



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



**Rapport**

**R29:1975**

TEKNISKA HOGSKOLAN I LUND  
SEKTIONEN FOR VAG- OCH VATTEN  
BIBLIOTEKET

# **Stoftmangdsmätning i rökgaser vid oljeeldning**

**Olov Larsson**

**Byggforskningen**

# Stoftmangdsmätning i rök-gaser vid oljeeldning

Olov Larsson

*Inom institutionen för uppvärmnings- och ventilationsteknik vid KTH, Stockholm, har på uppdrag av Statens institut för byggnadsforskning (SIB) en serie prov utförts med olika mätutrustningar för bestämning av stoftkoncentrationen i rök-gaser. Mätningarna utfördes i en tidigare befintlig experimentpanna inom institutionen, speciellt konstruerad för mätning av stoftbildning från oljeeldning.*

Föreliggande utredning ingår i byggforskningsprojektet "Kontrollteknik för installationer" och syftar till att närmare studera olika typer av mätutrustningar för stoftmangdsmätning, samt att belysa problem i samband med mätteknik, mätnoggrannhet och handhavande. Hittills har mätningar i Sverige av stoftemissioner från panncentraler förekommit i begränsad omfattning, huvudsakligen vid leveransbesiktningar i större anläggningar. Endast i undantagsfall har härvid noggrannheten i resultat bedömts.

Statens naturvårdsverk har i publikationer 1970 och 1971 lämnat förslag till fortgående kontroll av stoftemissionen varigenom de oljeeldade anläggningarnas betydelse från luftvårdssynpunkt i hög grad har aktualiserats. Härvid har även frågorna om mätfel berörts.

För mätning av stoftkoncentrationen i rök-gaser har ett flertal olika apparater och mätmetoder kommit till användning, utan att problem i samband med mätmetodik, mätnoggrannhet och handhavande objektivt prövats.

Den grundläggande förutsättningen för en inbyggd kontrollverksamhet måste vara ökad kunskap om de olika stoftmangdsmätarnas användbarhet i praktisk drift och om jämförbarheten mellan olika mätresultat. Föreliggande undersökning torde kunna sammanlänkas med övriga arbeten inom området och därmed skapa förutsättningar för rationella riktlinjer vid val av instrument och mätmetoder.

Det framgår klart av de undersökningar som utförts att en viss vidareutveckling är önskvärd som syftar till att förenkla handhavandet vid provning, utan att därför eftersätta högt ställda krav

på mätnoggrannhet.

Tio olika mätutrustningar har provats under så likartade driftförhållanden som möjligt. Urvalet har begränsats till de vanligast förekommande inom Skandinavien, varjämte några instrument medtagits som hittills endast tillverkats som prototyper.

De olika apparaterna har följande beteckningar:

- BP-apparat
- Ringstedt-apparat Typ 702
- KTH-apparat I (prototyp)
- KTH-apparat II (prototyp)
- Svenska fläktfabrikens apparat (SF-apparat)
- Ströhlein-apparat
- Shellapparat
- Ångpanneföreningens apparat I (ÅF I)
- Ångpanneföreningens apparat II (ÅF II)
- AB Atomenergis apparat (At)

Undersökningar har bland annat omfattat prov med icke isokinetisk avsugning, dvs gashastigheten i sonden har hållits dels högre och dels lägre än gashastigheten i mätpunkten. Med ledning av dessa prov har korrektionskurvor upprättats som visar förhållandet mellan uppmätt stoftkoncentration och verklig ( $C/C_{isok}$ ) som funktion av hastighetsförhållandet ( $v/v_{isok}$ ). Som exempel visas en sådan kurva för BP-apparaten, FIG. 1.

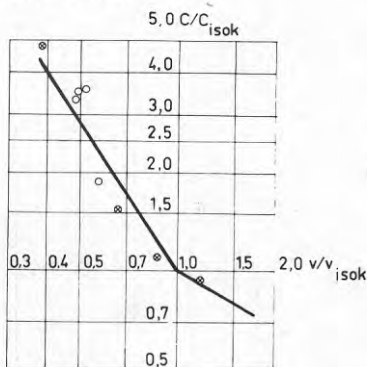


FIG. 1. BP-apparat.  
Sambandet mellan hastighetsförhållandet  $v/v_{isok}$  och förhållandet mellan uppmätt stoftkoncentration ( $C$ ) och verklig ( $C_{isok}$ ).  
⊗ = mätserie 1.  
○ = mätserie 2.

# Bygghorsningen Sammanfattningar

R29:1975

Nyckelord:

oljeeldning, rök-gas, stoftmangdsmätning, stoftkoncentration, mätmetod, mätutrustning

Rapport 29:1975 hänför sig till forskningsprojekt 288:3 vid Statens institut för byggnadsforskning. Projektet har finansierats med anslag från Statens råd för byggnadsforskning.

UDK 697.325:662.7  
662.96  
SfB (56)  
ISBN 91-540-2445-5

Sammanfattning av:

Larsson, Olov, *Stoftmangdsmätning i rök-gaser vid oljeeldning - laboratorieprov av apparater och mätmetoder.* (Statens råd för byggnadsforskning) Stockholm. Rapport R 29:75, 110 s., ill., 21 kronor + moms.

Rapporten är skriven på svenska med sammanfattning på svenska och engelska.

Distribution:

Svensk Byggtjänst  
Box 1403, 111 84 Stockholm  
Telefon 08/24 28 60

I de fall det vid provningarna bedömdes befogat att närmare studera vissa egenskaper hos apparaterna som kan tänkas försämrade mätnoggrannheten eller försämrade handhavandet, utfördes separata provningar anpassade efter den aktuella mätmetoden. Som exempel visas resultaten från en sådan separat mätning av Ringstedt-apparaten där medelvärden av stoftmängd och standardavvikelse för 5 prov sammanställs, TAB. 1.

Prov nr	Medelvärde g/600 sek	Gasflöde l/min	Temp cyklon °C	Standardavvikelse g/600 sek	%
1	0,00587	61	140	0,00127	22
2	0,01441	88	160	0,00269	19
3	0,02845	128	180	0,00530	19
4	0,05149	178	220	0,00549	11
5	0,05615	268	245	0,00440	8

TAB. 1.

Som framgår av tabellen avtar relativa spridningen vid högre flöden (se även FIG. 2.). Av tabellen framgår även att medelvärdet varierar med gasflödet genom cyklonen. Lämpligheten av att som tillverkaren anger använda den dubbla isokinetiska hastigheten kan därför ifrågasättas, FIG. 3.

Bedömning har bland annat gjorts av tidsåtgången vid fältmätningar för olika typer av stoftmättningsapparater. Tidsåtgången för själva provningen, exklusive torkning och vägning av stoftprov kan uppdelas i:

1. Uppställning och iordningställning av apparater och instrument (inkl val av mätsond, filterinsättning etc)
2. Igångsättning (inkl täthetskontroll, fortvarighet, värmning av filter etc)
3. Mätning (inkl oxidering av kol i Shellapparaten)
4. Filterbyte (inkl svalning)
5. Byte av mätpunkt, rengöring etc
6. Avställning.

Tidsåtgången för samtliga mätare (utom för Ringstedt-apparaten som uppskattas ha en lägsta provningstid för 5 provningar av ca 4,5 tim mot ca 8,5 för de övriga) framgår av FIG. 4. Prov-

ningstiden är beroende av lokala förhållanden, tidigare planering för mätning, belastningsförhållanden etc, men anses normalt kunna inrymmas inom det skrafferade området.

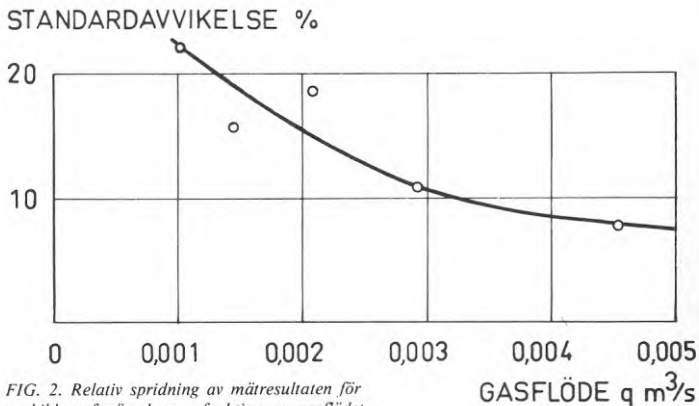


FIG. 2. Relativ spridning av märesultaten för avskild stoftmängd som funktion av gasflödet (q).

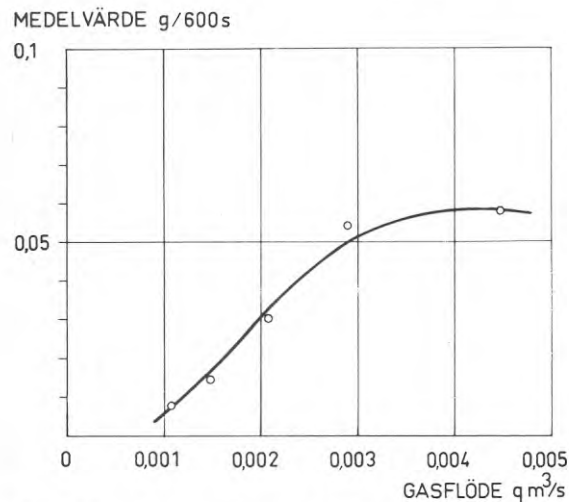


FIG. 3. Avskild stoftmängd (g) under 600 sekunder som funktion av gasflödet (q).

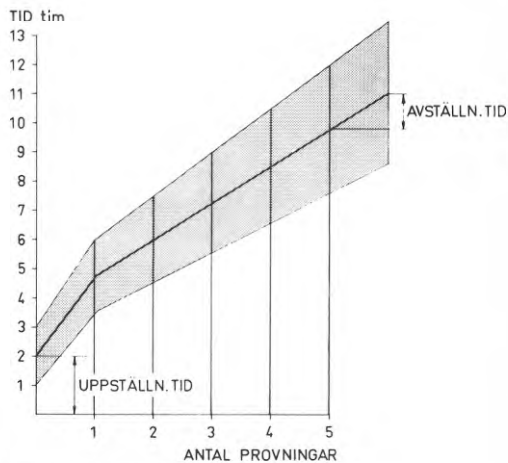


FIG. 4. Tidsåtgången anses normalt kunna inrymmas inom det skrafferade området.

# Measurement of solids in flue gases from oil-fired furnaces

Olov Larsson

*In the Department of Heating and Ventilation Engineering at KTH, the Royal Institute of Technology, Stockholm, a series of tests commissioned by SIB, the Swedish Institute for Building Research, have been carried out to determine the quantity of solids present in flue gases emitted by oil-fired furnaces. Measurements were taken on the department's experimental oil furnace which had been especially made to facilitate the measurement of solid-formation.*

This study is included in the building research project "Control techniques for Installations" which has as its object a more detailed study of various types of equipment for measurement of solids in flue gases, and to illustrate problems connected with measurement methods, precision and testing. Measurement of solids pollutants from heating plants in Sweden to date have occurred only to a limited extent, primarily in connection with final inspection at delivery for the larger installations. Only in exceptional cases was the precision of obtained results determined.

The National Board of Environmental Protection in their publications from 1970 and 1971 proposed that solids emission be continuously measured — this to point out the importance of oil-fired heating installations from the point of view of air pollution. The reliability of measurement instruments is therefore a question of some concern. A number of different instruments and techniques to measure the solids concentration in smoke have come into use, but the problems that arise in connection with method, precision and testing have not been subjected to objective experimentation.

The basic prerequisite for better measurement must be improved knowledge on the usefulness in practical operations of various measuring instruments and on the comparability of different measurement results. The present study should be able to be linked with other work in this field and in this way create the necessary conditions for rational guidelines to be used when selecting instruments and measurement methods.

It is apparent from the studies made that further development procedures without sacrificing high precision is desirable.

Ten different measurement instruments have been tested under as identi-

cal operations as is possible. The selection represents the most commonly used instruments in Scandinavia, including a few which to date occur only as prototypes.

The instruments tested were:

- the BP apparatus
- The Ringstedt apparatus type 702
- the KTH apparatus I (prototype)
- the KTH apparatus II (prototype)
- the Svenska fläktfabriken apparatus (SF apparatus)
- the Ströhlein apparatus
- the Ångpanneföreningen apparatus I (ÅF I)
- the Ångpanneföreningen apparatus II (ÅF II)
- the AB Atomenergi apparatus (At)

Studies have included extensive tests with non-isokinetic sampling for particles, that is, the rate of gas flow in the probe was held both higher and then lower than the rate of flow at the measuring point. With the help of these tests, correction curves could be drawn that show the relationship between measured and actual concentration ( $c/c_{isok}$ ) as a function of velocity ( $v/v_{isok}$ ). FIG. 1. shows as an example the curve the BP apparatus.

In those cases where it was deemed worthwhile to study more closely certain characteristics of the apparatuses which could conceivably impair measurement precision or make testing more difficult, tests especially prepared for the method in question were carried out. As an example, results of an indi-

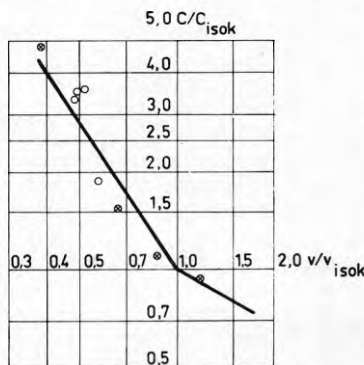


FIG. 1. The BP apparatus. Relationship between velocity conditions ( $v/v_{isok}$ ) and comparison of measured solids concentration ( $c$ ) and actual solids concentration ( $c_{isok}$ ).  
● = measurement series 1  
○ = measurement series 2

## National Swedish Building Research Summaries

R29:1975

Key words:

oil-fired furnaces, flue gas, measurement of solids, concentration of solids, measurement method, measurement equipment

Report R 29:1975 refers to research project 288:3 at the National Swedish Institute for Building Research. The project was financed by the Swedish Council for Building Research.

UDC 697.325:662.7  
662.96  
SfB (56)  
ISBN 91-540-2445-5

Summary of:

Larsson, Olov. *Stoftmängdsmätning i rök-gaser vid oljeeldning — laboratorieprov av apparater och mätmetoder.* Measurement of solids in flue gases from oil-fired furnaces—laboratory tests of apparatus and measurement methods. (Statens råd för byggnadsforskning) Stockholm. Report 29:75, 110 p., ill., 21 Sw. Cr.

The report is in Swedish with summaries in Swedish and English.

Distribution:

Svensk Byggtjänst  
Box 1403, S-111 84 Stockholm  
Sweden

vidual measurement of the Ringstedt apparatus with average value and standard deviation of five tests are shown in the TAB. 1.

It is seen in the table that distribution diminishes at higher velocities (see FIG. 2). The table also shows that average value varies with the flow of gas through the cyclone. The feasibility of using, as the manufacturer indicates, twice the isokinetic velocity can therefore be questioned (FIG. 3).

Estimations have been made of, among other things, the amount of time required to take measurements in place using the various types of apparatus. The time required for the test itself, not including drying and weighing of the solids-sample, can be divided into:

- 1) Setting up and putting into order apparatus and instruments (including selection of measuring probe, filter insertion etc.)
- 2) Starting up (including fitting checks, continuation, heating of filter etc.)
- 3) Measurement (including oxidation of charcoal in the Shell apparatus)
- 4) Change of filter (including cooling)
- 5) Change of measuring point, cleaning etc.
- 6) Disassembly

The time required for all measuring devices (except the Ringstedt apparatus which can be estimated to have a minimum testing period for five tests of around 4 1/2 hours compared to 8 1/2 for the others) is shown in FIG. 4. Test time is dependent upon local conditions etc., but normally can be regarded as falling within the shaded area.

test no.	average value gm/600sec	gas flow l/min	temp. of cyclone °C	standard deviation gm/600 sec	per cent
1	0,00587	61	140	0,00127	22
2	0,01441	88	160	0,00269	19
3	0,02845	128	180	0,00530	19
4	0,05149	178	220	0,00549	11
5	0,05615	268	245	0,00440	8

TAB. 1.

### STANDARD DEVIATION %

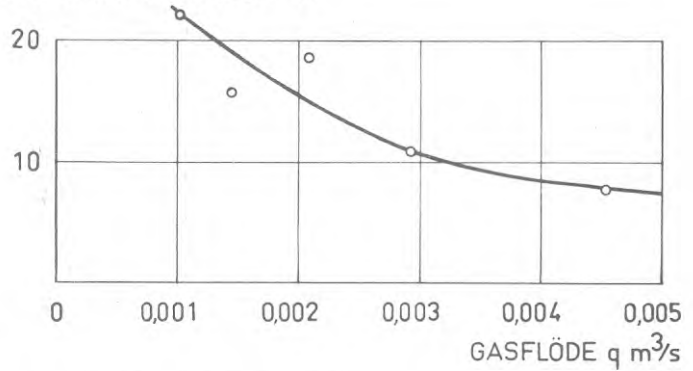


FIG. 2. Relative distribution of measurement results for separated particle quantities as a function of gas flow ( $q$ )

### AVERAGE VALUE g/600 s

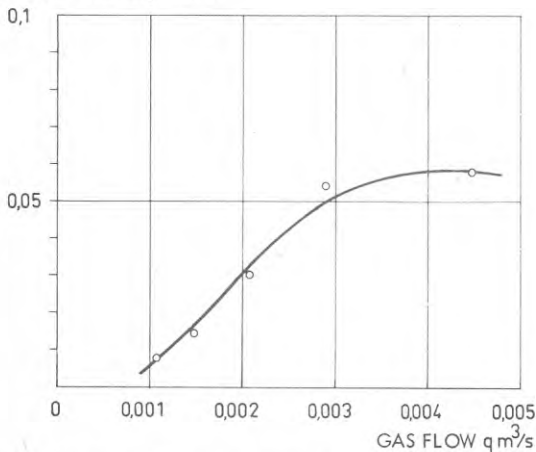


FIG. 3. Particle quantity separated during 600 seconds as a function of gas flow ( $q$ )

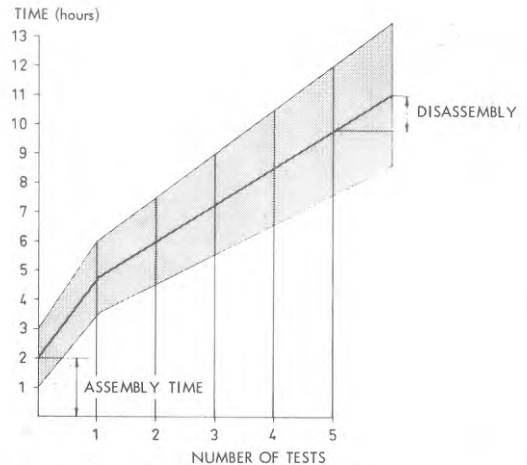


FIG. 4. Required time can normally be considered to fall within the shaded area.

R29:1975

STOFTMÄNGDSMÄTNING I RÖKGASER VID OLJEELDNING -  
LABORATORIEPROV AV APPARATER OCH MÄTMETODER

Olov Larsson

Denna rapport hänför sig till forskningsprojekt 288:3 vid Statens institut för byggnadsforskning. Projektet har finansierats med anslag från Statens råd för byggnadsforskning. Försäljningsintäkterna tillfaller fonden för byggnadsforskning.





## INNEHÅLL

1.	Undersökningens bakgrund.....	6
2.	Undersökningens uppläggning.....	7
3.	Något om stoftbildning vid förbränning av olja.....	7
4.	Normer för stoftutsläpp vid oljeeldning.....	10
5.	Kort sammanfattning av allmänna synpunkter och problem vid stoftmätning.....	11
5.1	Mätprinciper (allmänt).....	11
5.2	Sond, munstycke.....	12
5.3	Kondensation, korrosion, stoftavsättningar.....	13
5.4	Packning av filter.....	13
5.5	Torkning av filter, vägning.....	13
5.6	Mätplan, mätpunkter.....	13
5.7	Isokinetisk avsugning.....	14
5.8	Provtidens längd.....	16
5.9	Uttag i gaskanaler.....	17
5.10	Driftförhållanden vid stoftmängdsmätning.....	17
5.11	Skötselkrav (mätutrustning).....	17
6.	Laboratorieutrustning.....	17
7.	Eldningsolja för provningarna.....	19
8.	Förberedande provningar.....	20
8.1	Undersökning av stoftfördelning i avgaskanal.....	20
8.2	Undersökning av stoftfördelning i kanal efter cyklon.....	21
8.3	Undersökning av cyklons avskiljningsgrad och den absoluta stoftbildningen.....	24
8.4	Kalibrering av gasur.....	28
9.	Systematiska och slumpmässiga fel.....	28
10.	Vägningsfel.....	32
11.	Minsta provtid.....	32
12.	Beskrivning av provade stoftmängdsmätare och kombinationer av mätorgan.....	37
12.1	BP-apparat.....	37
12.2	Ringstedt-apparat typ 702.....	40
12.3	KTH-apparat I.....	41
12.4	KTH-apparat II.....	46

12.5	Svenska fläktfabrikens apparat (SF-apparat).....	49
12.6	Ströhlein-apparat.....	51
12.7	Shell-apparat.....	55
12.8	Ångpanneföreningens apparat I (ÅF I).....	55
12.9	Ångpanneföreningens apparat II (ÅF II).....	60
12.10	AB Atomenergis apparat (At).....	60
13.	Sammanställning av stoftmätningens anordningarnas utrustning.....	60
14.	Stoftmängdsmätningarnas principiella utförande vid undersökningen.....	62
15.	Provning av BP-apparat.....	62
15.1	Icke isokinetisk avsugning.....	62
15.2	Vägningsfel.....	65
16.	Provning av Ringstedt-apparat.....	68
16.1	Mätningar enligt anvisningar för apparaten.....	68
16.2	Undersökning av fuktansamling.....	72
16.3	Undersökning av stoftgenomsläpp.....	75
16.4	Återströmning av stoft.....	79
17.	Provning av KTH-apparat I (KTH I).....	81
17.1	Icke isokinetisk avsugning.....	81
18.	Provning av KTH-apparat II (KTH II).....	85
18.1	Icke isokinetisk avsugning.....	85
19.	Provning av SF-apparat.....	87
19.1	Icke isokinetisk avsugning.....	87
20.	Provning av Ströhlein-apparat.....	89
20.1	Icke isokinetisk avsugning.....	89
21.	Provning av Shell-apparat.....	90
21.1	Icke isokinetisk avsugning.....	90
21.2	Bestämning av spridningen vid mätning med Shell-apparat.....	94
22.	Provning av ÅF-apparat I (ÅF I).....	95
22.1	Icke isokinetisk avsugning.....	95
23.	Provning av ÅF-apparat II (ÅF II).....	97
23.1	Icke isokinetisk avsugning.....	97
24.	Provning av Atomenergis apparat (At).....	99
24.1	Icke isokinetisk avsugning.....	99

25.	Provning av enkel mätsond.....	102
26.	Bedömning av tidsåtgång vid fältmätningar.....	104
27.	Bedömning av praktisk lämplighet vid fältmätningar.....	106
28.	Litteratur.....	109

## 1.    UNDERSÖKNINGENS BAKGRUND OCH SYFTE

Föreliggande utredning ingår i byggforskningsprojektet "Kontrollteknik för installationer" och syftar till att närmare klarlägga vissa problem i samband med val av mätutrustning och mätmetodik vid stoftmängdsmätningar i oljeeldade panncentraler. Hittills har mätningar i Sverige av stoftemissioner endast förekommit i begränsad omfattning, huvudsakligen vid leveransbesiktningar av större värmecentraler samt vid fältundersökningar som utförts av olika institutioner och företag. Olika typer av mätutrustningar har härvid kommit till användning utan att problem i samband med mätmetodik och handhavande samt mätnoggrannhet annat än i undantagsfall närmare prövats och analyserats samt på ett objektivt sätt jämförts med varandra.

Statens naturvårdsverk har i en rad publikationer (1970:2, 1971:3 och 1971:8) lämnat förslag till fortgående kontroll och besiktningsverksamhet varigenom de oljeeldade anläggningarnas betydelse som emissionskälla i hög grad aktualiserats. Om de riktlinjer och bestämmelser som utfärdats om högsta tillåtna stoftmängd i rökgaserna i SBN-S68 och naturvårdsverkets publikation 1970:2 skall kunna följas är det nödvändigt att noggrant utprovade mätutrustningar finns tillgängliga och att de mätmetoder och den mätnoggrannhet som anges av tillsynsmyndighet kan tillämpas.

En utbyggd kontrollverksamhet torde inte kunna få det förtroende och den stadga som erfordras utan att ytterligare kunskap vunnits, dels om de olika stoftmängdsmätarnas användbarhet i praktisk drift och dels om jämförbarheten mellan olika mätresultat. Härför erfordras objektiv utprovning och en kritisk granskning av olika detaljer i befintliga mätutrustningar samt av den mätmetodik som kommer till användning.

Bestämmelser om maximalt tillåtna stoftutsläpp samt de riktlinjer och förslag till åtgärder som publicerats av myndigheterna är till väsentliga delar desamma som erfordras för en god driftekonomi och driftsäkerhet och medverkar följaktligen till begränsning av såväl energi- som underhållskostnaderna. Det ligger följaktligen i samhällets och anläggningsägarnas intresse att de krav som bör kunna ställas på panncentralernas driftförhållanden verkligen blir uppfyllda. Ökad insikt om och vidareutveckling av mät- och kontrolltekniken är en nödvändig förutsättning för bättre luftvård och god driftekonomi.

En allmänt tillgänglig standard för provningar i praktisk drift saknas fortfarande, vilket medför osäkerhet vid jämförelse mellan olika mätningar, till och med från samma anläggning.

Riktigheten i provtagningsmetoder och uppgivna mätvärden vid t ex leveransbesiktningar tilldrar sig redan nu juridiskt intresse.

Alltför stora krav ställs för närvarande på den enskilda provningsförrättaren. Mätresultaten blir helt beroende av dennes personliga kunskaper och erfarenheter. Vid mera allmänt genomförda fältmätningar under olika driftförhållanden blir dessa förhållanden ännu mer påtagliga. Trots stor omsorg och noggrannhet torde med nuvarande förutsättningar ingen garanti kunna ställas för att mätfehlen håller sig inom angivna toleransgränser eller att mätresultaten är representativa för anläggningen under normal drift.

## 2. UNDERSÖKNINGENS UPPLÄGGNING

Med ovanstående synpunkter som utgångspunkt och med tidigare undersökningar och litteraturstudier inom ämnesområdet som underlag har byggforskningen tagit initiativ till en närmare undersökning av olika emissionsmätare samt kombinationer av mätorgan av vilka några endast finns som prototyper.

Undersökningen har utförts i samarbete med KTH inom institutionen för uppvärmnings- och ventilationsteknik. Konsult och provningsledare har varit professor Folke Peterson. Mätningarbetet har utförts av ingenjör Björn Skoog och ingenjör Krister Olofsson, som också har lämnat förslag till moment 26.

## 3. NÅGOT OM STOFTBILDNING VID FÖRBRÄNNING AV OLJA

Vid förbränning av olja uppkommer sot av olika slag. Man skiljer på

- flamsot
- oljekoks
- cenosfärer (vid tyngre oljor)

Dessutom innehåller stoftet mineraliska produkter (aska, additivrester) se Peterson (1969) och (1970).

Flamsotet bildas genom krackning - polymerisation och kondensationsprocesser i förångningszonen mellan oljedroppen och flammen. Se FIG 3:1.

Oljekoks härrör från oljedroppar som mer eller mindre oförbränsa passerat flammen.

Cenosfärer utgörs av oljekoks som bildas runt droppens yta. Cenofärens storlek överensstämmer i stort sett med den ursprungliga droppens. (Se FIG 3:2, 3:3) Cenofärbildande droppar förekommer vid eldning med tunga oljor (återstodsolja). Cenofärbildningen avhänger i hög grad av oljans kemiska sammansättning. Vissa oljor uppvisar en våldsamt cenofärbildning i jämförelse med andra.

Sotpartiklarna agglomererar ofta till större partiklar av olika storlek, ibland till hela flagor. I en flamma kan antalet partiklar vara  $10^6 - 10^8$  partiklar/cm<sup>3</sup> men minskar till ca 1/10 genom agglomeration. Ett sotagglomerat av storleksordningen 2 mm i diameter kan innehålla ca  $10^{15}$  partiklar med en sammanlagd yta av 0,3 m<sup>2</sup>.

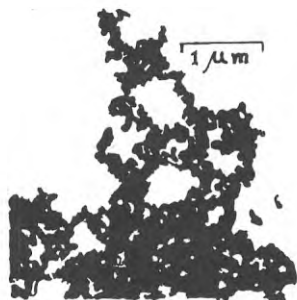


FIG 3.1 Flamsotspartiklar. Bilden är tagen med elektronmikroskåp och visar partiklarna vid ca 10 000 ggr förstoring. (Efter Peterson et al, 1973)

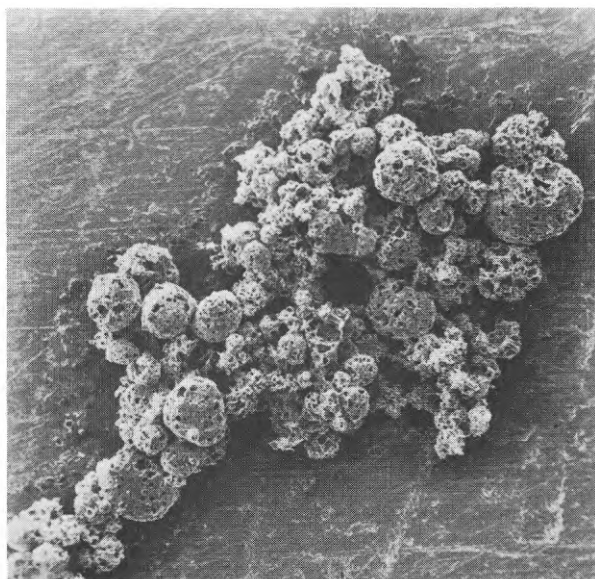


FIG 3.2 Cenosphärer från oljeeldning. Förstoring i elektronmikroskåp. (Källa Ulf Skoog)

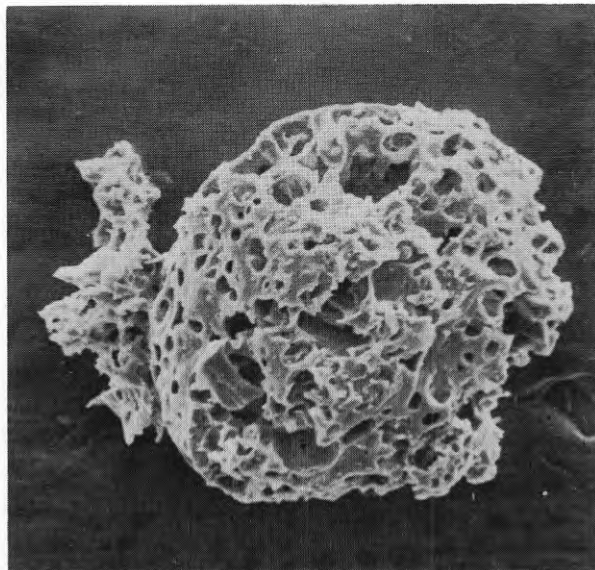


FIG 3.3 I förstoring upp till 50 000 ggr i elektronmikroskop framträder cenosfärens "svampartade" struktur samtidigt som skador i skalet blir väl synliga.  
(Efter F Peterson)

Mineraliska produkter härrör från oljans halt av metaller och består av metalloxider samt i vissa fall rester från tillsatsmedel (t ex dolomit).

