

AFDELING
GEZONDHEIDSTECHNIEK T.N.O.

Rapport no 17

October 1952

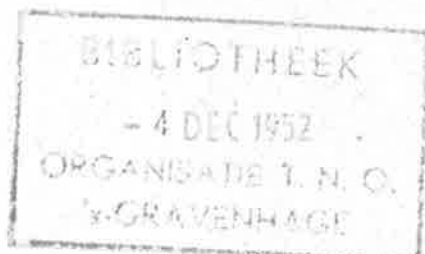
U.D.C.: 614.715

DE VERONTREINIGING VAN DE ATMOSFEER
Een literatuurstudie

Atmospheric pollution
A study of literature

door

Ir L.J. BRASSER



Gehele of gedeeltelijke publicatie van dit rapport is niet
geoorloofd, tenzij daartoe toestemming is verleend door de
Afdeling Gezondheidstechniek T.N.O.

Den Haag

Koningskade 12

Telefoon: 776090

INHOUD

	blz
INHOUD	II
SAMENVATTING	IV
SUMMARY	IV
1. INLEIDING	1
2. INVLOED OP DE GEZONDHEID	2
3. ECONOMISCHE ASPECTEN	3
4. METEOROLOGISCHE ASPECTEN	4
5. MEETMETHODEN	
5.1 Bepaling van de in het algemeen voorkomende verontreinigingen	6
5.1.1 Bespreking van de instrumenten voor de bepaling van vaste stoffen	7
5.1.1.1 Deposit gauge	7
5.1.1.2 Rookfilter	9
5.1.1.3 Automatische filter	10
5.1.1.4 Cascade impactor	10
5.1.1.5 Impinger	11
5.1.1.6 Luikse bol	11
5.1.1.7 Staatsmijnen stofbak	12
5.1.1.8 Cilinderglas of roestvrij stalen cylinder	12
5.1.2 Bespreking van de instrumenten voor de bepaling van gasvormige verontreinigingen	13
5.1.2.1 Volumetrisch SO ₂ -apparaat	13
5.1.2.2 Loodperoxyde kaars	13
5.1.2.3 SO ₂ -bepaling volgens Leclerc	14
5.1.2.4 Impinger	14
5.2 Meetmethoden voor bijzondere gevallen	15
5.2.1 Ultraviolet daglichtintegrator	15
5.2.2 De vervuiling van vensterglas	15
5.2.3 Petrischalen	15
5.2.4 Filter	16
5.2.5 Ringelmann Chart	16
5.2.6 Modelproeven	16
5.3 Algemene opmerkingen	17

6. BESTRIJDING VAN DE VERONTREINIGING	
6.1 Het zuiveren van uitlaatgassen m.b.v. stofvangers	17
6.1.1 Bezinkkamer	18
6.1.2 Filter	18
6.1.3 Electrostatistische precipitator	18
6.1.4 Mechanische vangers	19
6.1.4.1 Cycloon	19
6.1.4.2 Multicycloon	22
6.1.4.3 Als stofvanger ingerichte ventilator	23
6.1.5 Vanger, werkend met ultrasonore trillingen	23
6.1.6 Natte vangers	24
6.1.6.1 Werkend volgens kleefmethode	24
6.1.6.2 Werkend volgens sproeimethode	25
6.1.6.3 Venturi scrubber	25
6.1.6.4 Overige natte vangers	26
6.2 Overige methoden tot het beperken van de hinder door de industrie veroorzaakt	26
6.2.1 Reiniging van de uitlaatgassen	26
6.2.2 Hoge schoorstenen	28
6.2.3 Verbetering van het proces	29
6.2.4 Wettelijke voorschriften	30
7. ENKELE RESULTATEN VAN METINGEN IN HET BUITENLAND	31
8. STAND VAN HET ONDERZOEK IN ONS LAND	35
9. SLOTBESCHOUWING	37
10. LITERATUUROPGAVE	39
FIGUREN 1 t/m 9	

SAMENVATTING

De bedoeling van dit rapport is aan de hand van de literatuur een overzicht van het probleem van de verontreiniging van de buitenlucht te geven.

Achtereenvolgens wordt een inleiding gegeven en worden de invloeden op de menselijke gezondheid en de economische gevolgen van de verontreiniging besproken.

De invloed van de weersgesteldheid op de verspreiding van de verontreiniging wordt aan de hand van formules en grafieken besproken.

De meetinstrumenten, die gebruikt worden bij het onderzoek van de buitenlucht, worden - in groepen ingedeeld naar de aard van de betrokken meting - beschouwd.

Vervolgens wordt een overzicht gegeven van de meest gebruikte apparaten voor het reinigen van uitlaatgassen en van enkele andere methoden om de hinder te beperken.

Een aantal meetresultaten en een overzicht van de stand van het onderzoek in ons land besluiten dit rapport.

De aangehaalde literatuur is in hoofdstuk 10 opgesomd.

SUMMARY

The object of this report is to give an introduction to the problems arising from contamination of the atmosphere. This particular case deals only with contamination due to human activities.

In the first chapter a general view of the problem is given and a number of causes of pollution are mentioned.

Some effects on health are reviewed in the second chapter. The most serious cases of injury to health caused by atmospheric contamination are the Meuse Valley, Donora and Poza Rica disasters. These disasters were possible because weather and local conditions prevented industrial flue gases from escaping from the valleys in which the industries were situated together with residential districts.

Mention is then made of economic aspects (i.e. fuel and cleansing costs, damage done by toxic gases and dusts to cattle-breeding and agriculture).

Chapter four gives the meteorological aspects as expressed in mathematical form by Sutton, Bosanquet and Pearson. According to Sutton's formula the maximum ground level concentration is

$$C_{\max} = \frac{2000 Q C_z}{e \pi h^2 u C_y}$$

This occurs at a distance of

$$x_{\max} = \left(\frac{h^2}{C_z}\right)^{0,57}$$

from the source of contamination.

Q = dust production
h = stack height
u = wind velocity
 C_y and C_z = diffusion coefficients

According to Bosanquet and Pearson the values of $C_{\max}$ and $x_{\max}$ are:

$$C_{\max} = \frac{4000 Q C_z}{\sqrt{2\pi e^2 u h^2 C_y}}$$

$$x_{\max} = \frac{h}{2C_z}$$

A graphical solution of Sutton's equation is given in the graphs of figures 1, 2 and 3.

A number of methods used for determining the rate of contamination of air are given in chapter five. First a number of instruments used for measuring the amount of solid aerosols are discussed. Instruments for measuring gaseous impurities are then mentioned, after which attention is drawn to some special measuring methods, e.g. the ultraviolet daylight integrator, methods for rapid surveys, etc.

The methods which can be used for minimizing the amount of impurities in industrial flue gases are discussed in chapter six. The first group mentioned is that of dust and grit arresters (gravity chamber, filter, electrostatic precipitator, mechanical dust collector, ultrasonic agglomerator and wet dust collectors and scrubbers).

The content of gaseous impurities can be minimized by scrubbing the flue gases. Odors, too, can often be eliminated in this way, or in other cases by the use of activated coal.

To keep ground level concentrations of contamination low, the use of high stacks is recommended. In special cases excessive smoke emittance can be prohibited by law.

The seventh chapter gives a number of results obtained by measurements in the United Kingdom, Denmark, Germany, Japan, Canada and the United States. The table in this chapter gives the results for deposited matter and its insoluble portion in gram/m^2 month.
(1 gram/m^2 = 1 tonne/ km^2 = 2,55 tons/sq.mile = 9 lb/acre)

Some details of activities in regard to atmospheric pollution in the Netherlands are given in chapter eight.

Chapter nine gives some general remarks on the rate of hindrance caused by the deposited matter and some final conclusions.

Literature cited in this report is given in chapter ten.

1. INLEIDING.

Het probleem van de verontreiniging van de buitenlucht trekt hier te lande de laatste jaren, nu door de industrialisatie het aantal bronnen van verontreiniging steeds toeneemt, meer en meer de aandacht. In sterker geïndustrialiseerde gebieden in het buitenland geschiedde zulks eerder. Zo werden bv. in Engeland al in 1914 metingen verricht naar de aard en concentratie van de verontreinigingen (37). Na enige jaren volgden andere landen: Frankrijk (7), Japan (64), Duitsland (72). Ook in de Verenigde Staten, waar eveneens veel hinder wordt ondervonden, worden al sinds lange tijd metingen gedaan. Het onderzoek geschiedt daar echter niet door één lichaam, maar door vele instellingen, die naast elkaar werken. Ook in Denemarken worden onderzoekingen verricht en wel sinds 1944 (169).

De oorzaken van de verontreiniging zijn meestal bij de industrie te vinden. Bij vele bewerkingen komen grote hoeveelheden hinderlijke gassen en stof vrij, die veelal via schoorstenen in de buitenlucht worden gebracht. Vooral de stookinstallaties van de industrie zijn een voornaam bron van hinder.

De industrie is echter niet de enige schuldige. Ook het verkeer (locomotieven, schepen, auto's) brengt veel stof en gas in de lucht, en verder het stoken in woonhuizen.

Ook andere bronnen van verontreiniging zijn bekend. Zo is in Braunschweig een belangrijke verhoging van het stofgehalte van de lucht geconstateerd sinds door de oorlog een belangrijk deel van de stad in puin is veranderd. Er bevinden zich daar een groot puinveld ter grootte van 1/12 van het stadsoppervlak en voorts vele kleinere puinhopen. Het minimum stofgehalte steeg van 1800 tot 3200 deeltjes per liter (in de parken), het maximum van 31300 tot 68200 deeltjes per liter; een en ander gemeten met de konimeter (62).

In de Verenigde Staten wordt veel hinder ondervonden van de brandende afvalbergen van de mijnen. Zij komen vaak tot zelfontbranding, de in de steen en andere afval altijd nog aanwezige kool gaat branden. Het gemakkelijkst ontbrandt bruinkool, dan steenkool met veel vluchtige bestanddelen, het moeilijkst anthraciet. Er wordt aangenomen, dat de aanwezigheid van pyriet de zelfontbranding bevordert. Momenteel wordt onderzocht in hoeverre de zelfontbranding kan worden tegengegaan, voornamelijk door het afval in lagen te storten, welke dan met onbrandbaar materiaal worden afgedekt (3) (189).

Ook de natuur zelf zorgt vaak voor verontreiniging in de vorm van stuifmeel, bacteriën enz. (71).

Naast de hier genoemde bronnen van verontreiniging bestaat er kans, dat in de toekomst een nieuwe, gevaarlijke bron ontstaat, nl. het radio-actieve stof, zoals dat bij kernreacties kan vrijkomen. Men zal dit probleem bij de industriële toepassing van atoomenergie zorgvuldig moeten beschouwen (19).

Overigens is het probleem van de verontreiniging van de atmosfeer niet nieuw. In 1306 bestonden in Engeland al voorschriften.

In 1661 schreef John Evelyn zijn boek Fumifugium, dat nog steeds zo actueel is, dat het kort geleden nog in een nieuwe op-lag is verschenen (61).

2. INVLOED OP DE GEZONDHEID

Dat de verontreiniging van de atmosfeer invloed op de gezondheid heeft, staat vast. Het is echter moeilijk deze invloed nader te precisieren, omdat andere omstandigheden, volkomen onafhankelijk van de verontreiniging, soortgelijke verschijnselen kunnen veroorzaken. Een overzicht, waarin een aantal verschijnselen wordt besproken en waarin veel literatuur is genoemd, is samengesteld door McDonald, Drinker en Gordon (115).

Afgezien van een zwakke bacterie-dodende werking heeft de verontreiniging van de atmosfeer alleen kwade gevolgen, onder meer wordt de sterkte van het zonlicht en wel speciaal van het ultraviolette deel, verminderd (24) (67) (123) (150).

Het is bekend, dat bij mist, veroorzaakt door rook, het aantal sterfgevallen door ademhalingsziekten belangrijk stijgt (73). Zo steeg het sterftecijfer in 1909 in Glasgow van 2,1 tot 13,9 per 1000 gedurende mist. Het is hier echter moeilijk de invloed van de mist te scheiden van die van de rook. In de literatuur van de Smoke Abatement Society worden enkele gevallen genoemd (67) (123).

In Los Angeles uit de verontreiniging zich ook nog door prikkeling van de ogen (109) (112).

De literatuur vermeldt een aantal gevallen van huidziekten (162), kanker (80), ademhalingsziekten (13) (183) en beschadiging van de mondholte (55), toegeschreven aan de verontreiniging van de buitenlucht.

Ook de algemene gevolgen worden in de literatuur vaak besproken (23) (53) (97) (176) (184).

Soms worden door storingen in een bedrijf grote hoeveelheden gevaarlijke stoffen in de lucht gebracht, welke schade aan de gezondheid veroorzaken. Zo kwam in Brooklyn, door lekkage van een tank, een hoeveelheid chloor in een tunnel van een ondergrondse spoorweg terecht, met het gevolg dat meer dan tweehonderd personen in een ziekenhuis moesten worden opgenomen (32).

Soms kan door een samenvallen van bepaalde atmosferische omstandigheden met de verontreiniging een toestand ontstaan, waarbij de stofdeeltjes en gassen boven een bepaald gebied blijven hangen. Hierdoor kunnen zulke hoge concentraties van vergiftige bestanddelen ontstaan, dat een ramp voor de bevolking het gevolg is. Een tweetal van deze gebeurtenissen is uitvoerig in de literatuur beschreven en wel die in de Maasvallei (18) en die in Donora (135). In de Maasvallei kwam van 1 tot 5 December 1930 een periode van mist voor, waardoor de uitlaatgassen van de fabrieken boven het gebied tussen Luik en Huy bleven hangen. Het gevolg was een groot aantal ziektegevallen, waarvan 63 met dodelijke afloop. Bij het onderzoek bleek een groot aantal vergiftige stoffen in de atmosfeer aanwezig te zijn geweest, vooral SO_2 .

In Donora (bij Pittsburgh), dat eveneens in een rivierdal ligt, gebeurde in 1948 iets soortgelijks. Het aantal zieken was hier ongeveer 500, het aantal gevallen met dodelijke afloop 19.

Als gevolg van een storing in het bedrijf ontsnapten in November 1950 grote hoeveelheden H_2S uit de installaties van een olioraffinaderij in Poza Rica in Mexico. In twee dagen tijd moesten 320

personen in ziekenhuizen worden opgenomen. Er stierven hier 21 personen (127).

Deze gevallen konden alle gebeuren, omdat de bron van de verontreiniging, samen met de woonwijken, in een dal of kom lag. De verontreinigingen konden bij de heersende atmosferische omstandigheden niet weg.

Door het vlakke karakter van ons land is de kans op dergelijke ernstige gevolgen van giftige uitlaatgassen veel geringer, al moeten we, mede door de toenemende industrialisatie, de mogelijkheid niet bij voorbaat uitsluiten.

3. ECONOMISCHE ASPECTEN

Naast de soms onherstelbare schade aan de gezondheid, met zijn economische gevolgen, kan het economisch verlies dat door de verontreiniging van de buitenlucht wordt veroorzaakt, zich op vele gebieden uiten. Het ontstaan van de verontreiniging zelf is vaak al schadelijk. Rook bestaat bv. voor een belangrijk deel uit brandbare stoffen. De brandstofrekeningen van de industrie (en van de particulier), die rookhinder veroorzaakt, zijn hoger dan nodig is. De schoonmaakkosten van de installatie zelf zullen eveneens worden beïnvloed.

Door de gassen in de verontreiniging kan steen worden aangestast (51) (124), hetgeen vaak grote restauratiekosten aan gebouwen tot gevolg heeft. Schoonmaakkosten van gebouwen enz. zijn in de stad vele malen hoger dan vergelijkbare kosten op het platteland.

Vaak is geprobeerd het bedrag van de door de verontreiniging aangerichte schade te schatten. In hoeverre we de gevonden bedragen als juist kunnen aannemen, is niet na te gaan. Zo werd gevonden, dat in Engeland de schade 90 miljoen pond per jaar bedraagt; in de Verenigde Staten 1,5 milliard dollar. Alleen de stad St Louis heeft al 14 miljoen dollar schade per jaar (127). In New York werd al in 1927 de schade op 60 miljoen dollar per jaar geschat (140).

Een aantal opgaven van schade is verwerkt in het boekje "Guilty Chimneys" (67).

De landbouw en de veeteelt kunnen vaak grote hinder ondervinden van uitlaatgassen van fabrieken. Fluorhoudende gassen en SO_2 zijn hier de voornaamste boosdoeners (22) (166) (188). Ook andere stoffen, bv. onkruidbestrijdingsmiddelen, kunnen wel eens schade veroorzaken (39).

De veeteelt ondervindt de meeste hinder van stoffen, die op het gras neerslaan en met het voedsel door de dieren worden opgenomen. Dikwijls betreft het hier fluoriden. De verschijnselen, die zich dan bij het vee openbaren, zijn beschadiging van het gebit, het verzwakken van het beendergestel, achteruitlopen van de melkproductie, verwerpen van de jongen, enz. (81) (86) (103) (132).

Wat de beschadiging van planten betreft, zowel SO_2 (93) als fluorverbindingen (40) (66) (116) (117) (121) geven verbrandingsverschijnselen van de bladeren, met als gevolg een vermindering van de oogst en vaak zelfs een afsterven van de planten. Zelfs naaldbomen ontkomen niet aan dit lot bij een iets hogere concentratie van de verontreiniging (1) (94).

4. METEOROLOGISCHE ASPECTEN

De meteorologische omstandigheden zijn, zoals in hoofdstuk 2 reeds tot uiting kwam, van grote invloed op de verspreiding van stof en gassen in de atmosfeer. Er is reeds veel werk verricht wat betreft de berekening van de verspreiding, voornamelijk door Sutton (163) (165) en Bosanquet en Pearson (25). Volgens Sutton is de concentratie aan stof ter hoogte van de begane grond:

$$C = \frac{2 \cdot 10^3 Q}{\pi C_y C_z u x^{(2-n)}} e^{\frac{-h^2}{C_z^2 x^{(2-n)}}}$$

Hierin is:

C = stofconcentratie (mg/m^3)

Q = stofproductie (g/sec)

h = schoorsteenhoogte (m)

x = horizontale afstand van schoorsteen (m)

n = turbulentiecoëfficiënt

C_y, C_z = diffusiecoëfficiënten

u = windsnelheid (m/sec)

De turbulentiecoëfficiënt, die een maat is voor de turbulentie (het optreden van luchtstromingen van plaatselijk karakter, niet gericht volgens de heersende windrichting), heeft een waarde tussen 0 en 1, deze waarde benadert 0 bij sterke turbulentie en 1 bij zeer zwakke turbulentie.

De diffusiecoëfficiënten zijn een maat voor de verplaatsing van de verontreiniging in richtingen, loodrecht op de windrichting. Ze zijn afhankelijk van n , van de gesteldheid van de bodem, van het al of niet aanwezig zijn van gebouwen, bomen enz., en van de hoogte van de bron boven de begane grond (h).

Sutton beveelt voor praktijkgebruik aan $n = 0,25$ te stellen en hij geeft voor C_y en C_z een waarde van 0,21 tot 0,07, afhankelijk van h , zie de volgende tabel.

h (meters)	C_y	C_z
0	0,21	0,12
10	0,21	0,12
25	0,12	0,12
50	0,10	0,10
75	0,09	0,09
100	0,07	0,07

We vinden dan voor de maximumconcentratie op de begane grond:

$$C_{\max} = \frac{2000 Q C_z}{e \pi h^2 u C_y}$$

Deze concentratie treedt op op een afstand van de schoorsteen:

$$x_{\max} = \left(\frac{h^2}{C_z} \right)^{0,57}$$

Wanneer de afstand tot de schoorsteen groter is dan $x_{\max}$, kunnen we de vergelijking vereenvoudigen tot

$$C = \frac{2000 Q}{\pi C_y C_z u x^{1,75}}$$

Om de invloed van enkele veranderlijken in de formules duidelijk te maken, is een aantal grafieken opgesteld en wel,

fig. 1: concentratie van de verontreiniging als functie van de afstand tot de bron (overgenomen uit de publicatie van Dr L.J.L. Deij in Water Bodem Lucht van Juli 1952);

fig. 2: afstand waarop maximale concentratie optreedt in verband met schoorsteenhoogte;

fig. 3: maximale concentratie in verband met schoorsteenhoogte.

De formule van Sutton is al verscheidene malen aan de praktijk getoetst en bleek goed te voldoen (17) (57) (59) (151).

