ton/rok w rejonie Opole — Kędzierzyn, Warszawa — Sochaczew — Żyrardów oraz Płock [3].

Stężenia dwutlenku siarki w powietrzu wahają się w dość szerokich granicach: od ilości śladowych aż do kilku mg w m³, przy czym zmiany stężeń mogą występować w stosunkowo krótkich odstępach czasu. Krajowe normy sanitarne określają wielkość dopuszczalnego stężenia dwutlenku siarki w powietrzu: stężenia średniodobowe 0,35 mg SO₂/m³, stężenia 20 minutowe 0,9 mg SO₂/m³. W dużych ośrodkach miejskich w mglistych dniach stężenia dwutlenku siarki wynoszą około 0,5-0,9 mg/m³. W dużych miastach przemysłowych jak Londyn czy też w Zagłębiu Ruhry osiągnano poziom 3,0-4,5 mg SO₂/m³. Przestrzenny rozkład zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego zależy nie tylko od wielkości i rodzaju źródła emisji, istotny wpływ wywierają warunki klimatyczno-meteorologiczne (prędkość i kierunki wiatrów, opady atmosferyczne, układ mas powietrza, wilgotność powietrza itp.), ukształtowanie powierzchni, rozmieszczenie zakładów przemysłowych, wysokość kominów, stosowane urządzenia odpylające. Opady deszczu lub śniegu w znaczny sposób obniżają poziom dwutlenku siarki, podczas gdy stagnacja powietrza i inwersja warunkują wysokie stężenia [2, 21, 22].

W Górnośląskim Okręgu Przemysłowym zanieczyszczenie powietrza dwutlenkiem siarki większe od dopuszczalnych norm sanitarnych obejmuje około 30% obszaru konurbacji miejskiej, a w sąsiedztwie dużych zakładów przemysłowych stężenia dwutlenku siarki dochodzą do kilku mg w m³ powietrza [2].

Zanieczyszczeniu powietrza dwutlenkiem siarki towarzyszą nierzadko inne substancje szkodliwe dla środowiska przyrodniczego, co zwiększa stopień istniejącego zagrożenia [2, 22].

Dwutlenek siarki ze względu na duże własności toksyczne wywiera ujemne oddziaływanie na rośliny — stanowi czynnik uszkadzający; jednak w przypadku niedoboru siarki w glebie dwutlenek siarki, znajdujący się w powietrzu w niskich stężeniach, może być dodatkowym źródłem siarki i stymulować wzrost roślin [1].

Absorbowany przez aparat asymilacyjny dwutlenek siarki wnika do wnętrza liści, gdzie ulega przemianom biochemicznym, wśród których dominuje proces utleniania do siarczanu. Część siarki z pobranego dwutlenku siarki może być wbudowywana w związki organiczne takie jak: glutation, cysteina i metionina.

Pierwszymi objawami oddziaływania dwutlenku siarki na rośliny jest obniżenie natężenia fotosyntezy, obserwuje się również zaburzenia w transpiracji, oddychaniu i przebiegu szeregu procesów enzymatycznych. Wszystkie czynniki zewnętrzne, które wywierają wpływ na zwiększenie intensywności fotosyntezy, takie jak wzrost wilgotności, naświetlenia zwiększają równocześnie absorpcję dwutlenku siarki i w związku z tym wzrasta stopień występujących uszkodzeń [2, 7, 8, 12, 22].

Ocena oddziaływania dwutlenku siarki na środowisko przyrodnicze, szczególnie w warunkach niejednorodnego zanieczyszczenia powietrza może narażać na pewne trudności. Aby określić wpływ dwutlenku siarki na rośliny, należy oprzeć się na kryteriach, które warunkują właściwą diagnozę. Oprócz analizy powietrza szczególne znaczenie mają metody biologiczne jak: określenie objawów uszkodzeń, zmian w pokroju i wyglądzie roślin, eksponowanie odpowiednio dobranych roślin testowych oraz analiza chemiczna, biologiczna i fizjologiczna roślin [2, 6, 7]. Stosowanie bioindykatorów nie umożliwia bezpośredniego określenia stężenia czynnika fitotoksycznego w powietrzu atmosferycznym, pozwala jednak na porównanie i ocenę stopnia jego oddziaływania na rośliny oraz na określenie zasięgu rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w powietrzu atmosferycznym w ilościach oddziaływających ujemnie na rośliny. Przy pomocy roślin testowych jest również możliwa identyfikacja czynnika toksycznego.

