

PIOTR KAROLEWSKI

## PRZELICZNIKI I WZORY

Poprawność wykonywania doświadczeń i precyzja otrzymanych wyników badań wpływu toksycznych gazów na rośliny, uzależnione są w znacznym stopniu od znajomości własności fizykochemicznych tych substancji (tab. 1). Ma to istotne znaczenie w doświadczeniach laboratoryjnych, przy kontrolowanym dozowaniu i analizowaniu stężenia gazu, jak i w badaniach terenowych, gdzie określenie wartości stężeń poszczególnych składników zanieczyszczeń nastęrcza wiele trudności. Znajomość tych własności jest również niezbędna przy przeliczaniu stężeń, w których należy uwzględnić takie parametry jak ciśnienie i temperatura.

Jednym z elementów niezbędnych przy porównywaniu efektów wywołanych działaniem gazu na rośliny jest wartość jego stężenia. Stosuje się głównie do tego celu szereg metod chemicznych polegających na absorpcji gazu w roztworze pochłaniającym, podczas przepuszczania przez niego określonej objętości powietrza i określeniu jego stężenia. Odbywa się to pośrednio przez pomiar ilości wytworzonych jonów lub cząsteczek powstałych w wyniku reakcji chemicznych w roztworze pochłaniającym. Wykorzystuje się w tym celu szereg metod opartych na analizie miareczkowej, głównie kompleksometrii, jodometrii i nadmanganometrii, pomiarach fotometrycznych i spektrofotometrycznych, lub innych metodach fizykochemicznych (konduktometrii itp.). Metody te służą do skalowania, jak również są podstawą techniki pomiarowej, powszechnie stosowanych już automatycznych analizatorów stężeń gazów w powietrzu. Najczęściej stosowane metody chemiczne analiz głównych gazów zanieczyszczających powietrze atmosferyczne oraz ich charakterystyki przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 1

## Niektóre własności fizykochemiczne i przeliczniki głównych gazów zanieczyszczających atmosferę

Nazwa gazu	Wzór chem.	Masa cząstecz. $g \times mol^{-1}$	Temp. wrz. $^{\circ}C$	Temp. topn. $^{\circ}C$	Gęstość (masa wł.)		Gęstość wzgl. pow.	Obj. mol. $dm^{-3}$ ( $0^{\circ}C$ 760 mmHg)	Dyfuzja w pow. $mm^2 \times s^{-1}$	Próg wyczuwaln. <sup>3</sup> ppm	Przeliczniki stężeń	
					( $0^{\circ}C$ ) <sup>1</sup>	( $20^{\circ}C$ ) <sup>2</sup>					z $mg \times m^{-3}$ na ppm ( $20^{\circ}C$ 760 mmHg)	z ppm na $mg \times m^{-3}$ ( $20^{\circ}C$ 700 mmHg)
Amoniak	NH <sub>3</sub>	17,031	-33,4	-77,7	0,771	0,72	0,597	22,08	25	5	1,414	0,71
Azotan nadace- tylu (PAN)	CH <sub>3</sub> C(O)OO·											
	·NO <sub>2</sub>	121,050	—	—	—	—	—	—	10	—	0,229	4,37
Chlor	Cl <sub>2</sub>	70,914	-33,95	-100,5	3,220	2,99	2,490	22,02	12	0,02–0,05	0,339	2,95
Chlorowódor	HCl	36,465	-85,0	-113,0	1,639	1,53	1,269	22,25	17	10	0,659	1,52
Dwutlenek azotu	NO <sub>2</sub>	16,023	21,3	-10,2	—	1,88*	—	—	15	0,5	0,523	1,91
Dwutlenek siarki	SO <sub>2</sub>	64,060	-10,0	-75,3	2,926	2,73	2,263	21,89	12	0,5	0,375	2,67
Etylen	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	28,050	-103,5	-169,4	1,260	1,17	0,975	22,24	19	—	0,859	1,16
Fluor	F <sub>2</sub>	38,000	-188,0	-220,0	1,695	1,58	1,311	22,42	16	—	0,633	1,58
Fluorowódor	HF	20,006	19,4	—	—	0,83	—	—	23	—	1,202	0,83
Ozon	O <sub>3</sub>	48,000	-112,0	-252,0	2,220	1,99	1,710	21,60	15	0,015	0,501	2,00
Siarkowódor	H <sub>2</sub> S	34,080	-60,4	-85,6	1,539	1,43	1,191	22,14	18	<0,1	0,705	1,42
Tlenek azotu	NO	30,008	-152,0	-163,5	1,340	1,25	1,037	22,39	18	bezwonny	0,801	1,25