De vergelijking van Bosanquet en Pearson geeft voor C:

$$C = \frac{10^3 Q}{\sqrt{2\pi C_y C_z u x^2}} e^{-\frac{h}{C_z x}}$$

Na vereenvoudiging vinden we hier:

$$C_{\max} = \frac{4000 Q C_z}{\sqrt{2\pi e^2 u h^2 C_y}}$$

en

$$x_{\max} = \frac{h}{2C_z}$$

De met deze formule gevonden waarden zijn meestal iets hoger dan de in de praktijk gemeten waarden. Dit komt omdat de rookstroom meestal wat heen en weer zwaait, zodat het meetapparaat niet steeds op de plaats van de maximumconcentratie staat.

De verdunning van de verontreiniging in de atmosfeer hangt voor een belangrijk deel af van de turbulentie van de lucht.

- Wanneer -

Wanneer een hoeveelheid gas in de buitenlucht opstijgt, zal het adiabatisch uitzetten en daardoor afkoelen met $1^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$. Is de verticale temperatuurgradiënt in de atmosfeer $1^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ dan is het opstijgende gas dus overal in evenwicht met de omgevende lucht. Neemt de temperatuur bij stijging met minder dan $1^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ af, dan wordt het opstijgende gas kouder en dus zwaarder dan de omgevende lucht. Het wordt dus weer naar het punt van uitgang teruggedrongen. Er is nu dus weinig turbulentie. Is de temperatuurgradiënt groter dan $1^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ dan zal het opstijgende gas lichter worden dan de omgevende lucht en dus sneller gaan stijgen. Er komt dus meer turbulentie (44).

In de afgelopen jaren is veel gepubliceerd over de invloed van de meteorologische omstandigheden op de verontreiniging van de buitenlucht (58) (119). In het symposium "Air Pollution", gehouden in Mei 1950 te Washington, is een aantal bijdragen opgenomen over de meteorologische aspecten (31) (34) (43) (78) (126) (152) (164) (179).

Onder invloed van het zonlicht kunnen in sterk verontreinigde streken in de buitenlucht reacties optreden tussen de verschillende verontreinigingen. Hierdoor kunnen gevaarlijke stoffen of condensatiekernen ontstaan (21). Zo is het ozongehalte in Los Angeles sterk gestegen. Het is nu 0,2 ppm, terwijl het normaal optredende ozongehalte van de buitenlucht 0,02 - 0,03 ppm bedraagt (68). Ook andere reacties treden in de lucht boven Los Angeles op. De sterk verontreinigde "smog", die daar optreedt, is er vaak een gevolg van (108).

5. MEETMETHODEN

5.1 Bepaling van de in het algemeen voorkomende verontreinigingen

De verontreinigingen in de buitenlucht kunnen zowel vaste stoffen als gassen zijn.

De vaste stoffen zijn aanwezig in de vorm van stofdeeltjes, die in de lucht worden gebracht door verontreinigde afvoergassen van de industrie, door de stookinrichtingen van particuliere woningen, door uitlaatgassen van vervoermiddelen als locomotieven, schepen enz. Vaak ook is het opgewaaid straatstof of zand.

De gasvormige verontreinigingen worden in de buitenlucht gebracht door dezelfde bronnen als het stof, uitgezonderd dan de wind. Bovendien worden gassen in niet te verwaarlozen hoeveelheden verspreid door het wegvervoer: de uitlaatgassen van auto's!

Vaak komen in de atmosfeer ook druppeltjes voor, die door de industrie verspreid worden, dan wel bestaan uit waterdamp, die gecondenseerd is om condensatiekernen, die behoren tot de vaste en misschien ook tot de gasvormige verontreinigingen. Een voorbeeld hiervan is de bekende Londense mist.

Voor het bepalen van de in de atmosfeer voorkomende hoeveelheden verontreiniging of voor het bepalen van een maat voor de hoeveelheid daarvan, is een groot aantal apparaten ontwikkeld.

We kunnen deze instrumenten indelen volgens 2 manieren en wel naar de aard van de aan te tonen stof, dus voor vaste of voor gasvormige stoffen, en naar de duur van monsterneming, dus in instrumenten, bestemd voor het bepalen van een gemiddelde maat voor de verontreiniging gedurende langere tijd, bv. gedurende een maand en instrumenten, bestemd tot het maken van momentopnamen van de toestand van de atmosfeer.

De voornaamste meetinstrumenten zijn:

1. Voor het bepalen van vaste stoffen:
 - deposit gauge
 - rookfilter
 - automatisch filter
 - cascade impactor
 - impinger
 - luikse bol
 - Staatsmijnenbak
 - bekerglas of roestvrij stalen cylinder
2. Voor het bepalen van gassen:
 - volumetrisch SO_2 -apparaat
 - loodperoxydekaars
 - SO_2 -bepaling volgens Leclerc
 - impinger

Van deze instrumenten zijn de deposit gauge, de luikse bol, de Staatsmijnenbak, het bekerglas, de loodperoxydekaars en de SO_2 -bepaling volgens Leclerc bestemd voor het bepalen van een gemiddelde waarde over een lange tijd, de andere instrumenten zijn bestemd tot het maken van momentopnamen.

Het rookfilter en het volumetrisch SO_2 -apparaat kunnen met succes achter elkaar geschakeld worden, ook het rookfilter en de impinger, wanneer de laatste gebruikt wordt voor de bepaling van gasvormige verontreinigingen.

Een belangrijk aantal van deze instrumenten is in Engeland ontwikkeld, vaak door Dr Owens.

5.1.1 Bespreking van de instrumenten voor de bepaling van vaste stoffen

5.1.1.1 Deposit gauge

Het instrument (fig. 4) bestaat uit een glazen trechter, waarin alle stof, regen, sneeuw enz. wordt opgevangen. Onder de trechter is een fles geplaatst, waar de gevangen stoffen door de regen in gespoeld worden. Het is dus in feite een regenmeter. Deze apparaten worden voornamelijk in Engeland gebruikt, waar intussen veel ervaring er mee is opgedaan. Na een maand wordt de inhoud van de fles in het laboratorium onderzocht en de hoeveelheid water, vaste stoffen en opgeloste stoffen bepaald. Van de vaste stoffen wordt weer de hoeveelheid bepaald die oplosbaar is in zwavelkoolstof, de Engelsen vatten deze stoffen samen onder de naam teer, de hoeveelheid brandbare stoffen, die niet in zwavelkoolstof oplosbaar zijn en de rest, dus as.

- Van -

Van de opgeloste stoffen wordt het gehalte aan zwavel (in de vorm van sulfieten en sulfaten), chloor, ammonia, kalk en vrij zuur bepaald en verder de pH van het opgevangen water (met de daarin opgeloste stoffen). Het regenwater neemt bij zijn val door de lucht CO_2 op, waardoor de pH niet de normale neutrale waarde 7 krijgt. In een atmosfeer waarin behalve het gebruikelijke CO_2 - gehalte geen verdere verontreinigingen voorkomen zal de pH van het regenwater de waarde 5,5 aannemen (51).

In Denemarken, waar ook met deposit gauges gemeten is (in 1944 en volgende jaren) werden bepaald de hoeveelheid onopgeloste stoffen en daarvan weer de brandbare en niet brandbare delen; verder opgeloste stoffen en het brandbare en niet brandbare deel daarvan. Van de opgeloste stoffen werd bovendien het sulfaat-, chloride- en nitraatgehalte bepaald, terwijl van het verkregen monster ook de pH werd opgenomen (169).

In Engeland is men later afgestapt van de bepaling van ammonia en vrij zuur in het monster, omdat gebleken is dat deze gehalten in belangrijke mate beïnvloed worden door bacteriën, die zich gedurende de maand dat de gauge buiten staat, kunnen vermenigvuldigen.

De in de trechter neergedaalde verontreinigingen zijn een maat voor de per oppervlakte-eenheid neerkomende hoeveelheid stof. Het gewicht aan stof en het oppervlak van de trechter zijn bekend. Hiermee is de stofval per km^2 te berekenen. De Engelsen gebruiken een gauge met een diameter van 12 " (30,5 cm) en een 10 liter fles, de Denen een gauge van 50 cm en een 16 liter fles.

Enkele moeilijkheden die ondervonden werden bij het gebruik van de deposit gauge waren het stukvriezen van de opvangflessen in de winter en de in de flessen optredende algengroei in de zomer.

Het stukvriezen kan worden voorkomen door bij het opstellen van het apparaat de opvangfles gedeeltelijk met alcohol te vullen. Het gevolg is evenwel dat de hoeveelheid regen en de pH niet meer kunnen worden gemeten en dat moeilijkheden worden ondervonden bij de chemische bepaling van de verontreinigingen.

De algengroei kan tegengegaan worden door het toevoegen van bepaalde chemische bestanddelen aan de inhoud van de fles, maar dat geeft vaak weer moeilijkheden bij de bepaling van de aard van de verontreiniging. Een goed middel tegen de algen is volgens de Deense onderzoekingen het verven van de fles, zodat het opgevangen water in het donker komt.

Zoals uit het voorstaande blijkt, is de deposit gauge een instrument dat een ruim toepassingsgebied heeft. Het is bruikbaar voor het bepalen van de grootte-orde van de verontreiniging door stof, van de aard der verontreinigingen en geeft daardoor vaak aanwijzingen betreffende de bron van de hinder.

We moeten echter de nauwkeurigheid van de bepalingen met de deposit gauge niet overschatten. In Engeland zijn proeven genomen waarbij twee gauges naast elkaar werden opgesteld en de resultaten van de beide toestellen werden vergeleken. De proef vond plaats van April 1934 tot Maart 1938 te Kew. De afstand tussen de beide gauges was 5 yard (4,55 m). De standaardafwijking, uitgedrukt in % van de gemiddelde waarde voor de betrokken verontreiniging, lag voor alle

- bepalingen -

bepalingen tussen 13 en 27 % (uitgezonderd ammonia, dat tot 85 % ging). De standaardafwijking voor de regenval gemeten met de gauges was 6 %.

Dan staat verder nog de vraag open of de gauge wel een maat geeft voor de stofnagerslag op een km^2 . De resultaten worden opgegeven in ton per km^2 , maar komt er wel evenveel stof in de gauge als op een overeenkomstige oppervlakte horizontaal terrein? Het is mogelijk, dat de trechter als cycloon werkt, waardoor er meer stof gevangen wordt dan op een horizontaal vlak wordt afgezet. Verder zal bij regenval het stof in de fles gespoeld worden met het gevolg, dat het niet meer kan wegwaaien, wat op het open terrein wel kan gebeuren. In een droge periode blijft het stof in de trechter liggen, waaruit het weer kan wegwaaien.

De resultaten zijn dus afhankelijk van de regenval. Verder ook nog van de windrichting en windkracht, de turbulentie van de lucht enz. We moeten er dus bij het vergelijken van resultaten verkregen met deposit gauges op letten, dat de meteorologische omstandigheden bekend en vergelijkbaar zijn. Om betrouwbare waarden te verkrijgen kunnen we de weersinvloeden uitschakelen door de waarnemingen te middelen over een tijdsduur van ten minste enkele jaren.

Bij het opstellen van de gauge moet rekening worden gehouden met de invloed die de omgeving op de metingen uitoefent. Dit geldt trouwens voor alle instrumenten die gebruikt worden voor metingen in de buitenlucht. Bomen bv. kunnen veel verontreinigingen opnemen, rond huizen kunnen wervels ontstaan, enz. Zo moet ook gelet worden op de afstand tot de dichtst bij zijnde belangrijke schoorsteen. De Engelsen houden hierbij een minimum afstand van 100 yard aan. Iets wat we steeds moeten bedenken bij het beschouwen van resultaten verkregen met de deposit gauge, is dat het instrument een gemiddelde waarde geeft over een maand, zodat hinder die tijdens een korte periode optreedt en daarbij zelfs schade kan veroorzaken, maar weinig invloed op de totale hoeveelheid gevangen verontreiniging heeft.

5.1.1.2 Rookfilter

Om de hoeveelheid in de lucht zwevende verontreiniging te meten wordt een hoeveelheid lucht door een papieren filter gezogen. De stofdeeltjes, voornamelijk roet (vandaar de naam rookfilter), blijven op het papier achter en geven daar een zwarte vlek. Bij een bekende hoeveelheid doorgezogen lucht is de zwarting van het papier een maat voor het roetgehalte van de lucht.

De resultaten van de metingen worden uitgedrukt in mg/m^3 lucht. Om nu de graad van zwarting om te rekenen op mg/m^3 zijn twee methoden in gebruik. Ten eerste door de zwartheid van de vlek te vergelijken met een standaardschaal, waardoor direct aflezingen zijn te verkrijgen. Bij deze methode spreekt een sterke persoonlijke factor van de waarnemer. Vergelijking van de resultaten van meer waarnemers is dus niet mogelijk.

De tweede methode berust op het verschil in lichtintensiteit van een lichtstraal als hij door het filter alleen gaat en als hij door het filter met de vlek gaat. Men laat een lichtstraal

- door -

door een schoon filter vallen. Achter het filter staat een foto-electrische cel. De galvanometeraflezing is een maat voor de intensiteit van het door het filter doorgelaten licht. Hetzelfde wordt gedaan met het voor het vangen van de verontreiniging gebruikte filter. Het verschil van de beide galvanometeraflezingen is een maat voor de zwartheid van de vlek op het tweede filter en dus voor de hoeveelheid in de lucht zwevende verontreiniging.

Beide methoden zijn in Londen geijkt. Daar de aard van de rook van plaats tot plaats verandert, is hier een moeilijkheid; we weten nl. niet in hoeverre deze ijking ook buiten Londen geldt. Wel is bij onderzoeken gebleken, dat de zwevende deeltjes voor een belangrijk deel uit roet en teerachtige delen bestaan, zodat de zwarting niet al te sterk uiteen zal lopen op verschillende plaatsen.

Om te zorgen, dat de zwartheid van de roetvlekken binnen het bereik van de standaardschaal valt, kan de diameter van de vlek worden aangepast aan het gehalte aan zwevende stoffen in de lucht (de vlekken kunnen in diameter 2 ", 1 " en $\frac{1}{2}$ " gemaakt worden).

Het rookfilter wordt vaak voor het volumetrisch SO_2 -bepalingsapparaat geschakeld (fig. 5). Het toestel wordt veel gebruikt door het Engelse Fuel Research Station, het staat dan ook in vele publicaties van dit instituut beschreven, o.a. (45) (47).

5.1.1.3 Automatisch filter

Het principe hiervan is volkomen gelijk aan dat van het rookfilter. Een tank die op de waterleiding is aangesloten, wordt beurtelings gevuld en door een hevel weer geledigd. Tijdens het leeghevelen wordt lucht (2 liter) door het filtreerpapier gezogen. De roetdeeltjes laten een vlek achter die hier $\frac{1}{8}$ " diameter heeft. Tijdens het opnieuw vullen van de tank wordt het filter door middel van een klok over een kleine hoek gedraaid, zodat de volgende roetvlek op enige afstand naast de voorgaande komt te liggen. De gehele cyclus duurt ongeveer een uur.

De zwarting wordt hier weer bepaald door vergelijking met een standaardschaal van zwartingen.

Het instrument werkt geheel automatisch; slechts eenmaal per etmaal moet het filtreerpapier vervangen worden. De 24 roetvlekken kunnen dan bestudeerd worden.

Wanneer de zwarting eventueel niet voldoende is om een goede aflezing op de standaardschaal te bereiken (in de zomer bv., wanneer de stookinrichtingen in woningen vrijwel niet gebruikt worden) kan een extra tank naast de bestaande worden geschakeld, waardoor dan ongeveer 10 liter lucht kan worden doorgezogen.

Ook dit instrument wordt veel in Engeland gebruikt en is dan ook in de Engelse literatuur uitvoerig beschreven (45) (47).

5.1.1.4 Cascade impactor

In de Verenigde Staten zijn metingen gedaan met de cascade impactor. Hiermee wordt het aantal stofdeeltjes en vochtdruppeltjes per eenheid van volume buitenlucht bepaald.

De te onderzoeken lucht wordt door een "jet" gevoerd. De snelle luchtstroom botst tegen een glaasje, de vaste deeltjes en druppeltjes blijven aan het glaasje kleven en kunnen microscopisch onderzocht en geteld worden.

Vervolgens gaat de lucht door een nauwere "jet", een hogere snelheid is het gevolg en fijnere deeltjes zetten zich na deze tweede jet af. Dit gebeurt een aantal keren, zodat op ieder volgende glaasje een fijnere stoffractie neerslaat. We krijgen dus een zeer globale grootteverdeling.

Dit instrument geeft dus een momentopname van de toestand van de lucht voorzover het vaste en vloeibare verontreinigingen betreft. Het is echter alleen geschikt voor vergelijkende metingen, daar het onwaarschijnlijk is, dat de fijnste in de lucht zwevende stofjes alle op de glaasjes terecht komen.

In Amerika werd het instrument o.a. gebruikt bij het onderzoek van de "smog" in Los Angeles (112).

Een goede beschrijving van het principe van het instrument is in de literatuur te vinden (111) (154).

5.1.1.5 Impinger

Ook dit instrument berust op het botsingsprincipe. Een luchtstraal blaast onder een vloeistof uit tegen de bodem van een fles. Bij deze botsing wordt het stof in de vloeistof opgenomen. Het is niet zeker, dat al het stof wordt gevangen. Dit geldt vooral voor het fijne stof. Hoewel het instrument ook in de buitenlucht wordt gebruikt, is het in feite evenals de cascade impactor meer geschikt voor metingen in min of meer besloten ruimten met hoge stofgehalten en dan wel voornamelijk grof stof.

Een moeilijkheid is nog het tellen van de gevangen stofdeeltjes. Hiervoor wordt in Amerika o.a. de Sedgwick-Rafter telkamer gebruikt (33).

De impinger wordt ook veel gebruikt voor het bepalen van gasvormige verontreinigingen in de lucht.

De mérites van de impinger worden o.a. besproken door Holt (79).

Uit de impinger is ontwikkeld de midjet impinger (27) (107) (147), een verkleinde uitgave van de normale standard-impinger.

5.1.1.6 Luikse bol

De Luikse bol is een zeer eenvoudig instrument, dat gebruikt wordt om de hoeveelheid in de lucht zwevende vaste stoffen te bepalen. Het apparaat bestaat uit een aluminium bol, die met vaseline wordt besmeerd. De in de atmosfeer zwevende stofdeeltjes blijven in de vaseline kleven en het gewicht aan stof, dat zo gedurende een bepaalde tijd (enkele weken) gevangen wordt, is een maat voor de verontreiniging. Een absolute waarde voor de stofval per tijdseenheid en per oppervlakte-eenheid wordt dus niet verkregen, evenmin als een waarde voor het stofgehalte van de lucht.

Door zijn eenvoud en lage aanschaffings- en onderhoudskosten is dit apparaat goed geschikt voor vergelijkende metingen op een groot aantal punten.

Het toestel werd ontwikkeld door Prof. Gillet voor metingen in het Maasdal in België (65), waar het nog steeds gebruikt wordt (104). Ook in ons land worden metingen verricht met de Luikse Bol en wel door de Staatsmijnen (56).

5.1.1.7 Staatsmijnen stofbak

Het op de grond neervallende stof wordt hierbij opgevangen in een roestvrij stalen bak van 1 m² bodemoppervlak, dat met olie is bestreken. Het stof (evenals insecten, bladeren enz.) blijft in de olie plakken en kan na enige tijd verzameld worden. Na regen blijft het stof in het water liggen, terwijl het teveel aan opgevangen water in een emmertje wordt afgevoerd.

Met dit apparaat is in tegenstelling tot het vorige wel een maat voor de hoeveelheid neergevallen stof per oppervlakte-eenheid en per tijdseenheid te verkrijgen.

Het toestel wordt hier te lande, zoals de naam al aangeeft, gebruikt door de Staatsmijnen voor stofmetingen in Limburg (56).

5.1.1.8 Cylinderglas of roestvrij stalen cylinder

In de Verenigde Staten worden voor de bepaling van de stofval als gemiddelde over langere tijd (1 maand), roestvrij stalen cylinders gebruikt. Om het stof dat in de cylinder daalt vast te houden, wordt het apparaat bij het plaatsen gedeeltelijk gevuld met gedestilleerd water, in de winter met alcohol of gedestilleerd water met cellosolve (63). De afmetingen van de vaten zijn: diameter 20 cm, hoogte 15 cm (56) (60).

In Denemarken werden bij metingen in Kopenhagen 2 cylinderglazen gebruikt met de volgende afmetingen: diameter 142 en 153 mm, hoogte 450 en 570 mm. De resultaten bleken voor deze beide glazen vrijwel gelijk te zijn, de uitkomsten lagen echter bijna 60 % hoger dan die verkregen met deposit gauges die op dezelfde plaats stonden (169).