Wysokie stężenia dwutlenku siarki powodują występowanie ostrych uszkodzeń na liściach, które polegają na międzyżyłkowym lub brzeżnym zamieraniu tkanek. Uszkodzone części liści bieleją lub brunatnieją, tkanka liściowa otaczająca uszkodzoną powierzchnię jest zwykle zielona o wyglądzie normalnym. Chroniczne uszkodzenia powodowane są przez absorpcję mniejszych ilości gazów niż te, jakie wywołują uszkodzenia ostre, lub mogą być spowodowane niskimi stężeniami działającymi przez

długi okres. Powstają wówczas na liściach objawy chlorozy. Podobne objawy uszkodzeń roślin mogą występować pod wpływem innych gazowych zanieczyszczeń powietrza, jak np. fluoru czy tlenków azotu oraz pod wpływem takich czynników jak mróz, wysoka temperatura, zaburzenia w żywieniu i zaopatrzeniu w wodę, pod wpływem szkodników i stosowania środków ochrony roślin [6]. Występowanie uszkodzeń nie może zatem stanowić bezwzględnego dowodu świadczącego o zagrożeniu roślin wywołanym dwutlenkiem siarki.

Ważną rolę w diagnostyce przemysłowych zanieczyszczeń powietrza odgrywają rośliny testowe, które mogą służyć jako wskaźnik typu i intensywności występujących zanieczyszczeń powietrza. Opierając się na reakcji szeregu odpowiednio dobranych gatunków roślin testowych, o różnej wrażliwości, można określić rodzaj występujących przemysłowych zanieczyszczeń powietrza i ocenić zasięg ich oddziaływania. W badaniach przeprowadzonych wokół zakładów przemysłowych różnej specjalności, o wysokiej emisji pyłów gazowych, związków siarki i tlenków azotu, zlokalizowanych na terenie Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego, przy użyciu roślin testowych można było ocenić występujący rodzaj zagrożenia.

Spośród gatunków uprawnych specjalnie wrażliwe na dwutlenek siarki okazały się: lucerna (*Medicago sativa* L.), gryka (*Fagopyrum esculentum* Mnch.), szpinak (*Spinacia oleracea* L.), łubin żółty (*Lupinus luteus* L.), mało zaś wrażliwe: kukurydza (*Zea mays* L.), kapusta (*Brassica oleracea* L.), cykoria (*Cichorium intybus* L.), mieczyki (*Gladiolus gandavensis* L.).

Szczególne znaczenie mają rośliny niższe, przede wszystkim porosty, które są bardzo przydatne dla celów diagnostycznych [13]. Jednym spośród stosowanych biotestów jest chemiczna analiza liści. Wyniki ostatnich badań potwierdzają związki między zawartością dwutlenku siarki w powietrzu a ilością siarki zaakumulowanej w organach asymilacyjnych roślin, co sugeruje możliwość wykorzystania tej zależności w celach diagnostycznych [5, 16].

Poziom siarki w roślinach w warunkach naturalnych wykazuje dość znaczne zróżnicowanie w zależności od gatunku odmiany, indywidualnych właściwości roślin, jak również od gleby, klimatu, stadium rozwoju. Wysoką zawartością wyróżniają się rośliny krzyżowe (*cruciferae*). Zawartość siarki w liściach gorczycy w rejonie kontrolnym dochodziła do 0,9‰ w s.m., podczas gdy u fasoli i gryki do 0,3‰ w s.m. Wyraźne różnice w zawartości siarki występują w organach roślin. Najwięcej siarki akumulują liście, poziom siarki w liściach zbóż w punkcie kontrolnym był czterokrotnie wyższy niż w źdźbłach i korzeniach. W rejonie przemysłowym różnice były pięciokrotne (tab. 2). Badania nad akumulacją

siarki w roślinach prowadzono w Górnośląskim Okręgu Przemysłowym w rejonie zakładów hutnictwa w Szopienicach, zakładów cynkowych w Brzozowicach i Brzezinach oraz huty i elektrowni w Łaziskach.