Vid strömningen genom panna och rökkanaler nedkyls förbränningsgasen ofta under daggpunkten varvid stoftet tjänar som kondensationskärnor och blir kläbbigt och i hög grad korrosivt. Absorptionen av gasformiga ämnen som  $\text{SO}_2$  och  $\text{SO}_3$  sker på ytan av de små sotpartiklarna och står följaktligen i proportion till den totala ytan. Tillsammans med luftens syre och vatten bildas svavelsyrighet och svavelsyra.

Sammanfattningsvis kan sägas att stoftets karaktär och koncentration vid oljeeldning är beroende av en hel rad faktorer, t ex oljekvalitet, förstoftning, luftinblandning, pannbelastning, förbränningsrummets utformning, gaskanalernas dimensionering, täthet och isolering etc. Oljebrännarens skötsel är också en faktor av stor betydelse för stoftbildningen. Se Peterson och Skoog (1973).

#### 4. NORMER FÖR STOFTUTSLÄPP VID OLJEELDNING

Statens naturvårdsverk har i publikation 1971:8 angivit en referensram för luftvårdande riktlinjer då det gäller högsta stoftutsläpp vid tjockoljeeldade anläggningar, se tabell 4:1. (Svaveldioxidutsläppet regleras däremot i särskild förordning och lokal hälsovårdsförordning.)

TABELL 4:1 Referenser för högsta stoftutsläpp vid tjockoljeeldade anläggningar

Befintliga värmeanläggningar		Nya värmeanläggningar		
< 50 MW		> 50 MW	< 50 MW	> 50 MW
Äldre värmeanl. byggda före 1 juli 1968	Bef värmeanl byggda efter 1 juli 1968		Värmeanl som ingår i förprövn.pliktiga industrianläggningar	
			Förprövningsplikt enl miljöskyddslagen	
Riktlinjer ej fastställda	Planverkets publikation. Panncentraler SBN-S 68 gäller	Naturvårdsverkets publ 70:2 är vägledande	Planverkets publikation Panncentraler SBN-S 68, gäller	Naturvårdsverkets publikation Riktlinjer för emissionsbegränsande åtgärder vid luftförorenande anläggningar 1970:2 är vägledande
			Byggnadsnämnd handlägger luftvårdsfrågor vid prövning av byggnadslov	Länsstyrelse, naturvårdsverket eller koncessionsnämnden handlägger luftvårdsfrågor vid bedömning av den miljöfarliga verksamheten.

Normerna i SBN-S 68 gäller upp till 50 Gcal/h  $\approx$  58 MW

Riktlinjerna i 1970:2 avses vara uppfyllda före den 30 juni 1974



Emissionsgränsen enligt publikation 1970:2 är, för nya värmeanläggningar med en tillförd effekt mindre än 50 MW, totalt 1,5 g stoft/kg olja, 1,0 g oförbränt (sot)/kg olja samt sot-tal 3 enligt Bacharach, vilket är ett maximivärde som kortvarigt får överskridas med högst 2 enheter vid start och belastningsändring.

Emissionsgränsen för äldre värmeanläggningar är totalt 2,0 g stoft/kg olja och 1,5 g oförbränt (sot)/kg olja. Sottal 4, maxvärde som kortvarigt får överskridas vid start och belastningsändring.

För värmeanläggningar med tillförd effekt över 50 MW gäller de lägre emissionsgränserna för såväl nya som befintliga anläggningar. Rökashastigheten bör ej underskrida 8 m/s och rök-gastemperaturen bör vid aktuella förbränningsförhållanden ej underskrida syradaggpunkten. Den i publikation 1970:2 angivna maximala stofthalten vid sotning kommer enligt vad som senare meddelats att kunna mildras i sin praktiska tillämpning. I SBN-S 68 anges minsta CO<sub>2</sub> halt vid mätning av stoftemission enligt tabell 4:2.

TABELL 4:2 Minsta koldioxidhalt vid mätning av stoftemission.

Maximal kapacitet per brännare kg/h	CO <sub>2</sub> -halt	
	Vid högsta belastning	Vid lägsta godtagbara belastning
< 5	9%	-
5 - 20	11%	-
21 - 50	11%	9%
51 - 150	12%	10%
> 150	13%	11%

Högsta belastning avser belastningen vid maximal panneffekt. Med lägsta belastning avses lägst en tredjedel av maximal effekt.

## 5. KORT SAMMANFATTNING AV ALLMÄNNA SYNPUNKTER OCH PROBLEM VID STOFTMÄNGDSMÄTNING

Stoftfördelningen i en gaskanal är ofta annorlunda än fördelningen av gashastighet och gastemperatur. Förhållandena vid mätning av stoftkoncentrationen blir som regel mer komplicerade än de vid mätning av t ex CO<sub>2</sub>-halt eller gastemperatur. Se Tekniska meddelanden nr 15 KTH 1973:3.

### 5.1 Mätprinciper

Vid stoftmängdsmätning i rökgaser sker uttaget från gaskanalen genom avsugning av för den totala gasströmmen så representativa delgasströmmar som möjligt. Avsugningen sker genom en provsond. Innehållet av fasta partiklar i gasen avskiljs vanligen

genom mekanisk eller dynamisk filtrering för vägning (gravimetrisk metod) eller för kemisk bestämning av kolmängden i det uppsamlade stoftet (kemisk metod). I det senare fallet erhålles endast halten oförbränt kol medan askinnehållet inte ingår. Resultatet av mätningen uttrycks som en stofthalt ( $\text{mg/n m}^3$ ) eller som en stoftbildning ( $\text{g/kg bränsle}$ ).

Den avsugna delgasströmmens storlek bestäms genom flödes- eller volymmätningar, vanligen med hjälp av gasur för den totalt avsugna gasmängden samt rotameter för övervakning av flödet. För att undvika kondensation i mätanordningarna avskiljs ofta vattenöverskottet i gasen i en gaskylare, kompletterad med filter eller torkare placerade före gasmätare och pump. Avsugningen sker vanligen med en vakuumpump.

Eldningsoljans analysdata bör vara kända. Mätning av tillförd oljemängd per tidsenhet (pannbelastning) samt oljans förvärmningstemperatur skall göras.

## 5.2 Sond, munstycke

Det förekommer tre olika huvudtyper av sonder: den enkla provtagningssonden, hastighetssonden och nolltryckssonden.

Den enkla provtagningssonden saknar anordning för hastighetsbestämning av gasströmmen som då måste bestämmas separat med pitotrör eller Prandtl-rör. Hastighetssonden är utrustad med pitotrör för mätning av totaltrycket och sidouttag för mätning av det statiska trycket. Av tryckdifferensen beräknas gasens hastighet vid mätstället.

Med nolltryckssonden jämförs de statiska trycken i sond och kanal. Då samma tryck råder vid de båda mätställena (tryckdifferensen = 0) antas avsugningshastigheten vara lika i sondmynning och gasström (isokinetisk avsugning). Dennis et al (1957) anger att nolltryckssonden inte säkerställer ett isokinetiskt prov om inte sonden är kalibrerad under typiska arbetsvillkor. Trycket på utsidan måste mätas där trycket är lägre än trycket i huvudluftströmmen för att kompensera för oundvikliga tryckförluster i det inre av sonden.

Mätsondens utförande påverkar mätnoggrannheten på olika sätt. En tvär sondrand medför t ex ökning av uppmätt stofthalt på grund av instudsande partiklar. Sondranden bör helst vara skarp, men är då också mycket känslig för skador, vilket medför praktiska problem. Även en relativt liten vinkel utåt av sondkanten (ca  $15^\circ$ ) ger minskad tendens till instudsning.

Sonden bör helst vara tunnväggig och dessutom så lång att sondrörets inverkan på strömningen kan anses försumbar. Med ledning av en försöksserie som redovisats av Peterson (1968) föreslås att avståndet från sondmynningen (munstycksintaget) till centrum av sondröret på den vinkelräta delen bör vara minst 2,5 ggr sondens diameter.

### 5.3 Kondensation, korrosion, stoftavsättningar

Alla ytor som berörs av förbränningsgaser bör vara korrosions-skyddade. Filtermaterialet för uppsamling av stoft måste vara resistent mot påverkan av  $\text{SO}_2$  och  $\text{SO}_3$  och måste dessutom vara okänslig för aktuella rökgastemperaturer. Temperaturen på filter eller annan stoftavskiljande anordning måste under provning alltid hållas högre än daggpunkten för gasen (vid oljeeldning 160-180°C).

Kondensation med åtföljande stoftavsättningar måste undvikas före stoftavskiljare. Temperaturen på sond, sondrör och eventuella rörförbindelser skall därför också hållas högre än daggpunkten för rökgasen.

### 5.4 Packning av filter

Då kvartsull eller liknande fibermaterial kommer till användning i filter måste man vid packning tillse att ullen blir jämnt fördelad. Hålrum kan innebära att stoft passerar genom filtret. Viktförlust kan också t ex uppstå om ullfibrer krossas vid packningen. Dessa fibrer kan följa med gasströmmen vid avsugningen vilket medför en viktnedgång hos filtret.

### 5.5 Torkning av filter, vägning

Syrakondensation i filtermaterialet eller i det uppsamlade stoftet kan vara betydande även vid temperaturer över kondensationspunkten. Uppgifter från tidigare prov har visat att viktsandelen svavelsyra och sulfater kan uppgå till 50% och däröver. Filtret måste följaktligen torkas innan det vägs efter stoftupptagningen. Temperaturen vid torkningen får inte vara högre än 300°C enär man då riskerar partiell förbränning av stoftet. Efter torkningen skall filtret före vägningen svalna i exickator till omgivningens temperatur. Svavelsyremängden i filtret kan bestämmas genom kemisk analys. Metoderna härför är emellertid komplicerade och innehåller dessutom vissa osäkerhetsfaktorer.

Under handhavandet måste filtret behandlas med yttersta varsamhet. Vägningen skall utföras med laboratorievåg och under stränga noggrannhetskrav.

### 5.6 Mätplan, mätpunkter

Gasprovet uttas i ett mätplan vinkelrätt mot gasströmmen och på ett visst minsta avstånd från böj, fläkt, stoftavskiljare, areaförändringar etc. Se Peterson (1968 och 1970) samt statens naturvårdsverk publ (1971:8). Så vitt möjligt bör mätningarna utföras i en vertikal del av kanalen för att begränsa mätfelen genom ojämn stoftfördelning. För att den uppmätta stofthalten skall bli representativ erfordras som regel att avsugning sker från ett flertal punkter i mätplanet vars lägen och antal bör anpassas efter kanalareans storlek och utformning. För att nedbringa provtagningstiden och kostnaderna försöker man välja så få mätpunkter som möjligt. Krav på mätnoggrannhet och ekonomisk anpassning blir avgörande.

Mätning i punkter nära kanalväggen och inom gränsskiktet för strömningen bör undvikas enär provsonden i sin helhet då utgör en kraftigare störningskälla än vad som eljest är fallet. Gränsskiktets tjocklek varierar med gashastigheten, kanalytans råhet etc. Peterson (1971) har utvecklat en noggrann metod för bestämning av mätpunkternas lägen som principiellt avviker från den vanliga metoden med indelning av kanaltvärsnittet i ett antal lika stora ytor.

### 5.7 Isokinetisk avsugning

Normalt används vid stoftmängdsmätning s k isokinetisk avsugning, dvs gashastigheten i sonden hålls lika stor som gashastigheten i mätpunkten. En för hög avsugningshastighet i sonden medför en för låg partikelhalt. Vid en för låg hastighet i sonden blir förhållandet det motsatta.

Den isokinetiska avsugningen innebär också att sondmynnningens riktning inte bör avvika från gasströmmens riktning. Vinkelfel medför vanligen fel i den uppmätta stoftkoncentrationen.

Då gasens hastighet i munstycket är lägre än hastigheten i kanalen avleds delar av gasströmmen varvid de lättare partiklarna följer med den avledda strömmen. Tyngre partiklar fortsätter däremot i kraft av sin tröghet in i sonden och resultatet blir en hög andel av tyngre partiklar vilket resulterar i att provvikten blir felaktig i överkant.

Omvänt, om hastigheten i sondmynningen är högre än gasströmmens hastighet kommer konvergerande gasströmmar att utvecklas i sondmynningen och en för stor mängd lättare partiklar går in i sonden. Provet visar då en överdrivet hög koncentration av lättare partiklar och en provvikt som är fel i underkant.

För att erhålla en korrekt provtagning erfordras egentligen en högre hastighet i sonden än i kanalen för att därigenom eliminera följderna av det stagnationsområde som utbildas framför sonden. En sådan hastighetsökning kräver emellertid kalibrering av varje sondtyp för olika strömningsförhållanden. Se Walter (1957), Badzioch (1960), Bohnet (1967) och Rüping (1968).

Fahrenbach (1931) visar att under förutsättning av ett väl avvägt antal mätpunkter och noggrann anpassning av hastigheten i sonden till den vid mätpunkten förhärskande lufthastigheten på varje ställe under en tillräckligt lång provningstid är också grundbetingelserna uppfyllda för ett acceptabelt resultat av stoftmängdsmätningen.

Peterson (1974) anger att vid mätning av tungt stoft (som ej följer strömlinjerna) erhålls en stoftkoncentration (C) bestämd av:

$$C = C_0 \left( \frac{v}{v_0} \right) \quad (1)$$

där  $C_0$  är koncentrationen vid isokinetisk avsugning (vid hastigheten  $v_0$ ).

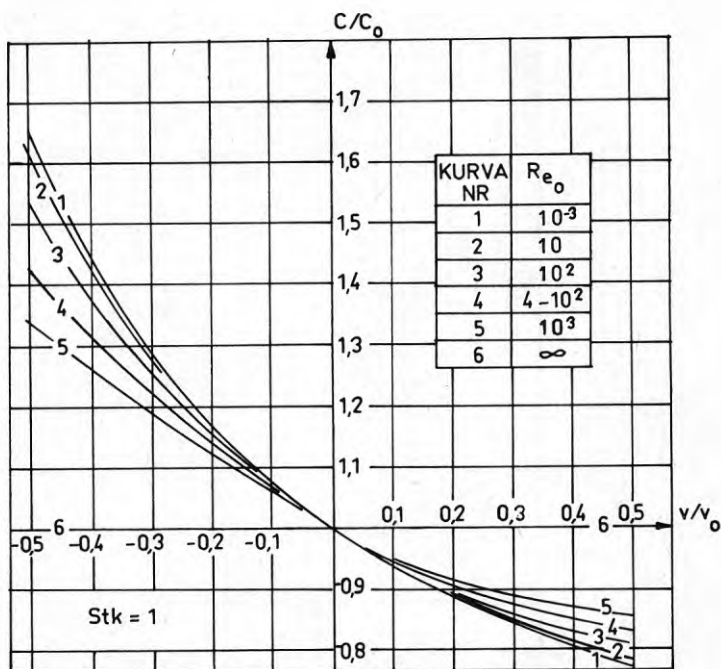


FIG 5.7 Räkнемässigt bestämda värden på  $C/C_0$  vid under- respektive överisokinetisk avsgning där inflytandet av  $Re_0$  visas vid konstant Stokes tal. Kurvorna överensstämmer väl med experimentellt funna värden. (Ur Tekniska meddelanden KTH nr 38-48, 1974:4, Smolik et al)

Vidare anges att i realiteten kommer stoftkoncentrationen att få samband som ligger mellan det i ovanstående ekvation angivna och det värde som bestäms av:

$$C = \text{konst} = C_0 \left(\frac{v}{v_0}\right)^0 \quad (2)$$

I allmänhet kan därför stoftkoncentrationen (approximativt) beskrivas av:

$$C = C_0 \left(\frac{v}{v_0}\right)^{-n} \quad (3)$$

där  $0 \leq n \leq 1$

Smolek et al (1974) visar att  $\underline{n}$  är en funktion av Stokes tal (Stk) och Reynolds tal (Re) och har efter experimentella försök bestämt värdena för  $\underline{n}$  vid över- respektive underisokinetisk avsugning samt angivit standardavvikelsen mellan uppmätta och beräknade värden. I linjärt diagram blir ekvationen (3) en böjd linje, se FIG 5.7, medan man i logaritmiskt diagram, se avsnitt 15 - 25, får rätta linjer med olika lutning för  $v > v_0$  och  $v < v_0$ .

Smolek anger hur man räkнемässigt har bestämt värden på  $\frac{C}{C_0}$  vid olika Stk och Re och visar bland annat inflytandet av Re vid konstant Stokes tal, FIG 5.7. Kurvorna visar god överensstämmelse med experimentellt funna värden.

### 5.8 Provtidens längd

Mätnoggrannheten är i hög grad beroende av provtidens längd. Vid utvärdering av stofthalten genom vägning uppstår ett visst mätfel som procentuellt minskar med ökad gasvolym och därmed stoftmängd vid vägningen. Varje delprov omfattar vid gravimetrisk metod som regel en gasvolym av storleksordningen 500 l, vilken innebär att provtagningstiden normalt uppgår till 10 - 30 minuter, men tiden är givetvis beroende av vilken avsugningshastighet som kan hållas i mätpunkten. Erfarenhetsmässigt bör vid gravimetrisk mätning varje delgasprov inte understiga 10 minuter i varje punkt. Vid kemisk metod måste gasvolymen begränsas varför mättiden för varje delprov normalt blir kortare. Detta bör emellertid kompenseras med ett ökat antal prov.

Förutom provtidens längd har antalet mätpunkter betydelse för mätnoggrannheten. För att minska den totala mättiden kan delprov med samma filter tas från flera mätpunkter under kortare tid. Beräkning av minsta provtid vid olika förutsättningar behandlas närmare i avsnitt 8.7.

## 5.9 Uttag i gaskanaler

Tidigare fältundersökningar har visat att för mätningar erforderliga uttag på gaskanalen i nära nog samtliga fall saknas. Om uttag finns anordnade är de ofta felaktigt dimensionerade och utformade och sällan placerade där strömningsförhållandena är de lämpligaste från mätsynpunkt. Uttag i gaskanal för en eller flera mätpunkter skall helst vara försedda med hylsa och utförd på ett sådant sätt att mätsonden gastätt kan fastlåsas i önskat läge. Då övertryck kan befaras bör någon form av gassluss anordnas i mätuttaget.

### 5.10 Driftförhållanden vid stoftmängdsmätning

Såväl luftöverskottet i rökgaserna ( $\text{CO}_2$ -halten) som tillförd oljemängd (pannbelastningen) påverkar enligt erfarenhet stoftutsläppets storlek. Peterson et al (1973) redovisar resultaten från stoftmängdsmätningar vid medelstora och stora centraler. Det framgår härav att stoftbildningen vanligen uppvisar det lägsta värdet vid ett luftöverskott av ca 40% motsvarande en  $\text{CO}_2$ -halt av ca 11%, med en successiv ökning av stoftbildningen vid såväl högre som lägre  $\text{CO}_2$ -halter. Vidare framgår det att man genom att minska pannbelastningen får en minskad stoftbildning. Enligt myndigheternas förslag skall mätningar utföras vid en last som ligger mellan 40 och 80% av maximal kontinuerlig belastning. Varje mätning måste också utföras vid så konstant belastning som möjligt, dvs vid "konstant" oljeflöde, oljetemperatur och  $\text{CO}_2$ -halt. Speciellt vid relativt låga pannbelastningar och därmed låga gashastigheter i kanal-tvärsnittet sker partikelutfällning i panna och gaskanaler. Om pannbelastningen därefter ökas kan det ackumulerade stoftet lätt ryckas med och temporärt orsaka mycket stora stoftutsläpp.

Peterson et al (1973) påvisar att oljekvalitetens inverkan på stoftbildningen är betydligt större än vad som tidigare varit känt.

### 5.11 Skötselkrav (mätutrustning)

För att hålla mätningskostnaderna inom rimliga gränser fordras att utrustningen i sin helhet är lättskött och robust samt att mätmetodiken, inklusive handhavande, rengöring och utvärdering av mätvärden inte är alltför tidskrävande.

## 6. LABORATORIEUTRUSTNING

För provningarna har valts en experimentpanna, se FIG 6.1, uppställd inom KTH vid institutionen för uppvärmnings- och ventilationsteknik. Pannan är speciellt konstruerad för mätning av stoftbildning från olja och har tidigare använts för detta ändamål. Se Peterson et al (1973). Den kan drivas oberoende av krav på värmeproduktion och vissa andra störningar som knappast kan undvikas i en normal värmecentral.

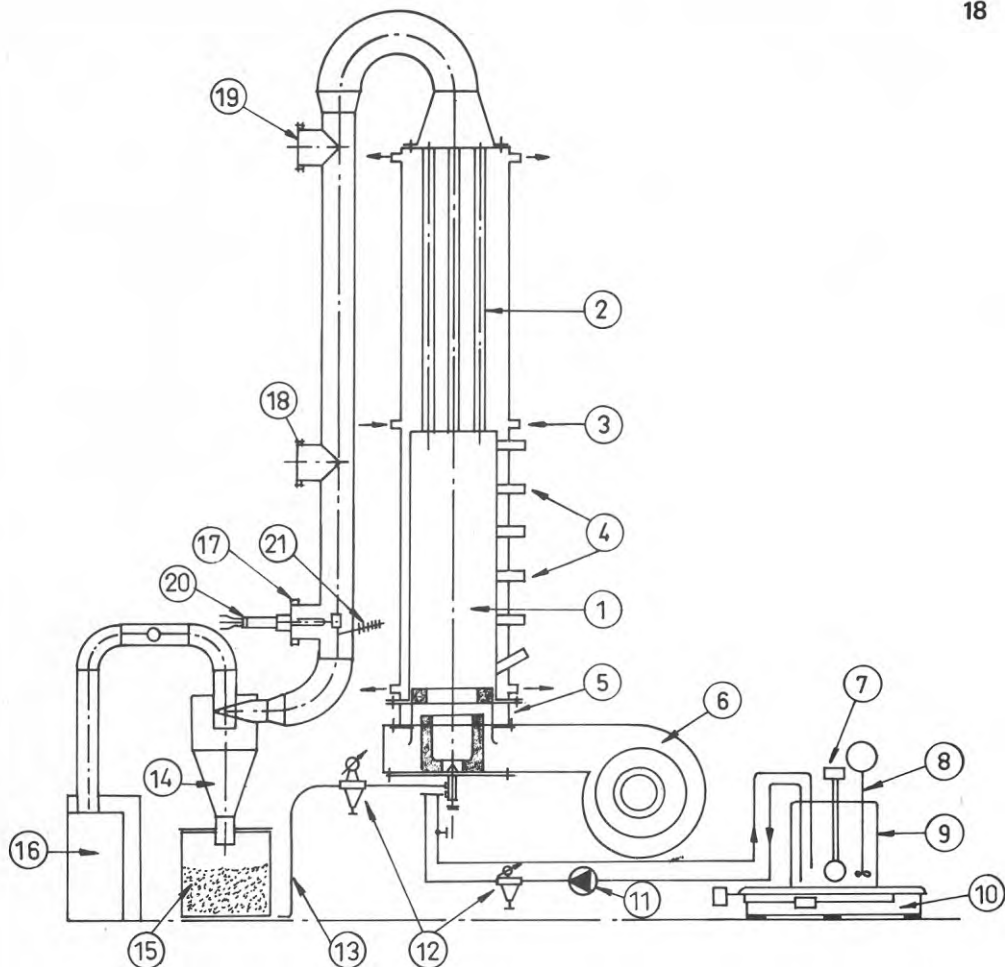


FIG 6.1 Laboratoriepanna som används vid försöken. Efter Peterson et al (1973).

- |   |                       |
|---|-----------------------|
| 1. Förbränningsrum<br>(höjd 1235, diam 400 mm)          | 11. Pump              |
| 2. Konvektionsdel<br>(7 st tuber, höjd 1300 mm)         | 12. Reglerventiler    |
| 3. Kylvattentillförsel                                  | 13. Tryckluftsledning |
| 4. Hål för okulärbesiktning<br>(med gastätt skyddsglas) | 14. Cyklon            |
| 5. Brännare   | 15. Stoftbehållare    |
| 6. Brännarfläkt   | 16. Gaskanal          |
| 7. Värmare  | 17. Mätuttag I        |
| 8. Omrörare   | 18. Mätuttag II       |
| 9. Oljecistern  | 19. Mätuttag III      |
| 10. Våg   | 20. Mätsond           |
|   | 21. Termometer        |



Pannan består av en dubbelmantlad stående cylinder vars nedre del bildar förbränningsrummet och den övre ett konvektionsparti. Pannan är försedd med inspektionsfönster. Den aktuella belastningen motsvarar ca 6 kg olja/h.

Oljebrännaren, som är monterad i botten av pannan, utgörs av en speciell typ av pressluftsbrännare, s k Y-brännare, som enligt tidigare utförda prov visat sig relativt okänslig för smärre ofrånkomliga variationer i oljans viskositet. Till brännaren hör fläkt, tryckluftsanläggning för primärluften, regleringsventil och sedvanliga övervakningsorgan.

Oljedistributionen till brännaren sker från en utjämningscistern med termostatregerad doppvärmare. Cisternen är placerad på en våg för utvägning av oljeförbrukningen. Till oljedistributionen hör en pump och en ventil för reglering av arbetsstrycket. Genom en omsorgsfull flödesinställning kan förhållandet primärluftflöde/oljeflöde hållas inom mycket snäva toleranser.

Förbränningsgaserna förs från toppen av pannan genom en vertikal kanal ned till en cyklon med hög avskiljningsgrad även för små partiklar. För erforderlig gasströmning betjänas anläggningen av en rökgasfläkt.

På gaskanalen finns tre olika mätställen anordnade. Det övre och det nedre mätstället har använts för undersökning av störande inverkan på stoftfördelningen på grund av gasströmmens avböjning.

#### 7. ELDNINGSSOLJA FÖR PROVNINGARNA

För provningarna har använts en lågsvavlig eldningsolja (3 LS) som utvaldes bland de oljor som har största marknadsandelen och vars stoftbildande egenskaper enligt erfarenhet från tidigare provningar kan betraktas som fallande nära medelvärdet för oljor (EO.3) på svenska marknaden.

Hela den kvantitet olja som kommit till användning under provningarna levererades på en gång (fat om ca 200 l) vid provningarnas början.

Typiska analysdata för levererad produkt framgår av nedanstående sammanställning:

Densitet vid 20°C	kg/m <sup>3</sup>	930
Viskositet vid 50°C	c St	30
Lägsta flytttemperatur	°C	-10
Lägsta lagrings- och hanteringstemperatur	°C	20
Flampunkt	°C	85
Kokstal enl Ramsbottom	vikt-%	4,00
Askhalt	"	0,01
Vatten och sediment	vol-%	0,06
Svavelhalt	vikt-%	0,70
Värmevärde kalorimetriskt	{ kcal/kg	10 500
	{ MWs/kg	44,0
Värmevärde effektivt	{ kcal/kg	9 900
	{ MWs/kg	41,5

## 8. FÖRBEREDANDE PROVNINGAR

### 8.1 Undersökning av stoftfördelning i avgaskanal

Stoftfördelningen i avgaskanalen har undersökts vid tre mätplan (I, II och III, FIG 6:1).

Proven genomfördes under förhållanden enligt tabell 8.1:1. Som framgår av tabellen togs två prov i vardera mätplanet utom i mätplan II där tre prov genomfördes. I tabell 8.1:2 anges resultatet av provningarna, som utfördes vid isokinetisk avsugning.

TABELL 8.1:1 Driftsdata vid förberedande prov i olika mätplan.

Prov nr	Mätplan	CO <sub>2</sub> % <sup>2</sup>	Olje-flöde kg/h	Olje-temp °C	Pann-temp °C	Förbrännings-gastemp i mätplanet °C	Rums-temp °C	Olje-tryck kp/cm <sup>2</sup>
1	I	11,0	6,0	54	87	284	21	1,30
2	I	11,0	6,0	54	90	286	21	1,30
3	II	11,0	6,0	54	90	360	21	1,30
4	II	11,0	6,0	54	90	360	21	1,30
5	II	11,0	6,0	54	90	360	21	1,30
6	III	11,0	6,0	54	79	416	21	1,30
7	III	11,0	6,0	54	78	416	21	1,30

TABELL 8.1:2 Stoftfördelningen i olika mätplan vid förberedande prov.

Prov nr	Mätplan	Stofthalt mg/m <sup>3</sup>	Medelvärde mg/m <sup>3</sup>	Variationsbredd mg/m <sup>3</sup>
1	I	198	226	56
2	I	254		
3	II	235	235	65
4	II	255		
5	II	216		
6	III	350	225	250
7	III	100		

Proven uttogs i olika punkter nära mittpunkten varför differenserna i mätvärden inom varje mätplan till stor del beror på den aktuella stoftfördelningen. I mätplan III uppvisar fördelningen tydligen stora ojämnheter, se variationsbredden, medan man i mätplan I och II får bättre värden.

Av de två mätplaner (I och II) valdes I för de följande proven, bl a med hänsyn till bekvämlighet och uppträdande gastemperatur (ca 280°C) vid nominellt oljeflöde (6,0 kg/h).

Den erhållna temperaturen är betryggande med hänsyn till risk för kondens i sond m m.

Vid aktuella undersökningar kan avsugning ske från endast en punkt i mätplanet.

## 8.2 Undersökning av stoftfördelning i kanal efter cyklonen

Stoftfördelningen i kanalen efter cyklonen har undersökts. Avsikten var att konstatera eventuella oregelbundenheter i stoftfördelningen över ytan.

Proven utfördes med en enkel sond, se FIG 8.2:1 tillsammans med filter av sintrat silver. Uppkopplingen framgår av FIG 8.2:2. Proven utfördes i 5 punkter i tvärsnittet, se FIG 8.2:3.

Driftsdata framgår av tabell 8.2:1.

TABELL 8.2:1.

CO <sub>2</sub> -halt	10-11% (se fig 8.2:4)
Oljeflöde	6,0 kg/h
Oljetryck	1,2 kp/cm <sup>2</sup>
Pannvattentemp	87°C

Mätdata erhöles enligt tabell 8.2:2

Mätpunkt	Stofthalt g/m <sup>3</sup> NTP	
1	-	0,080
2	0,055	0,065
3	0,041	0,057
4	-	0,051
5	-	0,058

Medelvärde för mätserien är 0,063 g/m<sup>3</sup> torr gas (NTP)<sub>3</sub>. Felet i det enskilda mätvärdet kan uppskattas till 0,007 g/m<sup>3</sup>. Med en total stofthalt av 100 mg/m<sup>3</sup> innebär således felet i en enstaka mätning en avvikelse med ca 1%, vilket torde vara helt tillfredsställande för mätningarna i fråga.

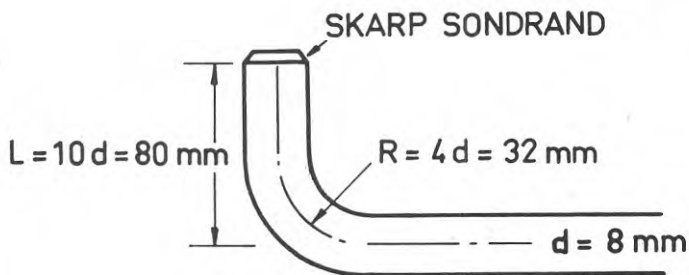


FIG 8.2:1 Enkel mätsond använd vid undersökning av stoftfördelning i gaskanal.

