

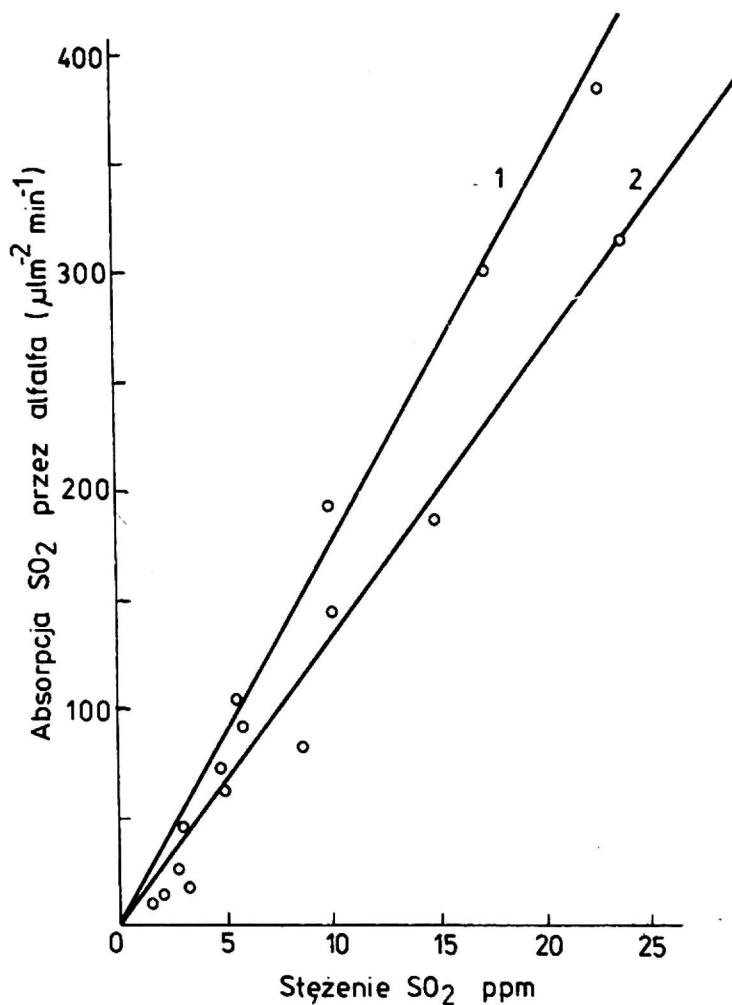
KOMORY EKSPOZYCYJNE DO BADANIA REAKCJI ROŚLIN
NA ZANIECZYSZCZENIA POWIETRZA

Rafał Kucharski, Ewa Marchwińska

Instytut Kształtowania Środowiska, Oddział w Katowicach
 Centrum Ochrony Środowiska

Badania reakcji roślin na zanieczyszczenie powietrza i gleby mogą być prowadzone w warunkach naturalnych w terenie jak i w warunkach kontrolowanych. Interpretacja wyników doświadczeń terenowych jest jednak z reguły kłopotliwa ze względu na działanie wielu czynników wpływających na zachowanie się roślin. Zastosowanie komór ekspozycyjnych eliminuje wpływ zmiennych warunków środowiska oraz pozwala na regulację stężeń dozowanych zanieczyszczeń pyłowych czy gazowych w szerokim zakresie. Komory ekspozycyjne dają możliwość uzyskania informacji dotyczących działania na rośliny zarówno wyizolowanego pyłu czy gazu, jak i ich jednoczesnego działania.

Częstokroć dyskutowany bywa problem celowości prowadzenia badań w sztucznych warunkach, jakie stwarza uprawa roślin w komorach. Podstawowe zarzuty dotyczą możliwości występowania nietypowej reakcji roślin wyizolowanych z biotopu, mimo pozornego zachowania w komorach zasadniczych parametrów gwarantujących prawidłowy przebieg funkcji życiowych. Hill [10] porównując absorpcję radioaktywnego $^{35}\text{SO}_2$ przez lucernę (alfalfa) w warunkach naturalnych i równoległe stworzonych identycznych warunkach sztucznych otrzymał wyniki różniące się od siebie zaledwie w granicach 20%, co przemawiałoby jednak za możliwością transponowania wyników badań w komorach ekspozycyjnych na warunki terenowe (rys. 1). Dla uzyskania porównywalnych wyników istotne jest prócz tego zapewnienie roślinom warunków niezakłóconej vegetacji. Szczególnie ważne jest unikanie szoków wodnych i świetlnych oraz gwałtownych wahań stężeń CO_2 w komorach [12] wszystkie te czynniki mają bowiem poważny wpływ na fotosyntezę oraz inne procesy metaboliczne.