<sup>1</sup> Poradnik fizykochemiczny (1974)<sup>2</sup> Unsworth i Ormrod (1982)<sup>3</sup> Dräger (1971)

\* Gęstość podano w tym przypadku w temp. 25°C, ponieważ temp. wrzenia wynosi 21,3°C.



Tabela 2  
Charakterystyka najczęściej stosowanych chemicznych metod oznaczania głównych gazów zanieczyszczających atmosferę

Oznaczany gaz	Nazwa metody	Podstawa oznaczenia	Czułość metody	Substancje interferujące	Pozycja literatury
SO <sub>2</sub>	West-Gaeke (p-roz-anilinowa)	Kolorometr. oznacz. stęż. wytworzonego kompleksu siarczyno-ręciowo-sodowego	0,005 ppm (10 cm <sup>-3</sup> roz-tworu pochł. 38,2 dcm <sup>-3</sup> powietrza)	NO <sub>2</sub> , S <sup>-2</sup> , niektóre jony metali ciężkich	West, Gaeke (1956), Dutkiewicz i in. (1962)
NO <sub>2</sub>	Griessa-Ilosay'a	Kolorometr. oznacz. stęż. zw. azowych w reakcji NO <sub>2</sub> , kw. sulfanilowego i α-naftyloaminy	10 <sup>-3</sup> mg NO <sub>2</sub> × × m <sup>-3</sup> pow.	Inne tlenki azotu	Hryniewicz, Wielogórska (1970)
HF	Cyrkonowo-alizarynowa	Kolorometr. oznacz. stęż. kompleksu powst. w reakcji tlenochloroku cyrkonylu i alizarynosulfonianu sodowego z jonami F <sup>-</sup>	0,1 μg F <sup>-</sup> × × cm <sup>-3</sup> roztw.	PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> Cl <sup>-</sup>	Bumsted, Wells (1952)
O <sub>3</sub> org. utleniacze	Jodometryczna	Kolorometr. oznacz. stęż. J <sub>2</sub> w reakcji utlen. J <sup>-</sup>	—	Związki o własn. utlen. i redukuj.	Saltzman (1959)
NH <sub>3</sub>		Kolorometr. oznacz. wytworz. błękitu indofenolowego w reakcji NH <sub>3</sub> z gwajakolem, chloraminą T i nitroprusydkiem sodowym	5 μg NH <sub>3</sub> × × m <sup>-3</sup> pow. (w stęż. 200 μg × × m <sup>-3</sup> , 30 dcm <sup>-3</sup> pow. × 30 min)	—	Hryniewicz (1973a)
H <sub>2</sub> S	Z wytworz. błękitu metylenowego	Kolorometr. oznacz. wytworz. błękitu metylenowego	3,5 μg × m <sup>-3</sup> pow. (w stęż. 100 μg × m <sup>-3</sup> pow. 80 dcm <sup>-3</sup> pow. × 20 min)	SO <sub>2</sub>	Hryniewicz (1973b)

Stężenie gazu wyrażane jest najczęściej jako ilość cząsteczek gazu ( $X$ ) przypadająca na milion cząsteczek powietrza ( $W$ ). Jednostką tego stężenia jest ppm (ang. parts per milion). Ilość zaabsorbowanych w roztworze pochłaniającym cząsteczek gazu oblicza się ze wzoru:

$$X = \frac{m \times V}{M \times V_1} \times 6,023 \times 10^{23} \times 10^{-3},$$

gdzie

$m$  — zawartość gazu w pobranej próbie roztworu do analizy w mg,

$V$  — objętość roztworu pochłaniającego w  $\text{cm}^3$ ,

$M$  — masa cząsteczkowa gazu,

$V_1$  — objętość próbki roztworu pobranej do analizy w  $\text{cm}^3$ ,

$6,023 \times 10^{23}$  — liczba Avogadra (liczba cząsteczek gazu w 1 molu w warunkach normalnych),

$10^{-3}$  — przelicznik miligramów na gramy.