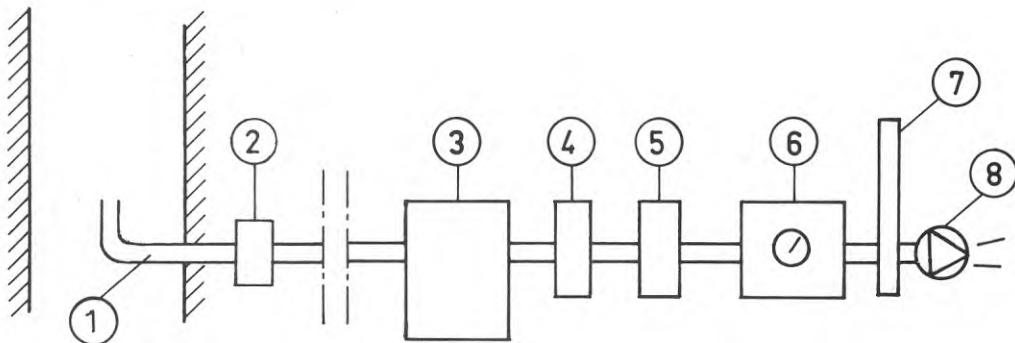


FIG 8.2:2 Uppkopplingen vid undersökning av stoftfördelning i gaskanal.

- |                   |              |
|-------------------|--------------|
| 1. Sond           | 5. Torkare   |
| 2. Filter         | 6. Gasur     |
| 3. Utjämningskärl | 7. Rotameter |
| 4. Kylare         | 8. Pump      |

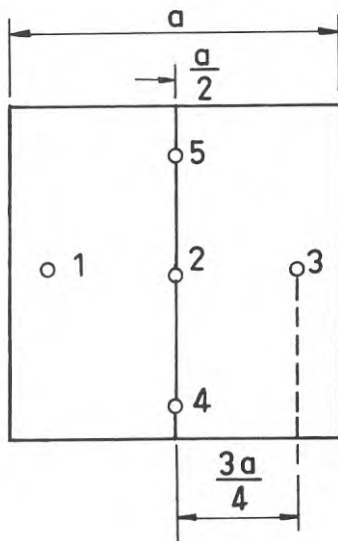


FIG 8.2:3 Mätpunkternas placering vid mätning av stoftfördelning i gaskanal.

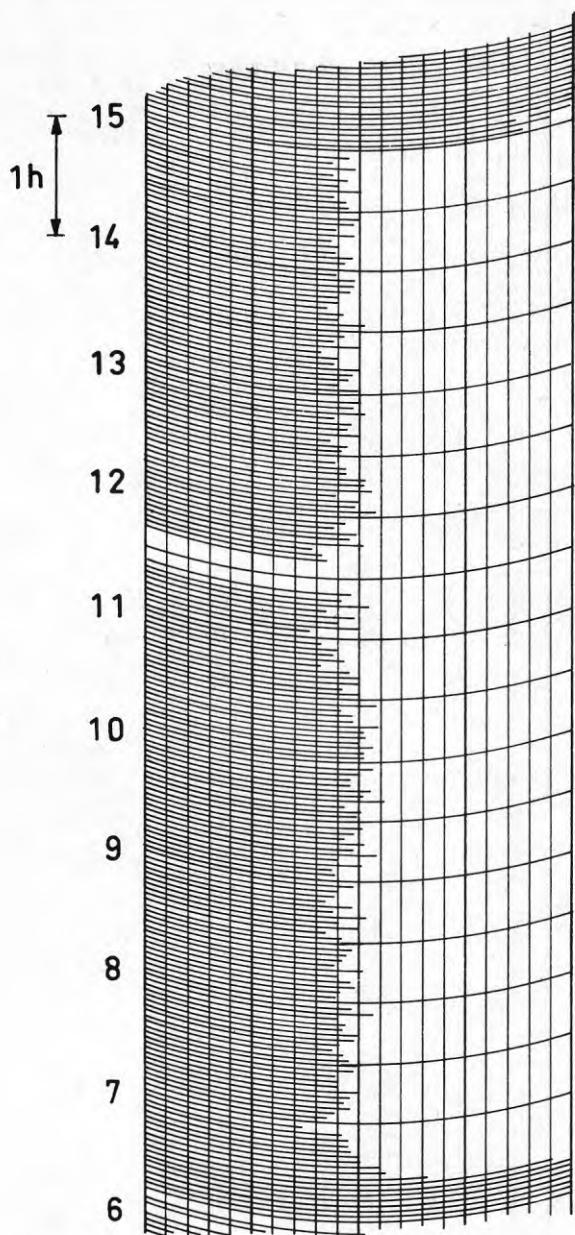


FIG 8.2:4 Mono-apparatens registrering av CO<sub>2</sub>-halten under provningen.

### 8.3 Undersökning av cyklonens avskiljningsgrad och den absoluta stoftbildningen

Stoftbildningen vid provpannan kan bestämmas på flera sätt. Normalt har mätning av stofthalten vid mätpunkt I skett med ett av de undersökta instrumenten och stoftbildningen beräknats med hjälp av den uppmätta CO<sub>2</sub>-halten. Denna metod kan dock ge ett felaktigt resultat eftersom man vid mätningen får med systematiska fel beroende på sondutförande, filters avskiljningsgrad vid sonder med filter, eller cyklonavskiljningsgraden vid cyklonapparat.

Vidare uppträder systematiska fel på grund av att sonden delvis fyller kanalvärsnittet samt slumpmässiga fel på grund av att sondaerna - trots alla försiktighetsmått - kan ha varit snett riktade visavi gasströmmen, etc.

Slutligen kan variationer i stoftbildningen ha förekommit, oljan kan nämligen uppvisa vissa variationer bl a till följd av åldring samt som följd av smärre olikheter i driftsdata.

En metod att för varje fall bestämma absolutvärdet av stoftmängden ligger i att mäta den i cyklonen urskilda stoftmängden samt stofthalten efter cyklonen. I avsnitt 8.2 visades att denna stofthalt var relativt jämn över hela kanalvärsnittet och variationer i mätsondens placering spelar därför en mindre roll efter cyklonen än före. Vidare har stoftet som passerat cyklonen en mindre medelstorlek än det som strömmar vid mätpunkt I. Härigenom blir mätfelet vid eventuell snedställning av sonden helt obetydliga.

Mätningen av den totala stofthalten kan därför ske genom att det i cyklonen urskilda stoftet och det efter cyklonen uppmätta stoftflödet bestämmas. I det följande redovisas en serie mätningar syftande till en bestämning av den totala stoftbildningen. Tabell 8.3:1 ger härvid de under mätserien använda driftvärdena.

TABELL 8.3:1

Prov nr		1 - 7
Oljetryck	kp/cm <sup>2</sup>	1,75
Oljeflöde	kg/h	6,0
Oljetemperatur	°C	75
CO <sub>2</sub> -halt	%	11,0
Sottal enl Bacharach		3
Gastemperatur	°C	365-366
Pannvattentemp	°C	79- 80
Rumstemperatur	°C	23

TABELL 8.3:2

Datum	Olje- mängd kg/h	Stoft före cyklon, ej korr g/kg olja	v/v <sub>0</sub>	Korr	Stoft för cyklon, korr g/kg olja	Stoft efter cyklon, mätt g/kg olja	Stoft i cyklon g/kg olja	Stoft i + efter cyklon g/kg olja	Avvik- else %	Anm	
1974											
9/7	6	0,515	0,89	1,15	0,448	0,124	0,283	0,537	20	Korr eventuellt för stor eller felmätning av stoft i cyklonen.	
9/7						0,296					
9/7						0,278					
9/7						0,260					
9/7						0,317					
10/7	6	0,570 0,584	0,85	1,18	0,487	0,188	0,297	0,498	+ 2		
10/7						0,215					
11/7	6	0,405 0,417 0,433 0,554	1,20 1,46 1,00 1,00	0,55 0,72 1,00 1,00	0,476 0,580 0,433 0,554	0,209	0,291	0,500	- 2		
11/7											0,510
11/7											
11/7											
1/8	6	0,510	0,99	1,02	0,500	0,189	0,298	0,482	- 3,5		
1/8						0,179					

I tabell 8.3:2 redovisas försöksresultaten i detalj. Stofthalterna före cyklonen har ej alltid uppmätts vid isokinetisk avsugning. Här har de funna värdena i sådana fall korriigerats för icke isokinetisk provtagning gällande för BP-apparaten, vilken använts genomgående för bestämningen av stofthalten före cyklonen. Stoftet efter cyklonen har uppmätts med den i avsnitt 8.2 redovisade förenklade mätmetoden, och stoftet i cyklonen har uppmätts genom vägning och omräkning av stoftmängden till stoftmängd per kg olja.

I tabell 8.3:3 sammanfattas de uppmätta värdena i fyra grupper motsvarande mätningar under olika dagar.

TABELL 8.3:3

Grupp	Stoft före cyklon g/kg	Stoft efter cyklon g/kg	Stoft i cyklon g/kg	Totalt g/kg
I	0,45	0,25	0,28	0,54 (1,20)
II	0,49	0,20	0,30	0,50 (1,02)
III	0,51	0,21	0,29	0,50 (0,98)
IV	0,50	0,18	0,30	0,48 (0,97)
Samman- taget	0,49	0,22	0,29	0,51 (1,04)

(Värden inom parentes anger kvoten mellan den totala stoftbildningen och den vid mätpunkt I uppmätta.)

Den totala mängden har därvid beräknats som stoft i cyklonen + stoft efter cyklonen.

Ett av mätvärdena (I) är väsentligt sämre än de övriga och man kan förmoda att någon tillfällighet spelar in. Trots detta blir den genomsnittliga differensen mellan total stoftmängd och den vid mätpunkt I uppmätta stoftbildningen mycket liten. Avvikelsen uppgår således enligt tabellvärdena endast till ca 4%.

Den totalt bildade stoftmängden kan med ledning av denna provserie - vilken under övriga prov kompletterats med mätningar på såväl stoft i cyklon som stoft efter cyklonen - fastställas till 0,50 g/kg olja. Värdet har då satts till medelvärdet mellan det enligt ovan nämnda totala och det med BP-apparaten enligt ovanstående provserie bestämda värdet.



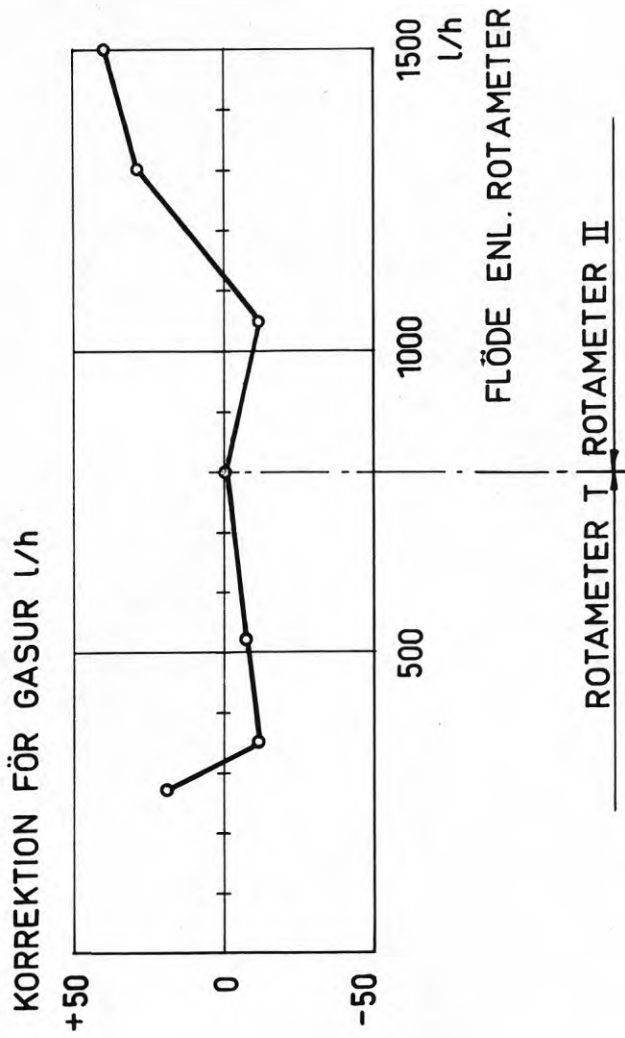


FIG 8.4:1 Kalibreringsdiagram för gasvolyymmätaren

#### 8.4 Kalibrering av gasur

Den vid proven använda gasvolymmätaren (gasur) har kalibrerats mot flödesmätare (rotametertyp). De senare, som anges ha ett fel understigande 1% används i två mätintervall (2 rotametrar) 0 - 800 resp 800 - 1599 l/h (0 - 0,2 l/s resp 0,2 - 0,42 l/s). Kalibreringen visade ett fel mindre än  $\pm 50$  l/h eller maximalt ca 3% resp ca 5%. se FIG 8.4:1.

#### 9. SYSTEMATISKA OCH SLUMPMÄSSIGA FEL

Noggrannheten i en stoftmängdsmätning beror på storleken av de systematiska och slumpmässiga felen vid provningarna. I princip kan sägas att de systematiska felen beror på brister i mätutrustning och mätmetodik, medan de slumpmässiga felen orsakas av bristande noggrannhet vid inställningar och avläsningar.

(Se Tekniska Meddelanden nr 15 från institutionen för uppvärmnings- och ventilationsteknik, KTH, 1973:3).

I boken "Measurement of Solids in Flue Gases" av W Hawksley et al 1973 redovisas bland annat resultaten från en omfattande analys av systematiska och slumpmässiga fel vid ett stort antal undersökningar.

I tabell 9.1 anges hur - enligt Hawksley (1973) de slumpmässiga felen påverkas av antalet mätpunkter. Resultaten avser rektangulära kanaler, men anges gälla även för cirkulära. Tabellen visar den observerade procentuella avvikelsen samt 95% intervallet för mätfel som uttryckts som procent av det skattade värdet. Avvikelserna anges vara beroende av partikelfördelning och strömningshastighet och får endast uppfattas som en indikation på mätfelens storleksordning.

TABELL 9.1 Storleken av mätfel beroende på ett begränsat antal mätpunkter

Antal provpunkter	Mätfel uttryckt i procent av det sanna värdet		95% intervallet för mätfel uttryckt i procent av det sanna värdet	Antal frihetsgrader
	Max	Min		
Enstaka punkter i centrum av gaskanalen	+15	-37	$\pm 42$	13
4 punkter	+ 9	- 9	$\pm 13$	13
8 punkter	+ 5	- 4	$\pm 5,0$	13
9 punkter	+ 3	- 3	$\pm 3,9$	13

Det framhålls vidare att för en given mätperiod och antal prov är det sannolika totala felet minst om proven är tagna från olika provpunkter och störst om alla proven är tagna från en enda punkt. Noggrannheten blir dessutom mindre för kortare mätperioder. De olika alternativen visas i tabell 9:2 som ger en uppfattning om den totala mätnoggrannheten vid stoftmängdsmätning, grundad på experimentella provdata.

Följande ytterlighetsfall kan särskiljas:

1. Då det inte finns några systematiska fel beror mätnoggrannheten på det antal prov som görs vid mätningen. De säkra gränserna för medeltalet av stoftmängden kan då härledas från 95% gränserna för en enstaka mätning. Dessa gränser är angivna i tabell 9:3, kolumn 3 under "min".
2. Det andra ytterlighetsfallet inträffar då det konstateras eller kan förutsättas att det föreligger ett väsentligt mätfel. I detta fall beror det maximala felet (med sannolikheten 0,95) på antalet mätpunkter. Detta fel skall adderas till minimivärdet för att ge det maximala mätfelet (kolumn 5 i tabell 9:3). Det är omöjligt att förutsäga riktningen av de slumpmässiga mätfelen och spridningen blir nödvändigtvis stor.

TABELL 9:2 Mätnoggrannhetens beroende av antal provningar i olika punkter samt mätperiodens längd (efter Hawksley et al 1973)

Antal provningar	Provtid	10-minuters prov från olika mätpunkter	Uppskattad mätnoggrannhet av stoftmängd %
1	10 min	1 prov från kanalcentrum	$\pm 48$
4	45 min	4 prov från kanalcentrum	$\pm 45$
		1 prov från vardera av 4 mätpunkter	$\pm 15$
8	1,5 tim	8 prov från kanalcentrum	$\pm 44,5$
		2 prov från vardera av 4 mätpunkter	$\pm 13$
		1 prov från vardera av 8 mätpunkter	$\pm 8,5$
16	2 3/4 tim	4 prov från vardera av 4 mätpunkter	$\pm 12$
		2 prov från vardera av 8 mätpunkter	$\pm 7,5$
		1 prov från vardera av 16 mätpunkter	$\pm 5,5$
24	4 tim	6 prov från vardera av 4 mätpunkter	$\pm 12$
		4 prov från vardera av 6 mätpunkter	$\pm 8,5$
		3 prov från vardera av 8 mätpunkter	$\pm 6,5$
		2 prov från vardera av 12 mätpunkter	$\pm 5,5$
		1 prov från vardera av 24 mätpunkter	$\pm 4,5$

TABELL 9:3 Mätnoggrannhetens beroende av antal provningar samt antal provpunkter och prov från varje punkt (enligt Hawksley et al 1973)

Antal provningar	Antal provpunkter och antal prov från varje punkt	Den genomsnittliga stoftmängdens 95%-iga konfidensintervall		
		Min	Medel	Max
1	centrum (x 1)	+ 19	+ 48	+ 63
4	centrum (x 4)	+ 9,5	+ 45	+ 54
	4 (x 1)	-	+ 15	+ 21
8	centrum (x 8)	-	+ 45	+ 51
	4 (x 2)	+ 6,7	+ 13	+ 18
	8 (x 1)	-	+ 8,7	+ 12
9	centrum (x 9)	+ 6,3	+ 44	+ 50
	9 (x 1)	-	+ 8,0	+ 11
16	4 (x 4)	-	+ 12	+ 16
	8 (x 2)	+ 4,8	+ 7,3	+ 10
	16 (x 1)	-	+ 5,6	+ 7,6
24	4 (x 6)	-	+ 12	+ 15
	6 (x 4)	-	+ 8,3	+ 11
	8 (x 3)	+ 3,9	+ 6,7	+ 9,4
	12 (x 2)	-	+ 5,4	+ 7,6
	24 (x 1)	-	+ 4,3	+ 5,7

Om ingenting är känt om storleken av mätfelen är det sannolikt att 95%-gränsen återfinns i kolumnen för "medel" i tabell 9:3.

Värdena i tabell 9:2 och 9:3 får inte betraktas som allmän-giltiga. Trots att de är baserade på ett stort antal prov behöver de enskilda anläggningarna ej vara representativa och de numeriska värdena kan således vara missledande. Ett försvar för att ta med tabellerna är att de åtminstone antyder storleksordningen av förväntad mätnoggrannhet.

Viktigare är emellertid de slutsatser som kan dras, för det första att noggrannheten endast långsamt förbättras efter 8 prov, för det andra att noggrannheten bestäms av mät-periodens längd och för det tredje att noggrannheten ökar vid ökat antal provpunkter. Det är t ex bättre att ta ett prov från vart och ett av 8 punkter än att ta två prov från var och en av 4 punkter.

## 10. VÄGNINGSFEL

Vid vägning av filtret före och efter stoftuppsamligen uppstår ett vägfel, vars storlek  $\Delta g$  bl a avhänger av filtrets massa  $g_0$  respektive filtrets + stoftets massa  $g_0 + g_s$ . Normalt är  $g_s \ll g_0$ , vilket medför att man kan sätta  $\Delta g$  lika för de båda vägningarna - givetvis under förutsättning att vägningen i båda fallen sker likartat och med en och samma våg. Även under dessa förutsättningar krävs att vågens egenskaper (t ex känslighet) ej ändrats mellan mätningarna, som kan ligga väsentligt skilda åt i tiden. Det maximala felet i bestämningen av  $g_s$  blir under dessa förhållanden  $2 \Delta g$  och det relativa (maximala)  $2 \Delta g / g_s$ .

Vid en bestämning av stofthalten i en gas är det önskvärt att det relativa vägningsfelet hålls under en viss storlek  $\epsilon$ . Denna bestäms av det totalt acceptabla felet i mätningen men måste normalt drivas ned med någon procent om det totalt acceptabla mätfelet skall kunna hållas under 25%.

Från ett fastlagt värde på  $\epsilon$  kan nu den minsta acceptabla stoftmassan  $g_{s \text{ min}}$  bestämmas ur olikheten

$$\frac{2 \Delta g}{g_{s \text{ min}}} \leq \epsilon$$

eller

$$g_{s \text{ min}} \geq \frac{2 \Delta g}{\epsilon}$$

## 11. MINSTA PROVTID

Det funna uttrycket för  $g_{s \text{ min}}$  kan användas för bestämning av den minsta volym gas ett delprov får omfatta. Härvid blir minimivolymer  $V_{\text{min}}$  beroende på stoftkoncentrationen  $C$  i gasen. (Vid en avskiljningsgrad om 100% i filtret gäller att den uppsamlade stoftmängden under tidsrymden  $\Delta \tau_{\text{min}}$  är

$$v_{\text{min}} \cdot C \approx g_{s \text{ min}}$$

Detta ger för  $V_{\text{min}}$

$$V_{\text{min}} \geq \frac{2 \Delta g}{C \cdot \epsilon}$$

[Uppsamlas blott andelen  $\eta$  av stoftet i filtret - detta är fallet exempelvis i den i Frankrike normerade mätmetoden gäller

$$V_{\text{min}} \left[ \frac{2 \Delta g}{C \cdot \epsilon \cdot \eta} \right]$$

En bestämning av  $\Delta\tau$  kan nu ske om sondmynningens öppning  $A_s$ , gastemperaturen  $\theta$  och gashastigheten  $v$  vid sonden är kända. Vid reducering till  $0^\circ\text{C}$  och för gastrycket  $\approx 760$  mm Hg kan man sätta

$$V_{\min} = v \cdot A_s \cdot \Delta\tau_{\min} \cdot 273/\theta \quad (\text{n m}^3)$$

som ger

$$\Delta\tau_{\min} \geq \frac{2 \Delta g \cdot \theta}{273 C \cdot \epsilon \cdot v \cdot A_s \cdot 60} \quad (\text{minuter})$$

Olikheten för bestämning av  $\Delta\tau_{\min}$  visar således på att man före en provtagning bör fastlägga gastemperaturen  $\theta$ , gashastigheten  $v$  i kanalen, samt approximativt känna stofthalten  $C$  i gasen. De övriga ingående storheterna  $\Delta g$  (maximala mätningefelet i en enstaka vägning) samt  $\epsilon$  (acceptabla relativa vägningsfelet) kan bestämmas före mätningen.

För fältmätningar skall vi här sätta  $\Delta g$  till 1 mg och det maximalt acceptabla felet vid bestämning av stoftmassan till  $\epsilon_{\max} = 5\%$ .

Inför vi vidare  $\theta \approx 400^\circ\text{K}$  samt  $v = 7$  m/s, vilket är riktvärden med hänsyn till fältförhållanden erhålles

$$\Delta\tau_{\min} \approx \frac{0,1395}{A_s \cdot C} \quad \text{minuter}$$

( $A_s$  i  $\text{m}^2$  och  $C$  i  $\text{mg}/\text{m}^3$ ) (Räknas sondmynningen i mm erhålls

$$\tau_{\min} = \frac{0,1776 \cdot 10^6}{d^2 \cdot C} \quad \text{minuter})$$

I många fall - t ex vid prov under full pannbelastning kan man dock ha väsentligt högre gashastighet. Vid  $v = 15$  m/s erhålls

$$\Delta\tau_{\min} \approx \frac{0,0651}{A_s \cdot C} \quad \text{minuter}$$

och vid  $v \approx 20$  m/s - vilket kan vara ett maximalt värde för nyare centraler erhålls

$$\Delta\tau_{\min} \approx \frac{0,0488}{A_s \cdot C} \quad \text{minuter}$$

FIG 11:1 visar  $\Delta\tau_{\min}$  för hastigheterna 7,15 och 20 m/s vid olika sonddiametrar. I figuren har även inlagts erfarenhetsvärden på  $C$  för olika oljor. Det minsta munstycket som accepteras är 7 mm, vilket ger den högsta acceptabla tiden för mätningen.

Givetvis kan ett annat acceptabelt fel läggas till grund för bedömningen av den erforderliga mättiden. Sätter vi t ex  $\epsilon = 2\%$  vilket utgör en från mätekonomi acceptabel gräns erhålls diagrammet i FIG 11:2 uppgjort för hastigheterna 7, 15 och 20 m/s.

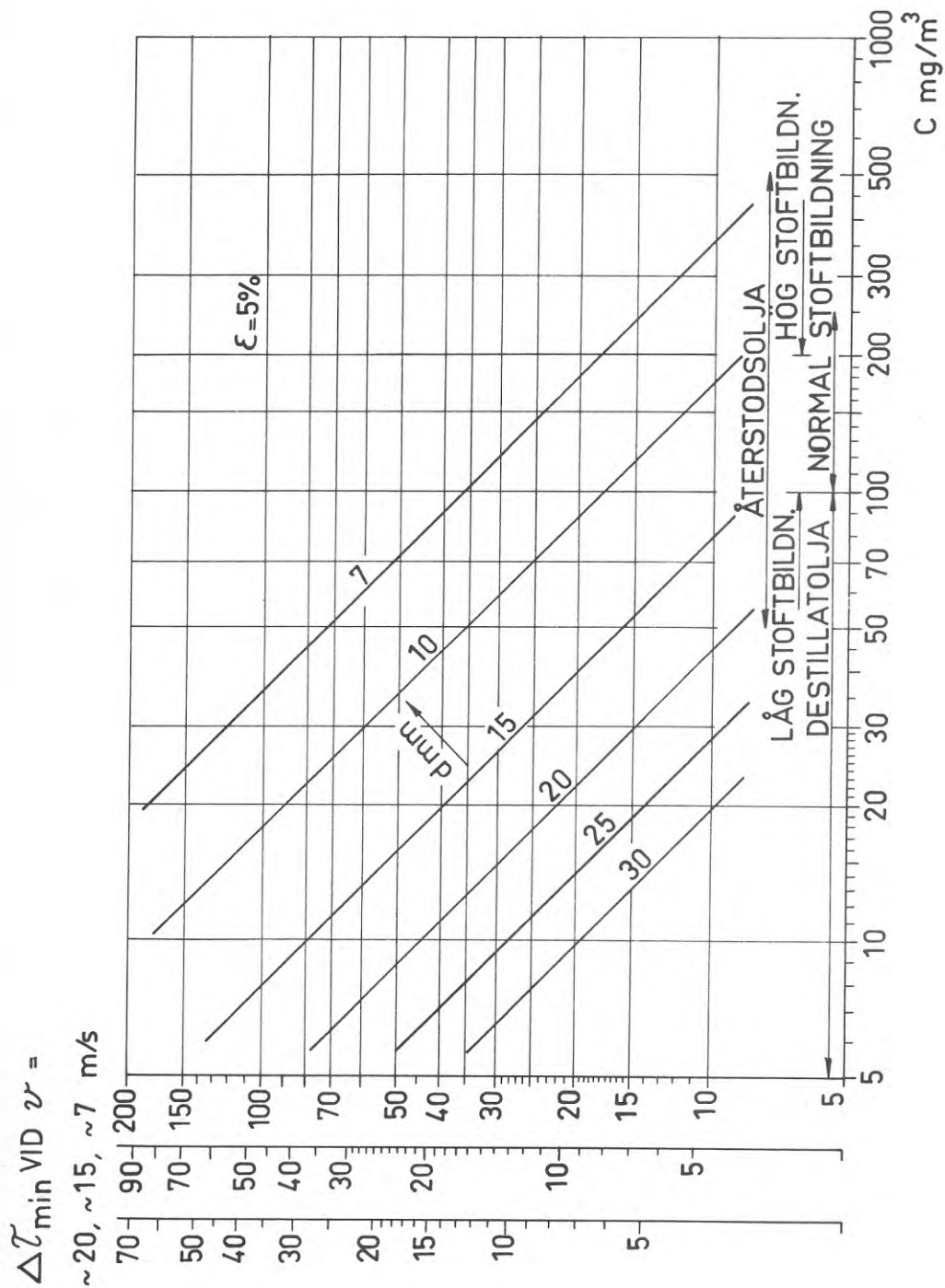


FIG 11.1 Minsta provtid ( $\Delta\tau_{\min}$ ) i relation till stofthalt i rökgaserna ( $C$ ) och olika sonddiametrar vid gas-hastigheterna 20, 15 resp 7 m/s. Relativa vägningsfelet  $\epsilon = 5\%$ .



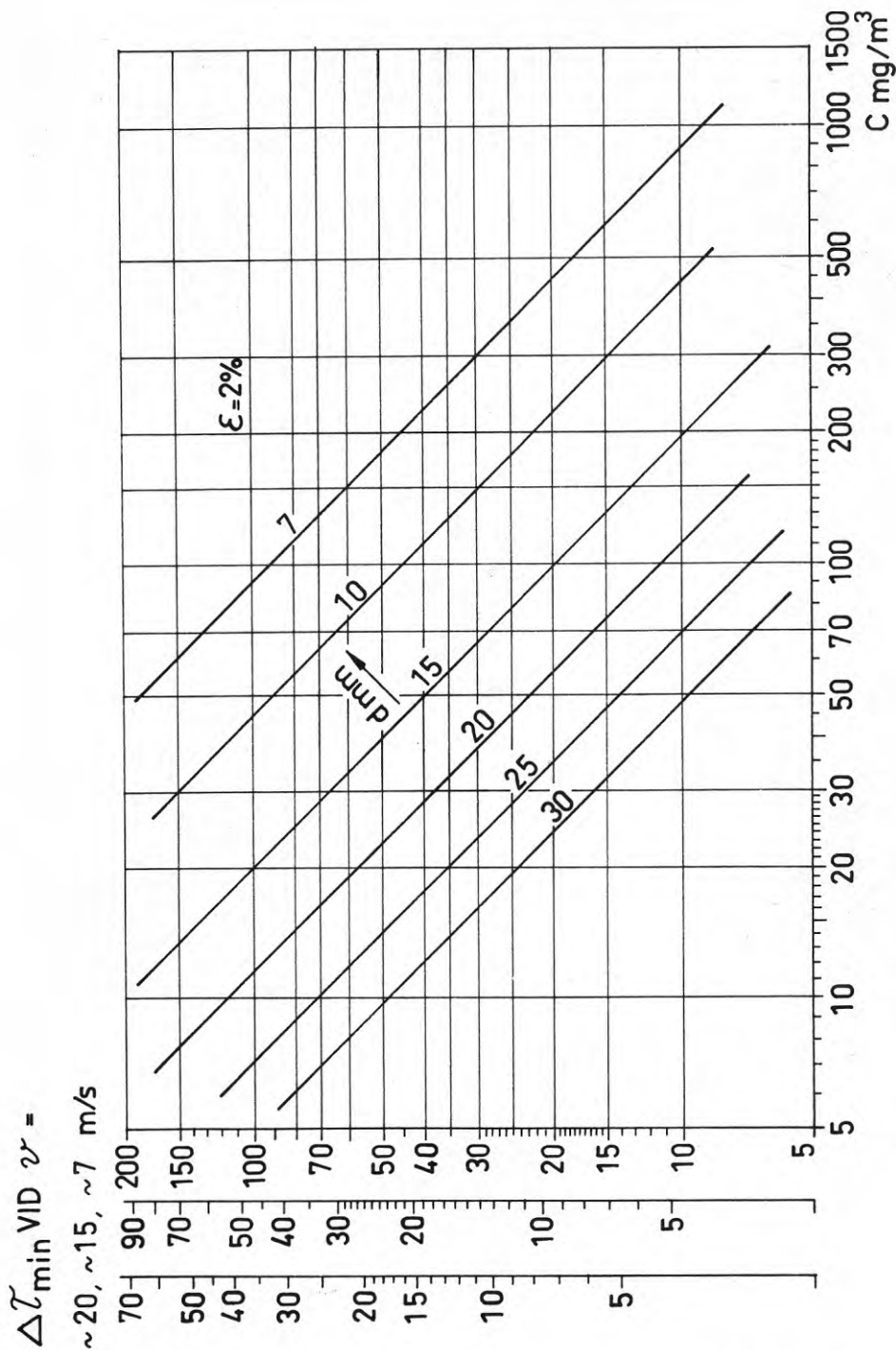


FIG 11.2 Minsta provtid ( $\Delta\tau_{\min}$ ) i relation till stofthalt i rökgaserna ( $C$ ) och olika sonddiametrar vid gas-hastigheterna 20, 15 resp 7 m/s. Relativa vägningsfelet  $\epsilon = 2\%$ .