De besproken instrumenten zijn alle in gebruik voor de bepaling van de stofval of van het stofgehalte van de lucht. Deze lijst heeft echter niet de pretentie volledig te zijn. Zo worden voor de bepaling van het stofgehalte van de buitenlucht ook gebruikt de thermische precipitator, electrostatische precipitator (16), de konimeter enz.

De thermische precipitator maakt gebruik van de omstandigheid, dat om een verwarmde draad een stofvrije ruimte ontstaat. Door stoffige lucht langs een warme draad te voeren slaan de met de lucht meegevoerde vaste deeltjes neer op een dicht bij de draad geplaatst glazen plaatje met lagere temperatuur dan de draad. Het gevangen monster kan nu microscopisch worden onderzocht.

De electrostatische precipitator werkt volgens hetzelfde principe als de in hoofdstuk 6 beschreven precipitator die voor de reiniging van uitlaatgassen wordt gebruikt.

De konimeter berust evenals de cascade impactor, op het botsingsprincipe. Bij de konimeter wordt de te onderzoeken lucht door een fijn gaatje uitgeblazen, waardoor op een glazen plaatje

een stofstip ontstaat. Bij de cascade impactor wordt een stofstreep gevormd. Met behulp van een aan het toestel gebouwde microscoop kan het gevangen stof ter plaatse worden onderzocht.

5.1.2 Bespreking van de instrumenten voor de bepaling van gasvormige verontreinigingen

5.1.2.1 Volumetrisch SO_2 -apparaat

Het volumetrisch SO_2 -apparaat, zoals dat in Engeland gebruikt wordt (10) (11) (45) (47), bestaat in hoofdzaak uit een wasfles, die verdund waterstofperoxyde bevat (fig. 5). Door middel van een pomp wordt lucht door de wasfles gezogen, een gasmeter zorgt voor de meting van de hoeveelheid doorgezogen lucht.

De SO_2 die zich in de lucht bevindt, wordt in de wasfles gebonden tot zwavelzuur. De pH van de vulling is vastgesteld op 4,5. Door na het doorzuigen van de lucht de inhoud van de fles met verdund loog te titreren tot pH 4,5 kan de opgenomen hoeveelheid SO_2 worden bepaald.

Het in Engeland meest gebruikelijke type zuigt een etmaal achtereen lucht door tot een totaal van 50 cft ($1,55 \text{ m}^3$). We weten dan dus de hoeveelheid SO_2 per m^3 lucht als gemiddelde over 24 uur.

Het apparaat kan goed gecombineerd worden met het rookfilter. De met het rookfilter gevonden stofgehalten worden niet beïnvloed door het SO_2 -apparaat. Omgekeerd wordt de hoeveelheid gevangen SO_2 maar weinig beïnvloed door de aanwezigheid van het rookfilter. Metingen in Engeland hebben aangetoond, dat de ontstane fout meestal ligt tussen 1 en 4 % (45).

Een fout die bij de volumetrische bepaling van het SO_2 -gehalte van lucht altijd optreedt, is die, veroorzaakt door de aanwezigheid van andere zure gassen of van basische verontreinigingen in de lucht. Het altijd aanwezige CO_2 wordt bij de Engelse titratie-methode uitgeschakeld door het gebruik van een speciale indicator (B.D.H. 4,5). De andere verontreinigingen (NH_3 , SO_3 , HCl) zullen elkaar ten naaste bij neutraliseren. Bovendien is in normale gevallen de concentratie van deze stoffen in de buitenlucht zo gering ten opzichte van die van SO_2 , dat ze de meting vrijwel niet zullen beïnvloeden.

Een mogelijke foutenbron kan verder nog gelegen zijn in absorptie van SO_2 door delen van het apparaat.

Een andere in Engeland gebruikte uitvoering van de SO_2 -meter is een automatisch werkend apparaat, waarin de lucht gedurende een uur door een wasfles gezogen wordt. Een klok verzet daarna een kraan, waarop de lucht door een volgende fles wordt gezogen, zo door in totaal 24 achtereenvolgende flessen. Na een etmaal worden alle flessen vervangen en de inhoud wordt weer getitreerd. De metingen geven hier dus het SO_2 -gehalte als gemiddelde over een uur. De hoeveelheid lucht die door dit toestel wordt doorgezogen, is 500 cft ($15,5 \text{ m}^3$) per etmaal.

5.1.2.2 Loodperoxyde kaars

Dit apparaat stamt, evenals het vorige, uit Engeland. Het werd daar ontwikkeld in het Building Research Station. De gegevens ervan zijn dan ook voornamelijk in de Engelse literatuur te vinden (8) (9) (45) (47).

- Het -

T.N.O.

Het principe waarop het toestel berust is dat het vaste in water onoplosbare loodperoxyde zich verbindt met SO_2 volgens $\text{PbO}_2 + \text{SO}_2 \rightarrow \text{PbSO}_4$.

De oorspronkelijke opzet van het Building Research Station was een maat te vinden voor de aantasting van bouwstenen door SO_2 ; vandaar de keus van de onoplosbare uitgangsstof met het onoplosbare eindproduct PbSO_4 . Het instrument bleek echter goed bruikbaar te zijn om een maat te bepalen voor het gehalte aan SO_2 in de buitenlucht. We vinden hiermede dus niet het gehalte aan de betrokken verontreiniging van de lucht, alleen een maat er voor.

De uitvoering van het toestel is als volgt: Om een porceleinen cylinder met een hoogte en een omtrek van 10 cm wordt een stuk doek gespannen. Dit wordt bedekt met een pasta waarvan PbO_2 het voornaamste bestanddeel is. Na drogen van de pasta wordt de cylinder met bekleding in de buitenlucht geplaatst onder een afdakje, de laatste tijd vaak in een van jalousieën voorzien kastje.

Na een maand wordt de cylinder vervangen door een andere en in het laboratorium kan de hoeveelheid omgezet loodperoxyde bepaald worden. Hierin hebben we dan een maat voor de gemiddelde hoeveelheid SO_2 in de lucht, gedurende de afgelopen maand.

Een nadeel van het apparaat is, dat de snelheid van de omzetting van loodperoxyde in loodsulfaat niet alleen afhankelijk is van de concentratie van het SO_2 , maar ook van verschillende andere invloeden, zoals de dikte van het laagje loodperoxyde, de temperatuur en het vochtgehalte van het actieve deel (181). De invloed van de windsnelheid bleek bij proeven in Leicester niet merkbaar (45), hoewel Wilsdon en McConnell in windtunnelproeven gevonden hebben, dat de snelheid van omzetting evenredig is met u^4 , waarbij u de windsnelheid is (181).

Door al deze veranderlijke invloeden is een zekere mate van voorzichtigheid bij de beoordeling van de resultaten geboden.

5.1.2.3 SO_2 -bepaling volgens Leclerc

Het principe van deze meter is hetzelfde, als dat van de loodperoxydekaars. Het verschil bestaat in hoofdzaak daaruit, dat in plaats van PbO_2 een oplossing van natriumbicarbonaat wordt gebruikt. Het actieve deel bestaat uit een in genoemde oplossing gedrenkte zwachtel, welke om een flesje wordt gewonden dat wordt geplaatst in een schaal gevuld met deze oplossing (56).

Het toestel is oorspronkelijk ontworpen voor gebruik in de Maasvallei. Het wordt nu ook door de Nederlandse Staatsmijnen gebruikt.

5.1.2.4 Impinger

De impinger zoals die beschreven is bij de instrumenten die gebruikt worden voor het bepalen van het gehalte aan zwevende vaste deeltjes in de lucht, wordt ook vaak gebruikt voor de bepaling van gasvormige verontreinigingen, vooral in de Verenigde Staten (100) (129). Het instrument is onder andere gebruikt bij het onderzoek van de ramp in Donora, veroorzaakt door uitlaatgassen van de industrie (135).

- Door -

Door titreren van de inhoud van de fles kan het gehalte aan verontreinigingen worden bepaald.

Evenals bij de apparaten voor de bepaling van de vaste verontreinigingen van de atmosfeer, is ook deze opsomming van de apparaten voor de bepaling van gasvormige verontreinigingen niet volledig. Zo worden in de Verenigde Staten nog automatisch werkende toestellen gebruikt voor de bepaling van SO_2 en H_2S in de buitenlucht (95) (130) (168) (177). De gevoeligheid van deze apparaten is echter minder groot dan die van het Engelse volumetrische SO_2 -apparaat.

5.2 Meetmethoden voor bijzondere gevallen

Behalve de onder A genoemde routinebepalingen worden ook veel bepalingen verricht met het doel een inzicht te verkrijgen in speciale problemen, zoals bv. de beïnvloeding van de hoeveelheid ultraviolet licht door de verontreiniging van de lucht, de vervuiling van vensterglas, onderzoeken om snel een indruk te krijgen van de stofverdeling enz.

Een aantal van deze methoden wordt hieronder besproken.

5.2.1 Ultraviolet daglichtintegrator

Dit instrument is in Engeland gebruikt bij onderzoeken in Leicester (45). Door middel van een zilverfilter en een optische wig liet men het ultraviolette deel van het daglicht op een gevoelige plaat vallen. Na ontwikkelen werd de mate van belichting beoordeeld. De duur van de belichting was 24 uur.

Een in Engeland gebruikte methode om de hoeveelheid daglicht te bepalen is de kalium-jodidemethode, beschreven in het rapport over 1928 van het Department of Scientific and Industrial Research (48).

In de Verenigde Staten wordt ook volgens andere methoden gemeten (87) (150).

5.2.2 De vervuiling van vensterglas

In Denemarken is bij het onderzoek naar de verontreiniging van de atmosfeer in Kopenhagen o.a. ook gebruik gemaakt van platen vensterglas, die gedurende lange tijd (30 - 233 dagen) aan de buitenlucht werden blootgesteld. Dit gebeurde met telkens twee platen, waarvan de een verticaal, de ander onder een hoek van 45° met het horizontale vlak was opgesteld. De mate van vervuiling werd bepaald door de verhouding tussen het doorgelaten en het opvallende licht te meten met behulp van een fotometer. Dit gebeurde met rood en met blauw licht. Het bleek, dat van het blauwe licht meer geabsorbeerd werd dan van het rode en dat de schuin opgestelde platen sterker vervuilden dan de verticale (169).

5.2.3 Petrischalen

Om snel een indruk te krijgen van de stofval in een bepaalde stad, wordt in Engeland gebruik gemaakt van petrischalen. Deze worden gedurende 1 of 2 etmalen buiten geplaatst. Het gevangen

- stof -

stof wordt gewogen en op deze wijze verkrijgt men een maat voor de hoeveelheid stof, die gedurende de verstreken tijd per oppervlakte-eenheid is neergekomen.

Een nadeel van deze methode is dat ze alleen bruikbaar is bij bepaalde weersgesteldheid: Er mag geen regen vallen en de wind mag niet zo sterk zijn, dat al gevangen stof weer uit de lage schaal waait. Bovendien blijft de bepaling als het ware een momentopname, zodat om vergelijkbare waarden te verkrijgen een aantal uitkomsten gemiddeld moet worden (47).

5.2.4 Filter

Met behulp van een toestel sterk gelijkend op het rookfilter, is het mogelijk in korte tijd een indruk te krijgen van de verdeling van het boven een stad in de lucht zwevende stof. In Engeland wordt dan gewerkt met een handpomp om onafhankelijk te zijn van het al of niet beschikbaar zijn van elektrische energie op het punt van de meting. Er worden dan weer rookvlekken verkregen op filtreerpapier. De zwarting is een maat voor de hoeveelheid in de lucht zwevende verontreiniging (123).

Met behulp van een filter is in de Verenigde Staten een bepaling uitgevoerd om de verspreiding van beryllium houdend stof in de atmosfeer te bepalen. Dit gebeurde nadat in de omgeving van een beryllium verwerkende industrie een aantal vergiftigingsverschijnselen was geconstateerd (59).

5.2.5 Ringelmann Chart

Deze dient voor het bepalen van de graad van zwarteheid van de uitgeblazen rook van fabrieken. Ze bestaat uit vier sectoren (gerangschikt om een kijkgat) met verschillende mate van zwarteheid. Door vergelijken wordt bepaald met de kleur van welke sector de kleur van de rook overeenkomt. Een nadeel voor het instrument is, dat de rook van wijde schoorstenen er zwarter uitziet, dan die van nauwe schoorstenen bij eenzelfde roetgehalte per volume-eenheid.

De kaart is ontwikkeld door het United States Bureau of Mines (172) en wordt in de Verenigde Staten veel gebruikt bij de controle op de naleving van de wettelijke bepalingen die het uitblazen van zwarte rook beperken (12) (70).

Een soortgelijk instrument, dat ook in de Verenigde Staten gebruikt wordt, is de umbrascopes, waarbij de kleur van de rook vergeleken wordt met die van gekleurde glazen plaatjes.

5.2.6 Modelproeven

Soms wanneer van het stof en de stofverspreidende installatie voldoende bekend is, kan door modelproeven een indruk verkregen worden over de verspreiding van dit stof over de omgeving. Een dergelijke proef werd door Pestel in een windtunnel uitgevoerd (131).

Vaak is het mogelijk een indruk te krijgen van de verontreinigingen door het onderzoeken van regenwater (118), soms zelfs al door te gaan praten met de benadeelden (109).

Een enkele maal kan het van belang zijn de doorzichtigheid van de verontreinigde lucht te meten (160).

Voor het onderzoek van nevels is in Los Angeles een "smog chamber" in gebruik (109).

Het bepalen van het aantal condensatiekernen in de lucht, in verband met mistvorming van belang, kan geschieden met een condensatiekamer (144). Voor hetzelfde doel is Aitken's dust counter in gebruik (170).

5.3 Algemene opmerkingen

De meeste ervaring met metingen over langere tijdsduur is opgedaan in Engeland. Veel belangrijke gegevens zijn dan ook te vinden in de daar sinds 1915 jaarlijks uitgegeven rapporten, oorspronkelijk door het Advisory Committee on Atmospheric Pollution, sinds 1928 door het Department of Scientific and Industrial Research. Slechts in de laatste wereldoorlog is een onderbreking geweest in deze reeks rapporten. Dat van 1944 bevat dan ook de gegevens over 5 jaar en is daardoor van veel belang voor de studie van de verontreiniging van de buitenlucht (52).

Van veel belang is ook het Atmospheric Pollution Bulletin, dat door dezelfde instelling wordt uitgegeven.

Ook in de Verenigde Staten wordt veel gepubliceerd over metingen in de buitenlucht. De laatste jaren is daar een aantal artikelen gepubliceerd, die speciaal de instrumenten behandelen (38) (69) (96) of een theoretische verhandeling geven over hetgeen in die instrumenten gebeurt (136). In enkele van deze publicaties zijn vele literatuurverwijzingen opgenomen (38) (96).

Behalve een groot aantal gegevens over het gehele probleem wordt ook vaak literatuur over instrumenten genoemd in de Atmospheric Pollution Abstracts (173).

6. BESTRIJDING VAN DE VERONTREINIGING

6.1 Het zuiveren van uitlaatgassen met behulp van stofvangers

De belangrijkste soorten stofvangers zijn:

- bezinkkamer
- filter
- electrostatistische precipitator
- mechanische vangers, o.a.
 - cycloon (in vele vormen)
 - multicycloon
 - als stofvanger ingerichte ventilator
- vanger, werkend met ultrasonore trillingen
- natte vangers, o.a. werkend
 - volgens kloefmethode
 - volgens sproeimethode
 - venturi scrubber.

- Soms -

Soms worden enkele vangers in serie geschakeld, bv. 2 cyclonen; of een cycloon voor het vangen van de grovere deeltjes met er achter een electrostatische vanger of een filter voor de fijnere deeltjes.

Korte bespreking van de voornaamste vangers.

6.1.1 Bezinkkamer

Deze is alleen bedoeld om betrekkelijk grote deeltjes ($> 100 - 200 \mu$) te vangen (2). Zou men een belangrijk percentage van de kleinere deeltjes uit een gas-stofmengsel willen vangen, dan zou het apparaat in het algemeen te volumineus worden.

6.1.2 Filter

Het doekfilter, zoals dat gebruikt wordt voor zuivering van lucht voor ventilatie van gebouwen, kan ook gebruikt worden voor het terugwinnen van fijn stof uit uitlaatgassen. Een nadeel is, dat de gassnelheid in het filter klein moet zijn (minder dan $1 \frac{m}{min}$) (54). Voor grote hoeveelheden gas zijn dus zeer grote oppervlakken aan filterdoek nodig.

De toepassingsmogelijkheid wordt bovendien nog beperkt door de maximum temperatuur, die het doek kan verdragen.

De bereikbare vangstpercentages zijn echter zeer hoog, bv. 99 % bij stof van $0,5 \mu$ (2).

6.1.3 Electrostatische precipitator

Het stof wordt bij deze installaties gevangen met behulp van elektrische krachten. Dit gebeurt door de te reinigen gasstroom door een electrisch veld te voeren. Dit veld wordt opgewekt door een electrode (met een doorsnede met kleine kromtestraal) een hoge positieve potentiaal te geven, terwijl een andere, grotere electrode wordt geaard (fig. 6).

De stofdeeltjes, die zich in dit veld bevinden, worden nu electrisch geladen en bewegen zich onder invloed van de elektrische krachten naar de geaarde electrode en worden daarop neergeslagen. Op deze wijze kunnen zeer fijne stofdeeltjes (zelfs tot $0,01 \mu$) worden gevangen, bv. sigarenrook.

De totale opstelling bestaat uit achtereenvolgens een transformator, een gelijkrichter en de elektroden.

Vaak worden de elektroden in 2 groepen opgesteld en wel eerst een ioniserende groep met een spanning van bv. 12000 V en vervolgens de eigenlijke stofvangende elektroden met een spanning van bv. 5000 V (71).

Bepaalde stofsoorten, bv. koolstof, zijn in de electrostatische vanger zeer moeilijk te vangen. Voor koolstof is in Engeland een speciale vanger ontwikkeld. De elektroden daarvan zijn in 2 groepen ondergebracht, in de eerste groep heerst een spanning van 40 - 45000 V, in de tweede 45 - 50000 V. Het lagere voltage in de eerste groep is nodig om te zorgen, dat er geen vonkoverslag plaats vindt in de daar nog zeer stoffige gasstroom (28) (123). De meeste in de industrie gebruikte vangers werken met een spanning van 60.000 à 75.000 V.

Een van de moeilijkste constructieve problemen van de electrostatische vanger is het bereiken van een goede verdeling van de gasstroom over de verschillende parallel geschakelde elementen (die ieder uit twee elektroden bestaan). Bij een onjuiste verdeling (in de praktijk gebeurt het dan soms dat de gasstroom in enkele elementen van richting omkeert!) zullen in sommige elementen veel te hoge luchtsnelheden optreden. Het al gevangen stof gaat dan over de elementen schuiven, vormt als het ware duintjes en wordt bij nog hogere snelheid zelfs met de gasstroom meegesleurd, waardoor het opnieuw moet worden neergeslagen of waarbij het soms zelfs de uitlaat verlaat (145).

Ook de weerstand van de op de elektrode neergeslagen stoflaag is van grote invloed op de werking van de vanger. Soms kan door toevoeging van een bepaalde stof de geleidbaarheid van de neergeslagen stoflaag worden verbeterd, zoals de toevoeging van sporen gasvormige ammoniak aan de terug te winnen katalysator, die bij het kraken in de olie-industrie wordt gebruikt (146) of van SO_2 voor vliegias (180).

Een andere moeilijkheid is vaak het van de elektrode verwijderen van het neergeslagen stof. Dit kan op verschillende manieren gebeuren door kloppen of trillen, het stof valt dan door zijn eigen gewicht in een bunker.

Soms zijn de elektroden op kettingen gemonteerd en worden zij afwisselend in olie gedompeld (waarbij het stof in de oliebak bezinkt) en aan de gasstroom blootgesteld.

6.1.4 Mechanische vangers

6.1.4.1 Cycloon

De droge mechanische vangers werken met behulp van massa-traagheidskrachten. De te reinigen gasstroom wordt in rotatie gebracht, waardoor een centrifugaalveld ontstaat. Hierdoor worden de stofdeeltjes uitgeslingerd. De cycloon is de voornaamste vanger, die volgens dit principe werkt.

Een schets van een cycloon met aanduiding van de voornaamste afmetingen is gegeven in fig. 7.

De gasstroom wordt bij A tangentiaal in het cilindrische deel gevoerd.