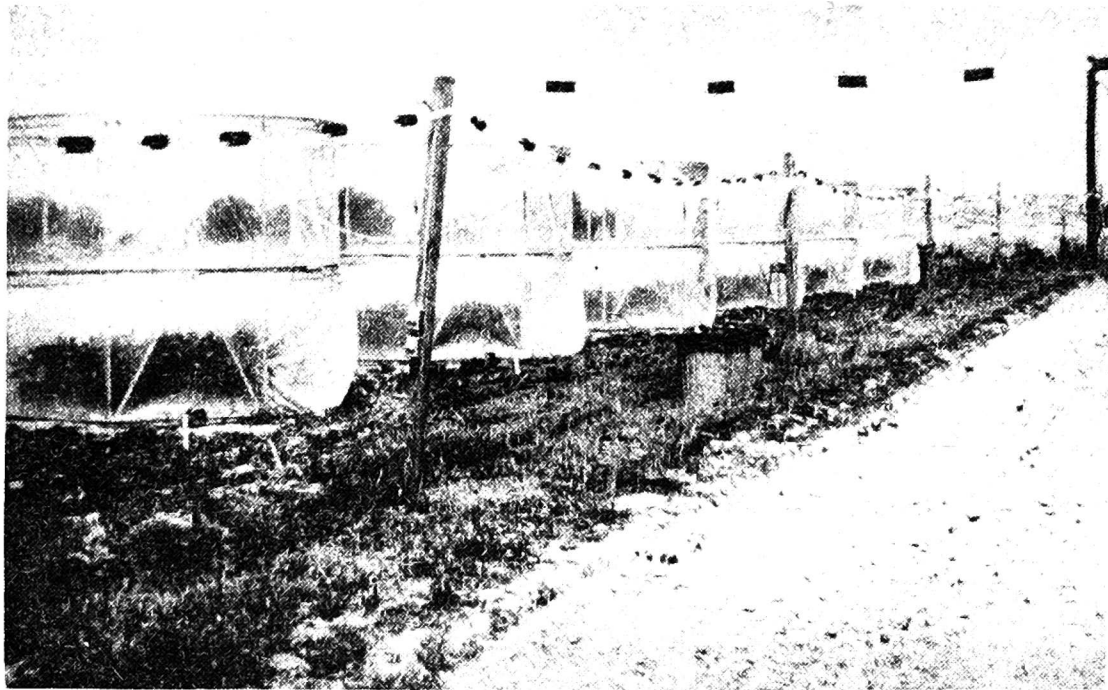
Rys. 1. Porównanie absorpcji SO₂ przez liście alfalfa w warunkach polowych i w komorze ekspozycyjnej (Hill, 1971) 1 - doświadczenie w komorze ekspozycyjnej, 2 - doświadczenie polowe

Próby budowy komór ekspozycyjnych datują się już od roku 1938, kiedy to rozpoczęto adaptować w tym celu niewielkie szklarnie. Dalszym krokiem była budowa metalowych komór o obiegu powietrza zamkniętym lub częściowo zamkniętym, dziś jeszcze stosowanych w niektórych ośrodkach [9, 10].

Współczesne rozwiązania zmiierają w kierunku komór o otwartym układzie wymiany powietrza, lekkich, łatwych do przemieszczania w miarę potrzeb eksperymentu. Spotykane są dwa podstawowe typy komór: przeznaczone do badań w terenie i w warunkach laboratoryjnych.

Do badań w terenie, zależnie od rodzaju doświadczeń, stosowane są komory otwarte lub kryte dachem z folii. Komory polowe przeznaczone są do eksperymentów prowadzonych na większą skalę, łącznie z ekspozycją drzew na działanie zanieczyszczeń [5].

Spotykane są komory cylindryczne (rys. 2) o średnicy 3 m i wysokości 2,4 m, a także komory o kształtach prostopadłościanu z jednospadowym dachem. Wszystkie rodzaje komór zaopatrzone są w



Rys. 2. Komory do badań polowych, z otwartym dachem. Raleigh, North Carolina, USA

filtr wstępny zatrzymujący zanieczyszczenia stałe, oraz w filtr z węgla aktywnego, służący do usuwania gazowych zanieczyszczeń powietrza.

Zlokalizowanie doświadczeń związanych z wpływem zanieczyszczeń powietrza na rośliny bezpośrednio w terenie ma wiele zalet. Pozwala na uniknięcie konieczności regulowania temperatury i wilgotności, zaś rośliny korzystają bezpośrednio z opadów atmosferycznych oraz światła słonecznego. Często uniknąć można w ten sposób kłopotliwej uprawy roślin w pojemnikach, ustawiając komorę na uprzednio przygotowanym fragmencie zagonu z roślinami. Możliwość uzyskania powtarzalnych warunków w komorach polowych jest jednak ograniczona, gdyż eksperymentator praktycznie nie jest w stanie kontrolować żadnego z parametrów doświadczenia z wyjątkiem zanieczyszczeń w komorze.

W polskich warunkach klimatycznych urządzenia tego typu mogą być używane jedynie w okresie wegetacyjnym, co stanowi bardzo istotne ograniczenie w ich zastosowaniu.

Komory zlokalizowane wewnątrz pomieszczeń w porównaniu z komorami wolnostojącymi pozwalają na prowadzenie prac o szerokim zakresie i większej precyzji. Decyduje o tym możliwość dokładnej kontroli podstawowych czynników wpływających na czynności życiowe roślin w normalnych warunkach, a także symulacji warunków nie-

sprzyjających, jak długotrwała susza, nadmierna ilość opadów lub zanieczyszczenie gleby, wody czy atmosfery. Podczas, gdy badania wpływu zanieczyszczeń gleby lub wody na rośliny nie wymagają skomplikowanych zabiegów metodycznych, prace związane z wpływem zanieczyszczeń powietrza nastroczają nieco więcej problemów. Operować tu trzeba bowiem układem dynamicznym, w którym zachodzą procesy szybkozmienne w czasie; prowadzić równoległe całą gamę prac ściśle technicznych, związanych z utrzymaniem odpowiednich stężeń zanieczyszczeń, parametrów mikroklimatu i oświetlenia w bezpośrednim sąsiedztwie roślin.

Jakkolwiek istnieją wyspecjalizowane firmy zajmujące się dostawą fabrycznie wykonanych komór, wiele ośrodków badawczych konstruuje je we własnym zakresie i to zarówno z uwagi na koszty, jak i na trudności związane z przystosowaniem gotowych urządzeń do specyficznych potrzeb dyktowanych profilem badań. W ten sposób powstało kilka bardzo udanych konstrukcji komór [6, 7, 10].

Komory narażone są z reguły na działanie czynników korodujących, jak wysoka wilgotność oraz gazy typu SO_2 , NO_x , HF, O_3 . Wynika stąd konieczność stosowania odpowiednio odpornych materiałów konstrukcyjnych (teflon, stal kwasoodporna), nie ulegających rozkładowi połączonemu z wydzielaniem substancji, które mogłyby mieć wpływ na przebieg doświadczeń z roślinami.