Ilość cząsteczek powietrza przepuszczonego przez roztwór pochłaniający ( $W$ ) wynosi:

$$W = \frac{p \times t \times s \times 273,16 \times 6,023 \times 10^{23}}{T \times 760 \times 22,4 \times 10^{-3}}$$

gdzie

$p$  — ciśnienie atmosferyczne podczas pomiaru w mm Hg,

$t$  — czas poboru powietrza do analizy w h,

$s$  — natężenie przepływu powietrza przy poborze do analizy w  $\text{m}^3 \times \text{h}^{-1}$ ,

$T$  — temperatura bezwzględna powietrza w  $^\circ\text{K}$ ,

273,16 — temperatura normalna w  $^\circ\text{K}$ ,

760 — ciśnienie normalne powietrza w mm Hg,

$22,4 \times 10^{-3}$  — objętość molowa powietrza w warunkach normalnych w  $\text{m}^3 \times \text{mol}^{-1}$ .

Z definicji stężenia ( $C_{\text{ppm}}$ ) wynika, że:

$$C_{\text{ppm}} = \frac{X}{W} \times 10^6.$$

Po podstawieniu i uproszczeniu otrzymujemy końcowy wzór:

$$C_{\text{ppm}} = \frac{m \times V \times T}{M \times V_1 \times t \times s \times p} \times 62,3224,$$

który jest podstawą do obliczania stężenia gazu przy posługiwaniu się metodą polegającą na oznaczaniu zawartości gazu w roztworze pochłaniającym. Element tego wzoru:

$$\frac{m \times V}{M \times V_1 \times t \times s} = C_{\text{mg} \times \text{m}^{-3}}$$



wyraża wartość stężenia gazu w powietrzu jako jego masę w miligramach zawartą w metrze sześciennym powietrza ( $C_{\text{mg} \times \text{m}^{-3}}$ ). Otrzymano po podstawieniu wzór:

$$C_{\text{ppm}} = \frac{C_{\text{mg} \times \text{m}^{-3}} \times T}{M \times p} \times 62,3224$$

stanowi podstawę do obliczenia stężenia danego gazu w ppm, znając jego stężenie w  $\text{mg} \times \text{m}^{-3}$  powietrza i odwrotnie.

Jak wynika z wymienionego wzoru dokładne przeliczenie tych stężeń wymaga znajomości wartości temperatury i ciśnienia powietrza, panujących w czasie wykonywania doświadczenia. Natomiast przybliżone wartości stężeń gazów, przy temperaturze  $20^{\circ}\text{C}$  i ciśnieniu 760 mm Hg, można uzyskać stosując przeliczniki zawarte w tabeli 1.

Stężenie gazu wyraża się częstokroć w jednostkach pochodnych ppm, a mianowicie:

pphm (parts per hundred milion) — części na sto milionów =  $10^{-2}$  ppm;  
 ppb (parts per bilion) — części na bilion =  $10^{-6}$  ppm w Polsce, W. Brytanii, Niemczech, =  $10^{-3}$  ppm w USA, ZSRR, Francji i krajach pld. Europy.

Niejednokrotnie w celu określenia wielkości skażenia atmosfery przez gaz stosuje się zgrubne metody, dające względne wartości stężeń. I tak np. stężenie dwutlenku siarki określa się metodą Hucy'a, polegającą na stosowaniu tzw. „świec ołowiowych” lub płytek o znanych powierzchniach, spreparowanych z określonej ilości dwutlenku ołowiu (Hryniewicz 1971). Otrzymuje się w tej metodzie wartości średnie z długiego czasu, w  $\text{mg SO}_2 \times 100 \text{ cm}^{-2} \times \text{doba}^{-1}$ . Nie stwierdza się jednakże istotnej korelacji pomiędzy ilością określonego w ten sposób  $\text{SO}_2$  a stężeniem tego gazu w powietrzu. Jest to spowodowane tym, iż inne czynniki kształtują stężenie, inne absorbcję na powierzchni, gdzie stężenie jest tylko jedną ze składowych. Kierunek i prędkość wiatru, wilgotność i temperatura powietrza mają różny wpływ na absorbcję dwutlenku siarki na powierzchni. Podobnie metodę kontaktową stosuje się przy określaniu zanieczyszczenia powietrza związkami fluoru w mikrogramach  $\text{F}^- \times 100 \text{ cm}^{-2} \times \text{miesiąc}^{-1}$ , wykorzystując reakcje fluorków z wodorotlenkiem wapniowym (Szalonek 1979).