In de cycloon vormt zich nu een wervel, terwijl er bovendien een stromingscomponent in verticale richting zal zijn en wel langs de wand naar beneden (naar de bunker) gericht en in het midden rond de hartlijn van de cycloon naar boven (naar de uitlaat van de gereinigde gassen C) gericht. Het stof wordt door de in de wervel heersende centrifugale kracht (tot 100 x de zwaartekracht) naar buiten geslingerd. Het komt daar in de neerwaarts gerichte stroming en zal daardoor meegevoerd worden naar de bunker. Een stofdeeltje, dat in het middelste deel van de cycloon (met de opwaarts gerichte stromingscomponent) terecht komt, zal naar de uitlaat worden meegevoerd en dus niet worden gevangen.

Bij B zal de verticale component van de gasstroming 0 zijn. Het stof, dat door de neerwaartse stroming tot daar gebracht is, zal in de bunker vallen.

In de bunker en het centrum van de cycloon heerst een lagere druk dan in de rest van de installatie. Vaak is dit zelfs een onderdruk ten opzichte van de omgeving. Wanneer de bunker lek is, of niet goed aangesloten op de cycloon, zal er lucht naar binnen lekken, die bij B een opwaarts gerichte stroming doet ontstaan. Hierdoor zal stof, dat al gevangen was, weer naar boven geblazen worden en wel in het deel, waar de stroming naar de uitlaat gericht is. Het stof zal dus door de uitlaat verdwijnen en het vangstpercentage van de cycloon zal belangrijk dalen.

Door de ingewikkelde aard van de stroming van de gassen in de cycloon is het niet mogelijk, de weerstand van de cycloon en het vangstpercentage voor een bepaalde stofsoort enigszins nauwkeurig te berekenen. Deze grootheden moeten proefondervindelijk bepaald worden. Wel is een vrij ruwe berekening mogelijk. Vooral voor berekening van het drukverlies over de cycloon zijn veel methoden bekend, maar deze gelden meestal voor een enkel type.

Een theorie, die voor verscheidene uitvoeringsvormen van cyclonen goede resultaten geeft, is ontwikkeld door Carey en Bosanquet en uitgewerkt door Stairmand (155). Een berekeningsmethode wordt gegeven door Monroe in Heating and Ventilating (122).

Een oriënterende berekening van een aantal verschijnselen in de cycloon is gegeven door Prof. ter Linden (105) (106). Voor de berekening van de diameter van de kleinste deeltjes, die de cycloon voor 100 % zal vangen, geldt bv. het volgende:

Wanneer een deeltje onder invloed van de zwaartekracht een val-snelheid V_g zal krijgen, krijgt het in het centrifugaalveld met centrifugaalkracht

$$C = \frac{mV_t^2}{r_a}$$

een snelheid V_a ten opzichte van de omgevende gasmoleculen, die gevonden wordt uit:

$$V_a : V_g = \frac{mV_t^2}{r_a} : mg$$

$$V_a = \frac{V_g \cdot V_t^2}{r_a g}, \text{ waarin}$$

V_a = snelheid onder invloed van het centrifugaalveld

V_g = valsnelheid onder invloed van de zwaartekracht

V_t = tangentielle component van de gassnelheid ter plaatse r_a

r_a = straal, waarop het beschouwde stofdeeltje roteert

g = versnelling van de zwaartekracht

De snelheid V_a zal nu radiaal gericht zijn van het centrum van de cycloon naar buiten toe.

De gassen zullen ter plaatse r een radiale snelheid V_r hebben, gericht naar het midden van de cycloon.

- Indien -

Indien nu $V_a > V_r$ zal het stofdeeltje zich naar buiten bewegen, de wand bereiken en naar de bunker afgevoerd worden.

Het kleinste stofdeeltje, dat nog juist gevangen wordt, is het deeltje dat op een straal $r_u = \frac{d}{2}$ nog net niet met de gassen wordt meegevoerd naar de uitlaat.

d = diameter van de uitlaat.

Wanneer $V_a = V_r$ zal het deeltje daar blijven draaien.

Vullen we dit in in de vergelijking voor V_a , dan vinden we dat het bedoelde stofdeeltje een valsnelheid moet hebben van

$$V_g = \frac{r_u \cdot g \cdot V_{ru}}{V_{tu}^2} \approx \frac{5dV_{ru}}{V_{tu}^2}$$

Hierin stellen V_{ru} en V_{tu} de componenten van de gassnelheid voor ter plaatse r_u .

Deeltjes met een valsnelheid, groter dan de gevonden waarde voor V_g , zullen in ieder geval gevangen worden, deeltjes met kleinere valsnelheid zullen ten dele gevangen worden (afhankelijk van de plaats waar ze in het veld van de cycloon komen) en ten dele door de uitlaat ontsnappen.

De valsnelheid van stofdeeltjes in een in rust verkerend gas kan afgeleid worden uit de wet van Stokes (geldig voor stofdeeltjes tussen 1 en 200 μ). De formule, die we dan vinden, luidt:

$$V_g = \frac{1}{18} \delta^2 \frac{(\gamma_s - \gamma_g)}{\eta}, \text{ waarin}$$

δ = diameter van het stofdeeltje (het deeltje wordt als bolvormig aangenomen)

γ_s = soortelijk gewicht van het stofdeeltje

γ_g = soortelijk gewicht van het gas

η = dynamische viscositeit van het gas

Bij benadering kunnen we de valsnelheid nu geven als:

$$V_g = \frac{\delta^2 \gamma_s}{18 \eta}$$

Hierin is voor een bepaald geval alleen δ als veranderlijke aan te geven zodat:

$$V_g = C \delta^2$$

C is een constante, die van de omstandigheden afhankelijk is.

In de Angelsaksische landen wordt veel gerekend met een zgn. separation coëfficiënt.

- Deze -

Deze wordt gedefinieerd als

$$S = \frac{v^2}{gr}, \text{ waarin}$$

v = tangentielle snelheid van de gassen

g = versnelling van de zwaartekracht

r = straal van rotatie.

In feite wordt hier de afscheidende werking van de centrifugaalvanger vergeleken met die van de afscheiding onder invloed van de zwaartekracht.

Voor een bezinkkamer is dan ook $S = 1$.

Uit de formule voor de valsnelheid van de kleinste deeltjes, die voor 100 % gevangen worden, blijkt dat verkleining van d een verbetering geeft. Hoe kleiner dus d en daarmee de gehele cycloon, hoe beter het vangstpercentage. Hieruit volgt het gebruik van een aantal kleine, parallel geschakelde cyclonen in plaats van een grote, dus het gebruik van multicyclonen.

Verder volgt uit de formule, dat het vangstpercentage stijgt bij toenemende belasting van de cycloon. Inderdaad vindt men in de meeste gevallen een kleine stijging bij toenemende snelheid in de inlaat, maar toch niet in die mate als volgens de theorie is te verwachten. Dit komt doordat bij hogere belasting allerlei secundaire stromingen een grote invloed gaan uitoefenen.

Ook van buitenlandse onderzoekers zijn belangrijke berekeningen verschenen. Een aantal gegevens is omstreeks 1940 gepubliceerd (5) (101) (102) (141).

6.1.4.2 Multicycloon

Zoals bij de cycloon al is opgemerkt, wordt het vangstpercentage groter naarmate de cycloon kleiner is. Wanneer we nu een grote hoeveelheid gas moeten zuiveren, kunnen we een aantal kleine cyclonen parallel schakelen.

Bouwen we deze vangers samen in een kast en geven we de deelcyclonen een gemeenschappelijke gasin- en uitlaat en een gemeenschappelijke stofbunker, dan verkrijgen we een multicycloon.

Het nadeel van de multicycloon is, dat het vangstpercentage van van het geheel lager ligt dan dat van de niet parallel geschakelde deelcycloon. Dit komt doordat de hoeveelheid gas vaak niet gelijk over de verschillende deelcyclonen is verdeeld. Hierdoor ontstaan drukverschillen aan de stofuitlaatopeningen, wat weer tot gevolg heeft, dat bij sommige eenheden lucht uit de bunkerruimte in de cycloon stroomt, waardoor het vangstpercentage van die eenheid belangrijk lager komt te liggen (juist als bij een cycloon waarvan de bunker lek is).

Het stof, dat door de cycloon doorgelaten wordt, zal onderworpen worden aan de werveling, die in de uitlaatpijp optreedt. Ook daar zal het meeste stof tegen de wand komen, terwijl het hart van de uitlaat betrekkelijk schoon gas bevat. Door nu de gasstroom in de uitlaatpijp te splitsen in een deel van nabij de wand en een deel uit het midden, kunnen we nog een belangrijk deel van het door de cycloon doorgelaten

stof concentreren in een betrekkelijk kleine gashoeveelheid (in bv. 25 % van het totaalvolume). Deze kleine hoeveelheid kan nog eens door een aparte vanger met hoog vangstpercentage gevoerd worden. Zodoende kan van het oorspronkelijk doorgelaten stof nog veel gevangen worden. Zo is een type ontwikkeld, waar de eerste vanger een multicycloon is, met als secundaire vanger een electrostatische precipitator (123).

6.1.4.3 Als stofvanger ingerichte ventilator

Door gebruik te maken van de rotatie van de luchtstroom in een ventilator, kan ook stof worden afgescheiden.

Het door de centrifugaalkracht samengebrachte stof wordt bv. door een spleet in het huis van de ventilator naar de bunker gevoerd. De bunker is vaak door een leiding verbonden met de zuigzijde van de ventilator, waardoor het gas, dat het stof naar de bunker gevoerd heeft, weer de ventilator moet passeren. Het betreft hier een volume gas, dat enkele procenten bedraagt van de totale door de ventilator verplaatste hoeveelheid.

Over het rendement als ventilator zijn weinig gegevens bekend, maar het is te verwachten, dat het tegemoetkomen aan de speciale eisen, die het stofvangen stelt (andere schoepenvorm o.a.) het rendement als ventilator een weinig zal verlagen.

Als voordeel staat hiertegenover, dat het geheel compact gebouwd kan worden.

Een beschouwing over dit type vanger is samen met gegevens over de cycloon te vinden in "Air Pollution" (41).

6.1.5 Vanger, werkend met ultrasonore trillingen

De eerste onderzoeken op het gebied van stofagglomeratie met behulp van ultrasonore trillingen werden ongeveer gelijktijdig in Duitsland door Brandt, Freund en Hiedemann (26), in Engeland door Andrade (6) en in Amerika door St Clair (157) (158) verricht.

Volgens de theorie, zoals die in een artikel van St Clair (156) wordt gegeven, zullen de deeltjes door de trillingen in beweging gebracht worden, waardoor het aantal botsingen zal toenemen.

De beweging van de stofdeeltjes in het medium wordt gegeven door de formules:

$$\frac{x_p}{x_g} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{(\pi \phi f d^2)^2}{9\mu}}}$$

$$\phi = b g \tan \frac{\pi \phi f d^2}{9\mu}$$

- Hierin -

Hierin zijn:

X_p, X_g amplitude van resp. stofdeeltjes en gas

ϕ = faseverschil tussen stofdeeltjes en gas

ρ = dichtheid van de deeltjes

d = diameter van de deeltjes

μ = viscositeit van het gas.

Ook om hydrodynamische redenen zullen meer botsingen optreden, dan wanneer er geen geluidsveld was. Dit werd reeds in 1891 door Koenig berekend (99).

De stralingsdruk, waarvoor de formule luidt:

$$p_r = \frac{1 + \gamma}{2} \overline{E} \text{ per oppervlakte-eenheid.}$$

$\overline{E}$ = dichtheid van de energie

γ = verhouding soortelijke warmten van het gas,

is ook van belang bij het uitvlokken, daar onder zijn invloed de deeltjes naar de buiken zullen worden getransporteerd.

De botsende deeltjes zullen nu samenvlokken, waardoor ze met behulp van bv. een cycloon gevangen kunnen worden.

Bij laboratoriumproeven werd een door samenvlokken ontstane 100-voudige korrelvergroting geconstateerd (14).

Voor toepassing in de industrie werd na de oorlog in de Verenigde Staten een geluidsgenerator ontwikkeld (171). Deze geluidsbron is een sirene, werkend met samengesperste lucht van ongeveer 0,5 ato. Ook kan soms het gereinigde gas zelf gecompri-meerd en gebruikt worden.

Danser en Neumann (42) geven bijzonderheden over dit type installatie, dat volgens hen in de praktijk al bewezen heeft te voldoen.

Een uittreksel van de artikelen (42) en (156) is te vinden in "De Ingenieur" (143).

6.1.6 Natte vangers

6.1.6.1 Werkend volgens kleefmethode

Deze stofvangers berusten op het feit, dat wanneer een gasstroom een plotselinge richtingverandering ondergaat, de door die gasstroom meegevoerde stofdeeltjes door de massa-traagheidskracht deze richtingverandering niet snel kunnen volgen en dus een bocht met grotere straal beschrijven.

Bij de vangers wordt de richtingverandering tot stand gebracht door op de weg van de gasstroom een aantal bevochtigde vangschotten te plaatsen. De gassen worden hierdoor gedwongen van richting te veranderen; de stofdeeltjes schieten door, raken de vangschotten en kleven er aan vast.

- Een -

Een berekening van dit verschijnsel werd door Prof. ter Linden gegeven (106). Uit deze berekening volgt o.a. dat het vangstpercentage van dit type vanger kan worden vergroot door verkleining van de afstand tussen de vangschotten, verhoging van de gassnelheid, plaatsing van een aantal rijen schotten achter elkaar.

De bezwaren van deze methoden van verhoging van het vangstpercentage zijn, dat het drukverlies over de installatie groter wordt, dat bij plaatsen van meer schotten het waterverbruik groter wordt en dat bij verhoging van de gassnelheid druppeltjes van de schotten zullen worden afgeblazen, zodat we dan bovendien een druppelvanger zullen moeten plaatsen.

Uit de berekening volgt eveneens, zoals te verwachten was, dat de vanger selectief werkt: Het vangstpercentage ligt voor grote stofdeeltjes hoger dan voor kleine.

De vangschotten kunnen op 2 manieren bevochtigd worden: door er een waterstroom langs te laten vloeien of door voor de vanger een sproeier te plaatsen. De druppeltjes worden dan samen met het stof op de schotten gevangen (123).

Het voordeel van alle natte vangers, dat uit rookgassen ook een deel van het SO_2 wordt weggewassen, geldt ook voor de vangers, die volgens het kleefprincipe werken, vooral voor die, die door middel van een sproeier worden bevochtigd.

Op het hier besproken principe berusten o.a. de "Modave" vangers, de filters van cokes en Raschigringen en ook de automatische, met olie bevochtigde filters, die bij de luchtbehandeling voor ventilatie van gebouwen worden gebruikt (110).

6.1.6.2 Werkend volgens sproeimethode

Bij dit type vanger wordt het stof gevangen doordat de deeltjes in contact komen met waterdruppeltjes en dan daarop blijven kleven. Het rendement van deze vangers is klein, doordat ze afhankelijk zijn van toevallige botsingen tussen stof en druppeltjes. Het leggen van een watergordijn in een stoffige gasstroom heeft dan ook niet veel succes.

Het rendement kan iets worden verbeterd door de weg die de druppeltjes afleggen voor ze met de gasstroom meegesleurd worden, te verlengen. Dit kan bv. gebeuren met behulp van centrifugaalkrachten zoals bij de "Pease-Anthony cyclonic sprayscrubber" (98). De theorie van het vangen van stofdeeltjes op waterdruppels is o.a. gegeven door Johnstone en Roberts (90).

6.1.6.3 Venturi scrubber

Hierbij wordt gebruik gemaakt van een venturibuis, in de hals waarvan de sproeiers gemonteerd zijn. Door de daar ter plaatse optredende hoge gassnelheden (70 à 80 m/sec) wordt een zeer goede verstuiving verkregen. De druppeltjes, waarop zich intussen een aantal stofdeeltjes heeft afgezet, worden vervolgens in een cycloon gevangen, waarbij tevens een deel van het nog niet aan druppels gebonden stof wordt afgescheiden. Zie voor de opstelling fig. 8.

- Het -

Het water dat in de cycloon wordt teruggevangen wordt via een bezinktank en een voorraadvat weer in circulatie gebracht (wanneer de installatie alleen als stofvanger is bedoeld). De overdruk waarmee het water in de venturihals wordt gespoten, bedraagt tussen $1/3$ en 1 ato.

Behalve als stofvanger is de installatie ook bruikbaar om SO_2 uit de gasstroom te wassen en voor bevochtiging van de gassen (90).

In kleine installaties wordt het water radiaal in de venturi gespoten, bij grote installaties waar een wijde venturihals gebruikt wordt, is het midden van de hals niet met stralen van de wand af te bereiken, zodat in dit geval behalve radiale sproeiers ook sproeibuisen in het midden van de hals worden geplaatst (91).

Een aantal gegevens betreffende de werking en het nuttig effect van deze installaties is in de Amerikaanse vakliteratuur gegeven (35) (36) (92) (134).

6.1.6.4 Overige natte vangers

Een kort overzicht van de natte vangers, waaronder enkele die hier niet besproken werden, is gegeven in de A.S.H.V.E.-Guide (71).

6.2 Overige methoden tot het beperken van de hinder door de industrie veroorzaakt

Behalve stofhinder kan de industrie ook hinder en vaak zelfs ernstige schade veroorzaken, door andere gevaarlijke of hinderlijke bestanddelen in de uitlaatgassen. Zure gassen zoals SO_2 en HF kunnen de landbouw grote schade berokkenen. Onwelriekende gassen kunnen, vooral wanneer de betrokken industrie zich in de omgeving van een grote stad bevindt, tot veel klachten leiden.

Een middel om een en ander te voorkomen, is ook hier de reiniging van de uitlaatgassen (eventueel terugwinnen van bepaalde bestanddelen). Ook stankverspreiding kan door een behandeling van de uitlaatgassen voorkomen worden. Verder is het bouwen van hoge schoorstenen van belang en eventueel verbetering van het betrokken proces.

Zonodig kan de Overheid dwingend optreden; in ons land op grond van de Hinderwet.

6.2.1 Reiniging van de uitlaatgassen

Behalve de verwijdering van hinderlijke bestanddelen kan het doel soms ook zijn bepaalde stoffen terug te winnen.

De hinderlijke bestanddelen, voorzover die niet met stofvangers verwijderd worden, zijn meestal SO_2 of stank, soms nevels of HF.

Gassen als SO_2 en HF kunnen vaak door wassen van de uitlaatgassen worden verwijderd. De installaties, waarin dit gebeurt, bestaan in vele uitvoeringsvormen, bv. sproeitoren, scrubbers, wassers waarin een watergordijn wordt opgeworpen door schoepenwielen enz.

De wasvloeistof kan zijn water of een oplossing, die de zure gassen chemisch bindt. Wanneer als wasvloeistof water wordt gebruikt, kan dit, wanneer het niet in riool of open water mag worden geloosd, worden geneutraliseerd, bv. met kalk.

In Engeland (Battersea en Fulham) zijn elektrische centrales in gebruik, waar alle rookgassen zo volledig mogelijk gereinigd kunnen worden, ook de SO_2 kan daar verwijderd worden.

Het is theoretisch mogelijk het uit rookgassen verwijderde SO_2 terug te winnen in vrijwel zuivere toestand (123).

Wanneer de uit de uitlaatgassen te verwijderen bestanddelen aanwezig zijn in de vorm van fijne druppeltjes of nevel, kan met succes een vanger worden toegepast, werkend met ultrasonore trillingen. Hetzelfde principe dus, als bij de stofvangers besproken is (42). Het gebeurt bv. voor het reinigen van gassen, waarin zich druppeltjes zwavelzuur bevinden. Het is hier vaak begonnen om het terugwinnen van het zuur.

In de Verenigde Staten is een installatie in bedrijf, waarin het fluor uit rookgassen wordt verwijderd door de gassen, die HF bevatten, door een toren, gevuld met stukken kalksteen, te leiden. Er wordt dan calciumfluoride (CaF_2) gevormd, dat weer verhandelbaar is. Deze reinigingsinstallatie betaalt hierdoor niet alleen zichzelf, maar levert zelfs winst op.

De kalksteen wordt oppervlakkig door HF aangetast en verkruimelt. Door middel van zeven worden de fijne delen, die dan voornamelijk uit CaF_2 bestaan, afgescheiden. De grove delen, nog voor het grootste deel kalksteen, worden weer in de toren teruggevoerd. Deze installatie is beschreven door Hignett en Siegel (74).

Ook voor de stankbestrijding is een groot aantal soorten installaties ontwikkeld. De meest gebruikelijke installaties zijn die, welke werken met sproeitorens, toevoeging van gassen en die waarin de stank geabsorbeerd wordt. Een aantal voorbeelden van sproeitorens en scrubbers wordt gegeven door York (186). In de torens kan gesproeid worden met water of met water waaraan een actieve stof, veelal chloor, is toegevoegd. De torens zijn vaak, om het actieve oppervlak te vergroten, gevuld met Raschigringen of bv. cokes.