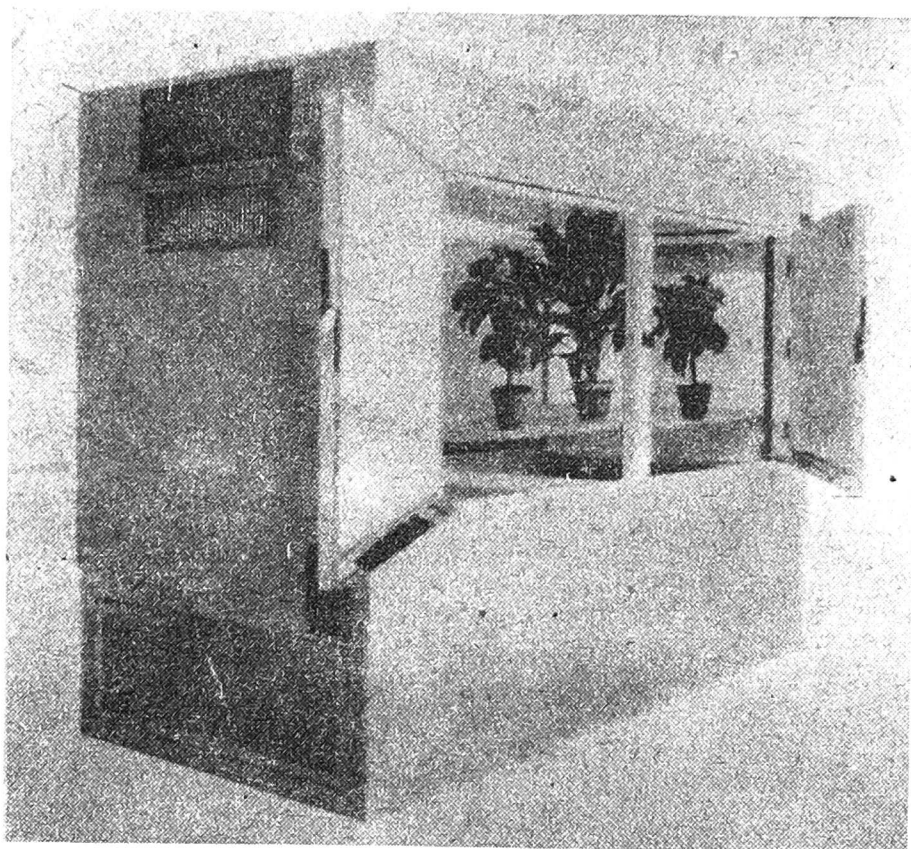
Przed rozpoczęciem ekspozycji roślin, nowe komory poddawane są przez pewien czas procesowi kondycjonowania (praca pustych komór przy podwyższonej temperaturze) dla usunięcia produktów lotnych wydzielających się z materiałów użytych do budowy [22].

Zasadnicze elementy konstrukcyjne komory stanowią:

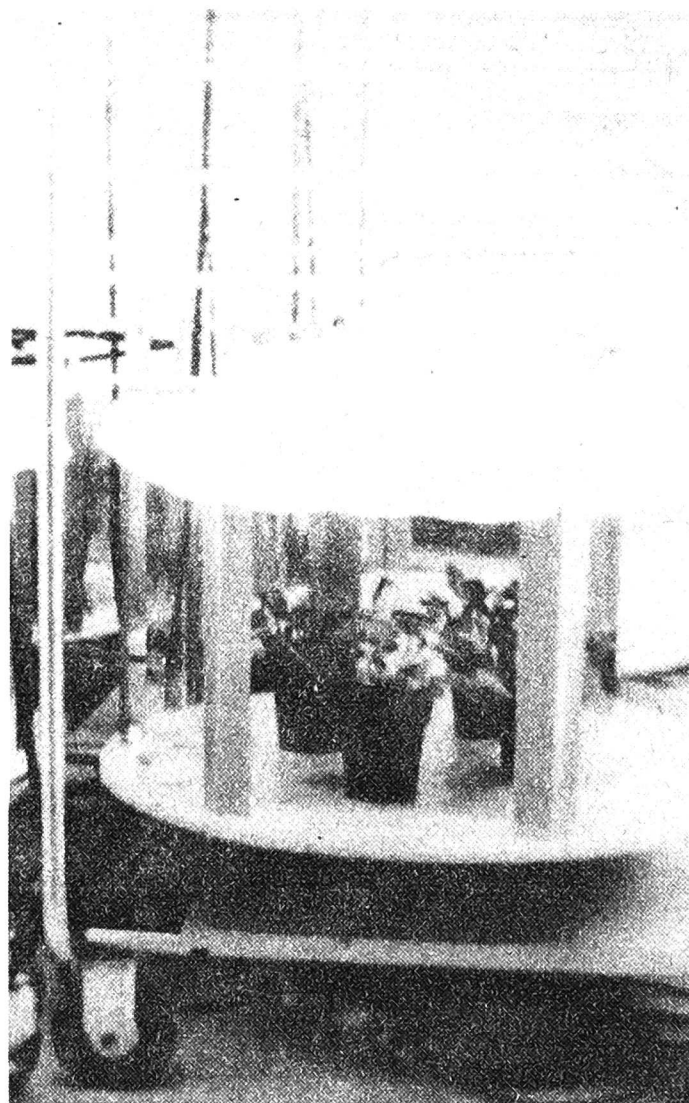
- powłoka zewnętrzna wraz ze szkieletem,
- układ wymiany powietrza,
- układ klimatyzacji,
- układ oświetlenia,
- układ dozowania zanieczyszczeń.