Tabela 3

Wzory matematycznych modeli opisujących zależność pomiędzy dawką gazu ( $\text{SO}_2$ ) a uszkodzeniami roślin wywołanymi przez ten gaz

Proponowany model	Oznaczenia parametrów	Autor
$t(c - c_0) = K$	$t$ — czas ekspozycji $c$ — stężenie gazu $c_0$ — stęż. progowe gazu $K$ — stała charakteryzująca uszkodzenia	O'Gara (1922)
$(c - 0,24)t = 0,94$ nieduże nekrozy	$c, t$ — j.w.	Thomas, Hill (1935)
$(c - 1,40)t = 2,10$ 50% nekroz		
$(c - 2,60)t = 3,20$ 100% nekroz		
$t - t_R = (e^{-a(c-c_R)})K$	$t, c, K$ — j.w. $a$ — stała $t_R$ — czas progowy $e^{(x)}$ — funkcja wykładnicza $c_R$ — stęż. progowe gazu (= $c_0$ )	Guderian i in. (1960)
$t_R = K_1 P_1 \frac{1+0,5c}{c(c-c_R)}$	$K_1, P_1$ — stałe $c, c_R, t_R$ — j.w.	Zahn (1963)
$Y = b_0 + b_1 \ln(c) + b_2 \ln(t)$	$Y$ — zmierzone uszkodzenia $b_0, b_1, b_2$ — stałe $c, t$ — j.w. $\ln$ — logarytm naturalny	Larsen, Heck (1966)

W niektórych eksperymentach z wpływem szkodliwego oddziaływania  $\text{SO}_2$  na rośliny stosuje się zamiast gazowego  $\text{SO}_2$  roztwory zawierające jony siarczynowe  $\text{SO}_3^{-2}$  ( $\text{SO}_{2\text{ag}}$ ). Ustalenie wzajemnych relacji pomiędzy działaniem gazowego  $\text{SO}_2$  ( $\text{SO}_{2\text{g}}$ ) i w roztworze, powodujących podobne co do wielkości uszkodzenia roślin, stwarza duże trudności i jak dotychczas daje mierne rezultaty. Niemniej Nieboer i in. (1977) przeprowadzili badania tych zależności i w efekcie zaproponowali przeliczenie:  $\text{ppm SO}_{2\text{ag}} (\text{wag./wag.}) = 10,3 \sqrt{\text{ppm SO}_{2\text{g}} (\text{obj./obj.})}$  w zakresie stężeń 0—5 ppm  $\text{SO}_{2\text{g}}$ . Powyższy matematyczny model, jak sugerują autorzy, ma jednakże zastosowanie w badaniach z porostami.



Tabela 4

Najczęściej stosowane jednostki temperatury i ciśnienia powietrza oraz parametry światła i ich wzajemne relacje