Het toevoegen van gassen heeft veelal tot doel organische stank te vernietigen. De toegevoegde gassen zijn meestal chloor of ozon. Een dergelijke opstelling is vooral van belang voor destructiebedrijven e.d.

Vaak kunnen we de stank absorberen in geactiveerde kool. De kool bevindt zich in filterbussen, welke weer worden samengebouwd tot grotere eenheden, die dan in een kast worden ondergebracht. Na enige tijd zal de kool verzadigd geraken met de stankstoffen. Het is dan meestal mogelijk om de inhoud van de bussen te regenereren, zodat niet telkens een nieuwe vulling behoeft te worden aangeschaft.

Het is noodzakelijk, dat de te filtreren lucht geheel vrij is van stof en vloeistofdruppels, daar het filter anders snel dichtslaat. Een goed overzicht van de toepassingsmogelijkheden en het onderhoud van filters van actieve kool is gegeven door Ray (139).

- Vaak -

Vaak ook kan de stank, die door sommige fabrieken wordt verspreid, worden verminderd door de verontreinigde gassen te gebruiken als verbrandingslucht voor stookinstallaties. Verbranding van de verontreinigingen kan ook bereikt worden door de afvoergassen over een katalysator te leiden. Deze methode is zeer goed bruikbaar voor koolwaterstoffen in raffinaderijen, drukkerijen, verfspuitinrichtingen enz. (142).

Een methode van stankbestrijding, die toegepast wordt in destructiebedrijven, is door de gassen uit de kookketels zoveel mogelijk te condenseren. Dit gebeurt door water in de gasstroom te sproeien. De waterdamp condenseert en vermengt zich met het ingesproeiende water. In de zo ontstane nevel lossen de stankstoffen voor een belangrijk deel op.

De hoeveelheid sproeiwater is van een dergelijke orde van grootte, dat de opgeloste hoeveelheid stankstof sterk verdund is en meestal zonder bezwaren in een riool kan worden geloosd na een vetwanger te zijn gepasseerd. De vetwanger is noodzakelijk, daar anders het riool snel verstopt. Dergelijke installaties staan beschreven in "The National Provisioner" (185) (187).

Voor enige algemeen oriënterende literatuur over stankbestrijding wordt verwezen naar het symposium "Air Pollution" (113) (182). Het voornaamste handboek op het gebied van de stankbestrijding is zeer zeker het boek van McCord en Witheridge: Odors, physiology and control (114).

6.2.2 Hoge schoorstenen

Het is zonder meer duidelijk, dat hoewel de hoeveelheid van de verontreiniging niet verandert bij verlenging van een schoorsteen, de hinder toch minder wordt. De gassen en vaste deeltjes krijgen nl. meer gelegenheid zich te verspreiden voor ze de grond bereiken.

Voor vlieggas en andere vaste deeltjes, werd door Prof. ter Linden een berekening gepubliceerd (106), waarbij een maat voor de hinder gegeven wordt, o.a. als functie van de schoorsteenhoogte. Deze berekening is als volgt:

Voor stofdeeltjes met een valsnelheid V is de tijd, nodig om een punt (een gebouw bv.) met hoogte h te bereiken, wanneer ze een schoorsteen met hoogte H verlaten:

$$t_V = \frac{H - h}{V_g}$$

daar $V_g = C_o \delta^2$ (zie het besprokenen onder cyclonen), is

$$t_V = \frac{H - h}{C_o \delta^2}$$

Bij een windsnelheid W is gedurende die tijd een afstand afgelegd, groot:

$$S_H = W \cdot t_V = W \frac{H - h}{C_o \delta^2}$$

De deeltjes van bepaalde δ zullen niet alle op hetzelfde punt neerkomen. Er zal een zekere spreiding ontstaan, die we evenredig kunnen stellen met t_v en met W , dus met S_H .

De deeltjes worden dus verspreid over een oppervlak, dat evenredig is met S_H^2 .

Wanneer per uur G kg stof wordt uitgeblazen, komt per uur en per m^2 in het gebied waar de deeltjes vallen, neer:

$$N = C \frac{G}{S_H^2} = \frac{C}{W^2} \frac{G V^2}{(H-h)^2} = A \frac{G V^2}{(H-h)^2} \quad (\text{kg})$$

Uit deze formule volgt, dat de stofhinder omgekeerd evenredig is met het kwadraat van het hoogteverschil tussen de top van de schoorsteen en de omgeving.

In de literatuur wordt nog om een aantal andere redenen het gebruik van hoge schoorstenen aanbevolen. Prof. Brunt merkt bv. op, dat de luchtbeweging boven 100 m hoogte meestal nog aanwezig is, zelfs bij windstilte op de begane grond (29). Hill, Thomas en Abersold vermelden, dat de luchtstroom op 150 m hoogte vaak een andere richting heeft dan die op de begane grond met het gevolg, dat de gassen bij het passeren van de grenslaag nog eens extra worden verspreid (76) (77).

Een middel om hetzelfde effect te bereiken als een hoge schoorsteen is het verhogen van de temperatuur van de uitlaatgassen, waardoor deze na het verlaten van de schoorsteen nog een eind in verticale richting verder bewegen. Dr O'Gara vond onder bepaalde plaatselijke condities, dat iedere graad fahrenheit temperatuurverhoging overeenkwam met een verhoging van de schoorsteen van $2\frac{1}{3}$ voet (178) (dus 1°C met 1,4 m).

De theorie van de verspreiding van gassen en stof uit schoorstenen is opgezet door Bosanquet en Pearson (25) en door Sutton (163) (164). Een tweetal goede publicaties, die beide uitgaan van deze theorieën is te vinden in Industrial and Engineering Chemistry (17) (167).

Een belangrijk overzicht is gegeven door Hill op de U.S. Technical Conference on Air Pollution (75).

6.2.3 Verbetering van het proces

Het betreft hier voornamelijk verbeteren van het stoken en van de stookinrichting van stoomketels, ovens e.d. De grote hoeveelheden zwarte rook, die we vaak uit schoorstenen zien walmen, ontstaan doordat de rookgassen niet volledig zijn verbrand. Dit komt in de meeste gevallen, omdat in de vuurhaard niet voldoende zuurstof aanwezig was of omdat daar een van de drie T's (tijd, temperatuur, turbulentie) niet voldoende was, d.w.z. dat de gassen niet lang genoeg in de vuurhaard waren om uit te branden, dat de

- temperatuur -

T.N.O.

temperatuur van de vuurhaard te laag was, waardoor de verbranding geremd werd, of dat door het ontbreken van turbulentie de brandbare stoffen niet met de voor de verbranding benodigde zuurstof in contact konden komen.

Bij niet voldoende zuurstof kan het toeyoeren van secundaire verbrandingslucht uitkomst brengen. Daartoe zijn wel speciale vuurdeuren geconstrueerd (82) (83).

Vaak is grote verbetering te verkrijgen door het stoken van andere brandstoffen. Vooral in Engeland, waar veel hinder ondervonden wordt van de zwarte rook, wordt het stoken van "Smokeless fuel" aanbevolen, vooral door de "National Smoke Abatement Society" (123).

Bij dit onderwerp moeten we niet alleen de industriële stookinrichtingen bezien, maar ook de kachels e.d. in woningen, die 's winters enorme hinder kunnen veroorzaken. Verder moeten we ook de scheepvaart en de spoorwegen niet vergeten! (128)

6.2.4 Wettelijke voorschriften

De voorschriften, die in enkele landen door de Overheid worden gegeven, zijn natuurlijk geheel afhankelijk van de plaatselijke omstandigheden. Het heeft daarom weinig nut er hier diep op in te gaan. In grote trekken komt het overal neer op het bepalen van een grens voor de te verspreiden hoeveelheid verontreiniging. De verontreiniging kan zowel zijn zwarte rook, als vlieggas, stof en schadelijke gassen of dampen. In Amerika wordt de dichtheid van de zwarte rook bepaald met de Ringelmann Chart en de verschillende staten stellen een maximum tijdsduur vast, gedurende welke rook van een bepaalde "zwarteheid" mag worden uitgeblazen (70). In de Amerikaanse vakliteratuur is veel te vinden over de verschillende voorschriften, die daar gegeven worden. (4) (15) (20) (84) (149) (161). Een goed overzicht van de wettelijke maatregelen, die in Engeland genomen worden, is te vinden in Steer's Law of Smoke Nuisances (159).

In ons land is in 1947 op verzoek van de Arbeidsinspectie een commissie ingesteld, die tot doel had het opstellen van voorlopige aanbevelingen voor de beperking van de vliegashinder uit fabrieksschoorstenen. Deze aanbevelingen betreffen alleen de beperking van de hoeveelheid vlieggas voor stookinrichtingen, die een hoeveelheid rookgas van ten hoogste 180.000 m³/h uitblazen. Voor grotere eenheden zullen speciale eisen moeten worden opgesteld. Ook zwarte rook is niet in de voorlopige aanbevelingen opgenomen, omdat hier in Nederland over het algemeen kolen met een laag gehalte aan vluchtige stoffen worden gestookt.

Voor de uitgeworpen hoeveelheid vlieggas wordt als maximum genoemd:

$$\left(\frac{H}{50}\right)^2 \quad \text{g/n.m}^3 \quad \text{rookgas.}$$

Hierin is H de schoorsteenhoogte (in meters).

Een en ander met dien verstande, dat het gehalte aan stof > 50 μ niet hoger is dan:

$$0,025 \left(\frac{H}{50} \right)^2 \text{ g/n m}^3 \text{ rookgas.}$$

Deze waarden gelden voor normaal bedrijf. Gedurende korte tijd zal de uitgeworpen hoeveelheid vliegast hoger mogen zijn, mits de gemiddelde concentratie gedurende een uur de toegestane waarde niet overschrijdt.

Voor de schoorstenen wordt een hoogte aanbevolen van ten minste $1\frac{1}{3}$ x de hoogte van het hoogste gebouw binnen een straal van 250 m, echter een minimumhoogte van 25 m.

Deze voorlopige aanbevelingen zijn gepubliceerd in De Ingenieur (175).

7. ENKELE RESULTATEN VAN METINGEN IN HET BUITENLAND

De voornaamste ter beschikking staande gegevens zijn natuurlijk die van de totale uitgezakte hoeveelheid stof per tijdseenheid en per oppervlakte-eenheid. De volgende tabel vermeldt cijfers omtrent de in verschillende delen der wereld bij metingen gevangen vaste stof en van het onoplosbare deel daarvan. Een deel van deze resultaten is overgenomen uit een samenvatting in het Deense A.T.S.-rapport no 4, 1949 (169).

De meeste resultaten zijn gemiddelden over de gehele stad.

Plaats van de meting	Jaar van de meting	Totale hoeveelheid vaste stof (g/m ² maand)	Onoplosbaar stof (g/m ² maand)	Literatuur
Leicester	1937-1939	9,9	7,0	(45)
Londen	1937-1938	8,3	5,0	(46)
Bristol	1937-1938	6,7	3,8	(46)
Edinburgh	1937-1938	5,4	3,4	(46)
Glasgow	1937-1938	8,3	4,7	(46)
Leeds	1937-1938	7,9	4,8	(46)
Liverpool	1937-1938	9,3	5,7	(46)
Manchester	1937-1938	8,6	5,2	(46)
Sheffield	1937-1938	7,2	4,7	(46)
Dublin	1938-1939	5,5	3,2	(51)

- Plaats -

Plaats van de meting	Jaar van de meting	Totale hoeveelheid vaste stof (g/m ² maand)	Onoplosbaar stof (g/m ² maand)	Literatuur
Kopenhagen	1945-1946	12,3	9,1	(169)
Berlijn Centrum	1936-1937	8,6	5,3	(125)
Dahlem	1936-1937	3,9	2,0	(125)
Dortmund	1936-1937	13,4	8,1	(125)
Essen	1936-1937	14,1	8,5	(125)
Osaka	1928-1929	8,9		(64)
Toronto			21,0	(153)
New York	1936	33,5	28,5	(133)
Pittsburgh	1929-1930		33,6	(120)
St Louis	1931-1932	11,8	6,7	(49)
Salt Lake City	1919-1920		10,2	(50)
Philadelphia	1934		14,4	(50)
Cleveland	1927-1928		22,8	(50)
Washington	1932-1933		8,5	(88)
Chicago	1935-1936		24,2	(50)
	1946		25,6	(112)
	1947		24,0	(112)
	1948		22,8	
	1949		26,6 x)	
Los Angeles	1946		10,9	(112)
	1947		12,8	(112)
	1948		13,1	(112)
x) gemiddelde over de eerste 5 maanden				

- Plaats -

Plaats van de meting	Jaar van de meting	Totale hoeveelheid vaste stof (g/m ² maand)	Onoplosbaar stof (g/m ² maand)	Literatuur
Cincinnati	1946		13,3	(112)
Rochester	1941		10,7	(112)
	1942		10,3	(112)
Detroit	1945		22,1	(112)
	1946		20,3	(112)

Bij de beoordeling van de meetresultaten moet men er rekening mee houden, dat niet overal hetzelfde type meetinstrument werd gebruikt. Zo werd in Engeland gemeten met de deposit gauge, in Denemarken met een iets gewijzigde vorm daarvan en in de Verenigde Staten met roestvrij stalen cylinders.

In Pittsburgh zijn de laatste jaren nog bepalingen gedaan van de totale hoeveelheid stof, die per maand per mijl² uitzakt (60). Van de gevangen verontreinigingen werd daar o.a. het gehalte aan minerale bestanddelen bepaald. De meest voorkomende stoffen waren SiO₂, Fe₂O₃, ZnO en SO₃, met in 1949 respectievelijk de percentages 12,9; 13,2; 13,6 en 18,5 van de totale hoeveelheid uitgezakte verontreiniging.

De pH-waarde van het in de deposit gauge gevonden regenwater is o.a. in Engeland en Denemarken bepaald. De pH-waarde 5,5 is de normale waarde, die de pH van regenwater aanneemt door contact met de atmosfeer, waarin zich het gebruikelijke CO₂-gehalte bevindt. Bij een lagere pH-waarde bevinden zich zure verontreinigingen in de lucht, bij een hogere basische.

Uit een samenvatting van een aantal resultaten (169) blijkt, dat in Kopenhagen de verontreinigingen basisch zullen zijn, terwijl in de meeste Engelse steden zure verontreinigingen verwacht kunnen worden.

Met behulp van het rookfilter is in Engeland de variatie van de hoeveelheid in de lucht zwevend stof met de tijd bepaald. Dit gebeurde eveneens met de hoeveelheid SO₂ en wel met behulp van het volumetrisch SO₂-apparaat en met de loodperoxydekaars. Daarbij bleek, zoals was te verwachten, dat in de winter een belangrijk hogere graad van verontreiniging optrad dan in de zomer; met een maximum in December en een minimum in Juli. Dit geldt zowel voor alle in de lucht zwevende stoffen als voor het per oppervlakte-eenheid neergeslagen stof.

- Voor -

T.N.O.

Voor rook en SO_2 kon ook een dagelijkse cyclus in de verontreiniging worden gevonden. Het maximum voor rook lag hier tussen 7 en 9 des morgens. SO_2 is in maximale hoeveelheid gedurende de gehele dag aanwezig. Eerst omstreeks 8 uur 's avonds treedt een belangrijke daling van het SO_2 -gehalte in (45).

Een belangrijke aanwijzing, dat het gehalte aan rook in de buitenlucht mede afhankelijk is van het aantal inwoners van de betrokken stad, wordt in de Engelse literatuur gegeven (123). We vinden daar, dat Coventry (200.000 inwoners) een rookgehalte van $30 \text{ mg}/100 \text{ m}^3$ heeft in de winter; Londen (8.200.000 inwoners) $84 \text{ mg}/100 \text{ m}^3$.

De steden met inwonertal tussen deze beide uitersten hebben ook rookgehalten tussen die van Coventry en Londen.

Alleen Cardiff valt uit deze reeks: de lucht bevat minder zwevende stof dan we volgens het inwonertal zouden verwachten. Dit wordt verklaard door het feit, dat daar meer steenkool met een lager gehalte aan vluchtige bestanddelen wordt gestookt.

Ook de invloed van zgn. "Smokeless zones", gebieden in een stad waar geen of weinig rook wordt geproduceerd, is onderzocht (45) (123). Het blijkt, dat de invloed van de zone op de omgeving klein is en dat in een stoffige stad ook de "smokeless zone" stoffig zal zijn, zij het belangrijk minder dan de omgevende gebieden.

Enkele resultaten van metingen met impingers zijn te vinden in de gegevens over de verontreinigingen in Los Angeles (109). De stofgehalten, die daar met deze methode in de buitenlucht werden gevonden, liggen tussen 50 en 1000 deeltjes per cm^3 lucht.

Aan gasvormige verontreinigingen werden gevonden

Aldehyden $0 - 0,5 \text{ ppm}$

SO_2 $0 - 0,4 \text{ ppm}$

NO_2 $0 - 0,1 \text{ ppm}$

halogenen (berekend als chloor) $0,15 - 0,3 \text{ ppm}$

De resultaten van de filterbepalingen bij een beryllium verwerkende industrie (59) stemmen zeer goed overeen met de waarden, die volgens de theorie van Sutton en die van Bosanquet en Pearson waren te verwachten.

Door de bepaling van de hoeveelheid verontreiniging, die zich in regenwater bevindt, kan een indruk worden verkregen van de totale hoeveelheid, die per tijdseenheid op de aardoppervlakte terecht komt. Zulks is o.a. geschied ten aanzien van fluor in regenwater (118). De neergevallen hoeveelheid werd op een aantal plaatsen bepaald. De uiterste waarden waren $0,311$ en $2,284 \text{ lb}/\text{acre}$ als jaartotaal. ($1 \text{ lb} \text{ acre} = 112 \text{ mg}/\text{m}^2$) Het fluorgehalte van de lucht was op de plaats met de minste neerslag (Crossville) $0,014 - 0,069 \text{ ppm}$. Columbia, waar de meeste neerslag was, had een fluorgehalte van de lucht van $0,058 - 0,91 \text{ ppm}$.

- Ook -

Ook werd de hoeveelheid fluor bepaald, die een bepaalde plantensoort (Spanish moss) opnam. Bij het uitzetten van de planten bedroeg het fluorgehalte 27 ppm; na enige maanden gemiddeld 100 ppm. Op een plaats dicht bij de bron van de verontreinigingen bleek het gehalte tot 2418 ppm te zijn gestegen.

8. STAND VAN HET ONDERZOEK IN ONS LAND

Ook in ons land begint de laatste tijd de belangstelling voor de verontreiniging van de buitenlucht te ontwaken. Dit bleek in sterke mate op een op 18 Maart 1952 te Amsterdam gehouden gemeenschappelijke vergadering van de Afdeling voor Gezondheidstechniek van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs en de Nederlandse Vereniging tegen Water-, Bodem- en Luchtverontreiniging, waar over dit onderwerp werd gesproken. Een verslag van deze vergadering werd gepubliceerd in "De Ingenieur" (30) (44) (56) (148) en in "Water Bodem Lucht" (174).

De eerste onderzoeken in ons land werden verricht in 's-Gravenhage en in Amsterdam. Met het doel de oorzaak, aard en omvang van de vliegaspilaag in 's-Gravenhage vast te stellen, werd in 1928 een Commissie geïnstalleerd. De leden van de Commissie waren: Ir F.C.J.M. Wirtz Czn, Prof. Ir A.J. ter Linden, A.H. Schirm en Mr J. Kunst. Het onderzoek, door deze Commissie verricht, bestond uit de analyse van monsters, gevangen in bakken met een oppervlak van 1 m² (Gonell-stofbakken, vrijwel gelijk aan de Staatsmijnenbak, beschreven in hoofdstuk 5), het bepalen van de aard en hoeveelheid van de door enkele bedrijven uitgeworpen vliegass en het verzamelen van klachten van het publiek. De Commissie heeft de resultaten van dit onderzoek vastgelegd in een rapport (137).

Ook in Amsterdam, waar aan de Noordzijde van het IJ veel hinder van vliegass werd ondervonden, werd een Commissie ingesteld om de vliegaspilaag te onderzoeken. De leden van deze Commissie waren: Prof. Ir A.J. ter Linden, Prof. Dr J.P. Wibaut en Ir F.C.J.M. Wirtz Czn. De aard van dat onderzoek komt in grote trekken overeen met dat, verricht in de gemeente 's-Gravenhage. Ook van deze metingen werd een rapport opgesteld (138).