Odrębny zespół urządzeń służy do pomiaru i rejestracji stężeń zanieczyszczeń oraz parametrów mikroklimatu we wnętrzu komór.

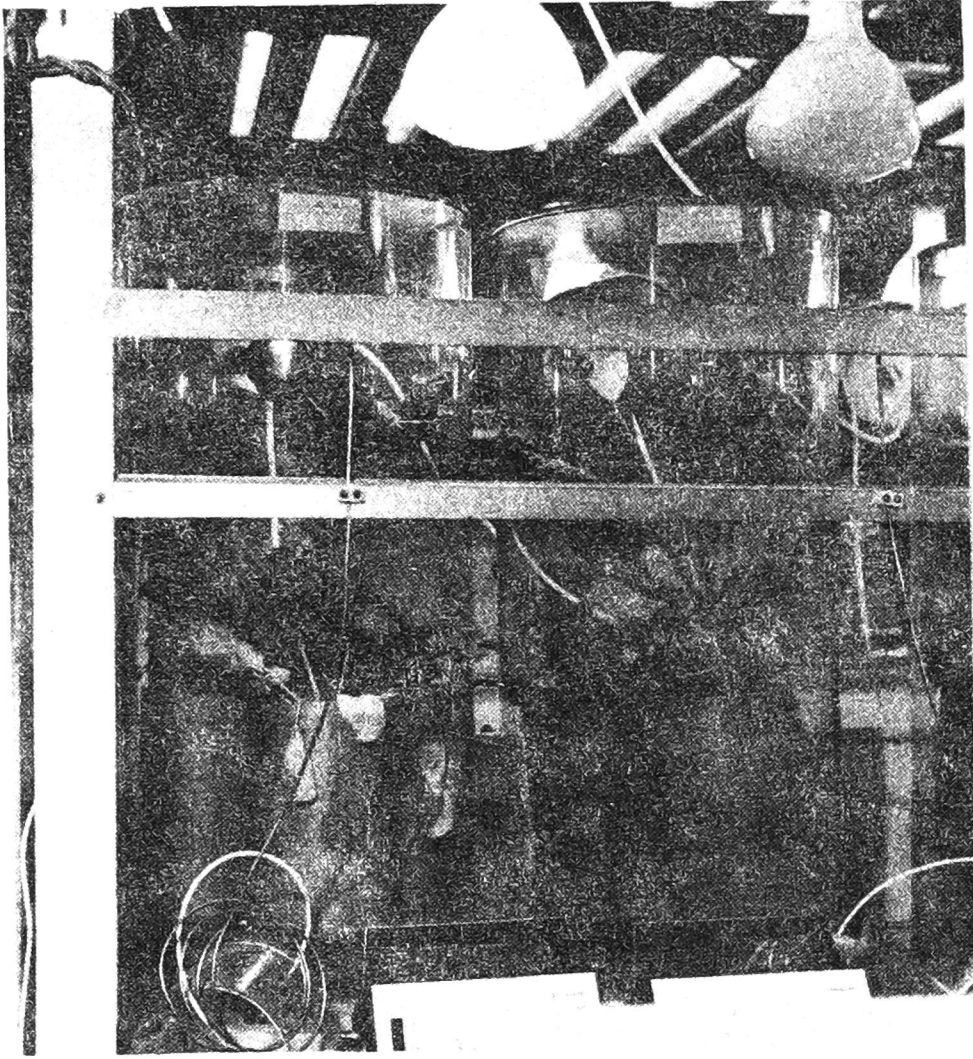
Część robocza komór produkowanych fabrycznie wykonana jest z reguły ze stali kwasoodpornej lub też blachy aluminiowej i otoczona płaszczem termostatującym (rys. 4). Powierzchnia robocza w zależności od przeznaczenia wynosi w typowych rozwiązaniach 1,5 - 15 m² przy wysokości 1 - 2,5 m.



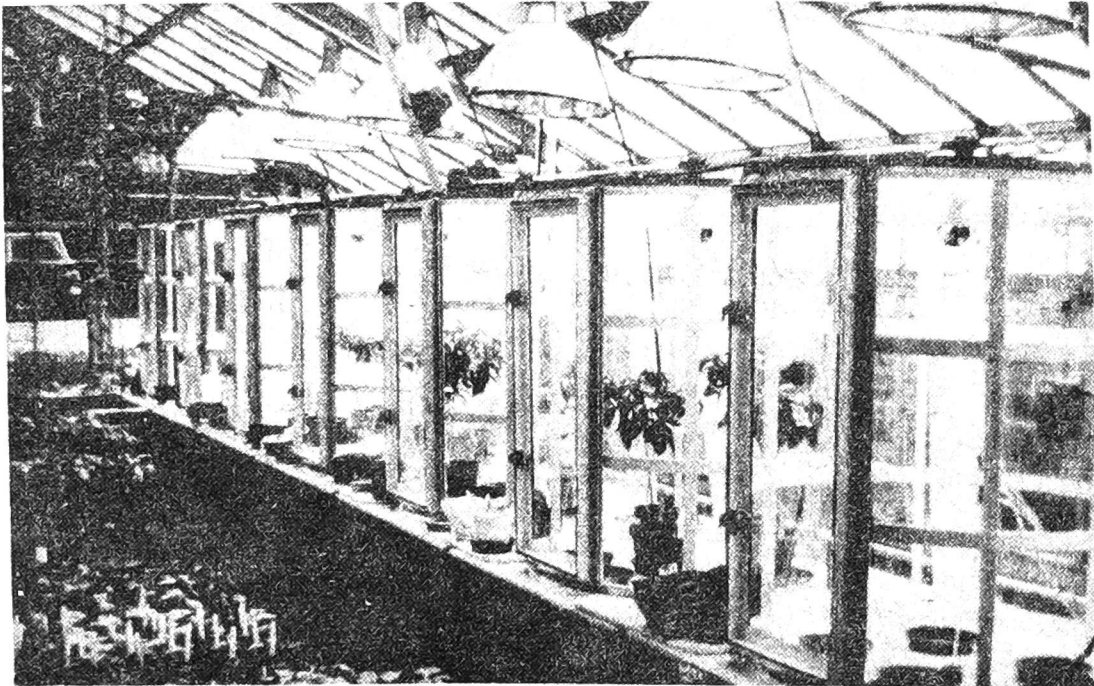
Rys. 3. Komora wegetacyjna francuskiej firmy Sapratin - Environment