Tabela 2

Zawartość siarki w liściach, korzeniach i źdźbłach pszenicy

Punkty badań	Średnie zanieczyszczenie powietrza mg SO ₂ / /100 cm ² / /dobę	Procent siarki w suchej masie		
		liści	korzeni	źdźbła
I — Brzeziny	2,41	1,01	0,17	0,18
II — Brzozowice	1,95	0,82	0,15	0,14
III — Brzozowice	0,91	0,60	0,14	0,13
IV — Czeladź	0,78	0,56	0,14	0,13
Punkt kontrolny	0,37	0,34	0,09	0,09

Zanieczyszczenie powietrza dwutlenkiem siarki występujące w rejonie badań wpłynęło na nagromadzenie się siarki w roślinach. Poziom siarki w liściach roślin w sąsiedztwie zakładów przemysłowych był wysoki i obniżał się w miarę oddalania od źródła emisji. Największą zawartość siarki w liściach stwierdzono w warunkach dużego zanieczyszczenia powietrza dwutlenkiem siarki (poziom SO₂ określano metodą kontaktową z PbO₂; wynosił średnio około 2,3 mg SO₂/100 cm²/dobę) o stężeniach powodujących ostre uszkodzenia roślin. Wyraźnie niższe wartości występowały na terenach położonych w odległości 2,5-3 km od zakładów przemysłowych, gdzie ilości dwutlenku siarki mieściły się średnio w granicach 1 mg SO₂/100 cm²/dobę. Podczas gdy w rejonie o największym zanieczyszczeniu powietrza dwutlenkiem siarki zawartość siarki w roślinach zależnie od gatunku wykazywała dwukrotny, a nawet trzykrotny, wzrost w porównaniu z roślinami kontrolnymi, na terenach bardziej odległych od źródła emisji poziom siarki był około 1,5 razy wyższy od kontroli (tab. 3).

Analiza chemiczna liści dostarcza dodatkowych informacji o oddziaływaniu dwutlenku siarki i może być wykorzystana dla wyjaśnienia wywołanych szkód, szczególnie w rejonach o niejednorodnym zanieczyszczeniu powietrza. Możliwość pobrania większych ilości prób materiału roślinnego pozwala na bardziej wnikliwą ocenę wpływu dwutlenku siarki na rośliny, przy czym istotnym warunkiem jest pobranie reprezentatywnych i ekologicznie porównywalnych prób roślin.

W badaniach nad wpływem przemysłowych zanieczyszczeń powietrza

Tabela 3

Zawartość siarki w liściach roślin w rejonie badań

Punkty badań	Średnie zanieczysz- czenie powietrza mg SO ₂ / /100 cm ² / /dobę	Procent siarki w suchej masie			
		lucerny	gorczycy	słonecz- nika	gryki
I — Brzeziny	2,41	0,80	1,75	1,57	0,83
II — Brzozowice	1,95	0,73	1,52	1,50	0,70
III — Brzozowice	0,91	0,48	1,10	0,96	0,42
IV — Czeladź	0,78	0,43	1,06	0,94	0,38
Punkt kontrolny	0,37	0,32	0,88	0,80	0,28

na rośliny oznaczano zawartość chlorofilu w liściach oraz utratę wody przez odcięte liście. Jakkolwiek analiza barwników asymilacyjnych nie jest specyficzna dla dwutlenku siarki, stwierdzono wyraźne zmiany u roślin rosnących w warunkach zanieczyszczenia powietrza SO₂. Podobnie zaobserwowano różnice w utracie wody przez odcięte liście roślin; na obszarach o dużym zanieczyszczeniu powietrza dwutlenkiem siarki utrata wody przez odcięte liście przebiega szybciej [19].

Spośród stosowanych biotestów dobre wyniki uzyskiwała Grodzińska [4] przy określaniu pH kory z drzew rosnących w różnych strefach zanieczyszczenia powietrza. Piskornik [11] wykorzystał dla celów diagnostycznych wpływ przemysłowych zanieczyszczeń powietrza na przewodnictwo elektryczne wodnych dyfuzatów z tkanek asymilacyjnych drzew liściastych i szpilkowych.

Występujące pod wpływem dwutlenku siarki uszkodzenia roślin mogą prowadzić do powstawania szkód, jednak nie wszystkie uszkodzenia powodują szkody. Jako szkody rozumie się tylko te uszkodzenia, które obniżają wartość użytkową roślin. Obojętne jest przy tym, czy szkody te spowodowane są przez ostre, chroniczne, czy też jakiegokolwiek innego rodzaju uszkodzenia (np. fizjologiczne zaburzenia, czy też zmiany w składzie chemicznym roślin).