Ook nadat deze beide commissies hun taak hadden volbracht, werden de metingen naar de aard en hoeveelheid van de uitgeworpen vliegass bij een groot aantal bedrijven voortgezet en wel door het Instituut voor Warmte-Economie T.N.O. en het laboratorium voor Warmte- en Stoftechniek van de Technische Hogeschool.

Voor het opstellen van een aantal voorschriften waaraan zou moeten worden voldaan ter verkrijging van een Hinderwet-vergunning, werd op verzoek van de Arbeidsinspectie in 1947 een Commissie ingesteld (de Werkgroep Vliegashinder uit fabrieksschoorstenen T.N.O.), die in 1951 haar rapport uitbracht in de vorm van een aantal voorlopige aanbevelingen inzake de beperking van vliegashinder (175). Deze voorlopige aanbevelingen zijn besproken in hoofdstuk 6, onder wettelijke voorschriften.

De Nederlandse Vereniging tegen Water-, Bodem- en Luchtverontreiniging heeft veel aandacht geschonken aan werk op het gebied van de verontreiniging van de buitenlucht. In Maart 1952 werd een overzicht van de tot op dat ogenblik in het tijdschrift van deze vereniging verschenen publicaties gegeven (85).

In Rotterdam, waar veel hinder wordt ondervonden van de uitlaatgassen van een destructiebedrijf en van een aantal chemische fabrieken, wordt gewerkt door de Commissie Bodem, Water en Lucht. In deze Commissie, in 1948 door het gemeentebestuur van Rotterdam ingesteld, hebben de volgende gemeentelijke en rijksdiensten zitting: Gem. Medische Dienst, Gem. Keuringsdienst van Waren, Dienst van Bouw- en Woningtoezicht, Drinkwaterleiding, Arbeidsinspectie en de Pharmaceutische Inspecteur van de Volksgezondheid. Een aantal gegevens over het werk van de Commissie is gepubliceerd (89).

De omvangrijkste onderzoeken op het besproken gebied zijn in ons land verricht door de Staatsmijnen. Met behulp van Luikse bollen, deposit gauges en S.M.-stofbakken werd de hoeveelheid neergeslagen stof gemeten in de omgeving van een aantal bedrijven van de Staatsmijnen. Tegelijkertijd werd met behulp van SO_2 -meters volgens Leclerc de verspreiding van SO_2 gemeten. Een aantal meetresultaten werd op 18 Maart 1952 in Amsterdam bekend gemaakt door Ir van Ebbenhorst Tengbergen (56) (174).

De laatste jaren worden ook door de Afdeling Gezondheidstechniek T.N.O. metingen verricht. Gedurende een jaar werd in 1946 en 1947 het stofgehalte van de buitenlucht gemeten op een plaats in de binnenstad in 's-Gravenhage. Deze metingen werden uitgevoerd met de thermische precipitator. De resultaten zijn dus niet te vergelijken met die van de metingen in Braunschweig, die in de inleiding van dit rapport zijn genoemd, daar in Braunschweig als meetinstrument de konimeter werd gebruikt. De maandgemiddelden, die door de Afdeling Gezondheidstechniek T.N.O. werden gevonden liggen tussen 300 en 700 deeltjes per cm^3 . In fig. 9 is een overzicht van deze maandgemiddelden gegeven. Uit de grafiek blijkt, dat in het stookseizoen het stofgehalte van de lucht belangrijk hoger is dan in de zomer. Wanneer de metingen over verscheidene jaren zouden worden gemiddeld, zou de lijn in fig. 9 waarschijnlijk een meer vloeiend verloop krijgen. De resultaten van dit onderzoek zijn tot nu toe niet gepubliceerd.

Momenteel wordt door de Afdeling Gezondheidstechniek T.N.O. gemeten in de omgeving van een fabriek, die fluorhoudende gassen verspreidt. De metingen worden uitgevoerd met geheel uit plastic opgebouwde apparaten, die op hetzelfde principe berusten als de SO_2 -meter van Leclerc. De resultaten van dit onderzoek zullen t.z.t.² worden gepubliceerd.

9. SLOTBESCHOUWING

Zoals uit het voorgaande wel is gebleken, is het probleem van de verontreiniging van de buitenlucht zeer moeilijk op wetenschappelijk verantwoorde wijze aan te vatten en nog moeilijker tot een oplossing te brengen. Allereerst is de mate van verontreiniging vaak lastig te bepalen (de verschillende landen gebruiken verschillende typen meetinstrumenten, waardoor de onderlinge vergelijkbaarheid van de resultaten twijfelachtig wordt; soms ook zijn de meetresultaten afhankelijk van de persoon van de waarnemer), anderzijds is over de mate van verontreiniging, die niet door mensen wordt veroorzaakt, niets bekend (meetresultaten uit geografisch vergelijkbare gebieden, waar geen verontreinigingen worden verspreid door toedoen van de mens, zijn niet beschikbaar).

Ook wat betreft de schuldvraag is voorzichtigheid geboden. Het is vaak moeilijk de bron van de verontreiniging aan te wijzen. Wat betreft de eis, dat de betrokkene de hinder die hij veroorzaakt moet verminderen, moeten we er op letten, dat een wijziging in het fabricageproces vaak grote economische consequenties heeft voor de fabrikant.

De gevolgen van de verontreiniging van de buitenlucht kunnen we verdelen in twee groepen:

- a) de algemene hinder;
- b) het gevaar dat wordt opgeleverd voor mens, dier en plant.

Wat de hinder betreft, is door Prof. ter Linden een theorie gegeven (106), die in het kort op het volgende neerkomt.

Wanneer per uur G kg stof wordt uitgeblazen, komt per uur en per m^2 in het gebied waar de deeltjes vallen, neer:

$$N = A \frac{G V^2}{(H - h)^2} \quad (\text{kg})$$

(Zie voor de verklaring van de symbolen en de afleiding van de formule het in hoofdstuk 6 onder hoge schoorstenen besprokene).

In deze formule is $V_g = c \delta^2$ (zie hoofdstuk 6, cyclonen, = korreldiameter).

We vinden nu dus

$$N = A \frac{G c^2 \delta^4}{(H - h)^2} = c_1 \frac{G \delta^4}{(H - h)^2} \quad (\text{kg})$$

Het aantal deeltjes dat per uur en per m^2 neerkomt is nu

$$x = \frac{N}{\frac{1}{6} \pi \delta^3 \gamma_s} = c_2 \frac{G \delta}{(H - h)^2}$$

Het geprojecteerde oppervlak van deze deeltjes is

$$O = x \cdot \frac{\pi \delta^2}{4} = c_3 \frac{G \delta^3}{(H - h)^2}$$

Uit deze formules blijkt, dat de hinder steeds omgekeerd evenredig is met het kwadraat van het hoogteverschil tussen de top van de schoorsteen en de omgeving.

Neemt men nu als maat voor de hinder het gewicht, het geprojecteerde oppervlak of het aantal van de neergekomen deeltjes, dan is de hinder respectievelijk evenredig met δ^4 , δ^3 of δ . Beschouwen we alleen de vervuiling die door het uitgezakte stof wordt veroorzaakt, dan is het geprojecteerde oppervlak, dus δ^3 , een maat voor de hinder.

Van het gevaar, dat de verontreiniging van de buitenlucht geeft voor mens, dier of plant is nog veel te weinig bekend. Voor mensen zijn wel waarden bekend omtrent de maximaal toelaatbare verontreiniging van de lucht in besloten ruimten (fabrieken, werkplaatsen). Deze waarden zijn echter bedoeld als maatstaf voor een verblijf van 8 uur per etmaal in de bedoelde omgeving. In de buitenlucht, zoals die ook in de woningen komt, verblijven we echter 24 uur per etmaal.

Voor de dieren ligt het geval nog moeilijker; voor deze zijn in het geheel geen waarden voor toelaatbare verontreiniging bekend. Bovendien nemen vele dieren met het voedsel ook nog uitgezakt stof op.

Voor de planten zijn enkele waarden bekend, maar dat geldt dan voornamelijk voor de bestendigheid van enkele gevoelige soorten ten opzichte van SO_2 .

Dan is er verder nog het probleem van de weerstand tegen verontreiniging van hoge concentratie gedurende korte tijd. Het is bekend, dat vooral vele planten zeer gevoelig zijn voor hoge concentraties SO_2 en HF , ook indien deze gedurende korte tijd optreden.

Concluderend kan worden geconstateerd, dat op het gebied van de verontreiniging van de buitenlucht nog veel researchwerk valt te verrichten, niet alleen wat betreft de aard en de hoeveelheid van de verontreiniging, maar ook de verspreiding er van door de atmosfeer (een meteorologisch probleem dus), de economische aspecten en de gevolgen voor de gezondheid en het welzijn van mens, dier en plant.

10. LITERATUROPGAVE

1. Adams, D.F.; Mayhew D.J.; Gnagy, R.M.; Richey, E.P.; Koppe, R.K.; Allen, I.W. Atmospheric pollution in the Ponderosa pine blight area Ind. and Eng. Chem. (June 1952)
2. Alden, J.L. Design of Industrial Exhaust Systems 1939
3. Allegheny County Bureau of Smoke Control Third annual report of activities for the year ending May 31, 1952.
4. - American Journal of Public Health. Some legal aspects of air pollution control Year book 1951-1952 part 2 42 no 5 (May 1952)
5. Anderson, E. Separation of dusts and mists J.H. Perry's "Chemical Engineers Handbook" 2nd ed. 1941
6. Andrade, E.N. da C Trans. Faraday Soc. 42 (1936)
7. Arsenval, d'; Bordas C.R. Acad. Sci. Paris, 182 (1926)
8. - Atmospheric Pollution Bulletin 14 no 6 (Oct. 1946)
9. - Atmospheric Pollution Bulletin 14 no 7 (Nov. 1946)
10. - Atmospheric Pollution Bulletin 14 no 8 (Dec. 1946)
11. - Atmospheric Pollution Bulletin 14 no 9 (Jan. 1947)
12. Atwood, A.W. Pittsburgh: Workshop of the titans The National Geographic Magazine July 1949
13. Bastjer, A.M. Effect of chronic exposure of air pollutants on acute infectious respiratory diseases Chapter 65 of "Air Pollution"/Proc. U.S. Techn. Conf. on Air Pollution
14. Banik, E. Die Industrielle Anwendung des Schalls für die Staubabscheidung und für andere Industrielle Zwecke Werkstatt und Betrieb 12 (1950)

T.N.O.

38. Cralley, L.V. Sampling and analysis of air pollutants
Proc. Air Pollution and Smoke Prevention Ass. America (1950)
39. Daines, R.H. 2,4 D as an air pollutant and its effects on various species of plants
Chapter 14 of "Air Pollution"/Proc. U.S. Techn. Conf. on Air Pollution
49. Daines, R.H.; Leone, I; Brennan, E. The effect of fluorine on plants as determined by soil nutrition and fumigation studies
Chapter 9 of "Air Pollution"/Proc. U.S. Techn. Conf. on Air Pollution
41. Dalla Valle, J.M. Principles, design, applications and performance of dry inertial and motor powered separators
Chapter 41 of "Air Pollution"/Proc. U.S. Techn. Conf. on Air Pollution
42. Danser, H.W.; Neumann, E.P. Industrial sonic agglomeration and collection systems
Ind. and Engng. Chem. (Nov. 1949)
43. Davidson, W.F. Stack meteorology as related to power plants
Chapter 93 of "Air Pollution"/Proc. U.S. Techn. Conf. on Air Pollution
44. Deij, L.J.L. Verontreiniging van de buitenlucht. II. Meteorologische aspecten van de uitbreiding van industrie-afvalgassen in de atmosfeer
De Ingenieur 64 no 24, (13 Juni 1952)
45. Department of Scientific and Industrial Research Atmospheric Pollution in Leicester. A scientific survey (1945)
46. Department of Scientific and Industrial Research The investigation of atmospheric pollution.
General deposit tables for the year ended 31st March, 1938
47. Department of Scientific and Industrial Research The investigation of atmospheric pollution.
A description of the aims and objects of the investigation, and an account of the methods recommended for making systematic measurements of the pollution (1948)

48. Department of Scientific and Industrial Research The investigation of atmospheric pollution
Report on observations in the year ended 31st March 1928,
Fourteenth Report
49. Department of Scientific and Industrial Research The investigation of atmospheric pollution
Report on observations in the year ended 31st March 1932,
Eighteenth Report
50. Department of Scientific and Industrial Research The investigation of atmospheric pollution
Report on observations in the year ended 31st March 1938,
Twenty-fourth Report
51. Department of Scientific and Industrial Research The investigation of atmospheric pollution
Report on observations in the year ended 31st March 1939,
Twenty-fifth Report
52. Department of Scientific and Industrial Research The investigation of atmospheric pollution
Report on observations in the 5 years ended 31st March 1944,
Twenty-sixth Report (1949)
53. Dorn, H.F. Statistical study of the acute effects of air pollution
Chapter 64 of "Air Pollution"/Proc. U.S. Techn. Conf. on Air Pollution
54. Drinker, P.; Hatch, T. Industrial dust
(1936)
55. Dunning, J.M. Effects on oral structures from air pollution
Chapter 63 of "Air Pollution"/Proc. U.S. Techn. Conf. on Air Pollution
56. van Ebbenhorst Tengbergen, H.J. Verontreiniging van de buitenlucht. IV. Apparaten voor de meting van de verontreiniging van de atmosfeer. Beschrijving van diverse opvangvaten en van eigen ervaringen hiermee. De Ingenieur 64 no 26 (27 Juni 1952)

57. Eisenbud, M.; Harris, W.B. Meteorological techniques in air pollution surveys
Arch. of Ind. Hyg. and Occ. Med.
3 no 1 (Jan. 1951)
58. Eisenbud, M.; Harris, W.B. Meteorological techniques in air pollution surveys
Proc. Air Pollution and Smoke Prevention Ass. America (1950)
59. Eisenbud, M.; Wanta, R.C.; Dustan, C.; Steadman, L.T.; Harris, W.B.; Wolf, B.S. Non-occupational berylliosis
J. of Ind. Hyg. and Toxicology
31 no 5 (Sept. 1949)
60. Ely, S.B. Air Pollution in Pittsburgh
Arch. Ind. Hyg. and Occ. Med.
3 no 1 (Jan. 1951)
61. Evelyn, J. Fumifugium, or the smoke of London dissipated
A National Smoke Abatement Society Publication
62. Falke, H. Gesundheits-Ing. 71 (Jan. 1950)
63. - The Frontier (Dec. 1951)
64. Fujiwara, K. World power conference;
Transactions of the Tokyo sectional meeting I,
(1929)
65. Gillet, A.; Leclerc, E. Sur une méthode simple de dosage des poussières ou des impuretés gazeuses dans l'air ou dans un gaz en mouvement
Revue universelle des mines
Avril 1936 8e série XII no 4
66. Griffin, S.W.; Bayles, B.B. Some effects of fluorine fumes on vegetation
Chapter 10 of "Air Pollution"/Proc. U.S. Techn. Conf. on Air Pollution
67. National Smoke Abatement Society Guilty Chimneys
68. Haagen-Smit, A.J. Chemistry and physiology of Los Angeles smog
Ind. and Engng. Chem. (June 1952)

69. Harris, W.B.; Le Vine, H.D. Some techniques and equipment for trace quantity sampling of industrial aerosols
N.Y.O.-1534 (Nov. 29, 1950)
70. Hartmann, M.L. Legal regulation of air pollution
Ind. and Engng. Chem. (Nov. 1949)
71. Am. Soc. of Heating and Ventilating Engineers Heating, Ventilating, Air Conditioning Guide
72. Heller, A. Gesundheits-Ing. 57 (1934)
73. Herrington, L.P. Neglected areas of investigation in the problem of chemically contaminated fogs
Chapter 61 of "Air Pollution"/Proc. U.S. Techn. Conf. on Air Pollution
74. Hignett, T.P.; Siegel, M.R. Recovery of fluorine from stack gases
Ind. and Engng. Chem. (Nov. 1949)
75. Hill, G.R. The place of tall stacks in air pollution control
Chapter 47 of "Air Pollution"/Proc. U.S. Techn. Conf. on Air Pollution
76. Hill, G.R.; Thomas, M.D.; Abersold, J.N. Hot gases from high stacks
42nd annual meeting Smoke prevention Ass. America
(May 23-27, 1949)
77. Hill, G.R.; Thomas, M.D.; Abersold, J.N. Effectiveness of high stacks in overcoming objectionable concentrations of gases at ground level
Trans. Series Bull. 3
78. Holland, J.Z. The diffusion problem in hilly terrain
Chapter 96 of "Air Pollution"/Proc. U.S. Techn. Conf. on Air Pollution
79. Holt, P.F. Study of dusts in industrial atmospheres.
III. The impinger and cascade impactor
Metallurgia 43 (1951)
80. Hueper, W.C. Environmental cancer hazards caused by air pollution
Chapter 58 of "Air Pollution"/Proc. U.S. Techn. Conf. on Air Pollution

81. Huffman, W.T. Effects on livestock of air
contamination caused by fluoride
fumes
Chapter 5 of "Air Pollution"/Proc.
U.S. Techn. Conf. on Air Pollution

82. Hurley, T.F. A smoke eliminator for natural draught
Lancashire boilers
Fuel Economy Review (1946)

83. Hurley, T.F. Recent advances in smoke abatement
based on the work of the Fuel Research
Station
Institute of Fuel (August 1947)

84. Illinois legislative Air pollution legislation
Council Publication 101 (Aug. 1950)

85. In de loop van de jaren
Water Bodem Lucht 41 no 4 (Maart 1952)

86. Medical Research Council Industrial Fluorosis
Memorandum no 22 (1949)

87. U.S. Public Health Service Studies in illumination.
Ives, J.E. III. A study of the loss of light due
to smoke on Manhattan Island
Bulletin no 197 (June 1930)

88. U.S. Public Health Service Public Health Bulletin 224 (1936)
Ives; Britten; Armstrong;
Gill; Goldmann

89. Commissie Bodem, Water en Jaarverslag 1951
Lucht te Rotterdam Water Bodem Lucht 41 no 4 (Maart 1952)

90. Johnstone, H.F.; Roberts, M.H. Deposition of aerosol particles
from moving gas streams
Ind. and Engng. Chem. (Nov. 1949)

91. Jones, W.P. Development on the venturi scrubber
Ind. and Engng. Chem. (Nov. 1949)

92. Jones, W.P.; Anthony Jr, Pease-Anthony venturi scrubber
A.W. Chapter 39 of "Air Pollution"/Proc.
U.S. Techn. Conf. on Air Pollution

93. Katz, M. Sulfur dioxide in the atmosphere and
its relation to plant life
Ind. and Engng. Chem. (Nov. 1949)

94. Katz, M. The effect of sulfur dioxide on conifers
Chapter 8 of "Air Pollution"/Proc. U.S. Techn. Conf. on Air Pollution
95. Katz, M. The photoelectric determination of atmospheric SO₂ by dilute starchiodine solutions
Chapter 71 of "Air Pollution"/Proc. U.S. Techn. Conf. on Air Pollution
96. Kay, K. Analytical methods used in air pollution study
Ind. and Engng. Chem. (June 1952)
97. Kehoe, R.A. Effects of prolonged exposure to air pollutions
Chapter 57 of "Air Pollution"/Proc. U.S. Techn. Conf. on Air Pollution
98. Kleinschmidt, R.V.; Anthony Jr, A.W. Pease-Anthony cyclonic spray scrubbers
Chapter 38 of "Air Pollution"/Proc. U.S. Techn. Conf. on Air Pollution
99. Koenig, W. Ann. Phys. 42 (1891)
100. Kunkel, H.E.; McMahon, H.E. Collection and quantitative measurements of dusts and fumes in city atmosphere and from individual source
Proc. Air Pollution and Smoke Prevention Ass. America (1950)
101. Lapple, C.E.; Shepherd, C.B. Ind. and Engng. Chem. 31 (1939), 32 (1940)
102. Lapple, C.E.; Shepherd, C.B. Ind. and Engng. Chem. 32 (1940)
103. Largent, E.J. The effects of air-borne fluorides on livestock
Chapter 6 of "Air Pollution"/Proc. U.S. Techn. Conf. on Air Pollution
104. Leclerc, E. Etude des rapport Anglais sur la pollution de l'atmosphère
Revue Universelle des Mines 9e Série, VII no 6 (1951)
105. ter Linden, A.J. Investigations into cyclone dust collectors
Proc. Inst. Mech. Engrs 160 (1949)