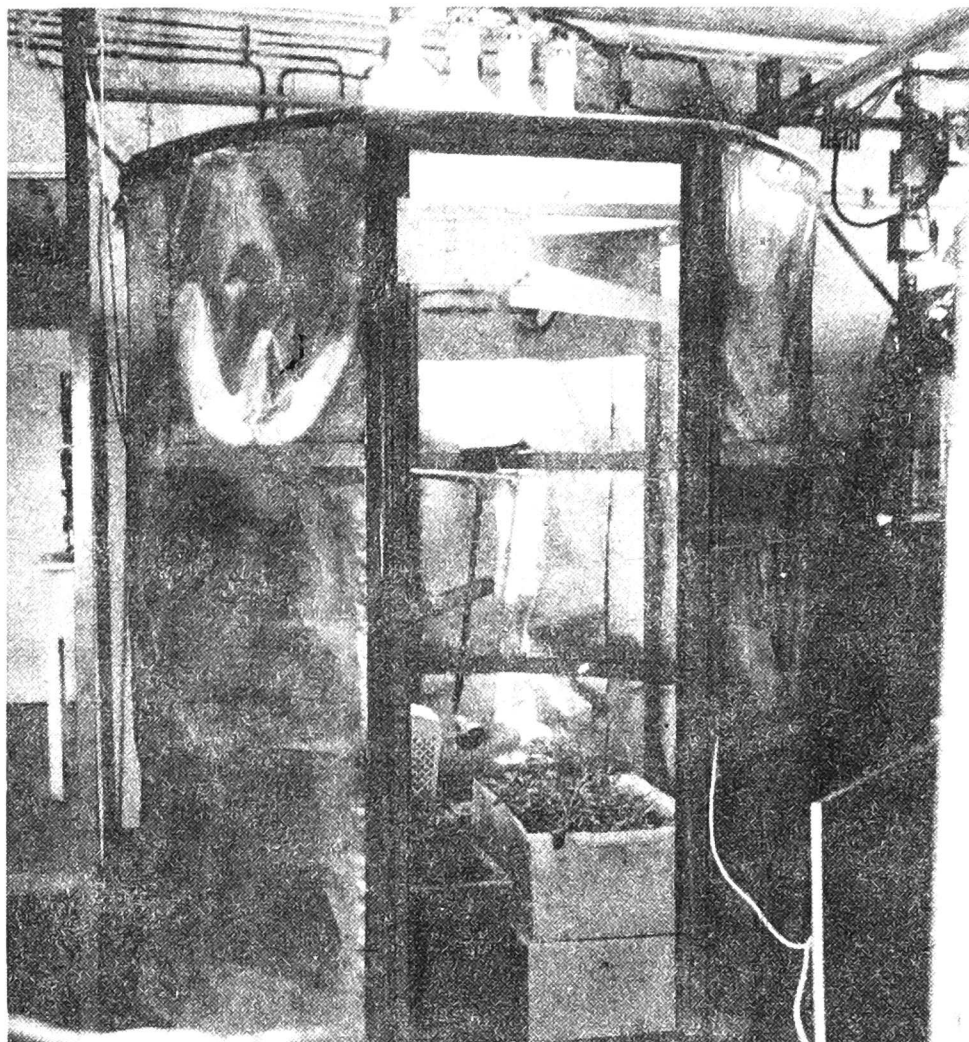
Rys. 4. Komora ekspozycyjna, ściany wykonane ze szkła. Environmental Protection Agency, Las Vegas, Nevada, USA



Rys. 5. Komory ekspozycyjne ze szkła organicznego. Centrum Ochrony Środowiska w Katowicach (fot. J. Górnik)



Rys. 6. Komory ekspozycyjne, ściany z folii teflonowej. North Carolina State University, USA



Rys. 7. Komora ekspozycyjna, ściany z folii polietylenowej. Centrum Ochrony Środowiska w Katowicach (fot. J. Górnik)

Heck i Dunning [7] użyli do wykonania ścian komór folii teflonowej obciągniętej na metalowym szkielecie. Folia polietylenowa, jakkolwiek mniej trwała, również może być użyta do tego celu [13, 16].

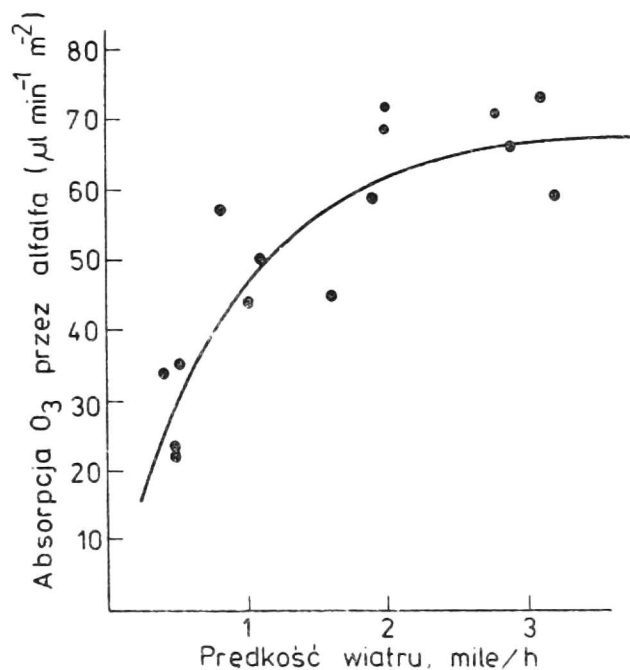
Stosowane są dwa systemy wymiany powietrza w komorach: zamknięty (lub częściowo zamknięty) i otwarty. W układzie zamkniętym [9, 10], cyrkulujące powietrze jest regenerowane i wprowadzane na powrót do komory. Jakkolwiek rozwiązanie to ułatwia klimatyzowanie wnętrza i utrzymanie żądanego stężenia gazów, wymaga jednak kosztownego zautomatyzowania działania wszystkich urządzeń.