Parametr	Jednostki
Temperatura	w st. Celsjusza ( $^{\circ}\text{C}$ ) $t_{\text{C}} = T_{\text{K}} - 273,15 = \frac{5}{9} (t_{\text{F}} - 32) = \frac{5}{9} (T_{\text{R}} - 273,15)$ w st. Kelvina ( $^{\circ}\text{K}$ ) $T_{\text{K}} = t_{\text{C}} + 273,15 = \frac{5}{9} t_{\text{F}} + 255,37$ w st. Fahrenheita ( $^{\circ}\text{F}$ ) $t_{\text{F}} = \frac{9}{5} (t_{\text{C}} + 32) = \frac{9}{5} (T_{\text{K}} - 255,37)$ w st. Rankina ( $^{\circ}\text{R}$ ) $T_{\text{R}} = \frac{9}{5} T_{\text{K}} = \frac{9}{5} (t_{\text{C}} + 273,15)$
Ciśnienie	$1 \text{ mm Hg} = 1 \text{ Tr (tor)} = 13,59 \text{ mm H}_2\text{O} = 1,316 \times 10^{-3} \text{ atm}$ (atmosfera fizyczna) $= 1,359 \times 10^{-3} \text{ at}$ (atmosfera techniczna $= \text{kG} \times \text{cm}^{-2}$ ) $= 1,3332 \times 10^{-3} \text{ bar} = 133,32 \text{ N} \times \text{m}^{-2} = 1,3332 \text{ hPa}$ (hektopaskal)
Światło:	
Strumień świetlny	$1 \text{ lm (lumen)} = 1 \text{ cd (kandela)} \times 1 \text{ sr (steradian)}$
Ilość światła	$1 \text{ lm s (lumenosekunda)}$
Natężenie oświetl.	$1 \text{ lx (lux)} = 1 \text{ lm} \times \text{m}^{-2} \text{ (lumen} \times \text{m}^{-2})$
Gęstość strumienia energii promien.	$1 \text{ W} \times \text{m}^{-2} \text{ (wat} \times \text{m}^{-2})$

Inni autorzy, Saunders (1966) oraz Puckett i in. (1973) (według Malhotra 1976), stwierdzili eksperymentalnie, badając również porosty, że wodne roztwory  $\text{SO}_2$  są równoważne z 1000-krotnie mniejszymi stężeniami tego gazu w powietrzu. Brak jest jak dotychczas tego typu danych dotyczących roślin drzewiastych.

Oprócz stężenia, czas działania gazu na rośliny stanowi drugi podstawowy element, tzw. dawki gazu wyznaczonej przez iloczyn tych parametrów. Wielokrotnie próbowano ustalić zależność pomiędzy dawką gazu a uszkodzeniami roślin. Umbach i in. (1983) stosując kilka wartości stężeń  $\text{SO}_2$  w zakresie 0,3–2,4 ppm oraz okresów ekspozycji sadzonek *Pinus virginiana* Mill. i *Betula nigra* L. na działanie tego gazu 1–8h, stwierdzili, że zależność tę najlepiej odzwierciedlają wzory zaproponowane przez Larsena i Hecka oraz Zahna (tab. 3).

Innymi najważniejszymi czynnikami wpływającymi na stopień uszkodzenia roślin przez toksyczne gazy są: temperatura i ciśnienie powietrza

Tabela 5

Wartości dopuszczalnych stężeń zanieczyszczeń w powietrzu atmosferycznym wg Rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 30 września 1980 r. (Dziennik Ustaw 1980)

Nazwa substancji	Dopuszczalne stężenie zanieczyszczeń w $\text{mg} \times \text{m}^{-3}$					
	obszary chronione			obszary specjalnie chronione		
	w ciągu 30 minut	średnio-dobowe	średnio-roczne	w ciągu 30 minut	średnio-dobowe	średnio-roczne
Acetylen	0,5	—	—	0,1	—	—
Akroleina	0,02	0,01	0,0025	0,01	0,001	0,0008
Akrylany	0,01	—	—	0,003	—	—
Akrylonitryl	0,06	0,02	0,0032	0,02	0,01	0,0025
Aldehyd octowy	0,02	0,01	0,0025	0,01	0,005	0,0013
Aldehyd metylowy	1,0	0,5	0,13	0,2	0,1	0,025
Amoniak	0,4	0,2	0,051	0,1	0,05	0,013
Anilina	0,03	0,03	0,010	0,02	0,01	0,0023
Azotany (związki jako $\text{NO}_2$ )	0,2	0,1	0,025	0,05	0,03	0,01
Arsen	0,01	0,003	0,0004	0,005	0,002	0,0004
Benzen	1,0	0,3	0,043	0,2	0,1	0,025
Benzo(a)piren ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )	—	50	—	—	30	—
Benzyna	3,0	2,0	0,82	2,5	0,75	0,11
Chlor	0,1	0,03	0,0043	0,03	0,01	0,0016
Chlorek etylenu	0,2	0,1	0,025	0,05	0,02	0,0038
Chlorek metylenu	0,2	0,1	0,025	0,05	0,02	0,0038
Chlorek winylu	0,01	0,005	0,0013	0,01	0,003	0,0004
Chlorobenzen	0,1	—	—	0,03	—	—
Chloronaftalen	0,05	0,01	0,0012	0,01	0,005	0,0013
Chlorowodór	0,2	0,1	0,025	0,05	0,02	0,0038
Chrom — związki $\text{Cr}^{+6}$ (jako Cr)	0,005	0,002	0,0004	0,0015	0,0005	0,00008
Cyjanowodór i cyjanki (HCN)	0,02	0,01	0,0025	0,01	0,005	0,0013
Cykloheksan	0,15	—	—	0,01	—	—