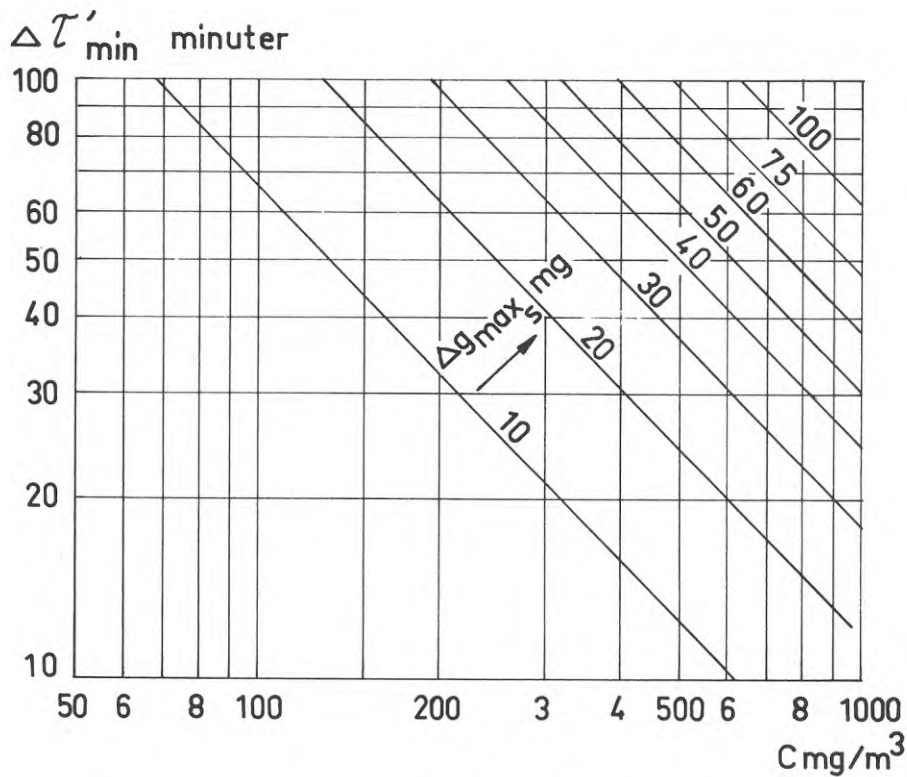


FIG 11.3 Provtidens begränsning ( $\Delta \tau'_{\min}$ ) i relation till stofthalt i rökgaserna ( $C$ ) samt den maximala stofthalten i filtret ( $\Delta g_{\max_g}$ ), som i sin tur begränsas av tryckfallsökningen vid uppsamlingen.

Man kan lägga märke till att en stoftbestämning vid eldning med Eol eller lågsvavlig Eo3LS knappast kan drivas till denna noggrannhet. I stället får man här försöka nedbringa felet i  $g_s$  genom att minska  $\Delta g$  - användande av våg med hög noggrannhet, omsorgsfullhet vid torkning och behandling av filtret m m.

De i figur 11:1 och 11:2 angivna tiderna förutsätter att den enskilda stoftmängdsapparaten kan användas för upptagande av stoftmängden

$$g_s = V_{\min} \cdot C$$

För vissa apparater, gäller att den maximala stofthalten i filtret begränsas av tryckfallsökningen vid uppsamlingen. Sätts den maximala stoftmängden till  $g_{\max_s}$  blir  $\Delta\tau_{\min}$  begränsad av

$$\Delta\tau_{\min}^1 \leq \frac{g_{\max_s}}{v \cdot A_s \cdot C}$$

se figur 11:3 avseende extremfallet  $v = 20$  m/s och sondarean  $A_s = 100 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$  (ca 10 mm diameter). Det är tydligt att provtiden för en sådan sond måste ligga mellan  $\Delta\tau_{\min}^1$  och  $\Delta\tau_{\min}$  enligt ovan.

## 12. BESKRIVNING AV PROVADE STOFTMÄNGDSMÄTARE OCH KOMBINATIONER AV MÄTORGAN

Här nedan lämnas en kortfattad beskrivning av de apparater och mätorgan som använts vid provningarna. Urvalet har begränsats till de vanligaste förekommande inom Skandinavien, varjämte några instrument medtagits som hittills endast tillverkats som prototyper.

### 12.1 BP-apparat

Utrustningen utformades ursprungligen av BP i England, men har senare modifierats av Danska BP. Avsugningen i gaskanalen sker med s k nolltrycksond. Gastrycket på ut- och insidan av munstycket påverkar genom rörförbindelse en tryckdifferensmätare. Genom att sugpumpen har reglerbar kapacitet kan avsugningshastigheten avpassas så att tryckdifferensen blir noll. Härvid är gashastigheten i munstycksöppningen med nöjaktig noggrannhet densamma som i gasströmmen utanför sonden (isokinetisk avsugning). Filterdelen skruvas direkt på sonden och är följaktligen under mätningen anbringad inuti gaskanalen. Filtret uppvärms 15-20 min före varje prov genom att placeras 'upp och ned' i kanalen, (sondmyrningen vänds från rökgasströmmen).

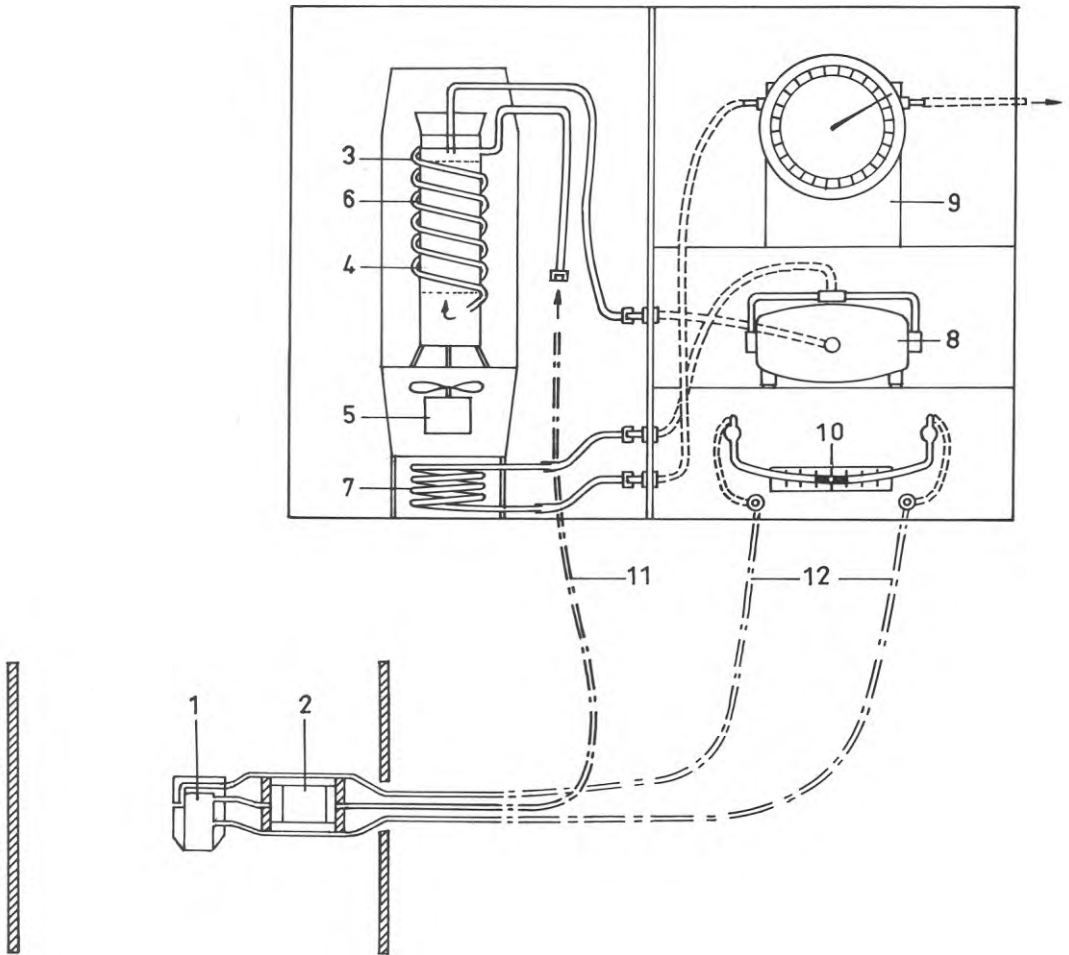


FIG 12.1:1 BP-apparat.

- |                       |   |
|-----------------------|---|
| 1. Sk nollsond        | 7. Kylspiral                                  |
| 2. Filter (kvartsull) | 8. Gaspump                                    |
| 3. Kylspiral          | 9. Gasmätare                                  |
| 4. Kondensatkärl      | 10. Differenstryckmätare                      |
| 5. Kylfläkt           | 11. Sugslang                                  |
| 6. Vadfilter          | 12. Slangar för differens-<br>stryckmätningen |

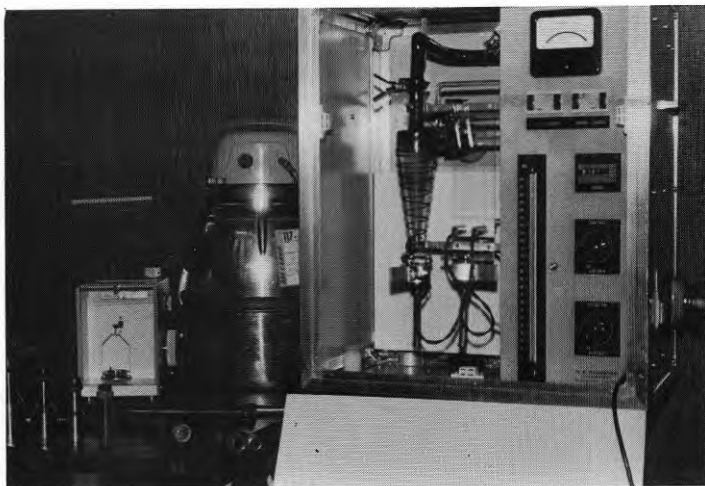


FIG 12.2:1 Ringstedt-apparat typ 702.



FIG 12.2:2 Cyklonen i Ringstedt-apparaten är omlindad med värmekabel för att undvika kondens och hopbakning av stoffet.

Någon extra uppvärmningsanordning för filtret erfordras inte om gastemperaturen är  $> 200^{\circ}\text{C}$ . Själva filtret består av ett glasrör fyllt med kvartsull (kiselull), som hålls på plats av en sintrad bottenplatta.

Efter att ha passerat munstycke och filter leds gasen genom en fläktstyrd luftkylare. Kondensvattnet uppsamlas i en behållare. För att avlägsna eventuellt kvarvarande vattenpartiklar får gasen dessutom passera genom ett vaddfilter innan den sugs genom pumpen. I pumpen värms gasen något varför den åter får passera en kylspiral innan den uppmäts i en gasmätare (gasur). Kylare, tryckdifferensmätare, pump och gasmätare är sammanbyggda till en enhet, se FIG 12.1:1.

Mätsonden finns utförd i tre storlekar för ungefärlig anpassning till aktuell rökgashastighet. De olika munstycksöppningarna är anpassade för strömningshastigheter från ca 2 m/sek till ca 20 m/sek. Utsugningskapaciteten är 15 - 30 l/min vid rent filter.

## 12.2 Ringstedt-apparat Typ 702

Mätmetoden som är känd sedan gammalt grundar sig i princip på att partiklarna i gasen avskiljs i en cyklon. Metoden har vidareutvecklats i en mätapparat (typ 702) som möjliggör jämförelsevis snabba mätningar.

Rökgasen avsugs genom en sond (med förlängningsrör) och leds genom cyklonen med stor hastighet varvid större partiklar blir avskilda och samlas i en graderad uppsamlingsbehållare (provrör).

Såväl cyklon som provrör är utförda av glas varför man tydligt kan iaktta avskiljning och uppsamling av stoftet. Cyklonen är omlindad med värmekabel och även uppsamlingsröret hålls elektriskt uppvärmt för att förhindra kondens och hopbakning av stoftet. (Se FIG 12.2:1 och 12.2:2)

Gasflödet genom apparaten bestäms med ledning av tryckförlusten över cyklonen samt gastemperaturen och avläses i en för denna cyklon gällande kalibreringskurva. Förnyad kalibreringskurva måste utarbetas vid byte av cyklon.

Den avsugna rökgasmängden uppgår vanligen till 380 - 400 l/min varför ett stoftprov kan uppsamlas under relativt kort tid (3-5 min). Den enskilda stoftmängden bestäms genom vägning. En mycket grov värdering av partikelmängden kan även erhållas av volymen i det graderade provröret. Den senare metoden bör givetvis ej användas vid av myndighet föreskriven kontroll av stoftutsläpp.

Den partikelmängd som inte utfälls i cyklonen och som följaktligen inte ingår i stoftprovet anses utgöra en mycket ringa del som inte nämnvärt påverkar mätresultatet (se Sjøgren 1971). För grovbestämning av dessa sotpartiklars mängd föreslås att en delström av gasen avsugs efter cyklonen genom ett filterpapper (sottalsmätning).

Avläsningsinstrument för tryckförlust i cyklon samt gastemperatur och automatisk registrering av utsugningstiden är, förutom cyklon och sugpump, sammanbyggda i en enhet, se FIG 12.2:1.

I samband med presentationen av Ringstedt-apparaten enligt cyklonmetoden (Sjögren 1971) föreslogs att överisokinetisk avsugning skall användas. Enligt försök som företagits vid Danska BP har avsugningshastigheten inte någon avgörande betydelse på mätresultatet. Vid rekommenderade avsugningshastigheter, 1,5 - 2 ggr isokinetisk avsugning, anses också risken för mätfel genom snedställd sond mycket liten.

### 12.3 KTH-apparat I

Sond, filterhållare och filter är väsentliga mätorgan, vars utformning i hög grad påverkar såväl mätnoggrannhet som tidsåtgång vid mätning av stofthalten i förbränningsgaser. Som prototyp har ett nytt instrument utvecklats vid institutionen för uppvärmnings- och ventilationsteknik och vars utseende framgår av FIG 12.3:1. Instrumentet är sammanbyggt i en enhet och består av ett sondrör vars sondmynning är utformad som en slits med bredden 2 mm och med ställbar längd. Sonden är försedd med två ledskenor (flänsar) för linjering av strömningen före munstycket.

På sondröret finns också en triangelformad hastighetssond varigenom såväl gashastighet som gasriktning i kanalen kan bestämmas (se FIG 12.3:2).

Sondröret är värmeisolerat och dessutom försett med en värmeslinga, varigenom väggtemperaturen i röret kan hållas över förbränningsgasens daggpunkt. Apparatens filterhållare, vars konstruktion mer i detalj visas i FIG 12.3:3, innehåller 8 filter, bestående av sintrade silverskivor med olika porstorlek 0,25 till  $5\mu$  m. Genom en revolverkonstruktion kan filtren lätt bytas ut utan att sonden tas ur gaskanalen vilket möjliggör att man snabbt kan genomföra en provserie. Filterhållaren är försedd med värmeslinga för undvikande av kondens. De sintrade silverplattorna kan (efter tvättning i destillerat vatten och vid utraljudsbehandling) användas flera gånger.

Plattorna är placerade på stödskivor av sintrat glas vilka vilar på teflonringar. Över silverskivorna är ringtätningar av silikongummi placerade varigenom hela konstruktionen blir tät. Uttaget är placerat så att man vid revolverns ändring får utsugning genom rätt silverskiva.

Mätning av flödet kan ske genom tryckfallsmätning över en "stryppfläns" efter filterdelen enligt principskissen FIG 12.3:4. Strypningen utgörs av en tjock termoelementtråd dragen tvärs igenom sondröret. Härigenom kan såväl flöde som gastemperatur bestämmas. Denna mätmetod användes ej vid proven, vilka istället genomfördes på samma sätt som vid övriga försök.

Mätuppställningen vid provningarna framgår av FIG 12.3:5.

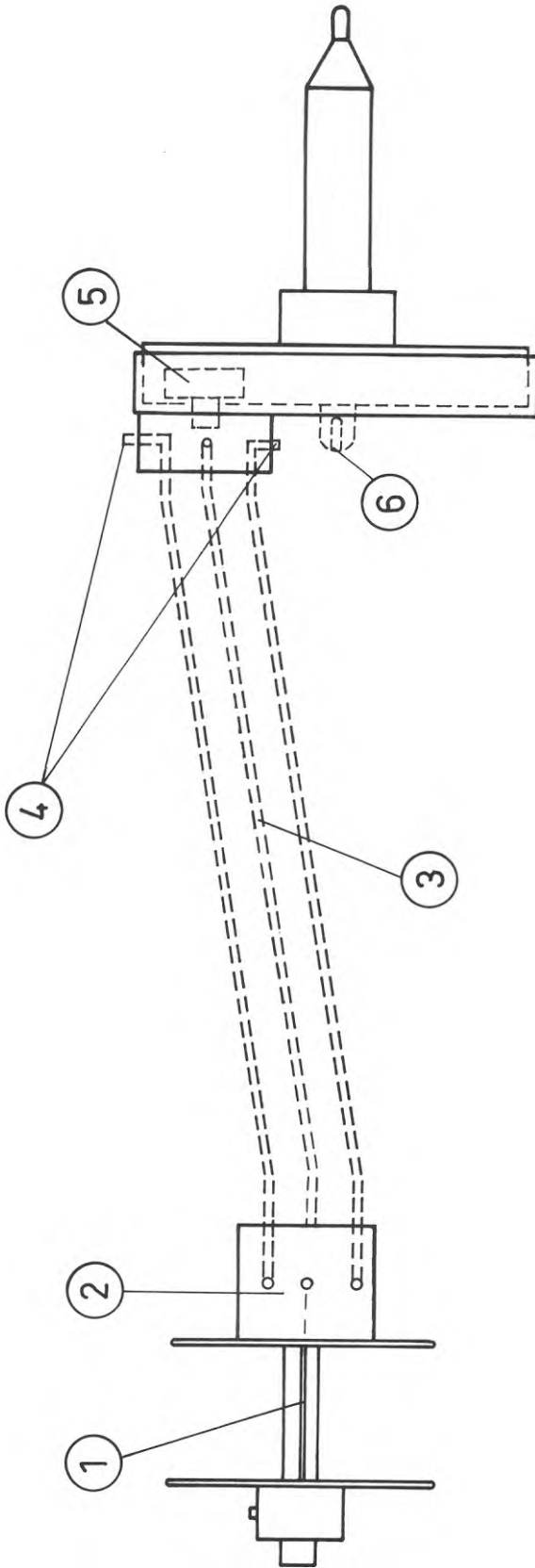


FIG 12.3:1 KTH-apparat I

- |  |                           |
|--|---------------------------|
| 1. Sondmynning   | 4. Tryckuttag             |
| 2. Hastighetssond  | 5. Filterhållare          |
| 3. Sondrör (försett med värmeslinga och dessutom isolerat) | 6. Fastsättningsanordning |



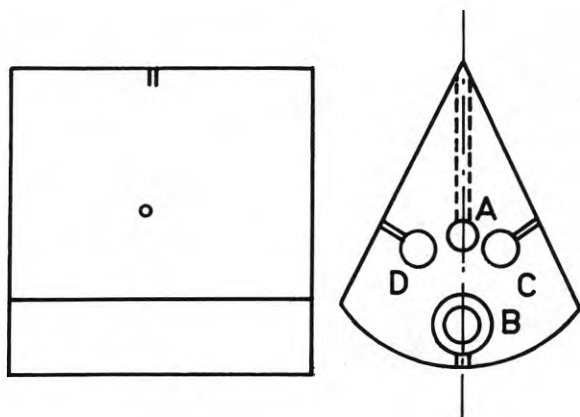


FIG 12.3:2 KTH-apparat I. Hastighetssond. Tryckdifferensen mellan kamrarna A och B ger gashastigheten i kanalen. Då tryckdifferensen mellan kamrarna D och C är noll har sonden gasströmmens riktning.

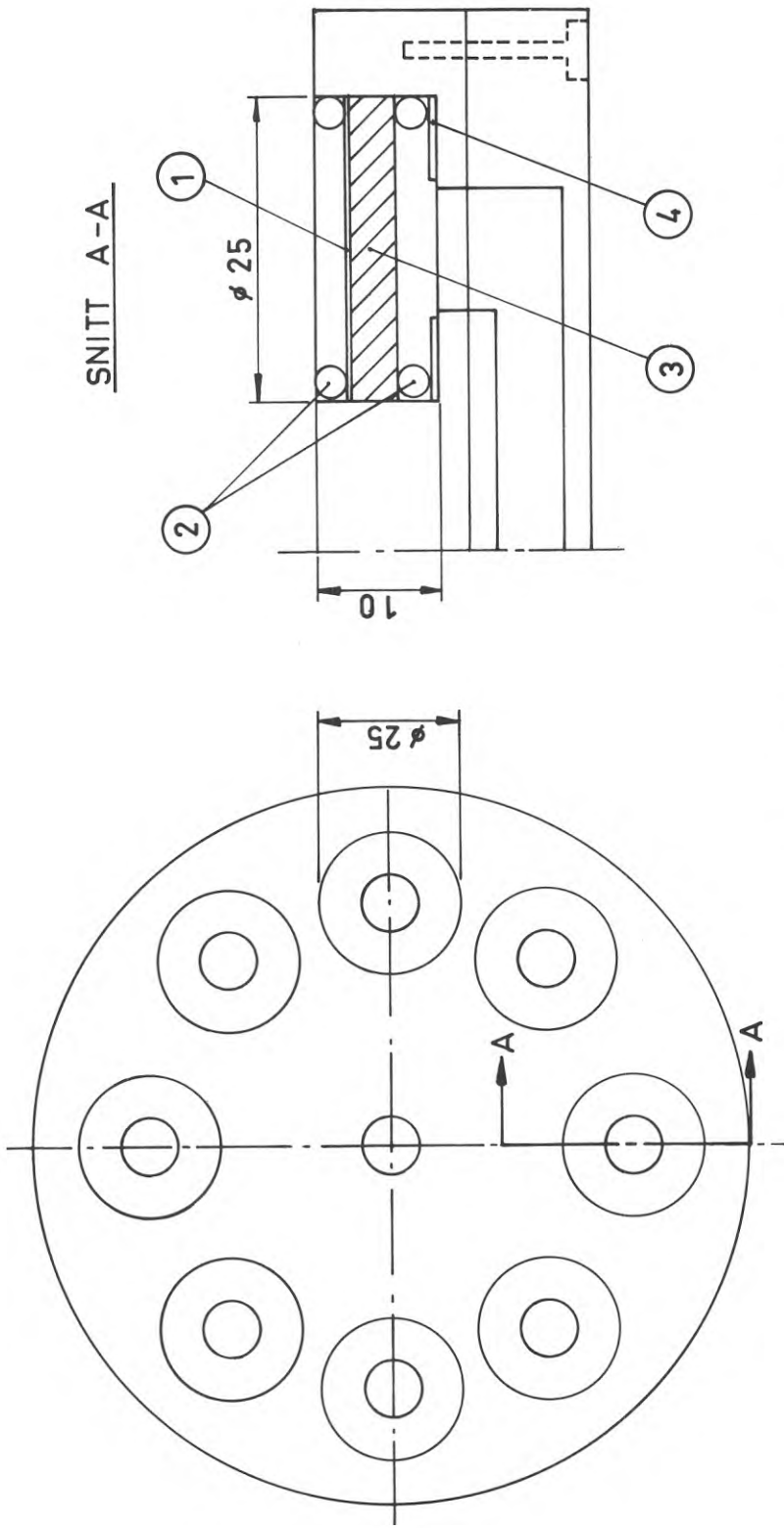


FIG 12.3:3 KTH-apparat I. Filterhållare, innehållande 8 st filter av sintrade silverskivor. Genom en revolverkonstruktion kan filtren lätt bytas ut. Filterhållaren är försedd med värmeslinga.

- |                 |                   |
|-----------------|-------------------|
| 1. Silverfilter | 3. Keramikfilter  |
| 2. O-ringar     | 4. Ring av teflon |

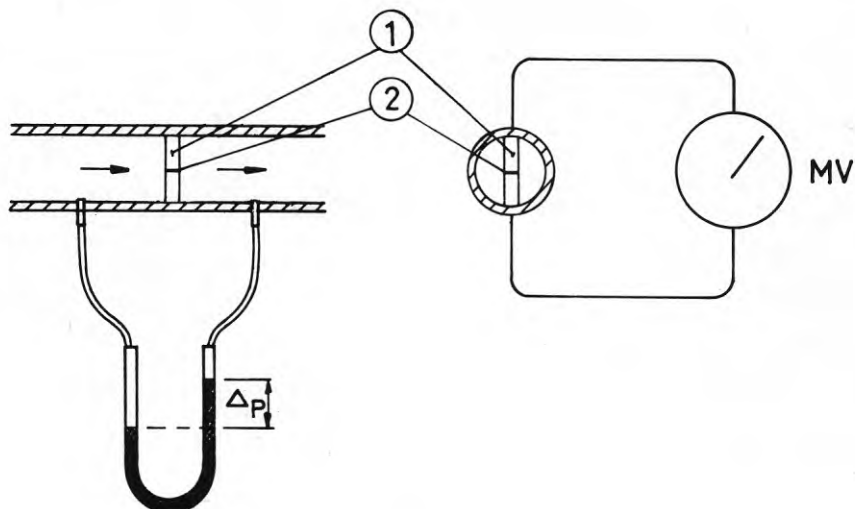


FIG 12.3:4 KTH-apparat I. "Strypfläns" där strypningen utgörs av en tjock termoelementtråd dragen tvärs igenom sondröret. Härigenom kan såväl flöde som gastemperatur uppmätas.

1. Termoelementtråd      2. Lödställe

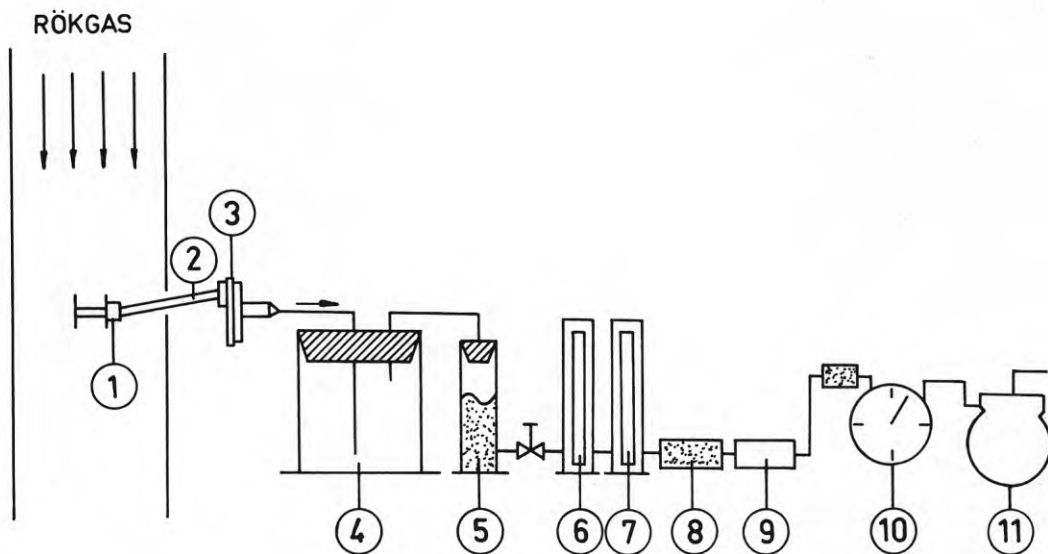


FIG 12.3:5 KTH-apparat I. Mätuppställning

- |                  |                  |
|------------------|------------------|
| 1. Sond          | 6. Flödesmätare  |
| 2. Gasrör        | 7. Flödesmätare  |
| 3. Filterhållare | 8. U-rörsmåmeter |
| 4. Käril         | 9. U-rörsmåmeter |
| 5. Torkare       | 10. Gasmätare    |
|                  | 11. Kompressor   |

## 12.4 KTH-apparat II

Apparaten är konstruerad av E. Mundt, institutionen för uppvärmnings- och ventilationsteknik, KTH.

Vid kvasiisokinetisk avsugning med en nolltrycks sond regleras avsugningshastigheten så att tryckdifferensen mellan det yttre och inre statiska trycket i sonden är noll.

Mätningen av statistiskt tryck sker därför innan strömningen blivit fullt utbildad. Härvid räknar man enligt Bernoullis ekvation, med att också dynamiska trycket och därmed hastigheterna i och utanför sonden är lika. I sonden råder emellertid olika hastighet i olika punkter av tvärsnittet och dessutom sker en övergång från nära nog samma hastighet över hela mynningen till en hastighet som varierar enligt

$$v = v_{\max} \left(1 - \frac{r}{R}\right)^{1/7}$$

där  $v_{\max}$  är centrumhastigheten

$R$  är sondens innerradie och

$r$  är avståndet från centrum till den punkt där hastigheten är  $v$ .

När den turbulenta strömningen är fullt utbildad är  $v_{\max} = 1,23 \bar{v}$  där  $\bar{v}$  är medelhastigheten, se FIG 12.4:1. Det statiska trycket har då sjunkit kraftigt varför vid inreglering en för låg avsugningshastighet erhålls. Ju närmare mynningen det inre tryckuttaget placeras desto mindre blir felet, då den turbulenta strömningen inte är fullt utbildad.

Det dynamiska trycket återspeglar ej medelhastigheten utan blott maximihastigheten i sonden. Vid lika statistiskt tryck blir därför medelhastigheten i sonden för låg.

Vid utformning av sonden (nolltrycks sond) i föreliggande apparat har hänsyn tagits till ovanstående förhållanden. Det inre tryckuttaget är placerat så långt fram som möjligt. Dessutom är sonden svagt konisk vilket medför att det statiska trycket ökar och reducerar felet samt fördröjer bildningen av hastighetsparabeln, se FIG 12.4:2. Sondhuvudet som är utfört i två dimensioner för olika hastigheter är fastsatt med bajonettfattning i hållaren och är lätt utbytbart. De yttre - resp inre trycken jämförs i ett U-rör. Gasflödet regleras med en nålventil så att tryckdifferensen är noll.

I hållaren är utfräst ett spår för termoelement (koppar - konstantan) anslutet till en mikroamperemeter. Såväl sondhuvud som hållare är av tillverkningstekniska skäl av mässing (prototyp).

Från sonden går rökgasen via ett mässingsrör till filterhållaren. Filtret består av kvartsull inneslutet i ett teflonrör istället för glas, varigenom viktförlust genom skador (flisor etc) elimineras. Kvartsullen hålls kvar av ett glasfilter (porositet 0) vilket i sin tur är fastsatt med hjälp av två Seegersåkringar. Röret fastsättes i hållaren med hjälp av en bajonettfattning.