Częściej spotykane są komory o układzie otwartym, w którym powietrze po wstępnym oczyszczeniu na filtrze mechanicznym i węgla aktywnym oraz doprowadzeniu do odpowiedniej wilgotności i temperatury przechodzi przez komorę i jest usuwane na zewnątrz. Gazy

lub pyły wprowadzane są do strumienia powietrza wchodzącego do komory, a ich pozostałości odprowadzane wraz z powietrzem wylotowym.

Zależnie od potrzeb eksperymentu, wymianę powietrza w komorach ustala się w granicach od 0,5 do kilku objętości na minutę, przy liniowej prędkości przepływu 3-5 km/godz. i podciśnieniu rzędu kilku mm H₂O. Jak wskazują dane uzyskane przez Hilla [9] liniowa prędkość przepływu powietrza przez komorę może mieć istotny wpływ na wyniki badań (rys. 8).

Dla roślin naszej strefy klimatycznej wymagana jest wilgotność względna powietrza w granicach 60-80%, zaś optimum temperatury waha się znacznie, zależnie od gatunku rośliny i fazy wzrostu.



Rys. 8. Absorpcja ozonu na liściach alfalfa przy różnych prędkościach przepływu powietrza przez komorę (Hill, 1967)

Komory do badań w warunkach laboratoryjnych oświetlane są sztucznymi źródłami światła, które zawsze dostarczają pewną ilość niepożądanego ciepła. Stąd też, regulacja temperatury we wnętrzu komór prowadzi się w praktyce do oziębiania powietrza. W przypadku komór nie posiadających izolacji termicznej ścian, oprócz indywidualnej klimatyzacji każdej z komór, konieczne jest również klimatyzowanie całego pomieszczenia. Stabilizacja temperatury pomaga również w utrzymaniu stałych warunków ekspozycji, stwierdzono bowiem istotny wpływ zmian temperatury na poziom stężeń zanieczyszczeń gazowych w komorach [16].

Z całego spektrum promieniowania słonecznego, dla procesów fizjologicznych roślin zielonych istotny jest zakres 400-700 nm, zwany zakresem promieniowania fotosyntetycznie czynnego. Istnieje cały szereg technicznych rozwiązań sztucznych źródeł światła, które w zasadzie mogłyby zapewnić dostarczenie roślinom niezbędnej ilości promieniowania fotosyntetycznie czynnego. Główny jednak problem stanowi, jak już poprzednio wspomniano, jednocześnie emitowane promieniowanie ciepłe, stąd też stosowane są lampy lub kombinacje różnych typów lamp charakteryzujące się małym wydat-

kiem promieniowania cieplnego i możliwie wysoką wydajnością promieniowania fotosyntetycznie czynnego. Z lamp dostępnych na rynku krajowym z powodzeniem wypróbowano kombinację lamp LRFR 250 W i świetlówek Flora 40 W [16]. Lamy wraz z układem chłodzenia umieszcza się na zewnątrz przestrzeni roboczej komór. Istotne jest utrzymanie lamp w optymalnej temperaturze, gdyż przechłodzenie powoduje spadek wydajności świetlnej [2] W celu odprowadzenia ciepła emitowanego przez lampy stosuje się m. in. ekrany wodne pomiędzy lampami a dachem komór [13, 7]. Wyłożenie materiałem odbleskowym powoduje wzrost intensywności oświetlenia we wnętrzu komór o około 25% [15].

Rośliny eksponowane są na działanie zanieczyszczeń powietrza wprowadzanych do wnętrza komór w postaci mieszanek pyłowych lub gazowych.

Przegląd najczęściej spotykanych konstrukcji laboratoryjnych dozowników pyłów znaleźć można w pracy Głowiaka [4], Wiemanna [23] oraz Mercera [17].

Najtrudniejszy problem w eksploatacji dozowników pyłu stanowi uzyskanie powtarzalności stężeń, co szczególnie daje się odczuć przy pyłach higroskopijnych lub też posiadających naturalne skłonności do aglomeracji.

Darley i współpracownicy [3] zastosowali do badań wpływu pyłu cementowego na rośliny dozownik wibracyjny, umieszczony na szczycie komory z obrotową podłogą.

Kombinację dozownika porcjowego z wibracyjnym opracował Krause [11] z przeznaczeniem do badań wpływu metali ciężkich zawartych w pyłach na rośliny.

Wypróbowaną konstrukcją jest dozownik pyłu Wrighta [24]. Badania powtarzalności stężeń zapylenia wytwarzanego za pomocą tego urządzenia przeprowadzone przez Leacha [14] wykazały, że wyniki około 2000 pomiarów zapylenia w komorach nie różniły się wzajemnie więcej niż o 2%.