106. ter Linden, A.J. Vliegsvangers voor stoomketels
Electrotechniek (7 Dec. 1950)
107. U.S. Bureau of Mines Report Invest. 3360 (1937)
Littlefield, J.B.;
Feicht, F.L.; Schrenk, H.H.
108. Mader, P.P.; McPhee, R.D.; Composition of organic portion of
Lofberg, R.T.; Larson, G.P. atmospheric aerosols in the
Los Angeles area
Ind. and Engng. Chem. (June 1952)
109. Magill, P.L. The Los Angeles smog problem
Ind. and Engng. Chem. (Nov. 1949)
110. May, J.W. Viscous impingement filters
Chapter 34 of "Air Pollution"/Proc.
U.S. Techn. Conf. on Air Pollution
111. May, K.R. J. Sci. Instruments 22 no 187 (1945)
112. McCabe, L.C.; Mader, P.P.; Industrial dusts and fumes in the
McMahon, H.E.; Los Angeles area
Hamming, W.J.; Chaney, A.L. Ind. and Engng. Chem. (Nov. 1949)
113. McCord, C.P. Properties, physiology and psychology
of odors
Chapter 30 of "Air Pollution"/Proc.
U.S. Techn. Conf. on Air Pollution
114. McCord, C.P.; Odors, physiology and control
Witheridge, W.N. (1949)
115. McDonald, J.C.; Drinker, The epidemiology and social significance
P.; Gordon, J.E. of atmospheric smoke pollution
Progress of Medical Science
116. McIntire, W.H. Air versus soil as channels for
fluorine contamination of vegetation
in two Tennessee locales
Chapter 4 of "Air Pollution"/Proc.
U.S. Techn. Conf. on Air Pollution
117. McIntire, W.H.; and Effects of fluorine in Tennessee soils
associates. and crops
Ind. and Engng. Chem. (Nov. 1949)
118. McIntire, W.H.; Hardin, Measurement of atmospheric fluorine
L.J.; Hester, W. Ind. and Engng. Chem. (June 1952)

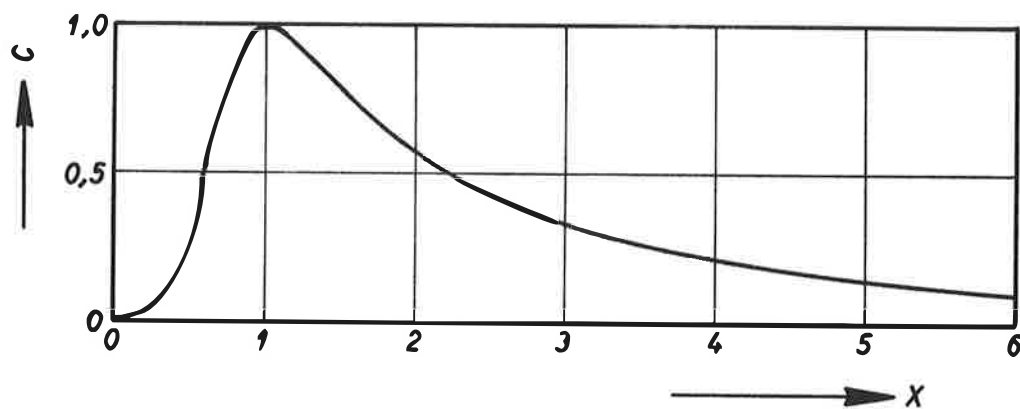
119. Meetham, A.R. Natural removal of pollution from the atmosphere
Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.
(Oct. 1950)
120. Meller, H.B. The Pittsburgh Record.
(June - July 1931)
121. Miller, V.L. and associates The effects of atmospheric fluoride on Washington agriculture
Chapter 11 of "Air Pollution"/Proc. U.S. Techn. Conf. on Air Pollution
122. Monroe, L. A graphical method of sizing cyclone dust collectors
Heating and Ventilating 47 no 12
(Dec. 1950)
123. National Smoke Abatement Society Proceedings of the Edinburgh conference 1947
124. National Smoke Abatement Society Proceedings of the Cheltenham conference 1948
125. Nehls, H. Kleine Mitt. 13 (1937)
126. Neuberger, H. Air Pollution and fog properties
Chapter 94 of "Air Pollution"/Proc. U.S. Techn. Conf. on Air Pollution
127. Nord, M. Pollution control-an industry must
Chemical Engineering (May 1951)
128. Payne, E.C. Railroad activity in reducing atmospheric pollution
Chapter 48 of "Air Pollution"/Proc. U.S. Techn. Conf. on Air Pollution
129. U.S. Bureau of Mines
Pearce, S.J.; Schrenk, H.H. Determination of SO₂ in air by means of the midget impinger
Report Invest. 4282
130. Perley, G.A.; Langsdorf, B.F.T. Problems in the recording of SO₂ in polluted atmospheres
Chapter 69 of "Air Pollution"/Proc. U.S. Tech. Conf. on Air Pollution
131. Pestel Modelgesetze und -Versuche zur Bestimmung der Niederschlagsdichte von Schornsteinauswurf
Mitt. der V.G.B. Heft 15 (1951)

132. Phillips, P.H. Fluorosis in livestock
Chapter 12 of "Air Pollution"/Proc.
U.S. Techn. Conf. on Air Pollution
133. Pincus, Stern Am. J. Public Health 27 (1937)
134. - The venturi scrubber - A new device
for cleaning stack gases
Power Generation (May 1948)
135. U.S. Public Health Service Air pollution in Donora, Pa
Preliminary Report
Public Health Bulletin no 306 (1949)
136. Ranz, W.E.; Wong, J.B. Impaction of dust and smoke particles
on surface and body collectors
Ind. and Engng. Chem. (June 1952)
137. Commissie tot onderzoek
inzake den hinder van
vliegash en kolenstof Verzameling 1929
Rapport no 214 (22 Mrt 1929)
138. Commissie voor het vlieg- Rapport (10 Juni 1932) van de
aschvraagstuk Commissie
139. Ray, A.B. Role of activated carbon in practical
control of atmospheric contamination
Chapter 42 of "Air Pollution"/Proc.
U.S. Techn. Conf. on Air Pollution
140. Municipal art society of Report of the Municipal art society
New York of New York
141. Rosin, P.; Rammler, E.; Zschr. Ver. Deut. Ing. 76 (1932)
Intelmann, W.E.
142. Ruff, R.J. Catalytic combustion of hydrocarbon
vaport
Chapter 32 of "Air Pollution"/Proc.
U.S. Techn. Conf. on Air Pollution
143. - Samenvloeken van deeltjes door
middel van geluidstrillingen
(kort technisch bericht)
De Ingenieur 63 no 23 (8 Juni 1951)
144. Schaefer, V.J. Continuous cloud chamber
Ind. and Engng. Chem. (June 1952)
145. Schmidt, W.A. Electrical precipitation and
mechanical dust collection
Ind. and Engng. Chem. (Nov. 1949)

146. Schmidt, W.A.; Flodin, C.R. Fundamental principles, design, application, performance and limitations of electrical precipitation equipment
Chapter 43 of "Air Pollution"/Proc. U.S. Techn. Conf. on Air Pollution
147. U.S. Bureau of Mines Informations Circ. 7076 (1939)
Schrenk, H.E.; Feicht, F.L.
148. Schuursma, M.J.N. Verontreiniging van de buitenlucht.
I. Inleiding en overzicht
De Ingenieur 64 no 24 (13 Juni 1952)
149. Univ. of California, Bureau Air Pollution control
of Public Administration (May 1951)
Scott, S.; McCarty, J.F.
150. Shrader, J.H.; Coblentz, M.H.; Korff, F.A. Effects of atmospheric pollution upon incidence of solar ultra-violet light
American Journal of Public Health 19 (1929)
151. Atomic Energy Commission Meteorological factors in atmospheric pollution problems
Smith, M.E. Unclassified document 1213
152. Smith, M.E. The application of meteorological control to atmospheric pollution problems
Chapter 97 of "Air Pollution"/Proc. U.S. Techn. Conf. on Air Pollution
153. - Smokeless Air no 67 Summer 1948
154. Sonkin, L.S. J. Ind. Hyg. and Toxicology 28 (1946)
155. Stairmand, C.J. Pressure drop in cyclone separators
Engineering (Oct. 21, 1949)
156. St Clair, H.W. Agglomeration of smoke, fog or dust particles by sonic waves
Ind. and Engng. Chem. (Nov. 1949)
157. St Clair, H.W. Rev. Sci. Instruments 12 (1940)
158. U.S. Bureau of Mines Report Invest. 3400 (1940)
St. Clair, H.W.
159. Steer Law of Smoke Nuisances
London, Chandos House, Westminster SW1 (NSAS)

160. Steffens, C. Measurement of visibility by photographic photometry
Ind. and Engng. Chem. (Nov. 1949)
161. Stern, A.C. Problems in the drafting and administration of air pollution control legislation
Modern San. 2 nos 11 en 12 (1950)
162. Sulzberger, M.R. Skin effects of air pollutants
Chapter 55 of "Air Pollution"/Proc. U.S. Techn. Conf. on Air Pollution
163. Sutton, O.G. A theory of eddy diffusion in the atmosphere
Proc. Roy. Soc. (London) Series A 136 (1932)
164. Sutton, O.G. The problem of dispersion of hot gases in the atmosphere
Chapter 92 of "Air Pollution"/Proc. U.S. Techn. Conf. on Air Pollution
165. Sutton, O.G. The theoretical distribution of air-borne pollution from factory chimneys
Roy. Meteorol. Soc. Quart. J. 73 (1947)
166. Thomas, M.D.; Hendricks, R.H.; Hill, G.R. Some impurities in the air and their effects on plants
Chapter 2 of "Air Pollution"/Proc. U.S. Techn. Conf. on Air Pollution
167. Thomas, M.D.; Hill, G.R.; Abersold, J.N. Dispersion of gases from tall stacks
Ind. and Engng. Chem. (Nov. 1949)
168. Thomas, M.D.; Ivie, J.O. Automatic apparatus for the determination of small concentrations of SO₂ and other contaminants in the atmosphere
Chapter 70 of "Air Pollution"/Proc. U.S. Techn. Conf. on Air Pollution
169. - Transactions of the Danish Academy of Technical Sciences
A.T.S. no 4 (1949)
170. - Transactions of the Royal Society of Edinburgh
XXX - XXXVI
171. Ultrasonic Corporation Patent aanvragen 1945-1949
172. U.S. Bureau of Mines Information Circ. 6888

173. U.S. Public Health Service Engineering Abstracts
Atmospheric Pollution Abstracts
174. - Verslag van de gemeenschappelijke vergadering gehouden op Dinsdag 18 Maart 1952 te Amsterdam, over het onderwerp: "Verontreiniging van de buitenlucht" Water Bodem Lucht 42 no 2 (Juli 1952)
175. Stofcommissie T.N.O. Voorlopige aanbevelingen inzake de beperking van vliegashinder uit fabrieksschoorstenen
Publicatie no 8
De Ingenieur 63.no 2 (12 Jan. 1951)
176. Vorwald, A.J. Effects of inert dusts in air pollution
Chapter 59 of "Air Pollution"/Proc. U.S. Techn. Conf. on Air Pollution
177. Washburn, H.W.; Austin, R.R. The continuous measurement of SO₂ and H₂S concentrations by automatic titration
Chapter 72 of "Air Pollution"/Proc. U.S. Techn. Conf. on Air Pollution
178. Wells, A.E. Results of recent investigations of the smelter smoke problem
Ind. and Engag. Chem. (July 9, 1917)
179. Wendell Hewson, E. Meteorological aspects of atmospheric pollution
Chapter 90 of "Air Pollution"/Proc. U.S. Techn. Conf. on Air Pollution
180. White, H.J.; Roberts, L.M.; Hedberg, C.W. Electrostatic collection of fly ash
Mechan. Engng. 72 (Nov. 1950)
181. Wilsdon, B.H.; McConnell, F.J. J. Soc. Chem. Ind. 53 (1934)
182. Witheridge, W.N. Odor control practices
Chapter 31 of "Air Pollution"/Proc. U.S. Techn. Conf. on Air Pollution
183. Wittich, F.W. Respiratory tract allergic effects from chemical air pollution
Chapter 66 of "Air Pollution"/Proc. U.S. Techn. Conf. on Air Pollution



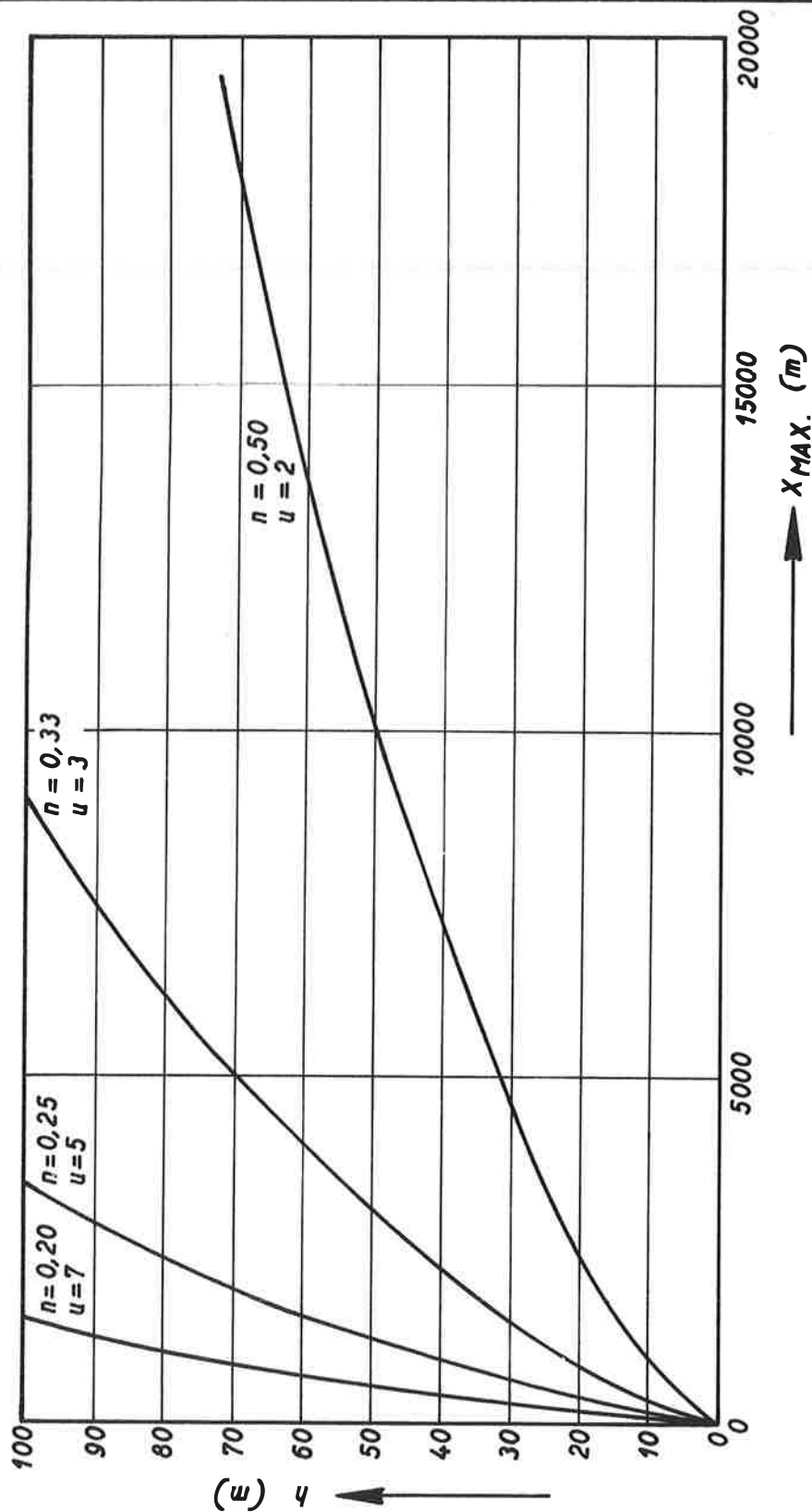
C = CONCENTRATIE VAN DE VERONTREINIGING, UITGEDRUKT ALS FRACTIE VAN DE MAXIMALE CONCENTRATIE.

X = AFSTAND TOT BRON, UITGEDRUKT IN VEELVOUDEN VAN DE AFSTAND WAAROP DE MAXIMALE CONCENTRATIE OPTREEDT.

FIG. 1 CONCENTRATIE VAN DE VERONTREINIGING
ALS FUNCTIE VAN DE AFSTAND TOT DE BRON.

AFD. GEZONDHEIDSTECHNIEK T.N.O.

RAPPORT N° 17 OCTOBER 1952.



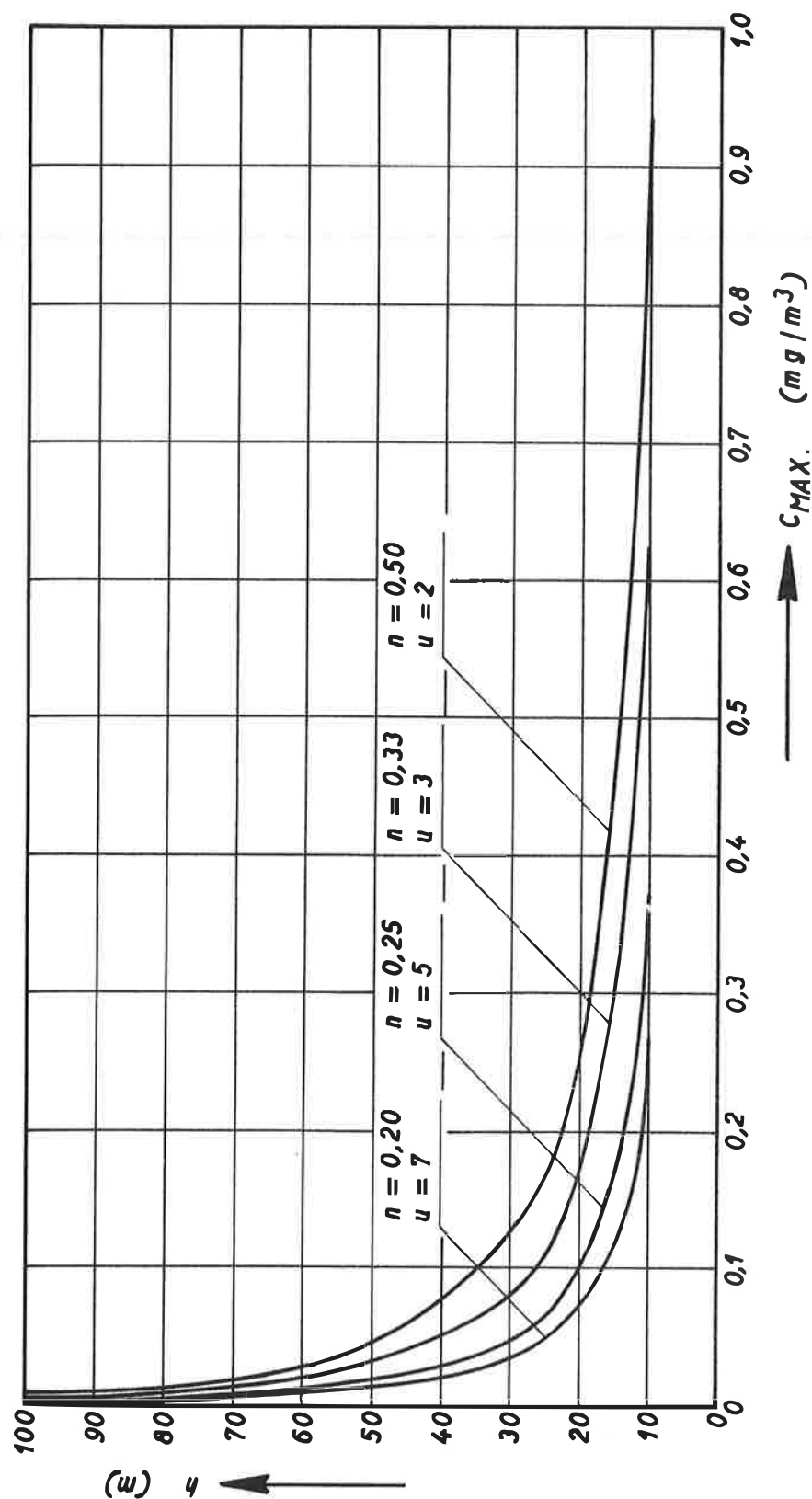
h = SCHOORSTEENHOOGTE (m)
 X_{MAX} = AFSTAND VAN MAXIMALE CONCENTRATIE TOT BRON (m)
 n = TURBULENTIECOËFFICIËNT
 u = WINDSNELHEID (m/sec)

FIG. 2 AFSTAND WAAROP MAXIMALE CONCENTRATIE OPTREEDT IN VERBAND MET SCHOORSTEENHOOGTE.