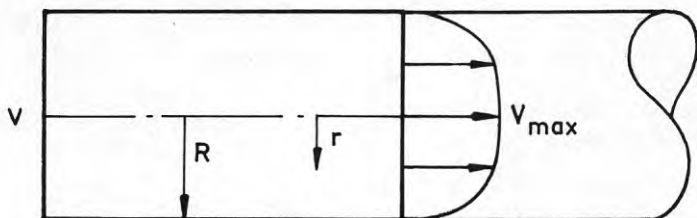


FIG 12.4:1 Hastigheten  $v = v_{\max} \left(1 - \frac{r}{R}\right)^{1/7}$  där

$v_{\max}$  = centrumhastigheten

$R$  = sondens innerradie

$r$  = avståndet från centrum till den punkt där hastigheten är  $v$ .

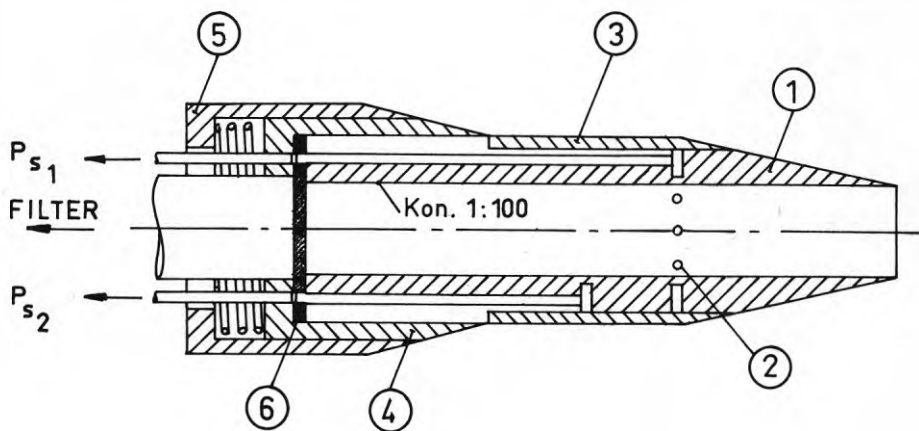


FIG 12.4:2 KTH-apparat II. Nolltrycks sond.

1. Sondhuvud

2. 6 st hål, diam 0,7 mm

3. Hölje

4. Hållare

5. Hylsa med bajonett-fattning

6. Packning (Bestorite)

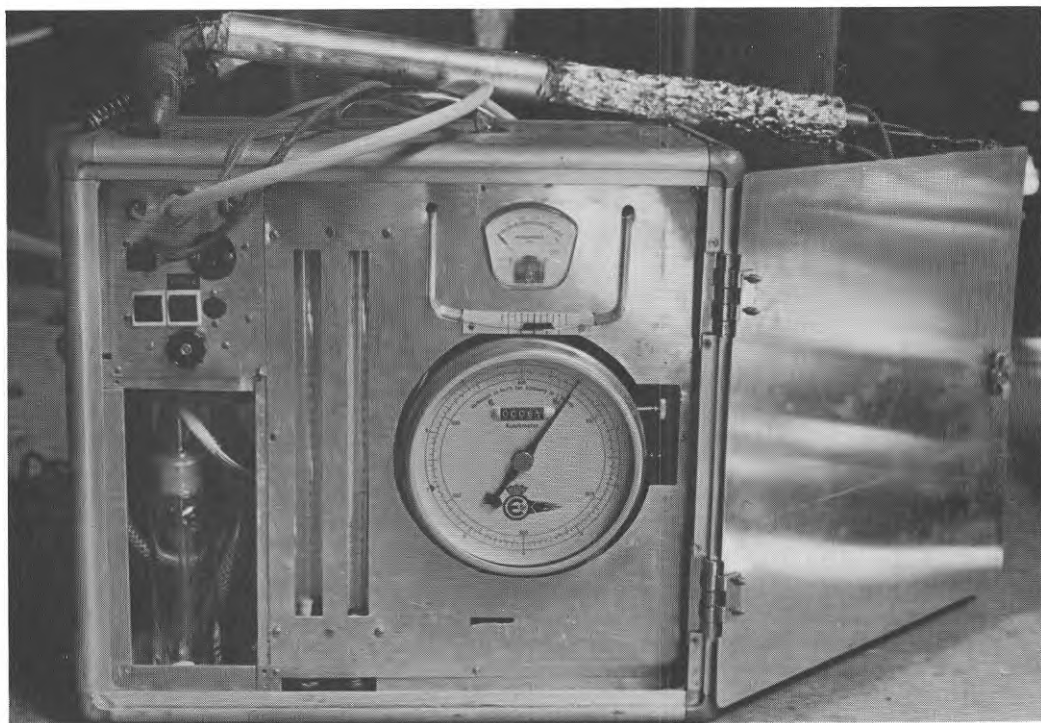


FIG 12.4:3 KTH-apparat II med instrumentskåp av lättmetall.

För att undvika kondens i sond, sondrör och filterdel används en värmekabel som lagts runt sondröret, isolerat med mineralull och strålningsskydd.

Efter filtret får gasen passera en luftkylare och går sedan vidare till en tvättflaska som innehåller blågel, där ytterligare fukt avskiljs. Gasen får sedan passera en flaska med kaliumhydroxid vilket avlägsnar svavelföreningarna. Genom dessa reningsprocedurer har gasen förlorat det mesta av sin korrosiva verkan innan den passerar gasmätaren och slutligen pumpen. Gasmätningen sker med gasur och som komplement inkopplas två rotametrar. Rotametrarna är känsliga för trycksvängningar varför ett tryckutjämningskärl är inkopplat mellan dessa och pumpen. De olika komponenterna förbinds med silikonslangar, förutom mellan filter och tvättflaskor där teflon används.

Sond, filterhållare, filtterrör och slangar innehålls för transport i en separat låda. All annan apparatutrustning inklusive manöverpanel är sammanbyggd i ett instrumentskåp av lättmetall försett med bärhantag, se FIG 12.4:3.

### 12.5 SF-apparat

Svenska fläktfabrikens analyscyklonutrustning är i första hand avsedd för bestämning av kornstorleksfördelningen hos stoftet i en gasström, men kan också användas för uppsamling av stoft för bestämning av enbart stoftkoncentrationen.

Stoftet avskiljs i förra fallet i två lika, seriekopplade cykloner. Den del av stoftet som passerar förbi cyklonerna uppsamlas i ett planfilter av glasfiber. Genom att cyklonernas avskiljningskaraktäristika är känd kan kornstorleksfördelningen anges i form av en logaritmiskt sannolikhetsfördelad återstödskurva. Vid bestämning av stofthalten utan fördelning kan enbart planfiltret användas.

SF-apparaten visas schematiskt i FIG 12.5:1. Utsugningssonden (1), med utbytbar sondhylsa (2) och tillhörande antal skarvrör (3) samt ett kylrör (4) är anslutna till två seriekopplade identiskt lika analyscykloner (5) och (6), vardera försedda med stoftbehållare. Cyklonerna är placerade i en cyklonlåda (7) med termostatreglerad uppvärmning. Efterföljande planfilter är inneslutet i ett filterhus (8), även detta försett med elektrisk uppvärmning så att gastemperaturen kan hållas över syradagpunkten (t ex vid oljeeldning). Filterhuset är vidare utrustat med en fast strypfläns för gasflödesmätning, pitotrör för uppmätning av det dynamiska trycket samt tillhörande U-rörsmetrar (9).

För bestämning av gastemperaturen finns en termometer (10). Gasen sugs vidare från filterhuset genom en böjlig slang (11) och ett anslutningsrör (12) till fläkten (13), vars varvtal kan regleras med vridtransformator (14). Istället för fläkten kan annan typ av gaspump användas.

Cyklonerna är utförda av aluminiumbrons och är invändigt polerade. Övriga metalldelar som kommer i kontakt med gasen är utförda i rostfritt stål.

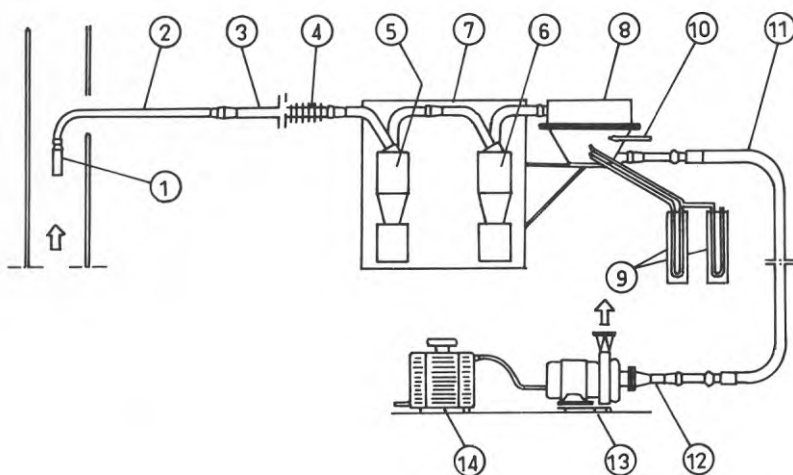


FIG 12.5:1 SF-apparat. Mätupställning

- |                      |                       |
|----------------------|-----------------------|
| 1. Sond              | 8. Filterhus          |
| 2. Sondrör med hylsa | 9. U-rörsmanometrar   |
| 3. Skarvrör          | 10. Termometer        |
| 4. Kylrör            | 11. Böjlig slang      |
| 5. Analyscyklon      | 12. Anslutningsrör    |
| 6. Analyscyklon      | 13. Fläkt             |
| 7. Cyklonlåda        | 14. Vridtransformator |



Vid bestämning av stoftkoncentrationen i gasen erhålles den totalt uppsamlade stoftmängden  $B_1 + B_2 + B_3$ .

Stoftkoncentrationen i den ingående gasen =  $\frac{B_1 + B_2 + B_3}{Q_0}$   
 där  $Q_0$  är den avsugna gasvolymen.

Omräknat till normaltillstånd blir

$$Q_0 = \sum_{i=1}^n K \cdot i \sqrt{\frac{\Delta P_{mv_i}}{\xi_{mv_i}}} \cdot \frac{273}{T_{mv_i}} \cdot \frac{P_{mv_i}}{760}$$

där  $K$  = mätflänskonstant (apparatkonstant)

$\Delta P_{mv_i}$  = tryckfall över mätfläns, verkligt, under tiden  $\tau_i$

$\xi_{mv_i}$  = gasens densitet (index som för  $P$ )

$T_{mv_i}$  = gasens temperatur (index som för  $P$ )

$\tau_i$  = tid under vilken  $\Delta P_{mv}$  och  $\xi_{mv}$  är "konstant"

## 12.6 Ströhlein-apparat

I samarbete med "Lurgi-Apparatbau GmbH" och "Wärmestelle des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute" har Ströhlein & Co utvecklat olika slag av utrustningar för stoftmängdsmätning i gaser. De mätmetoder som används motsvarar VDI-riktlinjerna 2066 och är därför att betrakta som officiellt godkända i Västtyskland. Apparaturen anges kunna användas för stofthalter mellan 10 och 1000 mg/m<sup>3</sup>, vid gashastigheter mellan 0,5 och 35 m/s.

För provningarna vid KTH valdes en utrustning avsedd för gasmängden 4 m<sup>3</sup>/h. Mätupställningen framgår av FIG 12.6:1.

Det utbytbara munstycket (9 olika diametrar) se FIG 12.6:2 sitter på en rätvinklig mellandel med filterhylsa och påbyggd venturidys. Såväl filterhylsan som venturidysen befinner sig under mätningen i gaskanalen. Härigenom undviks kondensation och beräkningen av gashastigheten respektive den avsugna gasvolymen underlättas. Som filter används vid korrosiva gaser och en gastemperatur upp till ca 450°C ädelstålshylsor för glasulls- eller kvartsullsfyllning. Anslutningsröret är förlängningsbart. FIG 12.6:3.

Avsugningspumpen utgörs av en rotationsflercellspump med en max effekt av 8 m<sup>3</sup>/h vid atmosfärtryck och når ett vakuum av 80% vid 1400 v/min.

För beräkning av gashastighet och gasflöde i kanalen uppmäts det statiska trycket med en u-rörsmåmeter och det dynamiska trycket med en mikromanometer ansluten till ett pitotrör eller Prandtlrör.

Avsugen gasvolym för varje enskilt prov kan bestämmas med hjälp av ett diagram med ledning av sond diameter, uppskattad stoftmängd (g/nm<sup>3</sup>) samt önskad provtid (vanligen 30-60 minuter).

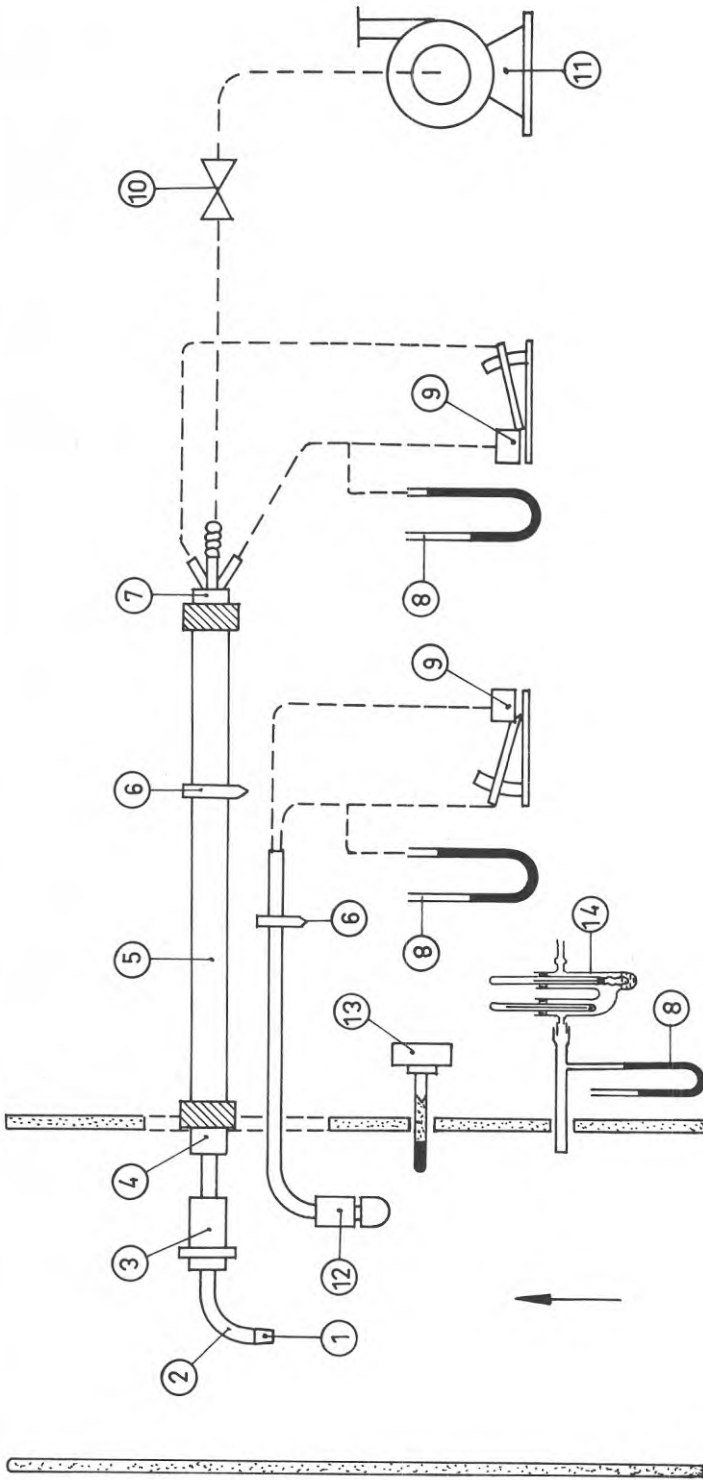


FIG 12.6:1 Ströhlein-apparat. Mätuppställning

- |   |                           |
|---|---------------------------|
| 1. Dys                                    | 7. Specialslanganslutning |
| 2. Anslutningsrör                         | 8. U-rörsmått             |
| 3. Filterhållare                          | 9. Mikromanometer         |
| 4. Venturidys                             | 10. Regleringsventil      |
| 5. Specialutsugningsrör med skruvkoppling | 11. Specialutsugningspump |
| 6. Riktningvisare                         | 12. Prandtl-rör           |
|   | 13. Termometer            |
|   | 14. Psykrometer           |

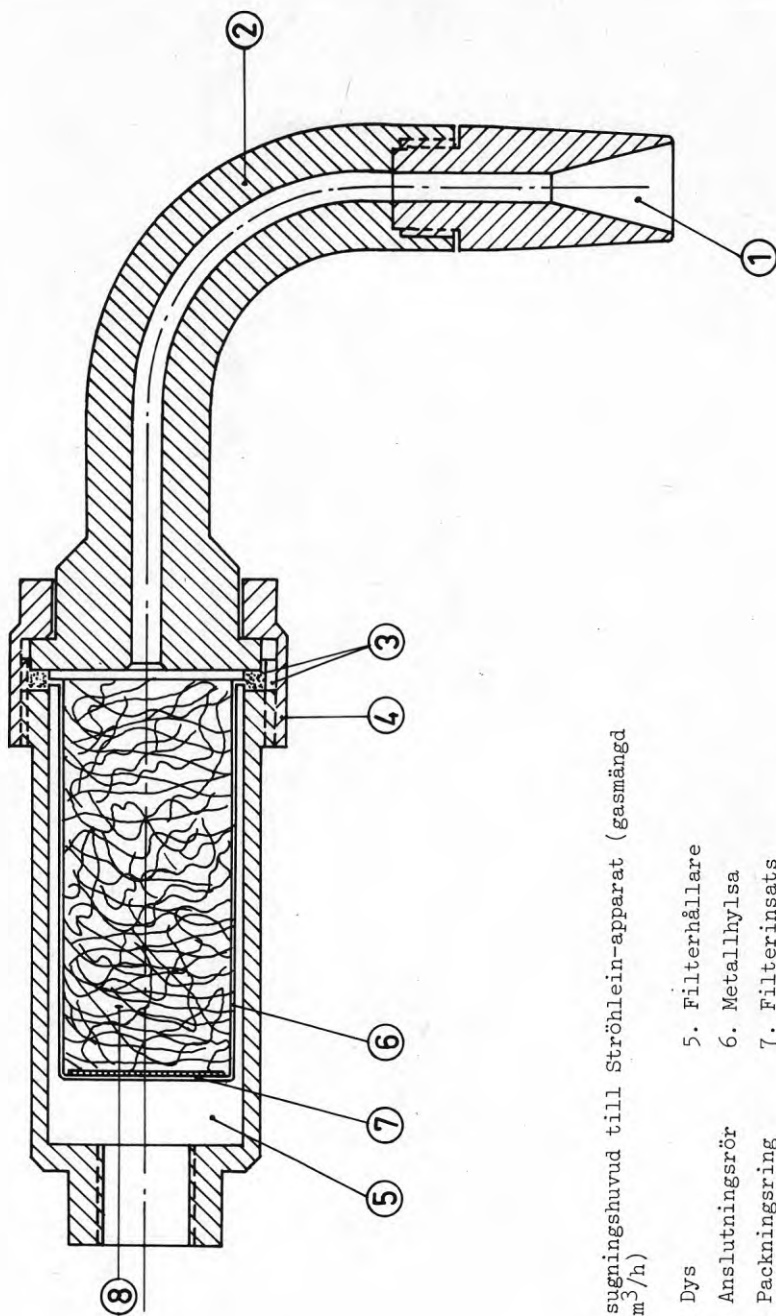


FIG 12.6:2 Utsugningshuvud till Ströhlein-apparat (gasmängd  $4 \text{ m}^3/\text{h}$ )

- |                    |                          |
|--------------------|--------------------------|
| 1. Dys             | 5. Filterhållare         |
| 2. Anslutningsrör  | 6. Metallhylsa           |
| 3. Packningsring   | 7. Filterinsats          |
| 4. Kopplingsmutter | 8. Glas- eller kvartsull |

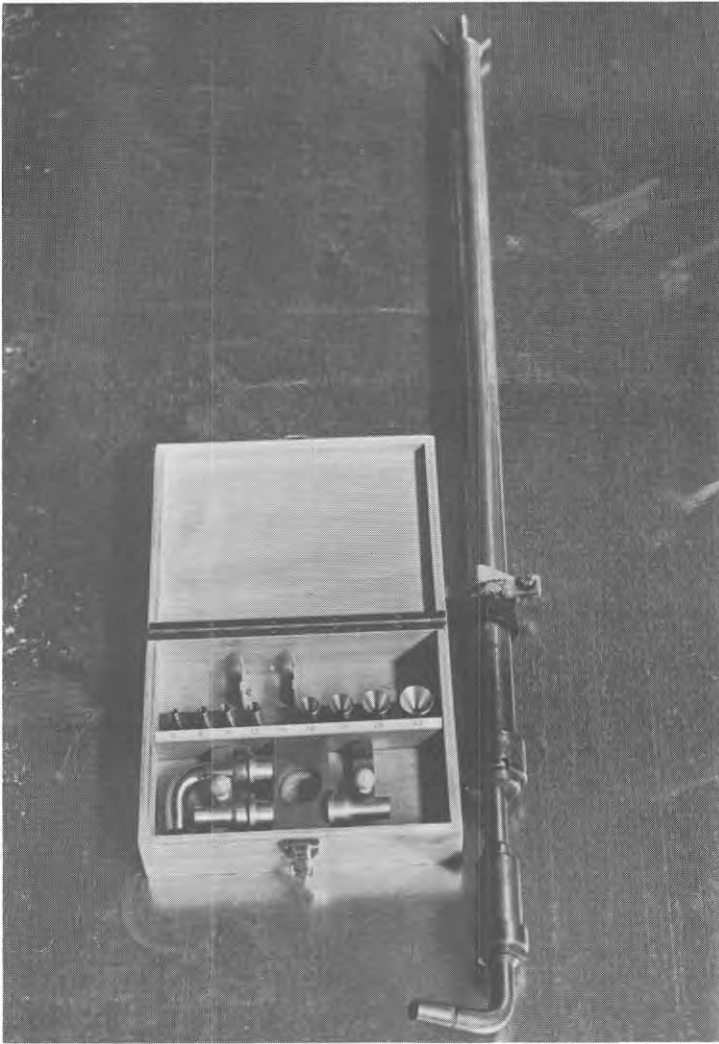


FIG 12.6:3 Sondrör och sonder till Ströhlein-apparat.

Lämpligt gasflöde genom sonden beräknas med ledning av sond-diameter och uppmätt hastighet i kanalen. Erforderlig tryckdifferens över venturidysen beräknas enligt en i skötsel-anvisningarna angiven formel. För mätning av differenströcket används vanligen en mikromanometer. Man kan också använda sig av en s k Velometer som direkt anger roten ur tryckdifferensen. Dessutom kan gashastigheten omedelbart avläsas på en skala.

#### 12.7 Shell-apparat, (kemisk metod)

Den kemiska metod som representeras av Shell-apparaten är en sedan gammalt använd metod för stoftmängdsmätningar i förbränningsanläggningar. Metoden möjliggör endast mätning av den brännbara delen av stoftet (t ex sot och oljekoks). Askan uppmäts således inte.

Uppsamlingen av stoftet skall ske vid isokinetisk avsugning av en delgasström som filtreras från partiklar i ett kvartsullsfiler placerat i provtagningssonden. Efter sonden får gasen passera en tvättflaska med väteperoxidlösning för urtvättning av svaveloxider. Gasen leds därefter genom en droppavskiljare och ett torktorn med silikagel samt via regleringsventil, vakuumpump och expansionskärl till en rotameter för bestämning av det torra gasflödet (se FIG 12.7).

Då provet är avslutat överförs kvartsullen med det uppsamlade stoftet till en liten flaska av kvartsglas i vilken också, som oxidationsmedel, en viss bestämd mängd (0,5 - 1 g) kopparoxid tillförs. Flaskan ansluts till en mätbyrett och upphettas till glödning med t ex en gasolbrännare varvid kolet i filterinnehållet oxideras. Efter nedkylning uppmäts den utvecklade gasvolymen ( $\text{CO}_2 + \text{CO}$ ) på i princip samma sätt som vid koldioxidbestämning med Orsatapparat. Spärrvätskan i mätbyretten utgörs av vatten tillsatt med 30 massprocent magnesiumklorid. Man utnyttjar vid bestämningen det förhållandet att 1 ml gas motsvaras av 0,5455 mg kol. Högst 25 mg sot kan förbrännas vid en analys varför avsugningstiden är mycket kort (2 - 10 min). Mätfelet anges av Shell till  $\pm 10\%$ , men något närmare angivelse om vad som ingår i detta fel ges ej.

#### 12.8 Ångpanneföreningens apparat I

ÅF:s apparat I är utrustad med nolltrycksond ansluten till en mikromanometer. Filterhållaren står i omedelbar förbindelse med sonden och är under mätningen följaktligen placerad i gaskanalen och hålls uppvärmd av rökgaserna. Efter filtret förs gasen till en vattenkylare ansluten till en kondensflaska varifrån gasen för fullständig torkning förs vidare till en behållare med blågel. Apparaturen för kylning och torkning är sammanförd i en separat enhet (apparatskåp I) FIG 12.8. Via en vakuumpump leds gasen vidare till ett gasur samt en flödesmätare som är kopplad till ett digitalt avläsningsinstrument. Gasur och flödesmätare är installerade i ett särskilt apparatskåp tillsammans med en mikromanometer. I samma enhet (apparatskåp II) finns också för mätning med planfilter (ÅF:s apparat II) en temperaturregulator med omkopplare för olika temperaturområden.

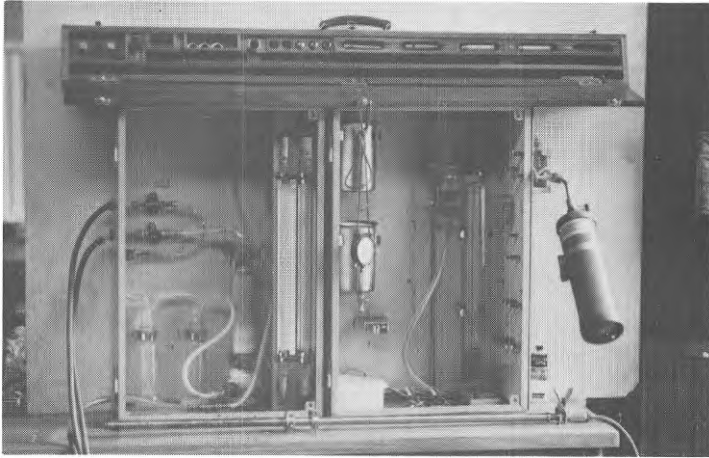


FIG 12.7 Shell-apparat

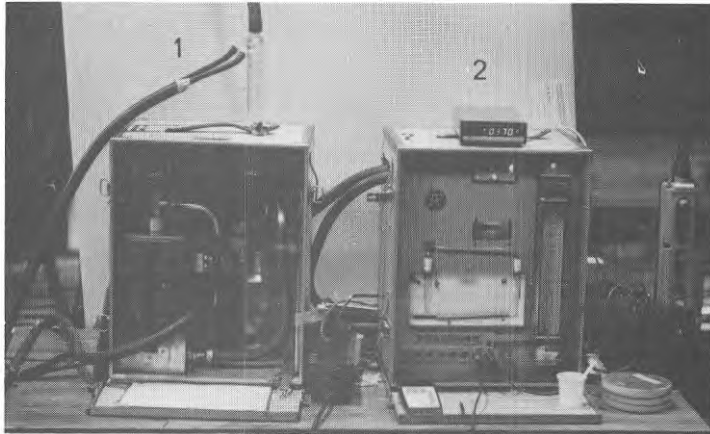


FIG 12.8 Ångpanneföreningens apparat (apparatskåp 1 och 2)



FIG 12.9:1 Sond och sondrör (ÅF II)

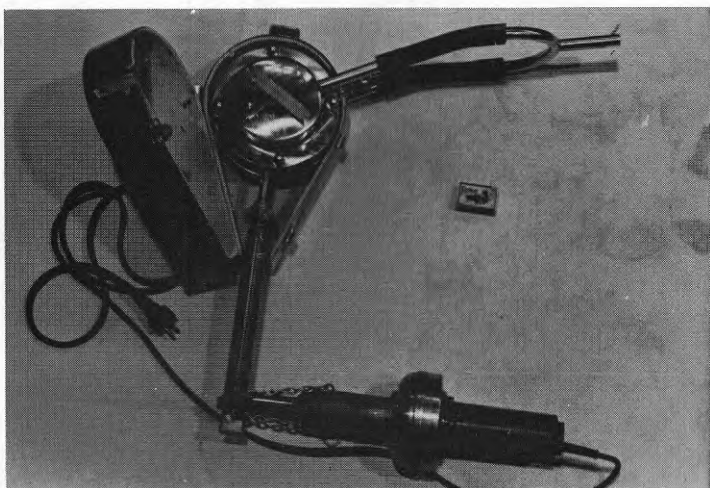


FIG 12.9:2 Filterhållare med elansluten varmluftsapparat (ÅF II)



FIG 12.9:3 Filter och filterhållare (ÅF II)

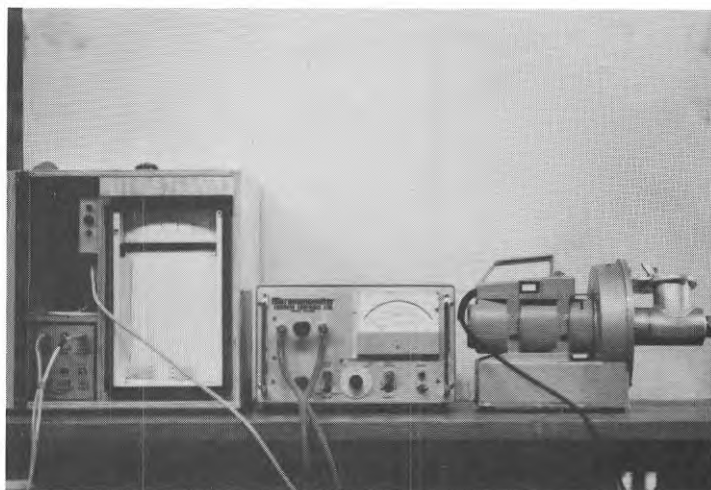


FIG 12.10:1 AB Atomenergis apparat (At)

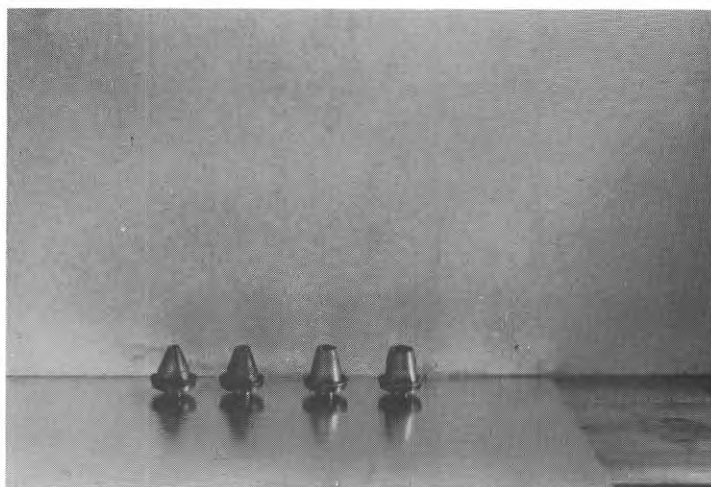


FIG 12.10:2 Sonder till At-apparat



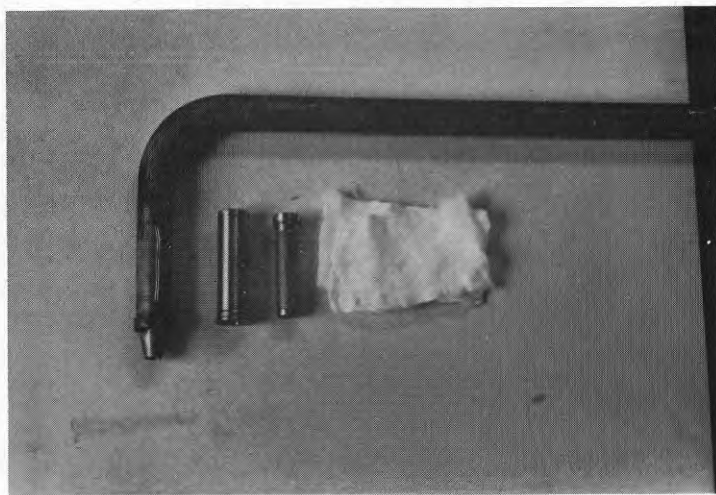


FIG 12.10:3 Sondrör, sond och filter till At-apparat

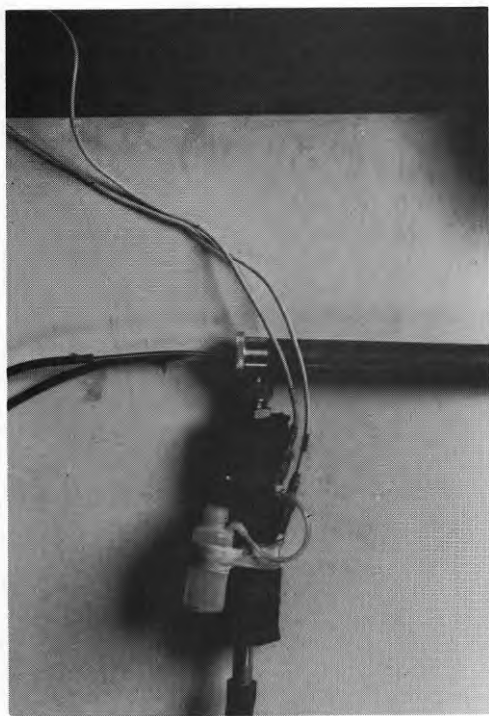


FIG 12.10:4 Psykrometer för bestämning av fukttinnehållet i provgasen (At-apparat)

### 12.9 Ångpanneföreningens apparat II

Denna apparat är främst avsedd för att mäta stoftmängder i stora anläggningar. Som sonder används såväl typ nolltrycks- sond som enkel provtagningssond. Sond och sondrör är utförda utan förbindningar (se FIG 12.9:1). Filtret utgörs av ett planfilter innesluten i en filterhållare som via ett värmerör är ansluten till en varmluftsapparat. Temperaturen i filterhållaren regleras med temperaturregulator med omkopplare. FIG 12.9:2 och 12.9:3. Liksom vid ÅF:s apparat I förs gasen från filtret till apparatskåp I för kylning och torkning samt via pumpen till apparatskåp II för flödesmätning och där också temperaturregleringsorgan för filtret är placerat. Vid användning av enkel provtagningssond ansluts ett pitotrör till mikromanometern (apparatskåp II) för bestämning av gashastigheten i kanalen.