W licznych badaniach próbowano określić zależność pomiędzy wielkością stężenia i wywołanymi przez nią skutkami, przy czym przeprowadzono doświadczenia zarówno w warunkach sztucznego zadymiania w komorach, jak i w terenie. W wyniku tych badań starano się uzyskać wielkości szkodliwych dla roślin stężeń dwutlenku siarki. Należy jednak podkreślić, że nie można ustalić absolutnych wartości dopuszczalnych stężeń granicznych, ponieważ oddziaływanie dwutlenku siarki na ro-

śliny zależy od wielu czynników. Obok wielkości stężenia, czasu oddziaływania oraz częstotliwości z jaką roślina jest ekspozycja na SO_2 , co wiąże się z występowaniem okresów wolnych od emisji, istotne znaczenie mają warunki meteorologiczne, glebowe, poziom nawożenia, wilgotność gleby, jak również różna wrażliwość gatunków i odmian roślin, ich wiek i stadium rozwojowe [2, 6, 7, 8, 12]. Dla zbóż będących pod wpływem dwutlenku siarki najbardziej krytycznym okazał się okres kwitnienia, dla roślin korzeniowych okres wczesnego grubienia korzenia, a dla fasoli okres bezpośrednio przed kwitnieniem do okresu wczesnych strąków. U drzew owocowych mniej groźne jest uszkodzenie w okresie po uformowaniu się owoców, niż w okresie zakwitania [2].

Występujące w terenie zanieczyszczenia powietrza wahają się w szerokich granicach. Pomiarów wykonane w rejonie wokół źródła emisji wykazują występowanie stosunkowo dużo okresów o niewysokich stężeniach, z czego wynika, że średnia wartość wyliczona z uzyskanych oznaczeń leży stosunkowo nisko. Występujące sporadycznie krótkie okresy wysokich, szkodliwych dla roślin stężeń, tylko w niewielkim stopniu oddziałują na poziom wartości średnich. Z tego względu w rejonach o zbliżonych średnich stężeniach obserwować można różne oddziaływanie dwutlenku siarki na rośliny. Trudno jest zatem określić stopień zagrożenia roślinności, jaki występuje wokół źródła emisji, w oparciu o średnie uzyskane z całego okresu pomiarowego. Niezbędna jest również znajomość maksymalnych wartości stężeń i czasu ich oddziaływania oraz warunków środowiskowych.

W wyniku kilkuletnich doświadczeń przeprowadzonych w rejonie oddziaływania dwutlenku siarki Guderian i Stratmann [6] ustalili graniczne stężenia toksycznego oddziaływania SO_2 na rośliny (tab. 4). Należy zaznaczyć, że przy dolnych wartościach podanych stężeń granicznych nie stwierdzono uszkodzeń, podczas gdy przy górnych wystąpił wyraźny wpływ na wzrost, wielkość i jakość plonów badanych gatunków roślin. Przedstawione stężenia graniczne są dla szeregu roślin niższe od ustalonych krajowych norm sanitarnych. Nikolajewski i Mirosznikowa [10] badając wpływ niskich stężeń dwutlenku siarki na rośliny stwierdzili, że przy wartościach $0,2 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$ występowało wyraźne obniżenie natężenia fotosyntezy u badanych gatunków roślin drzewiastych, przy czym wpływ dwutlenku siarki obserwowano nawet przy stężeniach w granicach od $0,02$ do $0,05 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$.

Rośliny są na ogół bardziej wrażliwe od ludzi i zwierząt na przemysłowe zanieczyszczenia powietrza, co powoduje poważną uciążliwość dla produkcji rolnej i leśnej. Według danych szacunkowych Kamienieckiego, Siemiona i Siuty [14], powierzchnia gruntów narażonych na ujemne

Tabela 4

Graniczne stężenia szkodliwego oddziaływania SO₂ na rośliny
wg Guderiana i Stratmanna [6]