Czteroetylek ołowiu	—	0,0005	—	—	0,0005	—
Dwusiarczek węgla	0,05	0,02	0,0038	0,015	0,0045	0,0006
Dwutlenek siarki: do roku 1990	0,9	0,35	0,064	0,25	0,075	0,011
od roku 1991	0,6	0,2	0,032	0,25	0,075	0,011
Fenol	0,02	0,01	0,0025	0,01	0,003	0,0004
Fluor (zw. rozp. w wodzie jako F)	0,03	0,01	0,0016	0,01	0,003	0,0004
Formaldehyd	0,05	0,02	0,0038	0,02	0,01	0,0025
Ftalany	0,1	0,05	0,013	0,03	0,01	0,0016
Glikol	0,03	0,01	0,0016	0,01	0,003	0,0004
Kadm	0,005	0,001	0,0001	0,0015	0,0005	0,00008
Krezol	0,03	0,01	0,0016	0,01	0,005	0,0013
Ksylen	0,3	0,1	0,016	0,04	0,01	0,0013
Kwas siarkowy	0,3	0,1	0,016	0,15	0,05	0,0079
Miedź (związki jako Cu)	0,02	0,005	0,0006	0,006	0,002	0,0003
Nitrobenzen	0,05	0,03	0,010	0,02	0,01	0,0025
Octan winylu	0,1	—	—	0,05	—	—
Oleje mineralne	0,1	—	—	0,03	—	—
Ołów (związki jako Pb)	—	0,001	0,0002	—	0,0005	0,0001
Ozon	0,07	0,03	0,0062	0,03	0,02	0,0082
Pył zawieszony — ogółem	0,5	0,15	0,022	0,15	0,06	0,011
Pył krzemowy (powyżej 30% SiO <sub>2</sub> )	0,3	0,05	0,0061	0,04	0,02	0,0038
Rtęć (związki jako Hg)	—	0,0003	0,00004	—	0,0001	0,00002
Sadza	0,15	0,05	0,0079	0,05	0,02	0,0038
Siarkowódór	0,06	0,02	0,0032	0,003	0,003	0,0005
Styren	0,02	—	—	0,01	—	—
Tlenek etylenu	0,1	0,03	0,0043	0,03	0,01	0,0016
Tlenek węgla	5,0	1,0	0,12	3,0	0,5	0,061
Tlenki azotu (N <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ): do roku 1985	0,6	0,2	0,032	0,15	0,05	0,0079
od roku 1986	0,5	0,15	0,022	0,15	0,05	0,0079
Toluen	0,3	0,2	0,082	0,1	0,05	0,013
Trójchloroetylen	0,6	0,3	0,076	0,05	0,01	0,0012
Węglowodory alifatyczne	3,0	2,0	0,82	1,0	0,5	0,13
Węglowodory aromatyczne	1,0	0,3	0,043	0,3	0,1	0,016

oraz natężenie oświetlenia, których wzajemne relacje jednostek przedstawiono w tabeli 4.

Ogromne skażenie powietrza emitowanymi do atmosfery toksycznymi substancjami wymaga jego ochrony prawnej. Dopuszczalne stężenia najważniejszych związków chemicznych w powietrzu atmosferycznym obowiązujące w naszym kraju od września 1980 r. zamieszczono w tabeli 5.