### 12.10 AB Atomenergis apparat

Utrustningen är nyligen utvecklad och är avsedd för isokinetisk provtagning och gravimetrisk bestämning av stoft i strömmande gaser vid en temperatur upp till 600°C (FIG 12.10:1).

Inloppsdelens (FIG 12.10:2) är utbytbar för olika flöden och gashastigheter. Ett filter av kvartsull är inneslutet i en cylindrisk filterhållare (patron) som är placerad i sonden omedelbart efter munstycket och hålls uppvärmd av rökgaserna. (FIG 12.10:3). Sonden kan förlängas med skarvrör och kan med speciell konsol fästas vid gaskanalen. Efter sonden ansluts en fuktmätare (psykrometer) för bestämning av fukttinnehållet i provgasen. (FIG 12.10:4) För bestämning av gashastighet i kanalen används en hastighetsmätsond och mikromanometer. Ett venturirör är inbyggt i sondröret. Det beräknade differensstycket över venturiröret inställes och avläses med hjälp av en mikromanometer och registreras på ett visarinstrument. Gastemperaturen uppmäts med termoelement och registreras på skrivare.

Vid provtagning avleds en mindre del av gasen före fuktmätaren och tvättas i tre kylda seriekopplade gastvättflaskor med absorptionslösning för svavelföreningar. Den avsugna gasvolymen uppmäts med gasur sedan gasen torkats. Analys av insamlade prover sker på laboratorium.

### 13. SAMMANSTÄLLNING AV STOFTMÄTNINGSANORDNINGARNAS UTRUSTNING

En sammanställning av olika apparatutrustningar framgår av tabell 13 enligt följande uppdelning.

- Metod
- Sondtyp
- Anordning, sond, sondrör
- Filtertyp
- Uppvärmningsanordning av filter, filterhållare och cyklon
- Utrustning för bestämning av gashastigheten
- Utrustning för bestämning av gasflöde
- + Övriga anordningar

TAB. 13.

Provade stoftmätningstrustningar		BP	TYP 702	KTH I	KTH II	SF	Ströh lein	Shell	ÅF I	ÅF II	At
Metod	Gravimetrisk (filter) — " — (cyklon) Kemisk	•	•	•	•		•		•	•	•
Sondtyp	Enkel mätsond Hastighetssond Nolltryckssond	•	•	•	•	•	•	•			•
Anordning Sond Sondrör	Utbytbar sondhylsa Helt sondrör Förlängn.bart sondrör Elektriskt uppvärmt sondrör	•	•			•	•	•	•	•	•
Filtertyp	Kvartsull i glashylsa — " — teflonhylsa — " — stålhylsa — " — munstycksdel	•			•		•	•			•
	Kvartsglasullshylsa Planfilter, glasfiber Planfilter, sintr. silver Cyklon och provrör		•	•		•			•	•	
Uppv.anordn. filter, filterhållare cyklon	Uppvärmd av rökgas — " — el-slinga — " — varmluft	•	•	•	•	•	•	•		•	•
Utrustn. för bestämning av gashas- tighet	Pitotrör el. Prandtlrör med mikromanometer el. U-rör Tryckdifferensmätare Tryckfallsmätn. över cyklon	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Utrustn. för bestämning av gasflöde	Strypfläns (termoelement) Gasur Rotameter Venturidys (mätblände) Kalibreringskurva för cyklon	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Övriga anordningar	Kylning av rökgas Torkning av rökgas Avskilj. av svavelföreningar Fuktmätn. med psykrometer Automatisk tidtag. vid prov	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Digital registrering av flöde Revolverkonstr. filterhållare Bajonettfattn. — " — Registrering av tryck och temperatur			•	•				•	•	•

#### 14. STOFTMÄNGDSMÄTNINGARNAS PRINCIPIELLA UTFÖRANDE VID UNDER-SÖKNINGEN

- Provanläggningens driftbetingelser har i möjligaste mån anpassats lika vid samtliga försök. Noggrannheten härvid är för lufttemperaturen  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ , oljeflöde  $\pm 0,1$  kg/h samt för luftflöde  $\pm 3\%$ .
- Antalet provningar vid varje mätning har anpassats till önskad mätnoggrannhet.
- Gashastigheten i kanalen har beräknats med utgångspunkt från uppmätta data samt genom uppmätning med pitotrör.
- Som regel har isokinetisk avsugning utförts varvid gashastigheten i sondmynningen i möjligaste mån anpassats lika med gashastigheten i kanalen.
- Vissa provningar har utförts med icke isokinetisk avsugning varvid gashastigheten i sonden hållits lägre eller högre än hastigheten i kanalen.
- Stoftmängdsmätningarna har utförts som delgasprov med sonden placerad i centrum av kanalen (avsugning från endast en punkt ger i detta fall en fullt acceptabel mätnoggrannhet)
- Kontroll av vid provningarna erhållna stofthalter har utförts genom uppmätning (viktbestämning) av det stoft som avskilts i den till laboratoriepannan anslutna cyklonen under en viss tid och genom bestämning av stofthalten i gaskanalen efter cyklonen.
- Vid stoftmängdsmätningarna har lufttemperatur, oljetemperatur och oljeflöde samt förbränningsgasens temperatur, koldioxidhalt och sotal regelbundet mätts under hela provet. Monoapparat för kontroll av  $\text{CO}_2$ -halten har kontinuerligt varit inkopplad under drift.
- Erforderliga mätningar, avläsningar och iakttagelser i övrigt har antecknats i för provningarna upprättade provningsprotokoll.
- De anvisningar över mätmetodik som lämnats av respektive tillverkare eller dennes ombud har följts under provningarna.

#### 15. PROVNING AV BP-APPARAT

##### 15.1 Icke isokinetisk avsugning

En undersökning av BP-apparat av äldre modell vid icke isokinetisk avsugning har gjorts. Fyra mätningar i mätplan I vid driftsdata enligt tabell 15.1:1 utfördes. Erhållna stofthalter framgår av tabell 15.1:2, liksom avsugningshastigheten i kanalen. Värdena har även införts i FIG 15.1:1.

TABELL 15.1:1

Prov nr		1	2	3	4
Oljetryck <sup>1)</sup>	kp/cm <sup>2</sup>	1,78	1,78	1,78	1,78
Oljeflöde	kg/h	6,0	6,0	6,0	6,0
Oljetemperatur	°C	73	73	74	73
CO <sub>2</sub> -halt	%	14,0	14,0	14,0	14,0
Sottal Bacharach		5	6	6	5
Rökgastemperatur	°C	212	214	218	192
Panntemperatur	°C	82	81	83	87
Rumstemperatur	°C	22	22	22	20

1)  $1 \text{ kp/cm}^2 = 98,0665 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2$

TABELL 15.1:2

Prov nr	Stofthalt mg/m <sup>3</sup>	Relativ avsug- ningshastighet
1	92	1,15
2	102	0,91
3	136	0,72
4	433	0,36

De erhållna värdena kompletterades med en mätserie med driftsdata enligt tabell 15.1:3. Gasflödet hölls vid ca 500 l/h (mot isokinetiska 960 l/h). Även dessa mätvärden har inlagts i FIG 15.1:2 och anges i tabell 15.1:4.

TABELL 15.1:3

Prov nr		5	6	7	8
Oljetryck	kp/cm <sup>2</sup>	1,75	1,75	1,75	1,75
Oljeflöde	kg/h	6,1	6,0	6,0	6,0
Oljetemperatur	°C	72	75	73	73
CO <sub>2</sub> -halt	%	14,0	14,0	14,0	14,1
Sottal Bacharach		6	5-7	6	6
Rökgastemperatur	°C	210	205	210	210
Panntemperatur	°C	88	96	90	91
Rumstemperatur	°C	24	24	24	24

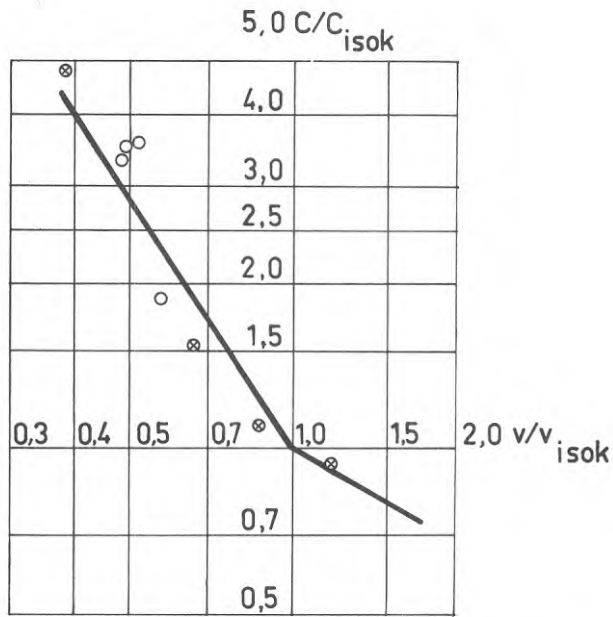


FIG 15.1:1 BP-apparat. Sambandet mellan hastighetsförhållandet ( $v/v_{isok}$ ) och förhållandet mellan uppmätt stoftkoncentration ( $C$ ) och verklig ( $C_{isok}$ ).

x Enligt tabell 15.1:2  
o " " 15.1:4

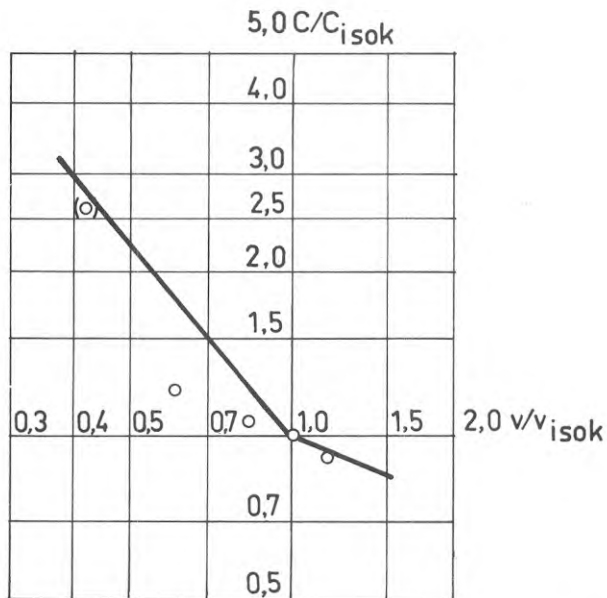


FIG 15.1:2 BP-apparat. Sambandet mellan hastighetsförhållandet ( $v/v_{isok}$ ) och förhållandet mellan uppmätt stoftkoncentration ( $C$ ) och verklig ( $C_{isok}$ ). (Enligt tabell 15.1:2) Korrektionskurvan för underisokinetisk avsugning är här osäker.

TABELL 15.1:4

Prov nr	Stofthalt mg/m <sup>3</sup>	Utsuget gasflöde l/h	Relativ avsugnings- hastighet
5	286	480	0,50
6	308	500	0,52
7	184	580	0,60
8	317	500	0,52

I ett följande experiment har inverkan av icke isokinetisk avsugning ytterligare studerats vid normaldriftsdata. Vid fem prov konstaterades de i tabell 15.1:5 angivna stofthalterna vid angivna relativa avsugningshastigheter.

TABELL 15.1:5

Prov nr	Stofthalt mg/m <sup>3</sup>	Relativ avsug- ningshastighet
1	130	1,00
2	153	0,62
3	120	1,23
4	330	0,41
5	135	0,82

Värdena avbildas i diagrammet, FIG 15.1:2.

### 15.2 Vägningsfel (kvartsull i glashylsa)

BP-filterapparat innehåller som stoftavskiljande del ett glasullsfilter enligt FIG 15.2:1.

Filterhållaren - en glascylinder med en sintrad platta levereras normalt med slipade ändar (vid A i bilden). Vid användning i apparaten kläms filtret mellan två packningar av teflon (eventuellt silikongummi) på vilka lätt små askpartiklar kan fastna. Sådana hårda partiklar kan lätt åstadkomma en krossning av filterhållarglasen, så att ytterst små (och svårigen upptäckbara) glasflisor lossnar. Detta kan i hög grad påverka differensen mellan vikten efter och vikten före ett prov.

Risken för fel i stoftvikten kan nedbringas genom användande av rundsmälta rör, på vars ytor skador lätt kan upptäckas. Prov uppvisande skador bör för att godtas (och blott vid överlagsmätningar) innehålla mycket stora stoftmängder.

Sinterplattan kan - vid småfibrig glasull - släppa igenom filtermaterial, vilket även leder till en minskad differensvikt. För att minska denna felrisk kan man före första vägningen suga ca 100 m<sup>3</sup> ren luft genom filtret. Lösa fibrer kan då bortgå.

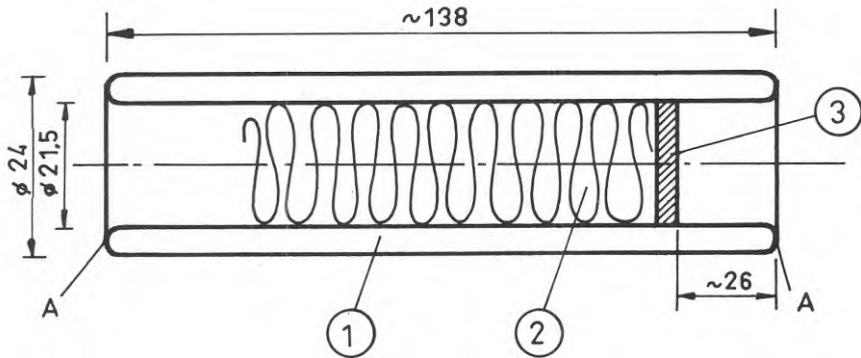


FIG 15.2:1 1. Glasylinder  
2. Glasull  
3. Sintrad platta  
A. Slipade ändrar



Vid vägning kan fel till följd av slarvigt handhavande bli betydelsefulla. Som exempel härpå kan nämnas att filterhållaren måste hållas ren (och hanteras med provrörstång) vid vägningen. I tabell 15.2:1 visas resultat från en provserie utförd så att laboranten fattar röret med fingrarna och ställer det på vägsålen. Tiden för rörelsen uppskattades till ca 5 sekunder.

TABELL 15.2:1

Vägning nr	Vikt g	Differens g
1	32,26261	0,00022
2	32,26283	0,00007
3	32,26290	0,00003
4	32,26293	0,00005
5	32,26298	0,00001
6	32,26299	0,00003
7	32,26302	0,00010
8	32,26312	0,00012
9	32,26324	

Medeldifferensen 0,00006 g

Först vid en stoftmängd av ca 10 mg utgör felet från fingeravtryck mindre än 1%. Vid mätning på destillatolja motsvarar denna stoftmängd ett gasprov om ungefär 200 m<sup>3</sup>.

Avtorkning av ett rör som utan rengöring flyttats 10 gånger gav en viktminskning om 1 mg. Rengöring (som tyvärr tar tid i anspråk) är tydligen nödvändig.

Motsatt effekt kan erhållas om laboranten under tillräckligt lång tid håller i röret (som då värms). I några uppträdande fall kan konvektionsströmmen göra att en viktminskning noteras. I tabell 15.2:2 anges resultat från en försöksserie i avsikt att påvisa denna felkälla.

TABELL 15.2:2

Vägning nr	Vikt g	Differens g	Anm
1	32,26390	+ 0,00003	Filtret hålls normal tid med handen.
2	32,26393	+ 0,00010	
3	32,26383	+ 0,00001	
4	32,26384	+ 0,00004	Filtret ej rengjort mellan proven
5	32,26388	+ 0,00005	
6	32,26393		
7	32,26393	+ 0,00000	Filtret hålls ca 1 min med handen
8	32,26386	- 0,00007	
9	32,26376	- 0,00010	Filtret ej rengjort mellan proven
10	32,26365	- 0,00011	

Ökningen är dock större än vad som framgår av tabellen genom att ökningen från "fingeravtryck" tillkommer.

#### Sammanfattning

Som framgår av ovanstående redogörelse, bör vägning ske omsorgsfullt, filterhållaren rengöras och hantering ske med provrörstång (eller motsvarande).

### 16. PROVNING AV RINGSTEDT-APPARAT TYP 702

#### 16.1 Mätningar enligt anvisningar för apparaten

För att studera egenskaperna hos en ny apparat (1974) för stoftmätning - här kallad cyklonapparat typ 702 - har en serie mätningar utförts. Mätningarna har skett vid förbränning med driftsdata enligt tabell 16.1:1.

TABELL 16.1:1 Driftsdata

Oljeflöde	6,0 kg/h
Oljetryck	1,2 kp/cm <sup>2</sup>
Oljetemperatur	54°C
Panntemperatur	75°C
CO <sub>2</sub> -halt	11%
Gastemperatur	290°C vid mätstället
Sottal	6 enheter

Mätningar utfördes vid fem olika gasflöden genom apparaten, se tabell 16.1:2.

TABELL 16.1:2

Prov- serie nr	Gasflöde $\dot{q}_n$ m <sup>3</sup> /s (0°C; 760 mm Hg)	Gasflöde q vid verklig temperatur m <sup>3</sup> /s	l/min	Temperatur i cyklonen °C
1	0,00068	0,00102	( 61,2)	140
2	0,00093	0,00147	( 88,2)	160
3	0,00129	0,00214	(128,4)	180
4	0,00165	0,00297	(178,2)	220
5	0,00236	0,00447	(268,2)	245

Mätningarna utfördes så att spridningen i försöksresultat kunde beräknas. Mätdata vid de olika försöken framgår av tabellerna 16.1:3 - 16.1:7.

TABELL 16.1:3 Mätdata för provserie 1

Prov nr	Avskiljd stoftmängd gram under 600 sekunder
1,1	0,00399
1,2	0,00612
1,3	0,00756
1,4	0,00586
1,5	0,00582
Medelvärde	0,00587
	Standardavvikelse 0,00127 gram

TABELL 16.1:4: Mätdata för provserie 2

Prov nr	Avskiljd stoftmängd gram under 600 sekunder
2,1	0,01657
2,2	0,01391
2,3	0,01542
2,4	0,01529
2,5	0,01088
Medelvärde	0,01441
	Standardavvikelse 0,00219 gram

TABELL 16.1:5: Mätdata för provserie 3

Prov nr	Avskiljd stoftmängd gram under 600 sekunder
3,1	0,03441
3,2	0,03360
3,3	0,02404
3,4	0,02299
3,5	0,02725
Medelvärde	0,02846 Standardavvikelse 0,00531 gram

TABELL 16.1:6: Mätdata för provserie 4

Prov nr	Avskiljd stoftmängd gram under 600 sekunder
4,1	0,05667
4,2	0,05710
4,3	0,05182
4,4	0,04531
4,5	0,04659
Medelvärde	0,05149 Standardavvikelse 0,00549 gram

TABELL 16.1:7: Mätdata för provserie 5

Prov nr	Avskiljd stoftmängd gram under 600 sekunder
5,1	0,06382
5,2	0,05407
5,3	0,05741
5,4	0,05195
5,5	0,05689
5,6	0,05217
Medelvärde	0,05605 Standardavvikelse 0,00444 gram

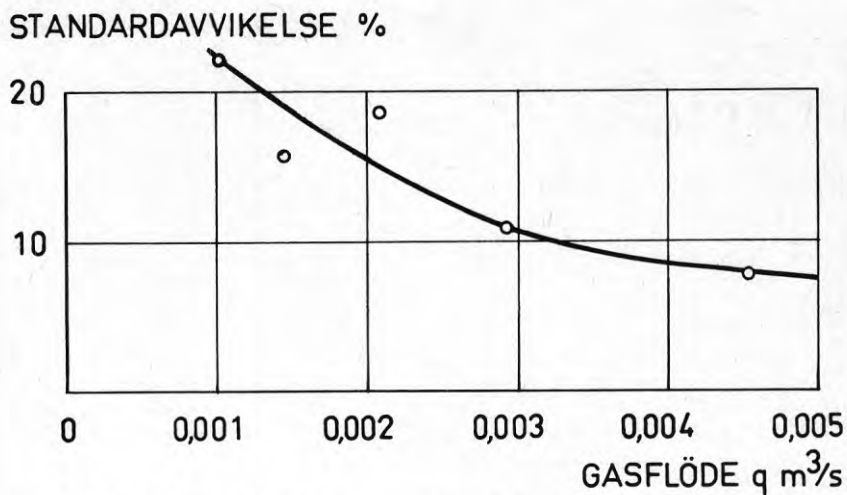


FIG 16.1:1 Ringstedt-apparat. Relativ spridning av mätresultaten för avskild stoftmängd som funktion av gasflödet ( $q$ ).

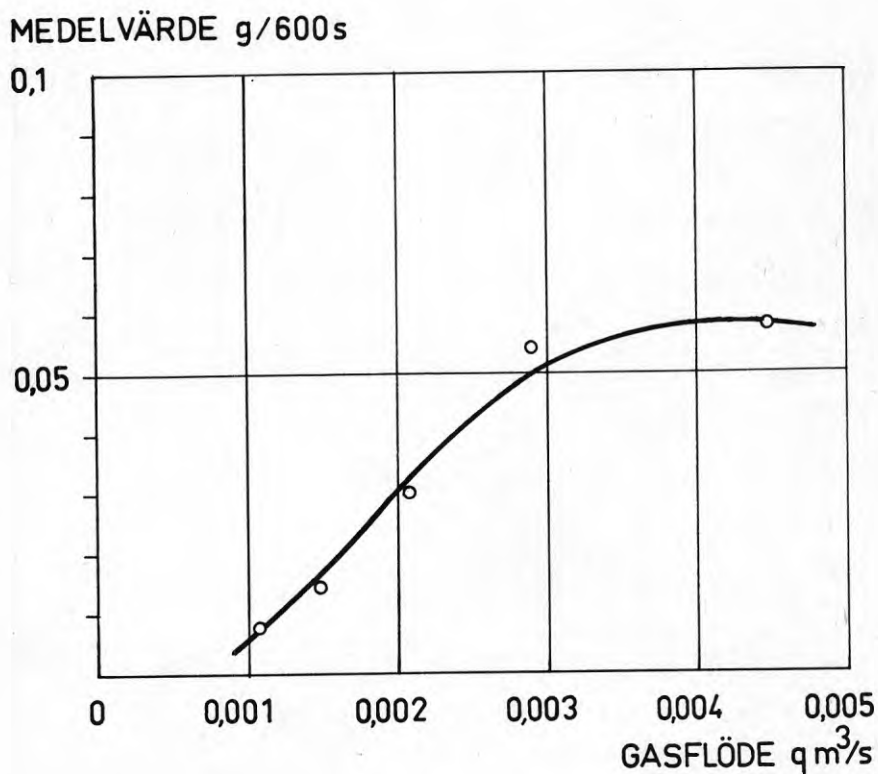


FIG 16.1:2 Ringstedt-apparat. Avskild stoftmängd (g) under 600 sekunder som funktion av gasflödet ( $q$ ).

Mätningarna har utförts enligt anvisningarna för apparaten, dvs utan torkning av stoftet och utan hänsyn till att stoft ej avskiljts fullständigt. Dessa båda effekter skall undersökas separat. I tabell 16.1:8 sammanfattas resultatet av medelvärden och spridning.

TABELL 16.1:8

Prov nr	Medelvärde g/600 sek	Gasflöde l/min	Temp cyklon °C	Standardavvikelse g/600 sek	%
1	0,00587	61	140	0,00127	22
2	0,01441	88	160	0,00269	19
3	0,02845	128	180	0,00530	19
4	0,05149	178	220	0,00549	11
5	0,05615	268	245	0,00440	8

Som framgår av tabellen avtar den relativa spridningen vid högre flöden prov 5, se även FIG 16.1:1.

Av tabellen framgår även att mätvärdet varierar med gasflödet genom cyklonen. Lämpligheten av att som anges av tillverkaren använda den dubbla isokinetiska hastigheten kan därför ifrågasättas, se FIG 16.1:2.

### 16.2 Undersökning av fuktansamling

Vid användning av cyklonapparat typ 702 uppträder kondens i cyklonen vid temperaturer lägre än 150°C i cykloninloppet. Stoftet i cyklonen samt avsatt stoft i cyklon, rör, etc avskiljs åter vid genomströmning med hetare gas (165 - 170°C). Mätning bör därför ej ske vid temperaturer under ca 160°C (vilket kan motsvara över 300°C vid provtagningsstället). Gasen kyls kraftigt i sondröret, vilket vanligtvis måste göras långt med hänsyn till svåråtkomligheten vid fältmätningar i panncentraler.

För gasens avkylning  $\Delta \theta$  gäller med beteckningarna enligt FIG 16.2:1.

$$\frac{\theta_1 - \theta_0}{\theta_2 - \theta_0} = \exp \frac{k \cdot A}{c_p \cdot \rho \cdot q}$$

där  $c_p$  är specifika värmekapaciteten Ws/kg °C

$k$  sondrörets  $k$ -värde W/m<sup>2</sup> °C

$A$  sondrörets omslutningsarea m<sup>2</sup>

$\rho$  gasens densitet kg/m<sup>3</sup>

$q$  flödet m<sup>3</sup>/s

$\theta_0$  omgivningstemperaturen °C

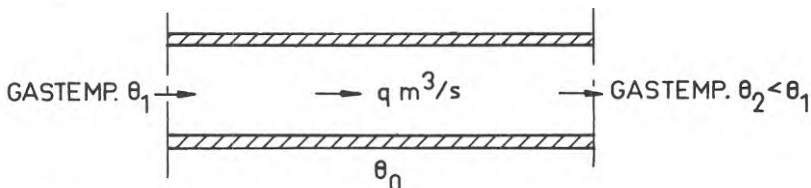


FIG 16.2:1 Gasens avkylning i sondrör

För  $\theta_1 > \theta_2 \gg \theta_0$

$$A = \pi \cdot d \cdot L$$

(L = sondrörets längd m)

(d = sondrörets diameter m)

$$\frac{1}{k} \approx \frac{1}{\alpha_u} + \frac{1}{\alpha_i} + \frac{\delta}{\lambda}$$

där  $\delta$  är sondrörets godstjocklek m

$\lambda$  materialets värmeledningstal W/m °C

$\alpha_i$  och  $\alpha_u$  är värmeövergångstalen (W/m<sup>2</sup> °C) på in- och utsidan av röret

samt  $\alpha_i > \alpha_u$

$$\delta/\lambda \approx 0$$

$$\text{erhålls } \frac{\theta_1}{\theta_2} \approx \exp \frac{\pi \cdot \alpha_u \cdot d \cdot L}{c_p \cdot \rho \cdot q}$$

Inför vi värdena

$$\alpha_u \sim 9 \text{ W/m}^2 \text{ °C}$$

$$\pi \cdot d \cdot L \sim 0,07 \text{ m}^2$$

$$c_p \sim 1000 \text{ Ws/kg °C}$$

$$\rho \sim 0,6 \text{ kg/m}^3$$

$$q \sim 0,0015 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{erhålls } \frac{\theta_1}{\theta_2} = 1,9$$

$$\text{eller } \theta_1 - \theta_2 = 0,8$$

$$\theta_2 = \frac{0,8}{1,8} \theta_1 = 0,4 \theta_1 = \Delta \theta$$

där  $\Delta \theta$  är temperaturfallet i sondröret. Vid  $\theta_1 = 290^\circ\text{C}$  erhålls temperaturfallet  $0,4 \cdot 290 = 120^\circ\text{C}$ , dvs  $\theta_2 = 290 - 120 = 170^\circ\text{C}$  mot uppmätta  $200^\circ\text{C}$ . I FIG 16.2:2 anges - för de ovan angivna överslagsvärdena -  $\Delta \theta$  enligt beräkning och enligt mätning.

Kondensutfallet leder till ökad massa hos det avskilda stoftet. Enligt handledning för apparaten behöver ej kondensen beaktas. I en försöksserie har relevansen i detta undersökts. Tabell 16.2:1 visar mätdata för försöken.