Roślina	Graniczne stężenia w ppm*			
	podczas trwania emisji		podczas okresu pomiarowego	
	od	do	od	do
Drzewa owocowe i krzewy jagodowe				
agrest, porzeczka, jabłoń	0,22	0,26	0,010	0,020
czereśnia, śliwa	0,26	0,44	0,020	0,083
Zboża i rzepak jary				
pszenica ozima	0,24	0,28	0,009	0,024
żyto	0,28	0,31	0,024	0,051
pszenica jara	0,23	0,38	0,015	0,050
owies	0,23	0,38	0,015	0,050
rzepak jary	0,23	0,57	0,015	0,124
Rośliny okopowe				
ziemniaki	0,21	0,23	0,010	0,015
buraki	—	0,31	0,024	0,051
Rośliny pastewne				
koniczyna, lucerna	0,25	0,31	0,024	0,051
owies (na zielono)	0,23	0,38	0,015	0,050
żyto na zielono	0,28	0,31	0,024	0,051
Jarzyzny				
szpinak	0,22	0,25	0,010	0,020
marchew	0,28	0,49	0,024	0,104
pomidory	0,31	0,57	0,051	1,240

* 1 ppm w temp. 0°C, ciśn. 760 mm odpowiada 2,85 mg/m³; dla warunków naturalnych można przyjąć, że 1 ppm — 2,6 mg/m³ [22].

oddziaływanie emitowanych zanieczyszczeń powietrza wynosi 1,8 mln ha, w czym znaczny udział przypada na uprawy rolne.

Występowanie i wielkość szkód wywołanych przemysłowymi zanieczyszczeniami powietrza na rośliny stanowi przedmiot licznych badań. W doświadczeniach przeprowadzonych na terenie Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego stwierdzono duże obniżenie plonów roślin, szczególnie w sąsiedztwie zakładów hutnictwa emitujących znaczne ilości dwutlenku siarki. W rejonie Szopienic, gdzie poziom dwutlenku siarki w powietrzu wynosił 2,7 mg SO₂/100 cm²/dobę, straty dla ziemniaków dochodziły do 60%. Obniżenie plonów w rejonie innych hut było również bardzo duże, zależne od poziomu dwutlenku siarki w powietrzu [19]. Duże straty stwierdzono na terenie Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego wokół koksowni oraz elektrowni [17, 18].

Znaczne zagrożenie dla środowiska przyrodniczego stanowią zakłady

hutnictwa żelaza, co potwierdzają wyniki trzyletnich badań przeprowadzonych w rejonie kombinatu hutniczego w Nowej Hucie [20]. Głównymi substancjami fitotoksycznymi emitowanymi przez hutę są gazowe związki siarki, powstające w procesach spalania węgla i przy przeróbce surowców, oraz pyły. Największą zawartość dwutlenku siarki (dwutlenek siarki w powietrzu oznaczano metodą kontaktową z PbO_2) oraz największy opad pyłu stwierdzono na obszarach położonych na linii przebiegających wiatrów w kierunku wschodnim i południowo-wschodnim od huty w odległości do 1 km (punkty II, III, IV). Średnie zanieczyszczenie powietrza dwutlenkiem siarki w okresie trzyletnim wynosiło około $1,5 \text{ mg SO}_2/100 \text{ cm}^2/\text{dobę}$, podczas gdy maksymalne wartości dochodziły do $2,6 \text{ mg SO}_2/100 \text{ cm}^2/\text{dobę}$. Opad pyłu był wysoki ponad $800 \text{ t/km}^2/\text{rok}$. Znaczne zanieczyszczenie powietrza występowało również w rejonach na południowy zachód (pkt. I) i północ od huty (pkt. VI). Poziom dwutlenku siarki wynosił ponad $1 \text{ mg SO}_2/100 \text{ cm}^2/\text{dobę}$, wielkość opadu pyłu około $500 \text{ t/km}^2/\text{rok}$. Mniejsze zanieczyszczenie powietrza występowało na terenach oddalonych około 3 km na wschód od huty (pkt. V), gdzie ilości dwutlenku siarki w powietrzu były w granicach $0,7 \text{ mg SO}_2/100 \text{ cm}^2/\text{dobę}$. Opad pyłu około $360 \text{ t/km}^2/\text{rok}$. W rejonie odniesienia poziom siarki wynosił $0,4 \text{ mg SO}_2/100 \text{ cm}^2/\text{dobę}$, opad pyłu około $140 \text{ t/km}^2/\text{rok}$.

Ujemne oddziaływanie emitowanych zanieczyszczeń powietrza na rośliny było bardzo wyraźne. Obserwowano występowanie uszkodzeń, wzrost wielu gatunków roślin był wyraźnie zahamowany, wystąpiło skrócenie okresu wegetacyjnego. W rejonie na wschód od huty wysokość jęczmienia była obniżona o 20% w stosunku do roślin z terenów o niezanieczyszczonym powietrzu.