AFD. GEZONDHEIDSTECHNIEK T.N.O.

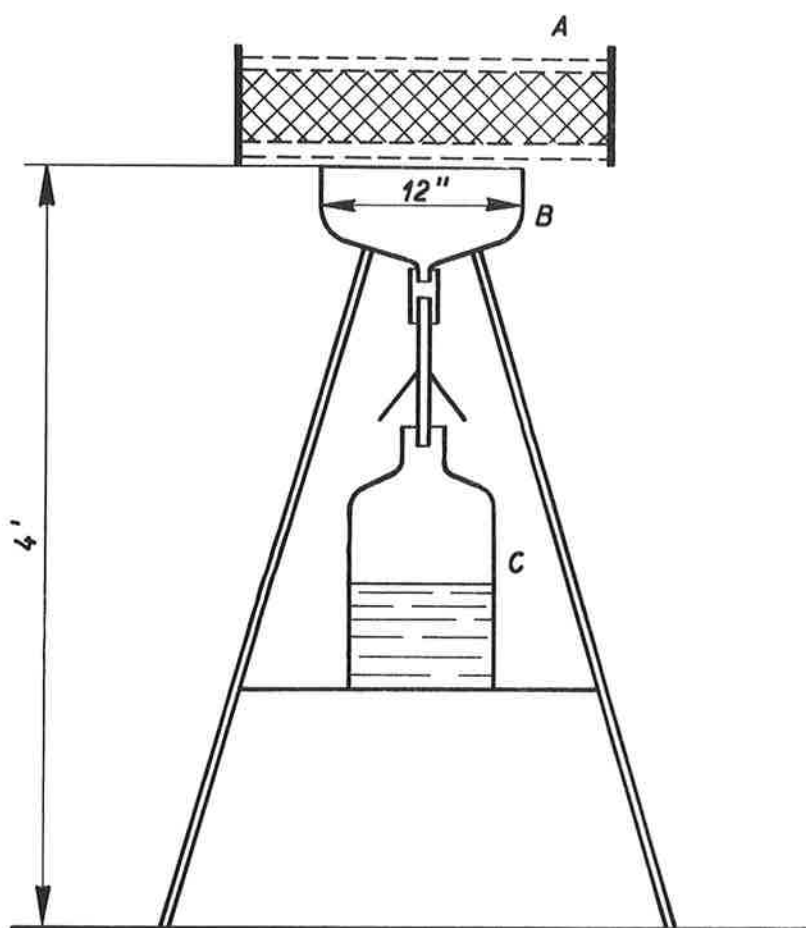
RAPPORT N° 17 OCTOBER 1952

52 - 504



h = SCHOORSTEENHOOGTE (m)
 $C_{MAX.}$ = MAXIMALE CONCENTRATIE (mg/m³)
 n = TURBULENTIECOËFFICIËNT
 u = WINDSNELHEID (m/sec)

FIG. 3 MAXIMALE CONCENTRATIE IN VERBAND MET AFD. GEZONDHEIDSTECHNIEK T.N.O.
 SCHOORSTEENHOOGTE.
 BRONSTERKTE 1 g/sec

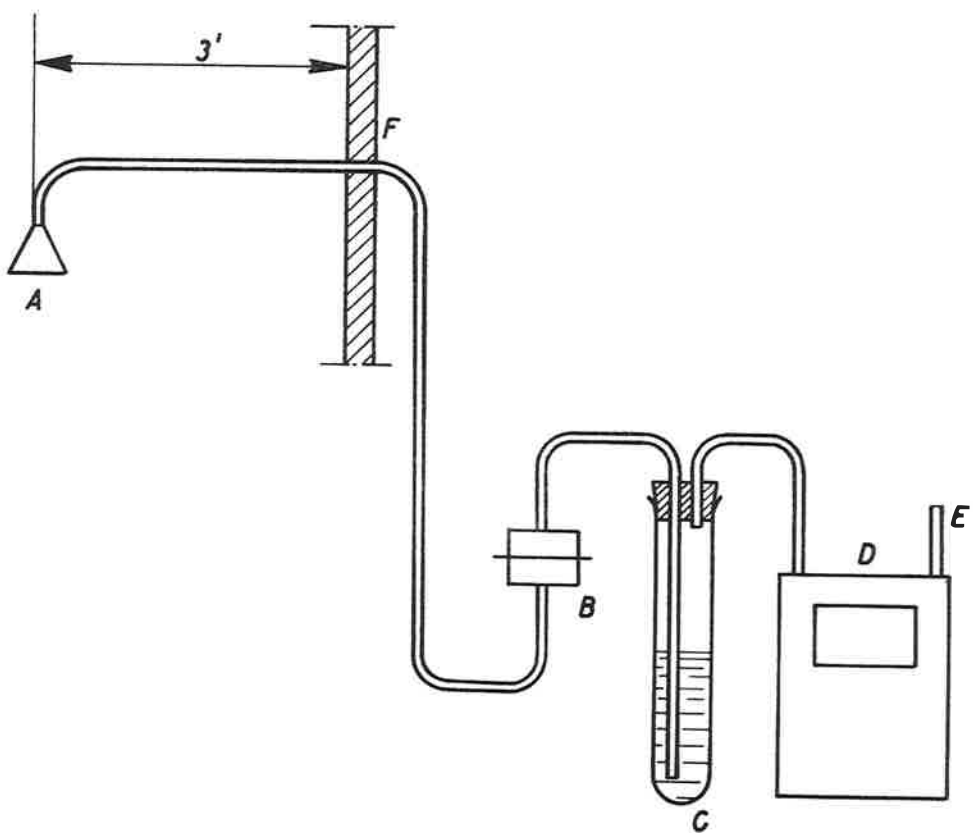


- A GAZEN SCHERM
 B OPVANGSCHAAL
 C FLES

FIG. 4 STANDARD DEPOSIT GAUGE

AFD. GEZONDHEIDSTECHNIEK T.N.O.

RAPPORT N° 17 OCTOBER 1952

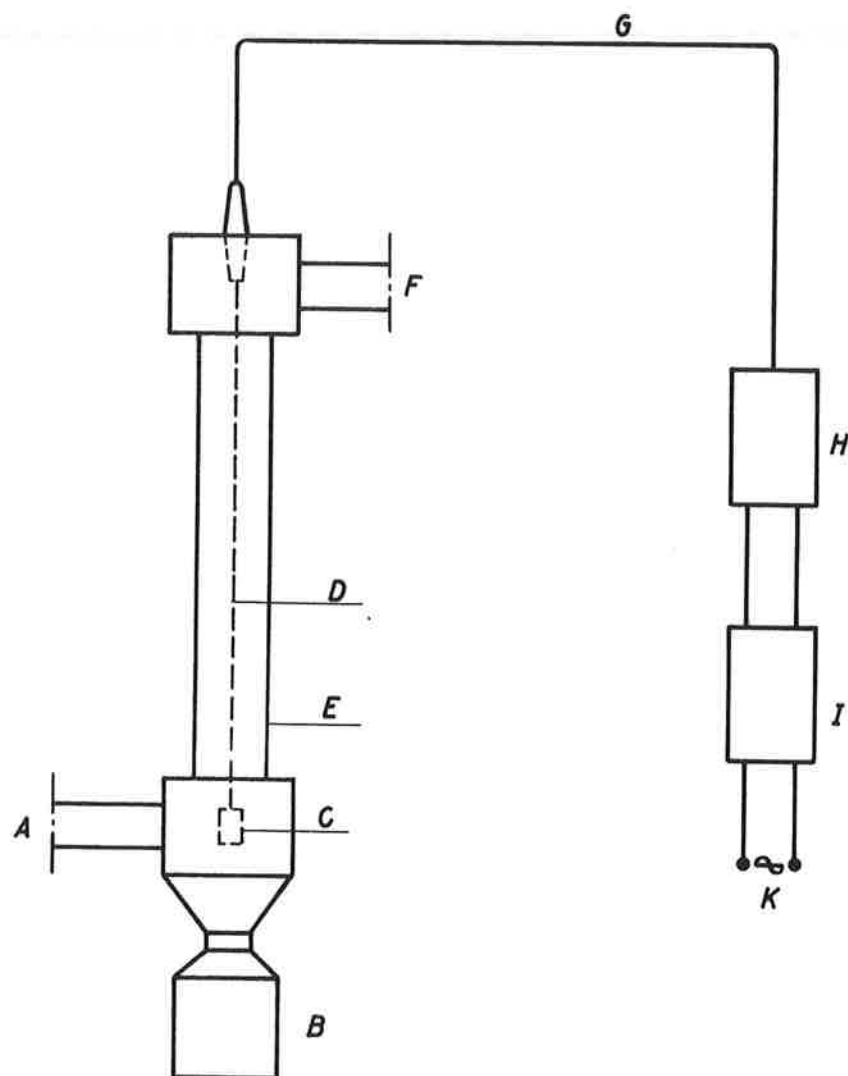


- A AANZUIGTRECHTER
- B ROOKFILTER
- C SO₂ APPARAAT
- D GASMETER
- E AANSLUITING VOOR POMP
- F DOORVOERING DOOR WAND OF RAAM.

FIG. 5 ROOKFILTER EN VOLUMETRISCH SO₂ APPARAAT.

AFD. GEZONDHEIDSTECHNIEK T. N.O.

RAPPORT N° 17 OCTOBER 1952

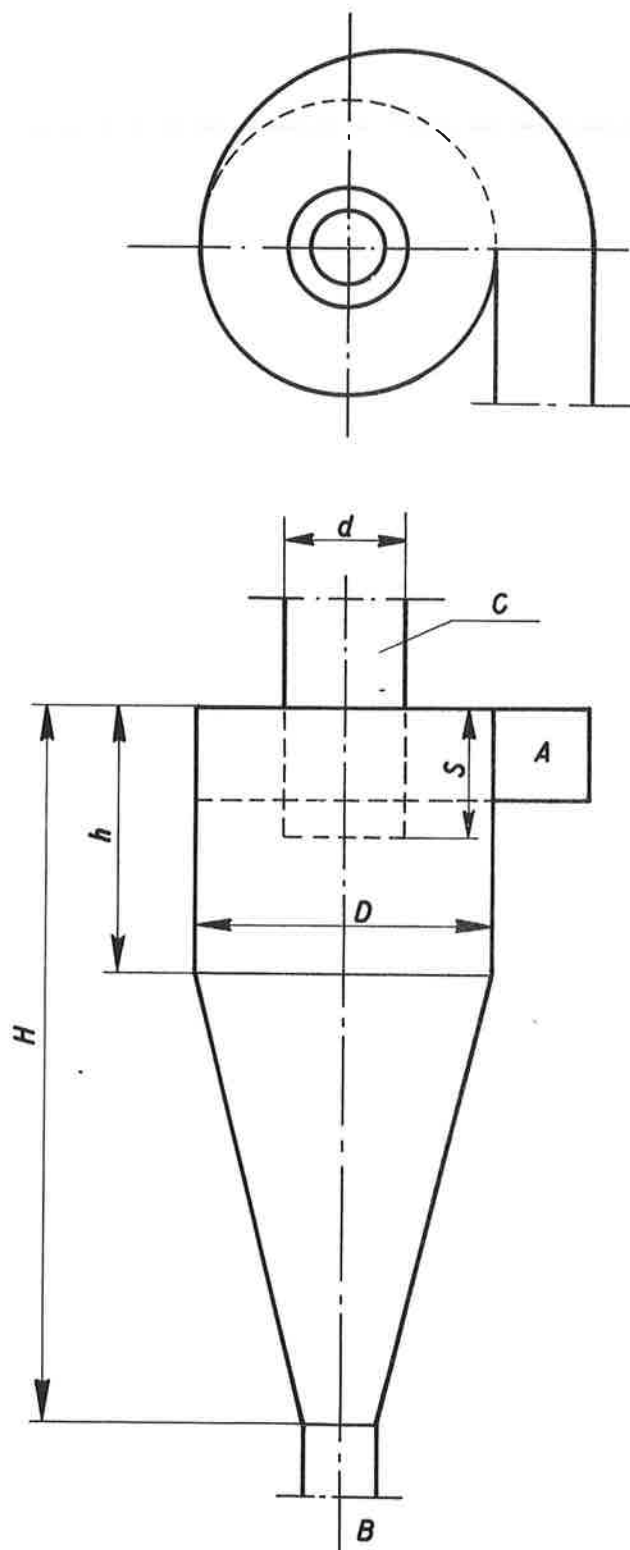


- A GASINLAAT
- B STOFBUNKER
- C GEWICHT
- D ELECTRODE
- E GEAARDE ELECTRODE
- F GASUITLAAT
- G HOOGSPANNINGSLEIDING
- H GELJKRICHTER
- I TRANSFORMATOR
- K AANSLUITING OP NET

FIG. 6 ELECTROSTATISCHE PRECIPITATOR.

AFD. GEZONDHEIDSTECHNIEK T.N.O.

RAPPORT N° 17 OCTOBER 1952.

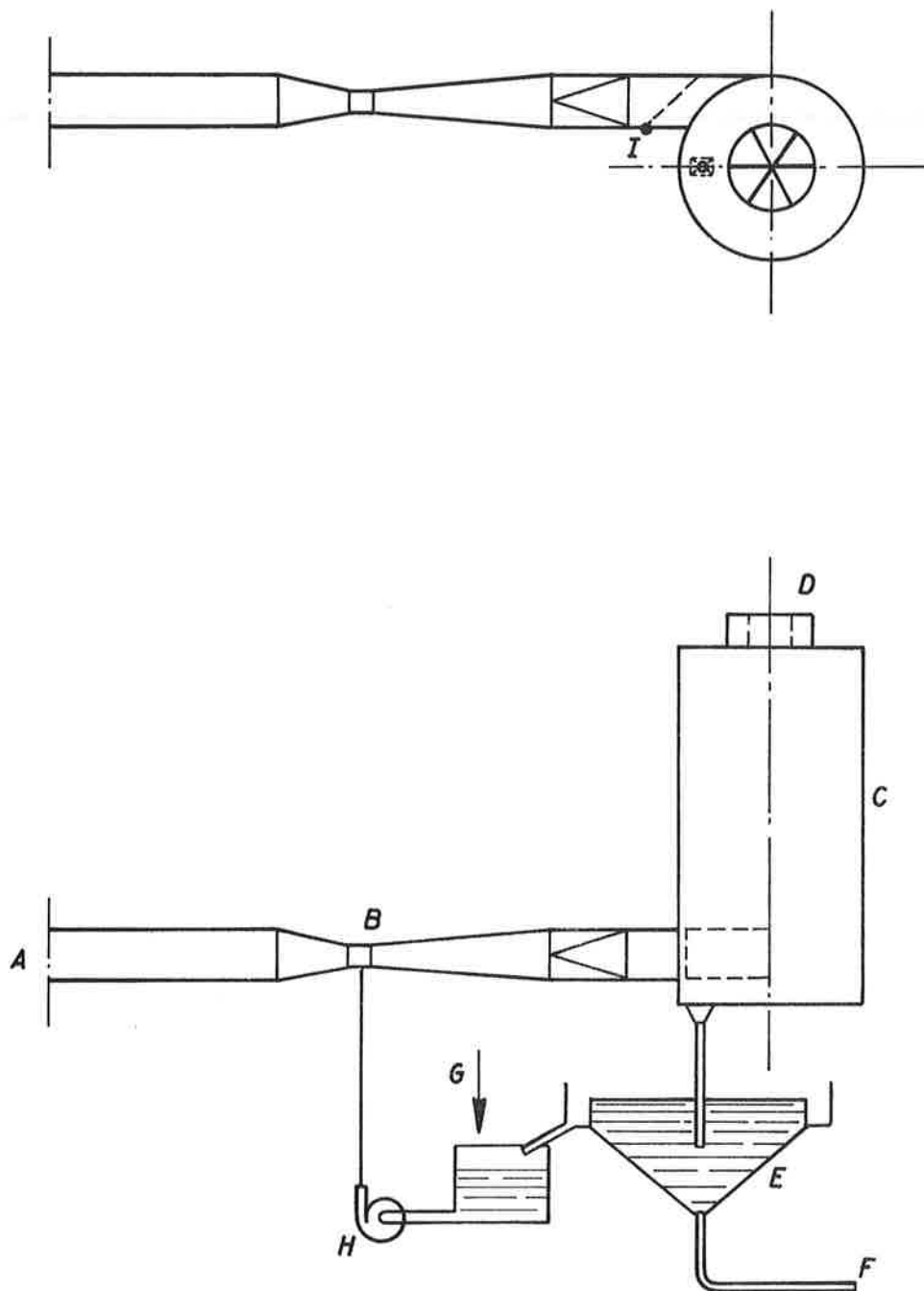


A INLAAT
 B STOF AFVOER
 C UITLAAT GEREINIGDE GASSEN

FIG. 7 CYCLOON (SYSTEEM PROF. TER LINDEN)

AFD. GEZONDHEIDSTECHNIEK T. N. O.

RAPPORT N° 17 OCTOBER 1952.

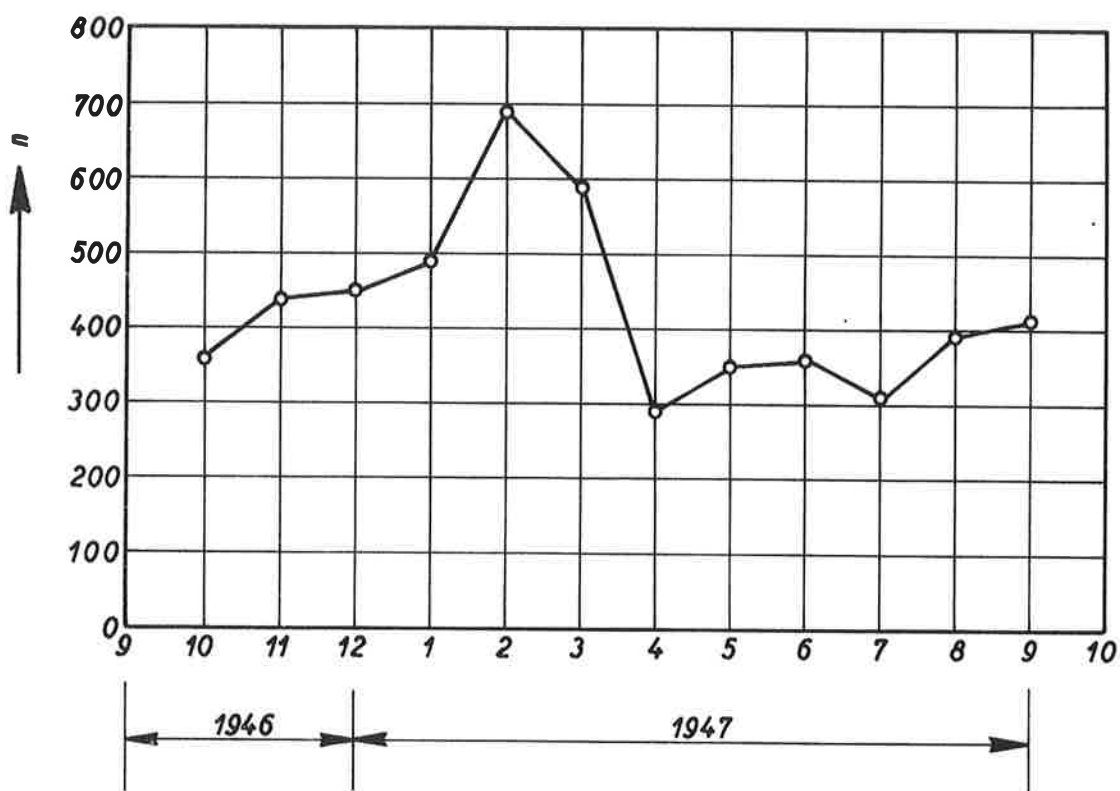


- A** INLAAT
- B** VENTURIHALS MET SPROEIJERS
- C** AFSCHIEDER
- D** UITLAAT MET RICHTKRUIS
- E** BEZINKTANK
- F** SLIBAFVOER
- G** TOEVOER SUPPLETIEWATER
- H** POMP
- I** REGELKLEP

FIG. 8 VENTURI SCRUBBER

AFD. GEZONDHEIDSTECHNIEK T.N.O.

RAPPORT N° 17 OCTOBER 1952.



n = AANTAL DEELTJES PER cm^3

FIG. 9 OVERZICHT VAN DE MAANDGEMIDDELDEN
AAN ZWEVEND STOF, GEVONDEN DOOR DE
A.G. IN 'S-GRAVENHAGE

AFD. GEZONDHEIDSTECHNIEK T.N.O.

RAPPORT N° 17 OCTOBER 1952.