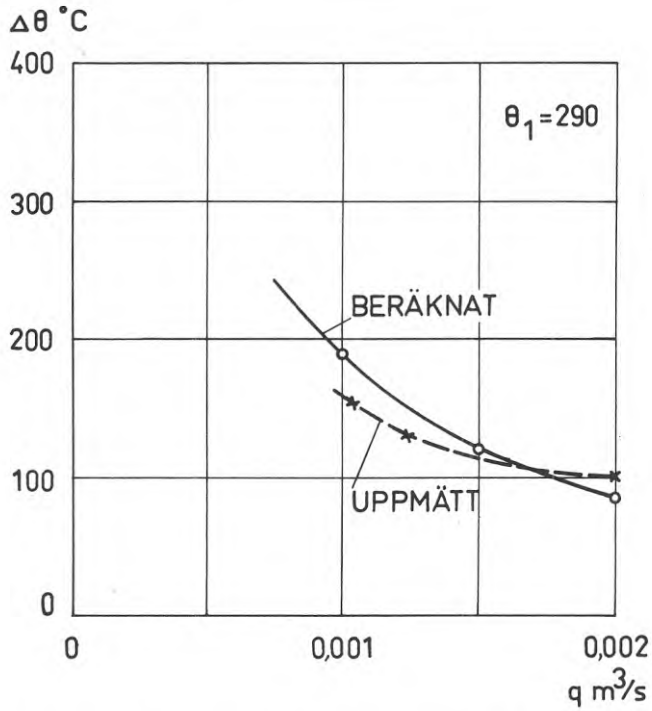


FIG 16.2:2 Beräknat och uppmätt temperaturfall i sondröret ( $\Delta\theta$ ) som funktion av gasflödet ( $q$ ).

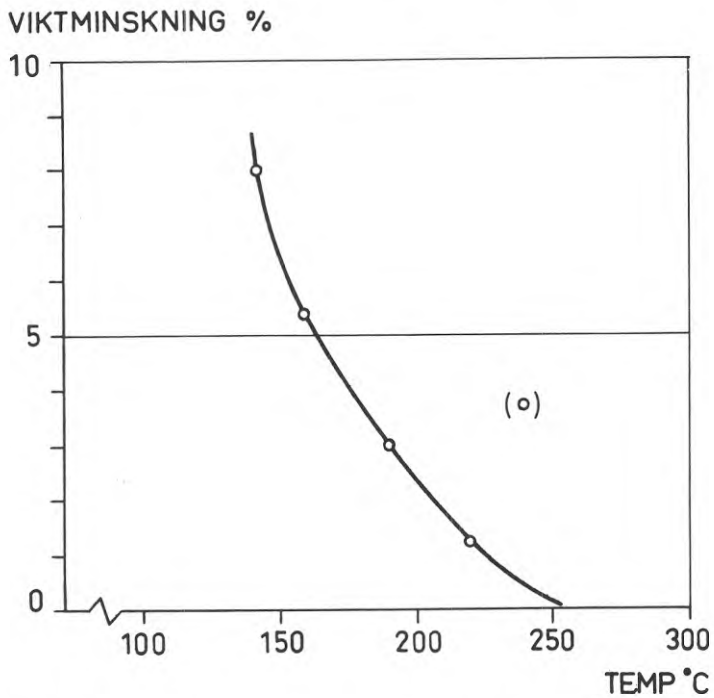


FIG 16.2:3 Relativ viktminskning av stoftet efter torkning vid olika temperaturer i cyklonen. Vid ca 250 $^\circ\text{C}$  i cycloninloppet är fuktutfällningen och därmed viktminskningen eliminerad.



TABELL 16.2:1

Försök nr	Temp i cyklon °C	Stoftvikt före torkning g	Stoftvikt efter torkning g
1	140	0,0346	0,0318
2	160	0,0480	0,0455
3	190	0,1419	0,1377
4	220	0,2497	0,2468
5	240	0,1897	0,1828

Viktminskningen framgår av tabell 16.2:2 och av FIG 16.2:3.

TABELL 16.2:2

Prov nr	Temperatur i cyklon °C	Viktminskning g	%
1	140	0,0028	8,0
2	160	0,0025	5,2
3	190	0,0042	3,0
4	220	0,0029	1,2
5	240	0,0069	(3,6)

Som antyds i bilden skall temperaturen vid cykloninloppet vara ca 250°C för att fuktutfällning skall vara helt eliminerad.

### 16.3 Undersökning av stoftgenomsläpp

Som framgår av beskrivningen av cyklonapparat typ 702 kan flamsot eller stoft med liten kornstorlek passera cyklonen. Förutom stoftets storlek spelar gashastigheten genom cyklonen en avgörande roll. Alldenstund gashastigheten är en funktion av flödet och gastemperaturen kan stoftgenomsläppet bli beroende av provtagningsförutsättningarna.

En provserie för bestämning av stoftgenomsläppet har genomförts. Härvid har "standardstoft" motsvarande det som bildas vid förbränning enligt standarddriftfallet, se tabell 16.3:1, använts.

TABELL 16.3:1 Driftdata

Oljeflöde	6,0 kg/h
Oljetryck	1,2 kp/cm <sup>2</sup>
Oljetemperatur	54°C
Panntemperatur	~80°C
CO <sub>2</sub> -halt	11%
Gastemperatur	290°C vid provtagningsstället
Lufttemperatur	22°C
Lufttryck	760 mm Hg
Sottal	6 enheter

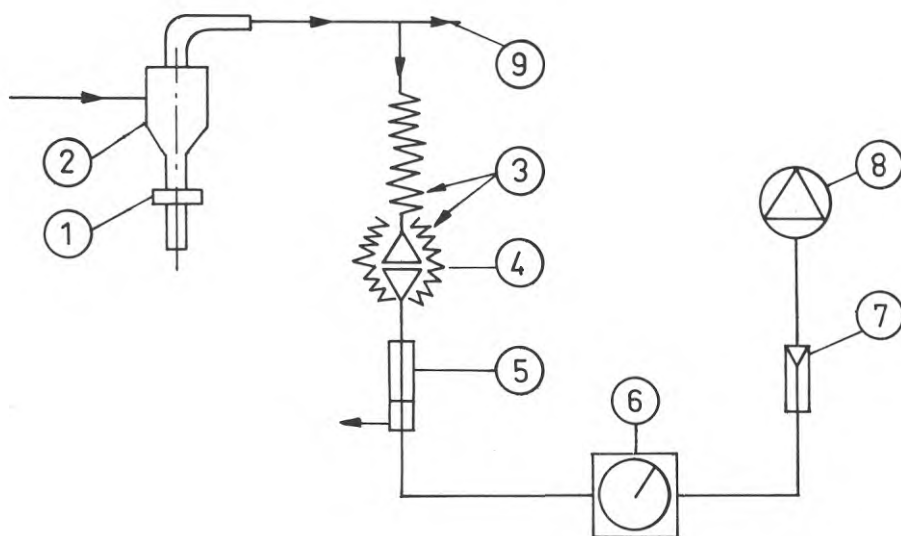


FIG 16.3:1

1. Mätcyklon	5. Kylare
2. Gastorn	6. Gasur
3. Värmekabel	7. Flödesmätare
4. Silverfilter	8. Pump
	9. Delgasprov

För mätningen uttogs prov från gasen efter mätcyklonen. Proven passerade ett silverfilter (porstorlek  $0,45 \mu\text{m}$ ) varefter gasen kylades till  $\sim 25^\circ\text{C}$ . Gasflödet mättes med en rotameter och gasvolymen med ett kalibrerat gasur. Uppställningen framgår av FIG 16.3:1.

Stofthalten på silverfiltren bestämdes genom utvägning (och efter torkning). Försöksdata enligt tabell 12.3:2 (normal  $\text{-m}^3$ ).

TABELL 16.3:2

Försök nr	Stoftgenomsläpp $\text{g/m}^3$ gas	Medelvärde	Gasflöde genom cyklonen $\text{m}^3/\text{s}$
1	0,020	0,023	0,00068
2	0,026		
3	0,026	0,029	0,00093
4	0,032		
5	0,052	0,040	0,0013
6	0,027		0,0016
7	0,053		
8	0,042	0,034	0,0024
9	0,026		

Som framgår av tabellen ligger stoftgenomsläppet vid ca  $30 \text{ mg/m}^3$  gas eller ca  $0,5 \text{ g/kg}$  olja inom hela intervallet. För en anläggning som nått och jämt innehåller statens planverks angivna gränsvärde  $1,5 \text{ g/kg}$  olja motsvarar felet ca 30%. Felet är systematiskt (dvs man erhåller alltid för låg stofthalt vid en mätning). Då stoftgenomsläppet är beroende på en rad orsaker (se ovan) kan de erhållna värdena ej läggas till grund för en generell korrektion. Stoftgenomsläppet som funktion av stofthalten (mätt med cyklonapparat typ 702) anges i tabell 16.3:3.

TABELL 16.3:3

Prov nr	Flöde $q$ genom cyklonen $\text{m}^3/\text{s}$	Prov-tid sek	Stofthalt utan korr för genomsläpp $\text{g/m}^3(\text{norm})$	Stofthalt med korr för genomsläpp $\text{g/m}^3(\text{norm})$
1	0,00068	600	0,0190	0,042
2	0,00068	600	0,0134	0,039
3	0,00093	600	0,0349	0,061
4	0,00093	610	0,0582	0,090
5	0,00129	600	0,0393	0,091
6	0,00165	600	0,0406	0,068
7	0,00165	600	0,0172	0,070
8	0,00236	600	0,0618	0,104
9	0,00236	600	0,0420	0,068

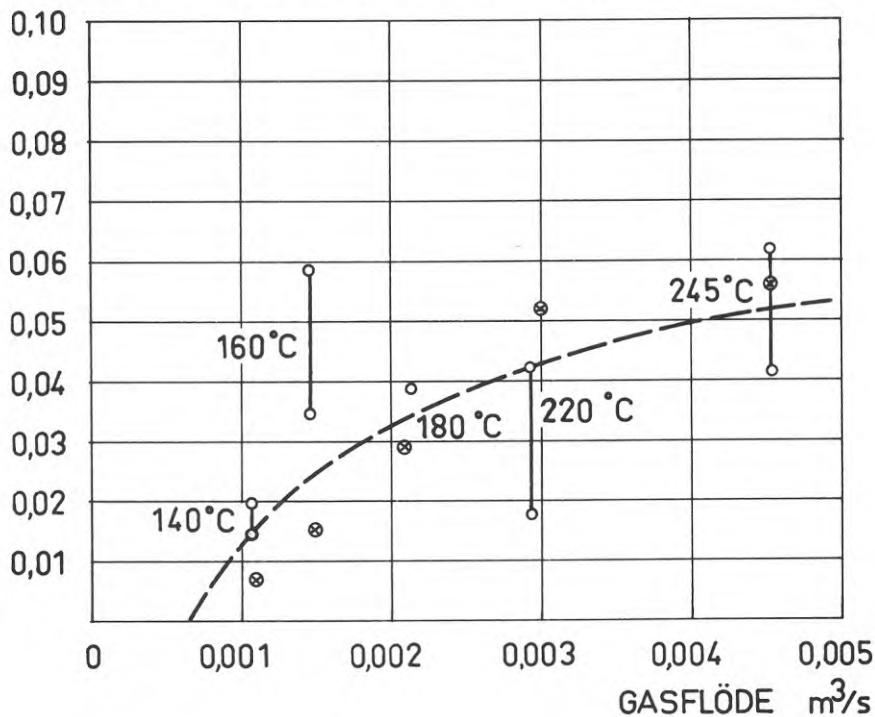
AVSKILJT I CYKLON  $\text{g}/\text{m}^3$  (NORMAL)

FIG 16.3:2 Den inlagda kurvan antyder hur avskiljningen av stoft i cyklonen ( $\text{g}/\text{m}^3$ ) varierar med gasflödet ( $\text{m}^3/\text{s}$ ). Stor spridning föreligger mellan uppmätta stofthalter vilket bland annat beror på att cyklonens avskiljningskaraktistik är hastighetsberoende.

Som framgår av tabellen föreligger stor spridning mellan uppmätta stofthalter i cyklonen. Detta beror bl a på att cyklonens avskiljningskaraktistik är hastighetsberoende. Vid de låga flödena blir följaktligen avskiljningen låg ( $\sim 0,02 \text{ g/m}^3$ ) medan den stiger vid ökande flöde, se FIG 16.3:2. I figuren har även data ( $\otimes$ ) från en andra försöksserie inlagts.

I figuren anges korrigerat flöde  $q_{\text{korr}}$  enligt

$$q_{\text{korr}} = q \cdot \frac{\theta + 273}{273}$$

där  $\theta$  är gastemperaturen i cyklonen. Uppmätta värden på  $\theta$  anges i figuren.

Den inlagda kurvan antyder hur avskiljningen varierar med flödet. Avvikelsen mellan kurvan och mätvärdena är speciellt stor vid  $\theta = 160^\circ\text{C}$ . Orsaken härtill är att vid detta prov tidigare i sond och cyklon i kondens fastsittande stoft lossnat och avskilts. Apparaten ger tydligen för högt mätvärde om den före provet används vid temperaturer mindre än ca  $150^\circ\text{C}$ . För övrigt kan konstateras att mätvärdet i hög grad beror på gasflödet genom apparaten.

#### 16.4 Återströmning av stoft

Vid försöken av cyklonapparat typ 702 har det visat sig att spridningen mellan erhållna värden var överraskande stor. Vid låga flöden genom apparaten (dvs vid små erhållna stoftmängder i cyklonen) kunde spridningen (mätt som standardavvikelse) bli ca 20% av mätvärdet medan variationsbredden kunde uppgå till ca 40%.

En av orsakerna härtill är att apparaten vid borttagning av stoftbehållaren står i öppen förbindelse med avgaskanalen och att därför stoft lätt kan strömma ut ur behållaren genom sonden och tillbaka till kanalen.

För att närmare undersöka fenomenet har en försöksserie med apparaten ansluten till olika undertryckkanaler (och till cyklonen) utförts. Resultaten framgår av tabell 16.4:1.

TABELL 16.4:1

Prov nr	Stoftmängd vid anslutning till undertryck 0	Stoftmängd kvar (g) vid öppnande och undertryck		Minskning %
		mm vp	g	
1	0,09772	53	0,05901	40
2	0,06912	43	0,05640	20
3	0,04292	30	0,02368	45
4	0,00657	13	0,00395	40

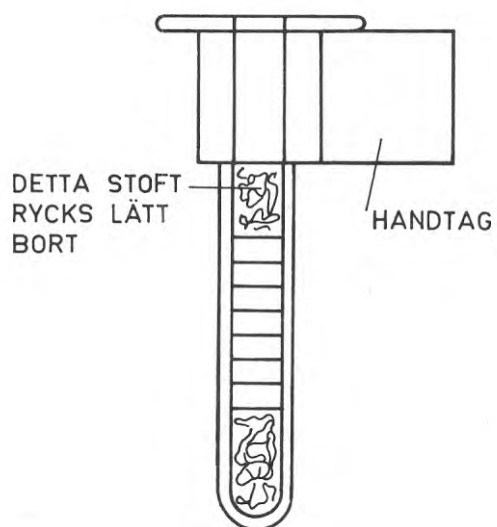


FIG 16.4:1 Stoftbehållaren i cyklonapparaten, typ 702

Som framgår av resultaten kan den utsugna stoftmängden bli betydande. Felet till följd av utsugningen är systematiskt och leder till konsekvent för små uppmätta värden då det uppträder.

Som framgår av tabellen kan felet variera inom vida gränser (20-50%). Under mätningar med apparaten har iakttagits en tendens till stoftminskning i de fall stoftet samlat sig i övre delen av (den alltför smala) stoftbägaren, se FIG 16.4:1.

I tabell 16.4:2 redovisas en serie försök med avsikt att undersöka inflytandet av stoftets läge.

TABELL 16.4:2

Prov nr	Stoftmängd g utan undertryck	Stoftmängd g med undertryck	Undertryck mm vp	Minskning %
5	0,07613	0,05672	53	15
6	0,03958	0,03801	43	5
7	0,03637	0,03247	30	11
8	0,06957	0,07939	53	- 13
9	0,06932	0,06475	43	7
10	0,04273	0,04187	30	2
11	0,01360	0,01359	13	0

I tabellens första del (prov 5-7) visas resultat, där stoftet fått samla sig på ett naturligt sätt, i den andra delen (prov 8-11) resultat, då stoftet knackats ned till B före borttagande av bägaren.

Nedknackningen av stoft minskar som synes utsläppet väsentligt. I ett fall erhålls en högre stoftmängd, vid borttagning med undertryck, än utan. Orsaken härtill är att värden erhållna vid två (under lika betingelser) gjorda försök normalt uppvisar en stor diskrepans beroende på den stora spridningen. De ovan angivna värdena visar således endast på tendensen vid anslutning till undertryck ej på felets storlek.

## 17. PROVNING AV KTH-APPARAT I

### 17.1 Icke isokinetisk avsugning

En undersökning av KTH-apparaten beskriven under punkt 9.3 har gjorts vid icke isokinetisk avsugning. Mätning skedde i vanlig ordning i nedre mätpunkten. Åtta mätningar vid driftsdata enligt tabell 17.1:1 utfördes. Erhållna stofthalter framgår av tabell 17.1:2, liksom avsugningshastigheten.

TABELL 17.1:1

prov nr	1	2	3	4	5	6	7	8
Oljetryck Kp/cm <sup>2</sup>	1,18	1,18	1,16	1,15	1,17	1,18	1,17	1,15
Oljeflöde kg/h	5,90	5,90	5,90	5,90	6,00	5,85	5,90	5,90
Oljetemp °C	56	55	56	52	53	56	52	53
CO <sub>2</sub> -halt %	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0
Sottal Bach	5	6	6	5	5	5	5	6
Rökgastemp °C	272	274	280	275	276	280	280	270
Panntemp °C	82	81	83	87	85	80	85	84
Rumstemp °C	22	22	22	21	20	22	22	22

TABELL 17.1:2

Prov nr	Stofthalt mg/m <sup>3</sup>	Gasflöde genom apparaten <sup>1)</sup> (l/h)	Relativ avsugningshastighet
1	0,033	400	1,72
2	0,081	228 (isokinetisk avsugning)	1,00
3	0,019	590	2,88
4	0,210	109	0,47
5	0,032	546	2,35
6	0,035	427	1,84
7	0,062	300	1,29
8	(0,09?)	618	(2,67)

1) Torr gas av normaltillstånd

Då apparaten är en nykonstruktion har utom programmet en kontrollserie körts. Driftsdata som ovan. Provresultaten framgår av tabell 17.1:3.

TABELL 17.1:3

Prov nr	Stofthalt mg/m <sup>3</sup>	Gasflöde <sup>1)</sup> l/h	Relativ gashastighet <sup>2)</sup>
9	0,102	140	0,75
10	0,020	640	2,29
11	(0,076)	640	2,29)
12	0,015	915	4,01
13	0,012	910	4,00
14	0,028	450	1,97
15	(0,054)	460	2,02)
16	0,121	170	0,75

1) Se tabell 17.1:2

2) Isokinetisk gashastighet motsvarar 228 l/h

Mätvärdena har inlagts i diagram, se FIG 17.1.



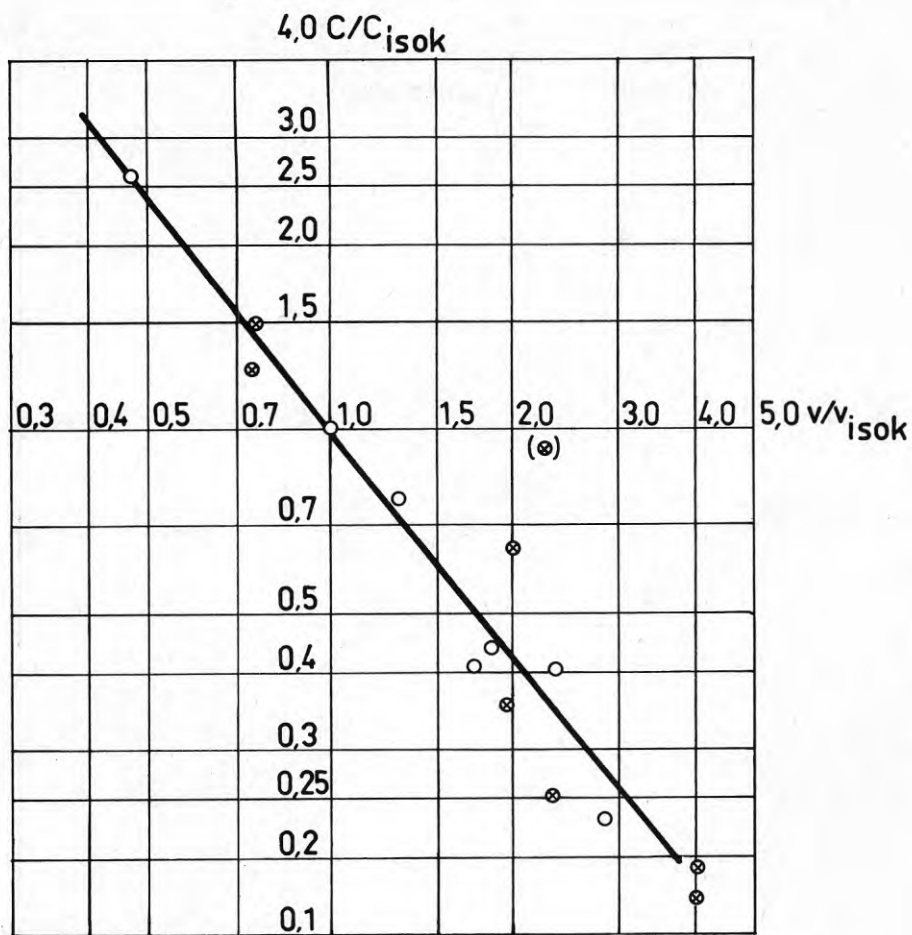


FIG 17.1

KTH I-apparat. Sambandet mellan hastighetsförhållandet ( $v/v_{isok}$ ) och förhållandet mellan uppmätt stoftkoncentration ( $C$ ) och verklig ( $C_{isok}$ ) (Enligt tabell 17.1:2 och 17.1:3).

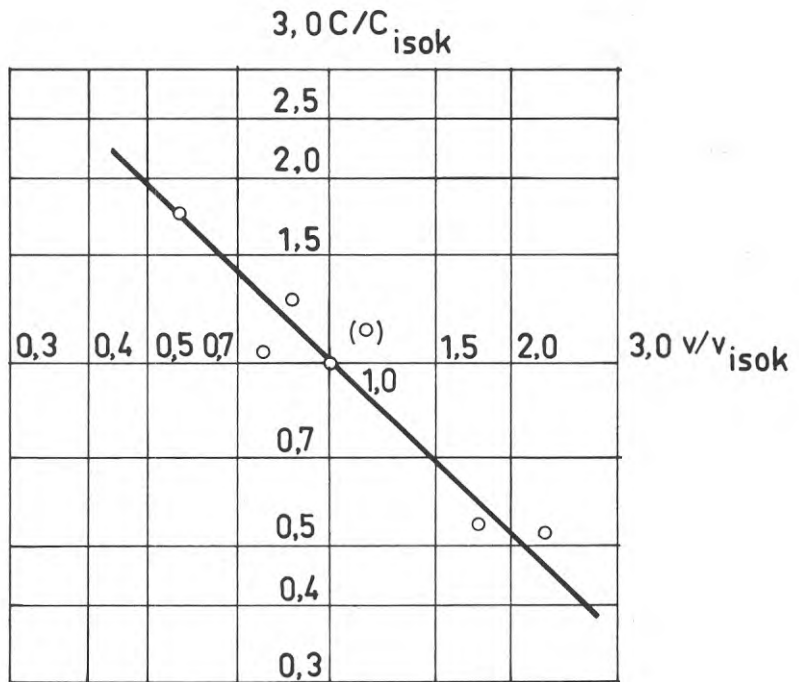


FIG 18.1 KTH II-apparat. Sambandet mellan hastighetsförhållandet ( $v/v_{isok}$ ) och förhållandet mellan uppmätt stoftkoncentration ( $C$ ) och verklig ( $C_{isok}$ ). (Enligt tabell 18.1)

18. PROVNING AV KTH-APPARAT II18.1 Icke isokinetisk avsugning

En undersökning av rubricerade stoftmätningstrustning vid icke isokinetisk avsugning har utförts. Sju mätningar genomfördes. Driftdata under proven enligt tabell 18.1:1.

TABELL 18.1:1

Prov nr		1	2	3	4	5	6	7
Oljetryck	kp/cm <sup>2</sup>	1,35	—————					+0,1
Oljeflöde	kg/h	6,0	—————					+0,1
Oljetemp	°C	75	—————					+3, -5
CO <sub>2</sub> -halt		10,2	10,0	10,0	10,0	9,8	10,3	10,0
Sottal enl Bach		4	4	4	4	4	4	4
Gastemp	°C	355	360	360	360	360	360	360
Pannvattentemp	°C	80	75	75	85	80	90	80
Rumstemp	°C	23	23	23	23	23	23	23

Erhållna relativa stofthalter (dvs  $C/C_0$ , där  $C_0$  är stofthalten vid isokinetisk avsugning) vid olika relativa avsugningshastigheter  $v/v_0$  (där  $v_0$  är hastigheten vid mätstället i kanalen) anges i tabell och i figur 18.1.

TABELL 18.1:2

Prov nr	Relativ avsugnings- hastighet $v/v_0$	Relativ stofthalt $C/C_0$
1	0,86	1,27
2	0,99	1,00
3	2,27	0,53
4	1,75	0,55
5	0,76	1,03
(6	1,14	1,12)
7	0,56	1,75

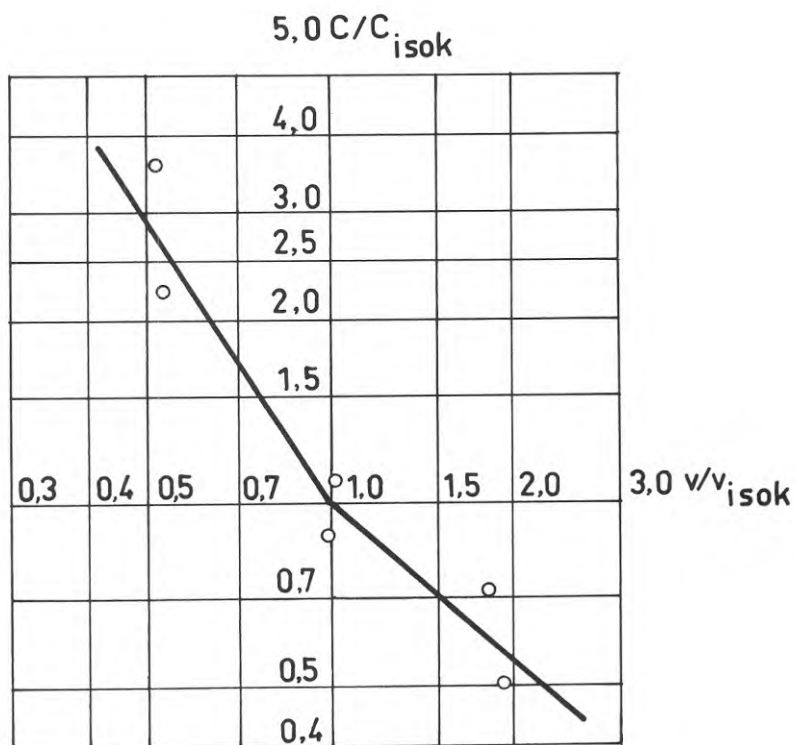


FIG 19.1 SF-apparat. Sambandet mellan hastighetsförhållandet ( $v/v_{isok}$ ) och förhållandet mellan uppmätt stoftkoncentration ( $C$ ) och verklig ( $C_{isok}$ ). (Enligt tabell 19.1:2)

19. PROVNING AV SF-APPARAT

19.1 Icke isokinetisk avsugning

En undersökning av SF:s stoftmätningstrustning (2 cyklonapparater) vid icke isokinetisk avsugning har utförts. Sex mätningar gjordes. Driftdata under proven enligt tabell 19.1:1.

TABELL 19.1:1

Prov nr	1	2	3	4	5	6
Oljetryck $\text{kp/cm}^2$	1,75	—————				$\pm 0,1$
Oljeflöde $\text{kg/h}$	6,0	—————				$\pm 0,1$
Oljetemperatur $^{\circ}\text{C}$	75	—————				+3, -5
$\text{CO}_2$ -halt %	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0
Sottal enl Bach	5	5	6	6	5	5
Gastemperatur $^{\circ}\text{C}$	290	285	285	280	285	285
Pannvattentemp $^{\circ}\text{C}$	83	80	83	85	85	80
Rumstemperatur $^{\circ}\text{C}$	22	22	22	21	21	23

Erhållna relativa stofthalter (dvs  $C/C_0$ , där  $C_0$  är stofthalten vid isokinetisk avsugning) vid olika relativa avsugningshastigheter  $v/v_0$  (där  $v_0$  är hastigheten vid mätstället i kanalen) avges i tabell 19.1:2. Tabellvärdena har uppritats i FIG 19.1.

TABELL 19.1:2

Prov nr	Relativ avsugnings- hastighet $v/v_0$	Relativ stofthalt $C/C_0$
1	0,992	0,895
2	1,01	1,10
3	0,534	2,23
4	0,514	3,59
5	1,90	0,50
6	1,82	0,731

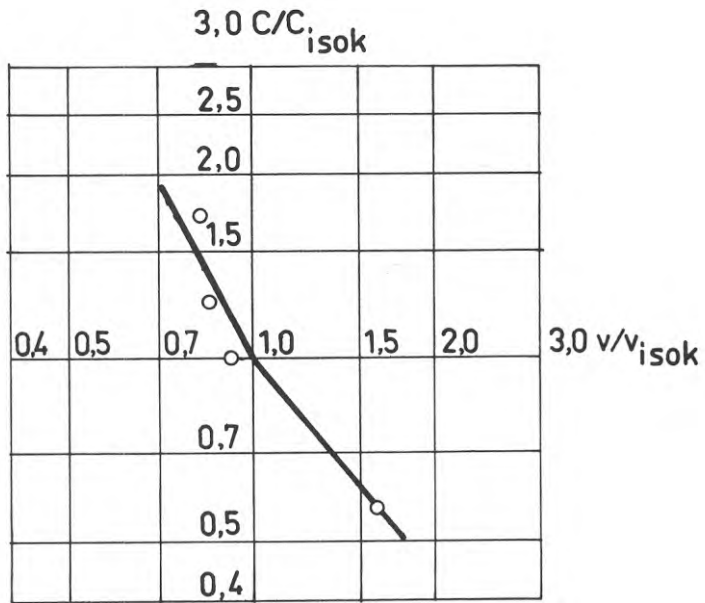


FIG 20.1 Ströhlein-apparat. Sambandet mellan hastighetsförhållandet ( $v/v_{isok}$ ) och förhållandet mellan uppmätt stoftkoncentration ( $C$ ) och verklig ( $C_{isok}$ ). (Enligt tabell 20.1:2)

20. PROVNING AV STRÖHLEIN-APPARAT

20.1 Icke isokinetisk avsugning

En undersökning av Ströhlein stoftmätningstrustning (för flödet  $4 \text{ m}^3/\text{h}$ ) vid icke isokinetisk avsugning har utförts. Fyra mätningar gjordes. Driftdata under proven enligt tabell 20.1:1.