Institut Dendrologii PAN  
ul. Parkowa 5  
62-035 Kórnik

#### LITERATURA

- Bumsted H. E., Wells J. C. 1952. Spectrophotometric method for determination of the fluoride ion. *Anal. Chem.* 24(10): 1595—1967.
- Dräger 1971. *Gase und Dämpfe Physikalische und toxikologische Daten.* Drägerwerk. AG. Lübeck. s. 47.
- Dutkiewicz T., Kęsy-Dąbrowski I., Piotrowski J. 1962. Dwutlenek siarki. W: *Oznaczanie związków toksycznych w powietrzu.* PZWL Warszawa: 100—101.
- Dziennik Ustaw PRL 1980. Rozporządzenie Rady Ministrów poz. 89 z dn. 30 września 1980 r. w sprawie ochrony powietrza atmosferycznego przed zanieczyszczeniem.
- Guderian R., Van Haut H., Stratmann H. 1960. Probleme der Erfassung und Beurteilung von Wirkungen gasformiger Luftverunreinigungen auf die Vegetation. *Z. f. Pflanzenkrankh. Pflanzenschutz.* 67: 257—264.
- Hryniewicz R., Wielogórska H. 1970. Oznaczanie dwutlenku azotu w powietrzu atmosferycznym. *Ochr. pow.* 1: 9—12.
- Hryniewicz R. 1971. Zmodyfikowana kontaktowa metoda oznaczania dwutlenku siarki w atmosferze. *Ochr. pow.* 2: 18—20.
- Hryniewicz R. 1973a. Oznaczanie amoniaku i jonów amonowych w powietrzu atmosferycznym. *Ochr. pow.* 4: 106—109.
- Hryniewicz R. 1973b. Oznaczanie siarkowodoru w powietrzu atmosferycznym. *Ochr. pow.* 6: 164—168.
- Larsen R. I., Heck W. W. 1976. An air quality data analysis system for interrelating effects, standards, and needed source reduction. 3. Vegetation injury. *JAPCA* 26: 325.
- Malhotra S. S. 1976. Effects of sulphur dioxide on biochemical activity and ultrastructural organization of pine needle chloroplasts. *New Phytol.* 76: 239—245.
- Nieboer E., Tomassini F. D., Puckett K. J., Richardson D. H. S. 1977. A model for the relationship between gaseous and aqueous concentrations of sulphur dioxide in lichen exposure studies. *New Phytol.* 79: 157—162.



- O'Gara P. J. 1922. Sulfur dioxide and fume problems and their solutions. *J. Ind. Eng. Chem.* 14: 744.
- Poradnik fizykochemiczny. 1974. Praca zbior. WNT Warszawa, s. 675.
- Saltzman B. E. 1959. Iodometric microdetermination of organic oxidants and ozone. *Anal. Chem.* 31(11): 1914—1920.
- Szalonek I. 1979. Oznaczanie zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego związkami fluoru metodą kontaktową. *Ochr. pow.* 6: 141—143.
- Thomas M. D., Hill G. R. 1935. Absorption of sulfur dioxide by alfalfa and it's relation to leaf injury. *Plant Physiol.* 10: 2291—2307.
- Umbach D. M., Davis D. D., Pennypacker S. P. 1983. A comparison of several dose-response models based on laboratory exposures of tree seedlings to sulfur dioxide. *APCA Journal.* 33(11): 1073—1079.
- Unsworth M. H., Ormrod D. P. 1982. Units, physical properties and conversion factors. W: *Effects of gaseous air pollution in agriculture and horticulture.* Butterworth Scientific. London, Boston, Sydney, Wellington, Durban, Toronto. 513—515.
- West P. W., Gaeke G. C. 1956. Fixation of sulfur dioxide as disulfitomerkurate (II) and subsequent colorimetric estimation. *Anal. Chem.* 28(12): 1816—1819.
- Zahn R. 1963. Untersuchungen über die Bedeutung kontinuierlicher und intermittierender Schwefeldioxydeinwirkung für die Pflanzenreaktion. *Staub Reinhalt. Luft* 23: 343—352.

## EQUIVALENTS AND FORMULAE

### Summary

In this chapter the most important physico-chemical properties of the main gases polluting air are given together with the principles of the most commonly used quantitative analyses of these substances by chemical methods. Formulae are given for the calculation of concentrations of these gases including basic parameters for air and simplified equivalents. The paper contains also the currently permissible levels of concentration that are usually given for toxic air pollutants in protected and specially protected regions.