Oddziaływanie zanieczyszczeń powietrza na rośliny próbowano również określić w oparciu o badanie ilości utraty wody przez liście roślin rosnących w punktach badań oraz zmiany zawartości chlorofilu w organach asymilacyjnych roślin. Stwierdzono wyraźne różnice między roślinami z rejonu wokół huty a roślinami kontrolnymi w ilości wody utraconej przez więdnące liście. W rejonie przemysłowym, na obszarach o dużym zanieczyszczeniu powietrza liście badanych roślin bardzo prędko traciły znaczne ilości wody. Utrata wody przez odcięte liście fasoli w punkcie kontrolnym po 5 godzinach wynosiła średnio około 40% wagi świeżej masy liści, u roślin z rejonu położonego na południowy wschód i wschód od huty była większa, dochodziła do 65%.

W okresie wegetacyjnym wystąpiły duże różnice w poziomie chlorofilu w organach asymilacyjnych roślin. Rośliny z rejonu o zanieczyszczonym powietrzu odznaczały się mniejszą zawartością chlorofilu w liściach w porównaniu do roślin z rejonu kontrolnego (tab. 5). Zawartość chlorofilu w liściach fasoli w rejonie o największym zanieczyszczeniu po-

T a b e l a 5

Plony roślin w rejonie Huty im. Lenina w liczbach względnych

Nr punktu	Kierunek	Odległość m	Ziemniaki kłoby			Buraki korzenie			Jęczmień ziarno			Fasola ziarno			
			1968	1969	1970	1968	1969	1070	1968	1969	1970	1968	1969	1970	
Kontrola	E	1700	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
P-I	SSW	600	85,4*	76,2*	73,2*	84,2*	82,4*	76,4*	—	86,2*	84,2*	89,8*	80,4*	77,4*	
P-II	SSE	600	70,4*	60,2*	54,6*	75,2*	66,4*	60,4*	97,2	76,2*	66,6*	78,8*	63,0*	58,0*	
P-III	SE	1000	78,6*	70,6*	66,4*	80,6*	70,4*	72,2*	96,4	78,8*	78,2*	86,6*	68,6*	68,4*	
P-IV	E	600	71,2*	64,2*	58,6*	78,2*	68,2*	86,4*	94,5	75,6*	70,2*	84,2*	72,2*	66,4*	
P-V	E	3000	96,7	102,6	87,6*	98,0	97,2	88,4*	98,2	97,8	94,4	98,1	95,2	88,2*	
P-VI	N	800	88,0*	76,4*	73,2*	88,0*	80,2*	74,8*	94,4	86,4*	85,2*	92,6	84,4*	85,8*	

* Różnica istotna ($P = 0,05$).

Tabela 6

Zawartość chlorofilu w liściach fasoli w rejonie Huty im. Lenina w Nowej Hucie w mg/g suchej masy

Nr punktu	Kierunek	Odległość m	4 VII		23 VII		
			chlorofil a	chlorofil b	chlorofil a	chlorofil b	
	od źródła emisji		a : b	a : b			
Kontrola	E	17000	7,047	1,801	6,220	1,550	4,01
P-I	SSW	600	6,707	1,780	4,988	1,353	3,69
P-II	SSE	600	6,008	1,682	3,238	0,989	3,27
P-III	SE	1000	5,700	1,492	3,619	1,025	3,53
P-IV	E	600	6,652	1,751	3,900	1,140	3,42
P-V	E	3000	7,186	1,946	6,012	1,494	4,02
P-VI	N	800	6,347	1,761	5,122	1,384	2,70

wietrza wynosiła średnio 3,500 mg/g suchej masy, podczas gdy w punkcie kontrolnym 6,220 mg/g suchej masy, na terenach na południowy zachód i północ od źródła emisji poziom chlorofilu wynosił 5,100 mg/g suchej masy.