Spośród różnych sposobów wytwarzania określonych stężeń gazów w komorach najwcześniej stosowana była metoda generowania gazu „in situ”, bezpośrednio w wyniku reakcji chemicznej. Sposobu tego jednak w zasadzie zaniechano, głównie ze względu na trudności związane z kontrolowaniem szybkości przebiegu reakcji, a co za tym idzie, stężenia gazu. Sprawdzona i używana do chwili obecnej jest metoda generowania ozonu w łuku elektrycznym [7, 10]. W przypadku substancji o niskich temperaturach wrzenia stosuje się me-

tochę odparowania w ściśle określonej temperaturze [7, 20]. Dozowanie gazu prowadzi się również przy użyciu pomp mikrodosujących pobierających i przetłaczających gaz z przewodu pod stałym ciśnieniem [1, 7, 16]. We wszystkich opisanych sposobach dozowania wskazane jest operowanie gazami rozcieńczonymi azotem minimum w stosunku 1 : 100, [6].

Pewna i bezpieczna w stosowaniu jest metoda oparta na wykorzystaniu zjawiska dyfuzji przez ściany pojemników teflonowych napełnionych skroplonym gazem.

Największe możliwości w dziedzinie wytwarzania kontrolowanych stężeń gazów daje użycie gotowych mieszanek gazowych, dostarczanych przez wytwórnie w zbiornikach ciśnieniowych. Roccano-va [18] przedstawił szczegółowy, przystępny opis sporządzania mieszanek gazowych wraz z wieloma uwagami praktycznymi dotyczącymi wykonywania mieszanek w warunkach laboratoryjnych.

W komorach o zamkniętym lub częściowo zamkniętym obiegu powietrza możliwe jest zastosowanie układu sprzężenia zwrotnego między analizatorem a systemem dozowania [10, 19].

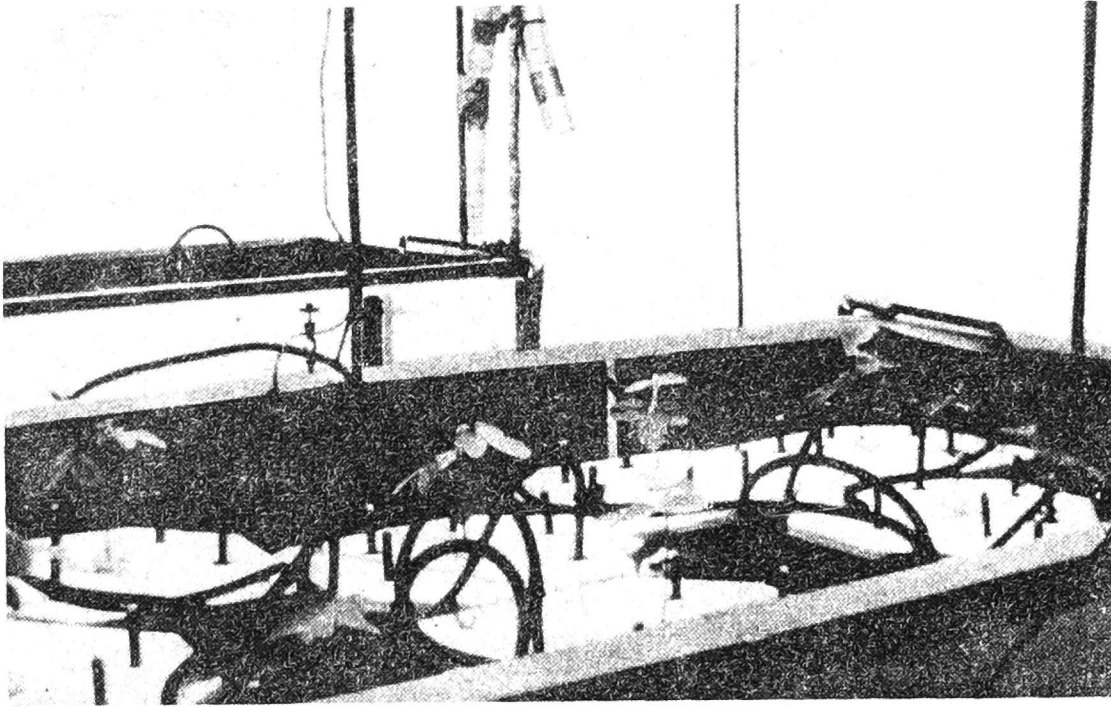
Do pomiaru stężenia gazów w komorach z reguły używa się jednego analizatora automatycznego z programowanym czasem pracy do obsługi kilku komór. Przy długiej drodze pobierania próby stosuje się pompy wspomagające umieszczone za analizatorem. Istnieje też możliwość sygnalizacji optycznej i akustycznej w przypadku przekroczenia założonych parametrów doświadczenia.

W celu bieżącej kontroli pracy analizatora w czasie prowadzenia eksperymentu, Heagle [8] zastosował automatyczne okresowe włączanie urządzenia kalibrującego.

Do podlewania roślin podczas eksperymentu coraz częściej stosuje się proste systemy automatyczne. Zautomatyzowanie systemu podlewania zapewnia dostarczenie wszystkim roślinom jednakowej ilości wody w tym samym czasie z możliwością utrzymania stałego pH w czasie trwania całego eksperymentu [21]. Urządzenia do podlewania składają się ze zbiornika z wodą lub pożywką, pompy dozującej uruchamianej za pomocą zegara sterującego oraz sieci przewodów rozprowadzającej wodę lub pożywkę do pojemników z roślinami.

Zastosowanie komór ekspozycyjnych może być pomocne przy rozwiązywaniu następujących problemów:

- oceny wpływu pojedynczych zanieczyszczeń pyłowych lub gazowych powietrza na rośliny,



Rys. 9. Fragment układu do automatycznego podlewania roślin.
Biotron w Madison, Wisconsin, USA

- badania interakcji gazowych i pyłowych zanieczyszczeń powietrza,
- określenia roli czynników klimatycznych i glebowych w fitotoksycznym działaniu zanieczyszczeń,
- oceny wpływu zanieczyszczenia powietrza na plonowanie roślin uprawnych,
- określenie zdolności kumulowania metali ciężkich przez rośliny.