Występujące w rejonie kombinatu zanieczyszczenie powietrza wpłynęło na plonowanie roślin. Na terenach najbardziej zagrożonych, jakimi są rejonny na południowy wschód i wschód, obniżenie plonów było bardzo znaczne (tab. 6). Największe straty w plonach ziemniaków dochodziły do 45%, buraków i fasoli do 40%, jęczmienia do 30%. Na obszarach na północ od huty plony były obniżone o 25%. W rejonach na południe od huty plony były zmniejszone w granicach do 20%. Ujemny wpływ emitowanych zanieczyszczeń powietrza występował również na terenach znajdujących się w odległości około 3 km od huty, na wschód na linii przeważających wiatrów, gdzie występowało obniżenie plonów do 10%.

Jakość ziarna jęczmienia i fasoli na obszarach wokół huty uległa pogorszeniu. Ciężar 1000 ziarn był obniżony, różnice dochodziły do 28% w stosunku do roślin kontrolnych.

Znacznemu obniżeniu uległa również skrobiowość ziemniaków. Na obszarach, gdzie wzrost ziemniaków był najbardziej zahamowany i liście były przez cały okres mniej lub więcej uszkodzane poziom skrobi był o 3% niższy w porównaniu do rejonu kontrolnego. Na obszarach, gdzie nie stwierdzono ostrych uszkodzeń liści ziemniaków (na południe od huty) skrobiowość była niższa około 2%.

Zanieczyszczenie powietrza w istotny sposób wywiera wpływ na użytkowanie roślin. W rejonach położonych w sąsiedztwie zakładów przemysłowych zarówno wysokość uzyskiwanych plonów, jak i ich jakość wykazują znaczną zależność od stopnia zanieczyszczenia powietrza. Właściwe rozpoznanie oddziaływania emitowanych zanieczyszczeń powietrza na rośliny i ustalenie wielkości strat umożliwiają ocenę istniejącego stanu, jak również mogą stanowić podstawę do podjęcia kroków zmierzających do przeciwdziałania szkodom w produkcji roślinnej.

LITERATURA

1. Cowling D. W., Jones L. H. P., Lockyer D. R.: Increased Yield through Correction of Sulphur Deficiency in Ryegrass Exposed to Sulphur Dioxide. *Nature*, 244, nr 5407, 1973, 479-480.
2. Garber K.: *Luftverunreinigung und ihre Wirkungen*. Gebr. Borntraeger, Berlin 1967.
3. Główny Urząd Statystyczny: Stan, zagrożenie i ochrona środowiska 1973. Warszawa 1974.

4. Grodzińska K.: Acidification of tree bark as a measure of air pollution in southern Poland. *Bull. Acad. Poln. Sci., Ser. Sci. biol.* 19, 1971, 189-195.
5. Guderian R.: Untersuchungen über quantitative Beziehungen zwischen dem Schwefelgehalt von Pflanzen und dem Schwefeldioxidgehalt der Luft. *Z. PflKranh. PflSchutz* 77, 4/7, 1970, 200-220, 289-308, 387-399.
6. Guderian R., van Haut H.: Nachweis von Schwefeldioxid-Wirkungen an Pflanzen. *Staub, Reinhalt. Luft* 30, 1970, 17-26.
7. Impens R.: Effets des Pollutants gazeux sur les végétaux: l'anhydride sulfureux. *Annales de Gembloux*, 77, nr 2, 1971, 147-161.
8. Markowski A., Grzesiak S., Schramel M.: Susceptibility of Six Species of Cultivated Plants to Sulphur Dioxide under Optimum Soil Moisture and Drought Conditions, *Bull. Acad. Poln. Sci., Ser. Sci. biol.* 12, 1974, 889-897.
9. Ministerstwo Gospodarki Terenowej i Ochrony Środowiska: Założenia programu ochrony środowiska w Polsce do roku 1990, Warszawa 1975.
10. Nikolajewski W. S., Mirosznikowa A. T.: Dopustimyje normy zagrzażnienia wo-zducha dla rastenij, *Gigiena i sanitarija*, 4, 1974, 16-18.
11. Piskornik Z.: Zastosowanie metody konduktometrycznej w diagnostyce uszkodzeń liści drzew spowodowanych zanieczyszczeniami powietrza. *Biul. ZBN GOP—PAN*, 12, 1970, 115-135.
12. Piskornik Z., Godzik S.: Oddziaływanie zanieczyszczeń powietrza na rośliny, *Wiad. bot.* XIV, 2, 1970, 91-102.
13. Schönbeck H.: Eine Methode zur Erfassung der biologischen Wirkung von Luftverunreinigungen durch transplantierte Flechten. *Staub*, 29, 1, 1969, 14-18.
14. Siuta J.: Degradacja i rehabilitacja środowiska przyrodniczego w strefach intensywnego oddziaływania przemysłu. *Symposium naukowo-techniczne „Problemy ochrony i rekultywacji powierzchni ziemi w Polsce”*. Sandomierz — Puławy 1975.
15. Skawina T., Bojarski Z., Janczak J., Kamieniecki F., Kleczkowski A., Muszkiet T.: Zanieczyszczenie i zatrucie środowiska w Polsce. *Biul. Komit. Przestrzennego Zagospodarowania Kraju PAN*, 68, 1971, 125-172.
16. Skawina T., Szalonek I., Warteresiewicz M., Wąchalewski T.: Zastosowanie testu roślinnego do oceny stopnia zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego dwutlenkiem siarki. *Post. Nauk rol.* 3, 1964, 17-31.
17. Szalonek I., Warteresiewicz M.: Wzrost i plonowanie ziemniaka w warunkach przemysłowego zanieczyszczenia powietrza. *Biul. Zakł. Bad. GOP — PAN*, 8, 1966 a, 59-74.
18. Szalonek I., Warteresiewicz M.: Wpływ przemysłowych zanieczyszczeń powietrza na niektóre rośliny warzywne. *Biul. Zakł. Bad. GOP — PAN*, 8, 1966 b, 75-84.
19. Warteresiewicz M.: Einfluss der Luftverunreinigungen auf Pflanzen in der Nähe einiger Zinkhütten. *Materiały VI Międzynarodowej Konferencji „Wpływ zanieczyszczeń powietrza na lasy”* Katowice. 1968, 185-195.
20. Warteresiewicz M., Szalonek I.: Untersuchungen über die Schäden an Kulturpflanzen in der Nähe eines Metallurgischen Kombinates. *Mitteilungen der Forstlichen Bundes-Versuchsanstalt. Wien*, 97, 1972, 209-217.
21. Wrona A., Zemła B.: Przestrzenny rozkład zanieczyszczeń powietrza w GOP., *Czas. geogr.* 2, 1971, 365-375.
22. Ziegler I.: The effect of SO₂ pollution on plant metabolism. *Residue Review* 1975, 79-105.

М. Вартересевич

ВЛИЯНИЕ СЕРНИСТОГО АНГИДРИДА НА РАСТЕНИЯ

Резюме

Оценка воздействия сернистого ангидрида на растения основывается на определенных критериях, обуславливающих правильный диагноз. Кроме анализа воздуха особое значение имеют такие биологические методы, как: определение признаков повреждений и внешнего вида растений, химический, биохимический и физиологический анализ растений, а также экспозиция соответственно отобранных опытных растений. Применение биоиндикаторов позволяет сравнивать и оценивать степень и пределы воздействия сернистого ангидрида на растения и определять зоны под угрозой.

На основании исследований проведенных вблизи крупного металлургического комбината определяли влияние выбрасываемых загрязнений воздуха (сернистый ангидрид, пыль) на культурные растения. На площади вокруг комбината отмечали сильные повреждения растений, снижение роста многих видов и существенные различия в количестве хлорофилла в листьях. Заметно снизилась урожайность растений. Уровень сернистого ангидрида в воздухе воздействует существенным образом на культурные растения; величина получаемых урожаев и их качество обусловлены в значительной степени уровнем загрязнения воздуха.

M. Warteresiewicz

SULPHUR DIOXIDE EFFECT ON PLANTS

Summary

The estimation of the sulphur dioxide effect on plants is based on definite criteria enabling a correct diagnosis. Beside air analysis, of particular importance are biological methods, such as: determination of injury symptoms, changes in type and appearance of plants; chemical, biochemical and physiological analyses of plants and exposure of suitably selected test plants. The use of bioindicators renders possible comparison and estimation of the degree and range of the sulphur dioxide effect on plants as well as delimitation of the threat zones.

The investigations carried out in the region of large metallurgic works enabled to determine the effect of emitted air pollutants (sulphur dioxide, dusts) in crops. On the areas lying around the metallurgic works acute plant injuries occurred; the growth of many plants was inhibited; significant differences in the amount of chlorophyll in leaves have been found, a considerable decrease in the plant yields took place. The sulphur dioxide level in air affects significantly the plant production, the level and quality of yields prove an essential dependence on the air pollution degree.