LITERATURA

1. Białobok S. i in.: Charakterystyka urządzeń służących do badania wpływu szkodliwych gazów na rośliny. Arboretum Kórnickie, Rocznik XXIII; 239-249, 1978.
2. Carpenter G. A., Moulisley L. J.: The artificial illumination of environmental control chambers for plant growth. J. Agr. Eng. Res., 5; 283-306, 1960.
3. Darley E. F., et al.: Plant exposure chambers for dust studies. APCA Journal, vol. 18, nr 1; 28-29, 1968.
4. Głowiak B., Klincewicz M.: Laboratoryjne dozowniki pyłowe. Gaz, Woda i Technika Sanitarna nr 11, t. XL; 375-379, 1966.
5. Godzik S. i in.: Zbadanie mechanizmu pobierania wybranych czynników toksycznych przez rośliny, skażenia roślin oraz podłoża metalami ciężkimi oraz fluorem. Materiały Ogólnopolskiego Seminarium: Określenie wpływu warunków regionu przemysłowego

- wego na biologię oraz rozwój świata zwierzęcego i roślinnego. Katowice, 1980.
6. Heck W. W., et al. Design of a simple plant exposure chamber. National Center for Air Pollution Control Publication APDT 68-6, 1968.
 7. Heck W. W., et al. A continuous stirred tank reactor (CSTR) system for exposing plants to gaseous air contaminants. Agricultural Research Service, US Department of Agriculture 1978.
 8. Heagle A. S., et al.: Effect of ozone on yield of sweet corn. *Phytopathology*, vol. 62, nr 7; 683-687.
 9. Hill A. C.: A special purpose plant environmental chamber for air pollution studies. *APCA Journal*, vol. 17, nr 11; 743-748, 1972.
 10. Hill A. C.: Vegetation: A sink for atmospheric pollutants. *APCA Journal*, vol. 21, nr 6; 341-346, 1971.
 11. Krause G. H. M., 1977. Aufbau und Funktion einer Bestäubungsapparatur für biologische Experimente. *Staub-Reinhalt. Luft*, 37, nr 6; 234-237, 1977.
 12. Krizek D. T., et al.: Maximizing plant growth in controlled environments at elevated temperature, light and CO₂. *Acta Horticulturae* 39; 89-102, 1974.
 13. Kucharski R., Marchwińska E.: Zastosowanie komór ekspozycyjnych do badania wpływu różnego stężenia pyłu w powietrzu na zawartość mikroelementów w roślinach. *Zesz. probl. Post. Nauk rol.*, 242 (w druku).
 14. Leach L. J., et al.: A multiple chamber exposure unit designed for chronic inhalation studies. *The Journal of the AIHA*, vol. 20, nr 1; 13-22, 1959.
 15. Mc Farlane J. C.: EPA, Las Vegas, praca niepublikowana, 1975.
 16. Marchwińska E., et al.: Accumulation of heavy metals in plants as influenced by varying air pollution compositions. Project JB 5-513-10. Report for the investigation period of 1976, 1977.
 17. Mercer T. T.: Production and characterization of aerosols. *Archives of Internal Medicine*, vol. 131; 39-50, 1973.
 18. Rocanova B.: The present state of the art of the preparation of gaseous standards. *Mat. z Konferencji "The Pittsburgh Conference on analytical Chemistry and Spectroscopy"*. 1968.
 19. Spence J. W., et al.: Environmental exposure system for studying air pollution damage to materials. US EPA, Publ. EPA - 650 (3-75)001, 1975.
 20. Stręk F. i in.: Komora toksykologiczna do badań z pyłami i gazami toksycznymi. *Medycyna Pracy*, XXI, 1; 45-52, 1970.
 21. Tibbitts T. W., Palzkill W. A.: Instruction manual. Continuous Circulation Solution Culture system. Praca niepublikowana. 1976.
 22. Tibbitts T. W., et al.: Contaminants in plant growth chambers. *Hortscience*, vol. 12 4, 1977.
 23. Wiemann H. J.: Vergleichsbetrachtungen zur Dosierung von Stauben in Prüfanlagen für Staubabscheider. *Mat. z Konferencji "Luft und Kältetechnik"*, Drezno, 1968.
 24. Wright B. M.: A new dust feed mechanism. *Journal of Scientific Instruments*, vol. 27; 12-15, 1950.

Р. Кухарски, Э. Мархвиньска

ЭКСПОЗИЦИОННЫЕ КАМЕРЫ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ РЕАГИРОВАНИЯ
РАСТЕНИЙ НА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА

Р е з ю м е

В статье обсуждаются причины необходимого использования экспозиционных камер в исследованиях реагирования растений на загрязнения воздуха, а также приводятся конструкционные детали и системы регулирования качества воздуха в камерах.

Настоящий обзор основывается на 24 позициях литературы нескольких последних лет.

Авторы приводят много данных касающихся конструкции экспозиционных камер, а также обсуждают преимущества и недостатки систем кондиционирования воздуха, освещения и дозирования загрязнений. Они также описывают некоторые типы экспериментальных работ с растениями, в которых могут находить применение экспозиционные камеры.

R. Kucharski, E. Marchwińska

EXPOSITION CHAMBERS FOR STUDYING RESPONSE OF PLANTS
TO AIR CONTAMINATIONS

S u m m a r y

Causes of the necessary use of exposition chambers in studying response of plants to air contaminations are discussed as well as constructional details and air quality control systems in the chambers are described in the paper.

The present survey is based on 24 literature items from the last few years.

Many data concerning construction of the exposition chambers are presented as well as advantages and shortcomings of the systems of air conditioning, lighting and batching of contaminants are discussed by the authors. They present also some experimental works on plants in which exposition chambers can be applied.