TABELL 20.1:1

Prov nr	1	2	3	4
Oljetryck $\text{kp}/\text{cm}^2$	1,75	—————		$\pm 0,1$
Oljeflöde $\text{kg}/\text{h}$	6,0	—————		$\pm 0,1$
Oljetemperatur $^{\circ}\text{C}$	75	—————		+4, -5
$\text{CO}_2$ -halt %	10,0	10,0	10,0	10,0
Sottal enl Bacharach	5	6	5	5
Gastemperatur $^{\circ}\text{C}$	250	270	275	275
Pannvattentemp $^{\circ}\text{C}$	80	80	80	80
Rumtemperatur $^{\circ}\text{C}$	22	22	22	22

Erhållna relativa stofthalter (dvs  $C/C_0$ , där  $C_0$  är stofthalten vid isokinetisk avsugning) vid olika relativa avsugningshastigheter  $v/v_0$  (där  $v_0$  är hastigheten vid mätstället i kanalen) anges i tabell 20.1:2. Tabellvärdena har uppritats i FIG 20.1.

TABELL 20.1:2

Prov nr	Relativ avsugningshastighet $v/v_0$	Relativ stofthalt $C/C_0$
1	0,82	1,57
2	0,91 <sup>1)</sup>	1,00
3	1,51	0,57
4	0,88	1,23

1) Helt isokinetisk avsugning erhöles ej.

21. PROVNING AV SHELLS APPARAT21.1 Icke isokinetisk avsugning

En undersökning av Shells stoftmätningstrustning har utförts vid icke isokinetisk avsugning. Nitton mätningar utfördes, varav sju isokinetiska, sex underisokinetiska och sex överisokinetiska. Driftdata under proven enligt tabell 21.1:1, 21.1:2 och 21.1:3.

TABELL 21.1:1 Driftdata vid isokinetisk avsugning

Prov nr	1	2	3	4	5	6	7
Oljetryck $\text{kp/cm}^2$	1,6	—————					$\pm 0,1$
Oljeflöde $\text{kg/h}$	6,0	—————					$\pm 0,1$
Oljetemperatur $^{\circ}\text{C}$	75	—————					+3, -5
$\text{CO}_2$ -halt %	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Sottal enl Bacharach	4	4	4	4	4	4	4
Gastemperatur $^{\circ}\text{C}$	365	365	360	365	373	358	370
Pannvattentemp $^{\circ}\text{C}$	80	80	80	85	80	80	80
Rumstemperatur $^{\circ}\text{C}$	23	23	23	23	23	23	23

TABELL 21.1:2 Driftdata vid underisokinetisk avsugning

Prov nr	1	2	3	4	5	6
Oljetryck $\text{kp/cm}^2$	1,60	—————				$\pm 0,1$
Oljeflöde $\text{kg/h}$	6,0	—————				$\pm 0,1$
Oljetemperatur $^{\circ}\text{C}$	75	—————				+3, -5
$\text{CO}_2$ -halt %	10,0	10,5	10,5	10,0	10,0	10,0
Sottal enl Bacharach	4	4	4	4	4	4
Gastemperatur $^{\circ}\text{C}$	358	360	360	360	365	360
Pannvattentemp $^{\circ}\text{C}$	70	75	80	75	75	80
Rumstemperatur $^{\circ}\text{C}$	23	23	23	23	22	22



TABELL 21.1:3 Driftdata vid överisokinetisk avsugning

Prov nr	1	2	3	4	5	6
Oljetryck $\text{kp/cm}^2$	1,60	—————				+0,1
Oljeflöde $\text{kg/h}$	6,0	—————				+0,1
Oljetemperatur $^{\circ}\text{C}$	75	—————				+3, -5
$\text{CO}_2$ -halt %	10,0	10,0	10,5	11,0	10,5	10,0
Sottal enl Bacharach	4	4	4	4-5	4	4
Gastemperatur $^{\circ}\text{C}$	360	360	368	375	370	357
Pannvattentemp $^{\circ}\text{C}$	80	80	80	75	80	85
Rumstemperatur $^{\circ}\text{C}$	23	23	23	23	23	23

Erhållna stofthalter vid olika relativa avsugningshastigheter  $v/v_0$  (där  $v_0$  är hastigheten vid mätstället i kanalen) anges i tabell 21.1:4, 21.1:5 och 21.1:6.

TABELL 21.1:4 Isokinetisk avsugning

Prov nr	Relativ avsugningshastighet $v/v_0$	Stofthalt $\text{g/kg}$
1	1,02	1,082
2	1,02	1,460
3	1,02	1,580
4	1,02	0,920
5	1,02	0,880
6	1,02	1,170
7	1,01	1,010
	Medelvärde	1,160

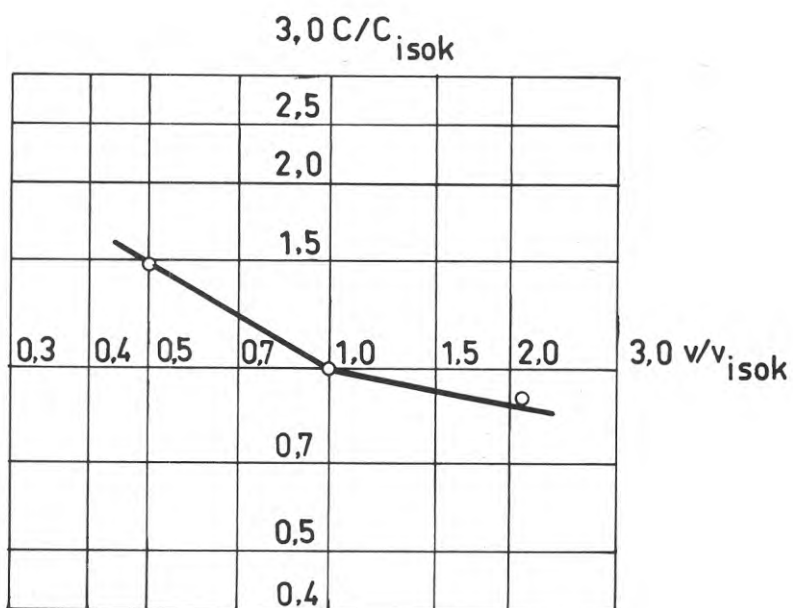


FIG 21.1 Shell-apparat. Sambandet mellan hastighetsförhållandet ( $v/v_{isok}$ ) och förhållandet mellan uppmätt stoftkoncentration ( $C$ ) och verklig ( $C_{isok}$ ). (Enligt tabell 21.1:7)

TABELL 21.1:5 Underisokinetisk avsugning

Prov nr	Relativ avsugnings- hastighet $v/v_0$	Stofthalt  g/kg
1	0,54	1,41
2	0,51	2,52
3	0,51	1,85
4	0,51	1,74
5	0,51	1,38
6	0,51	1,38
	Medelvärde	1,71

TABELL 21.1:6 Överisokinetisk avsugning

Prov nr	Relativ avsugnings- hastighet $v/v_0$	Stofthalt  g/kg
1	2,04	1,17
2	2,04	1,03
3	2,06	1,07
4	2,04	0,78
5	2,06	1,24
6	2,07	0,975
	Medelvärde	1,05

I tabell 21.1:7 ges sammanfattningsvis  $v/v_0$  och motsvarande värden för  $C/C_0$ .

TABELL 21.1:7

$v/v_0$	$C/C_0$
0,5	1,47
1,0	1,0
2,1	0,91

Se även FIG 21.1.

21.2 Bestämning av spridningen vid mätning med Shell-apparat.

Vid mätning med Shells stoftmättningsinstrument uppträder, bl a till följd av att proven är extremt små - endast några mg stoft uppsamlas - en förhållandevis stor spridning mellan mätdata uppmätta vid konstant stofthalt. De värden som tidigare rapporterats för undersökning av instrumentets känslighet vid icke isokinetisk provtagning kan användas för en beräkning av spridningens storlek.

Värdena vid en avsugningshastighet av 1,02 x isokinetisk anges i tabell 21.2:1. För värdena har medelvärdet och standardavvikelsen beräknats.

TABELL 21.2:1 Isokinetisk avsugning

Prov nr	Stofthalt g/kg olja
1	1,08
2	1,46
3	1,58
4	0,92
5	0,88
6	1,77
7	1,01

Medelvärde: 1,16

Standardavvikelse 0,29 g/kg olja

I tabell 21.2:2 ges motsvarande värden för mätning vid halva isokinetiska avsugningshastigheten.

TABELL 21.2:2 Underisokinetisk avsugning

Prov nr	Stofthalt g/kg olja
1	1,41
2	2,52
3	1,85
4	1,74
5	1,38
6	1,38

Medelvärde: 1,71

Standardavvikelse: 0,47 g/kg olja

I tabell 21.2:3 slutligen ges standardavvikelsen vid dubbla isokinetiska avsugningshastigheten.

TABELL 21.2:3 Överisokinetisk avsugning

Prov nr	Stofthalt g/kg olja
1	1,17
2	1,03
3	1,07
4	0,78
5	1,24
6	0,975
Medelvärde: 1,05	
Standardavvikelse: 0,21 g/kg olja	

Sammanfattning av försöksresultaten ges i tabell 21.2:4.

TABELL 21.2:4

Relativ hastighet	Standardavvikelse % av mätvärde
0,5 (underisokinetisk)	28
1,0 (isokinetisk)	25
2,0 (överisokinetisk)	20

Standardavvikelsen vid mätning med Shell-apparat tycks således vara ca 25% av erhållet mätvärde.

## 22. PROVNING AV ÅF-APPARAT I

### 22.1 Icke isokinetisk avsugning

En undersökning av Ångpanneföreningens stoftmätningstrustning (I) vid icke isokinetisk avsugning har utförts. Fem mätningar gjordes. Driftdata under proven enligt tabell 22.1:1.

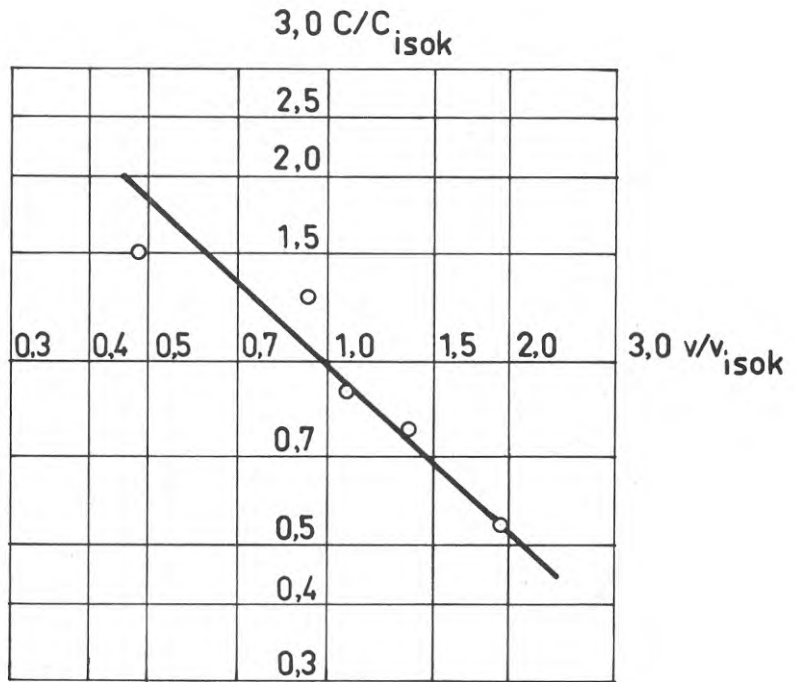


FIG 22.1 ÅF-apparat I. Sambandet mellan hastighetsförhållandet ( $v/v_{isok}$ ) och förhållandet mellan uppmätt stoftkoncentration ( $C$ ) och verklig ( $C_{isok}$ ). (Enligt tabell 22.1:2)

TABELL 22.1:1

Prov nr	1	2	3	4	5
Oljetryck $\text{kp/cm}^2$	1,38	—	—	—	$\pm 0,1$
Oljeflöde $\text{kg/h}$	6,0	—	—	—	$\pm 0,1$
Oljetemperatur $^{\circ}\text{C}$	75	—	—	—	$\pm 1,0$
$\text{CO}_2$ -halt %	10,0	10	10	10,0	10
Sottal enl Bach	4	4	4	4	4
Gastemperatur $^{\circ}\text{C}$	390	375	373	360	360
Pannvattentemp $^{\circ}\text{C}$	80	80	80	80	80
Rumstemperatur $^{\circ}\text{C}$	23	23	23	23	23

Erhållna relativa stofthalter (dvs  $C/C_0$ , där  $C_0$  är stofthalten vid isokinetisk avsugning) vid olika relativa avsugningshastigheter  $v/v_0$  (där  $v_0$  är hastigheten vid mätstället i kanalen) anges i tabell och FIG 22.1.

TABELL 22.1:2

Prov nr	Relativ avsugnings- hastighet $v/v_0$	Relativ stofthalt $C/C_0$
1	0,92	1,29
2	0,48	1,50
3	1,34	0,77
4	1,08	0,90
5	1,96	0,54

## 23. PROVNING AV ÅF-APPARAT II

### 23.1 Icke isokinetisk avsugning

En undersökning av ångpanneföreningens stoftmätningstrustning (II) vid icke isokinetisk avsugning har utförts. Fem mätningar utfördes. Driftdata under proven enligt tabell 23.1:1.

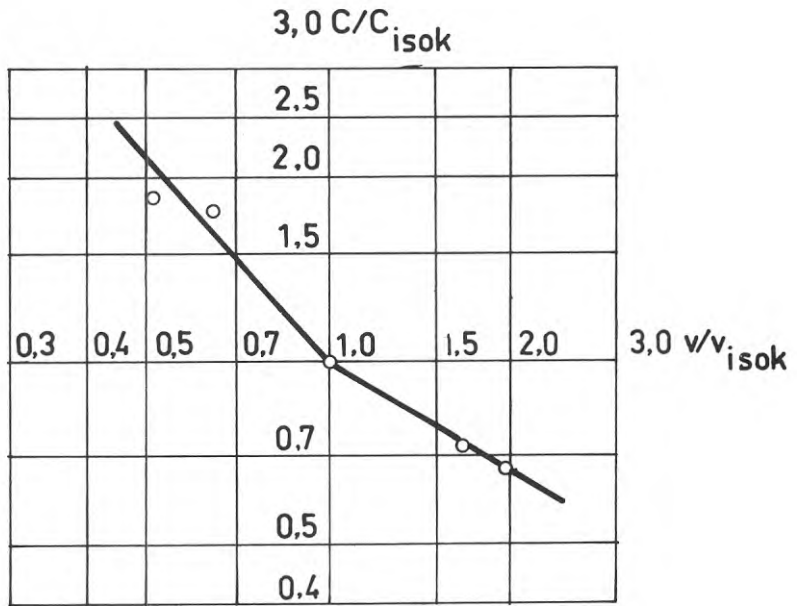


FIG 23.1 ÄF-apparat II. Sambandet mellan hastighetsförhållandet ( $v/v_{isok}$ ) och förhållandet mellan uppmätt stoftkoncentration ( $C$ ) och verklig ( $C_{isok}$ ). (Enligt tabell 23.1:2)



TABELL 23.1:1

Prov nr	1	2	3	4	5
Oljetryck $\text{kp/cm}^2$	1,38	_____	_____	_____	$\pm 0,1$
Oljeflöde $\text{kg/h}$	6,0	_____	_____	_____	$\pm 0,1$
Oljetemperatur $^{\circ}\text{C}$	75	_____	_____	_____	$\pm 1,0$
$\text{CO}_2$ -halt %	10,0	10	10	10,0	10,0
Sottal enl Bach	4	4	4	4	4
Gastemperatur $^{\circ}\text{C}$	370	350	355	355	355
Pannvattentemp $^{\circ}\text{C}$	80	80	80	80	80
Rumstemperatur $^{\circ}\text{C}$	23	23	23	23	23

Erhållna relativa stofthalter (dvs  $C/C_0$ , där  $C_0$  är stofthalten vid isokinetisk avsugning) vid olika relativa avsugningshastigheter  $v/v_0$  (där  $v_0$  är hastigheten vid mätstället i kanalen) anges i tabell och FIG 23.1.

TABELL 23.1:2

Prov nr	Relativ avsugningshastighet $v/v_0$	Relativ stofthalt $C/C_0$
1	0,64	1,77
2	0,51	1,84
3	1,00	1,00
4	1,64	0,72
5	1,99	0,68

## 24. PROVNING AV ATOMENERGIS APPARAT

### 24.1 Icke isokinetisk avsugning

En undersökning av atomenergis stoftmätningstrustning har utförts vid icke isokinetisk avsugning. Nio mätningar utfördes. Driftdata under proven enligt tabell 24.1:1.

TABELL 24.1:1

Prov nr	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Oljetryck $\text{kp/cm}^2$	1,60	—————							$\pm 0,1$
Oljeflöde $\text{kg/h}$	6,2	—————		6,2	6,5	6,2	—————		$\pm 0,1$
Oljetemperatur $^{\circ}\text{C}$	75	—————							$\pm 1,0$
$\text{CO}_2$ -halt %	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0
Sottal enl Bach	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Gastemperatur $^{\circ}\text{C}$	368	373	373	370	380	380	380	380	380
Pannvattentemp $^{\circ}\text{C}$	80	83	89	85	75	78	75	75	75
Rumstemperatur $^{\circ}\text{C}$	23	23	23	23	23	23	23	23	23

Erhållna relativa stofthalter (dvs  $C/C_0$  är stofthalten vid isokinetisk avsugning) vid olika relativa avsugningshastigheter  $v/v_0$  (där  $v_0$  är hastigheten vid mätstället i kanalen) anges i tabell och FIG 24.1.

TABELL 24.1:2

Prov nr	Relativ avsugnings- hastighet $v/v_0$	Relativ stofthalt $C/C_0$
1	0,99	1,01
2	0,98	0,98
3	1,97	0,58
4	1,53	0,59
5	1,95	0,79
6	1,55	0,55
7	0,49	1,15
8	2,64	0,52
9	0,49	1,27

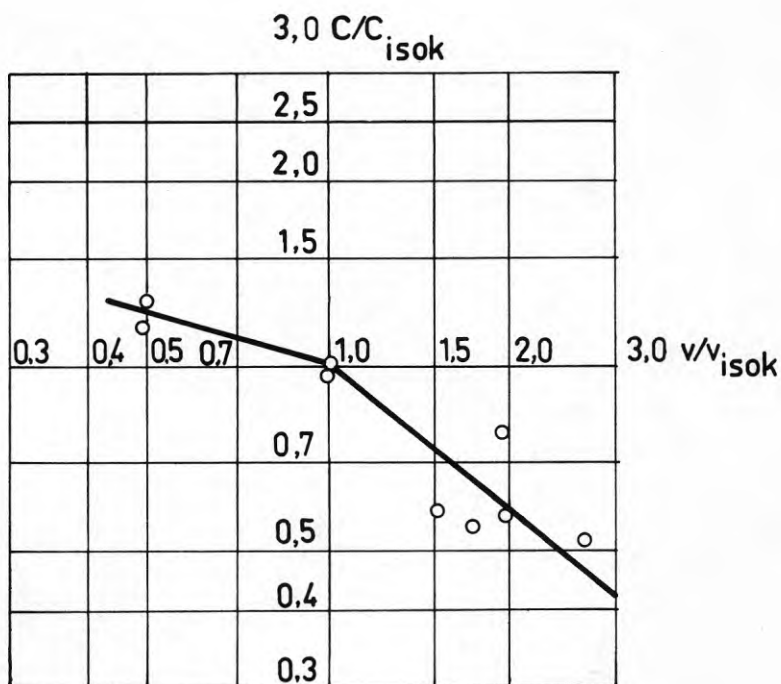


FIG 24.1 Atomenergis apparat. Sambandet mellan hastighetsförhållandet ( $v/v_{isok}$ ) och förhållandet mellan uppmätt stoftkoncentration ( $C$ ) och verklig ( $C_{isok}$ ). (Enligt tabell 24.1:2)  
Vänstra grenen av korrektionskurvan är här osäker.

25. PROVNING AV EN ENKEL MÄTSOND

Som framgår av 8.2 har vid undersökning av stoftfördelning i laboratoriepannans gaskanal efter cyklonen utförts med enkel mätsond enligt FIG 8.2:1, uppkopplad enligt FIG 8.2:2. Med hänsyn till sondutförandets inverkan på mätresultaten vid emissionsmätningar har det ansetts vara av intresse att även studera den enkla mätsondens egenskaper.

Liksom vid tidigare prov med denna sondtyp har filter av sintrat silver (diameter 48 mm, massa 0,55 g) använts. Filtren placerades i en filterhållare med slangkopplingar enligt FIG 25.1 och mätningen skedde som vanligt i kanalcentrum, mätplan I.

Mätningarna utfördes vid normalt driftsfall med data enligt tabell 25.1.

TABELL 25.1

Oljetryck	1,2 kp/cm <sup>2</sup>
Oljeflöde	5,9 kg/h
Oljetemperatur	56 °C
CO <sub>2</sub> -halt	10,5 %
Gastemperatur	275 °C i mätvärnsnittet

Gashastigheten i mätvärnsnittet kan beräknas till 3,3 m/s, motsvarande en isokinetisk avsugning av 420 l/h (vid 22°C och 760 mm Hg). Avsugningshastighet och mätresultat framgår av tabell 25.2.

TABELL 25.2

Prov nr	Avsuget gasflöde l/h	Stofthalt g/m <sup>3</sup>
1	120	0,270
2	420	0,086
3	650	0,021
4	550	0,042

Man kan observera att mätvärdet vid isokinetisk avsugning är relativt lågt. (Prov nr 2) Mätresultaten visas även i FIG 25.2.

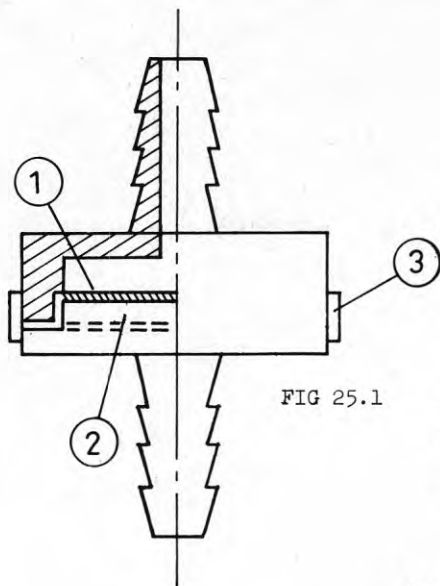


FIG 25.1

1. Silverfilter
2. Stöd för trådnät
3. Bajonettfattning

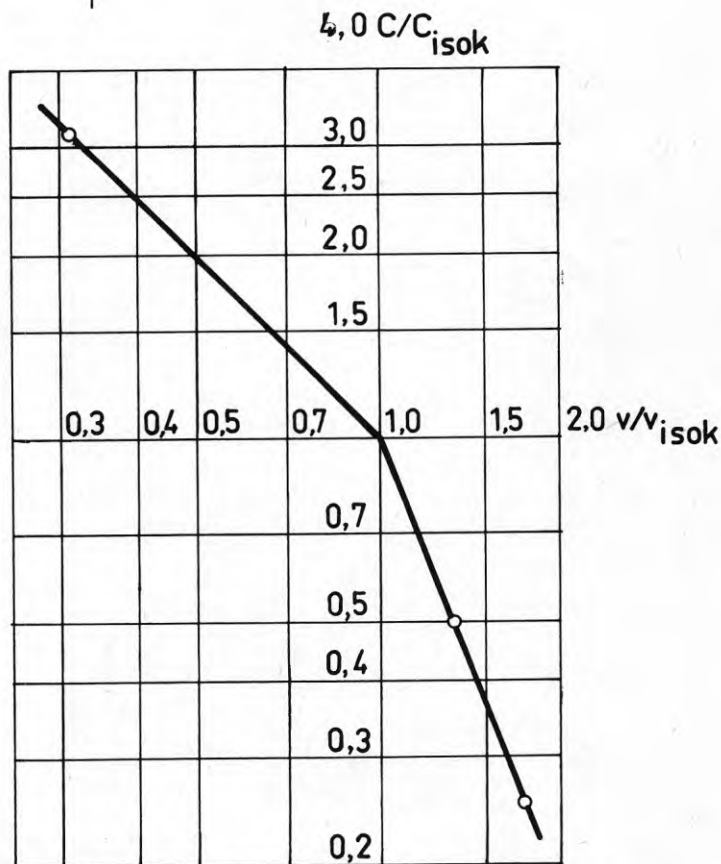


FIG 25.2

Enkel mätsond. Sambandet mellan hastighetsförhållandet ( $v/v_{isok}$ ) och förhållandet mellan uppmätt stoftkoncentration ( $C$ ) och verklig ( $C_{isok}$ ). (Enligt tabell 25.2)

Vänstra grenen av korrektionskurvan vid underisokinetisk avsugning är osäker.

## 26. BEDÖMNING AV TIDSÅTGÅNG VID FÄLTMÄTNINGAR

Innan mätning av förbränningsgasernas halt av fasta partiklar kan genomföras måste pannor och gaskanaler besiktigas samt mätuttag och mätplats iordningsställas. Tidsåtgången för dessa arbeten kan inte anges enär den är beroende av lokala förhållanden samt om anläggningen på ett riktigt sätt planerats för mätning av stofthalten i rökgaserna.

Tidsåtgången för själva provningen, exklusive torkning och vägning av stoftprov, kan uppdelas i:

1. Uppställning och iordningsställning av apparater och instrument (inkl val av mätsond, filterinsättning etc).
2. Igångsättning (inkl täthetskontroll, fortvarighet, värmning av filter etc).
3. Mätning (inkl oxidering av kol i Shell-apparaten)
4. Filterbyte (inkl svalning)
5. Byte av mätpunkt, rengöring etc
6. Avställning

I samband med mätningarna vid KTH har tidsåtgången för ovanstående arbetsmoment bestämts för olika typer av mätutrustningar.

Arbetsmoment	Filterapparater		Ringstedt, cyklontyp 702 betjänt av 1 man (tim)
	SF-cyklontyp betjänt av 1 man (tim)	betjänt av 2 man (tim)	
1	1-3	1-2	1-2
2	1,5	1,0	1,5
3	0,5-1,0	0,5-1,0	0,1-0,2
4	0,2	0,2	0,1-0,2
5	0,3	0,3	0,2-0,5
6	1,0-1,5	1,0	0,5-1,0

Den uppskattade tiden för en serie prov med olika apparatutrustningar har sammanställts i FIG 26.1 och FIG 26.2. Provningstiden anses kunna begränsas till det skrafferade området. Skillnaden i tidsåtgång kan vara beroende på apparatutrustning, utformning och provningsförrättarens erfarenhet av mätutrustningen. Tidsskillnaderna kan också bero på oförutsedda driftstörningar eller erforderliga kompletteringar och justeringar av utrustningen. För två man är tidsbesparingen i vissa fall obetydlig vid själva mätningarna, men kan däremot medföra inbesparad tid vid uppställning och avställning av apparaturen samt vid förflyttning av apparatutrustningen.

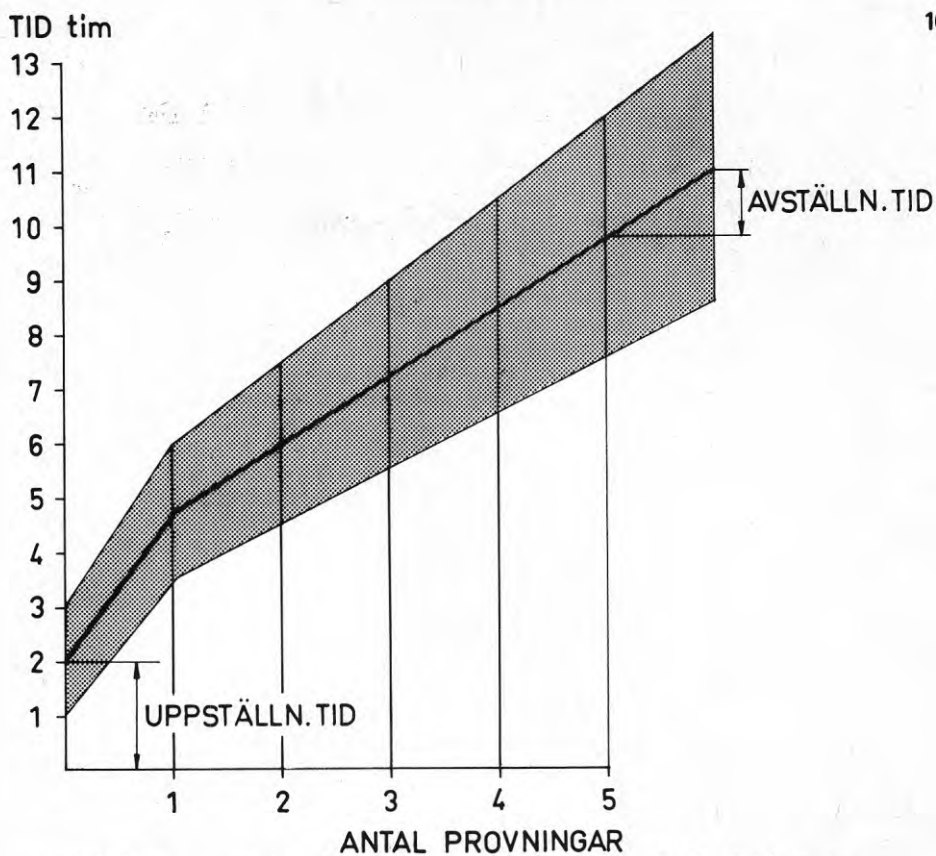


FIG 26.1 Tidsåtgång för provningar med stoftmängdsmätare, BP, KTH I, KTH II, SF, Ströhlein, Shell, ÅF I, ÅF II och At. Provningstiden anses normalt kunna inrymmas inom det skrafferade området.

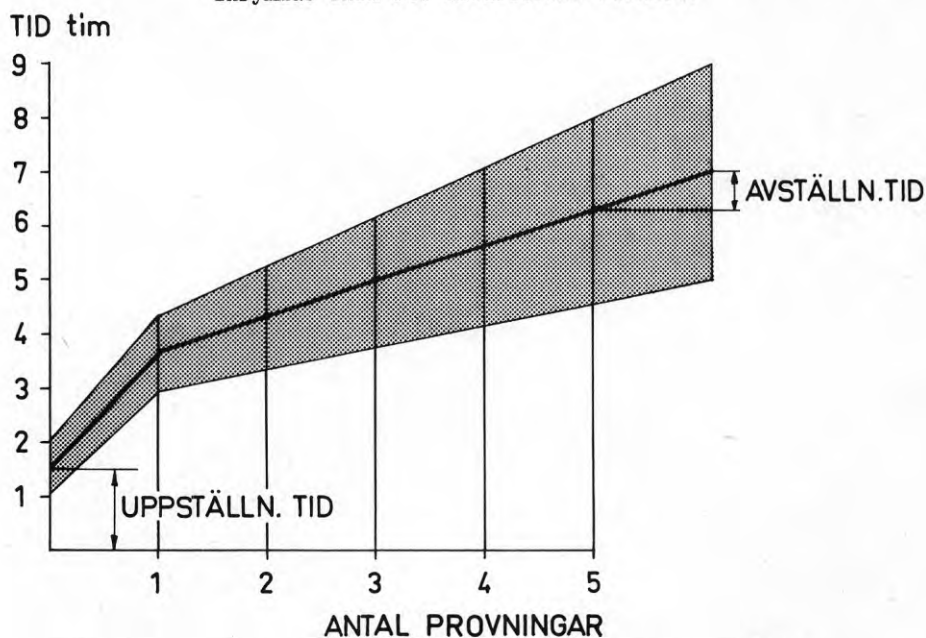


FIG 26.2 Tidsåtgång vid provningar med Ringstedt cyklon typ 702. Provningstiden anses normalt kunna inrymmas inom det skrafferade området.

27. BEDÖMNING AV PRAKTISK LÄMPLIGHET VID FÄLTMÄTNINGAR

Bedömningen grundar sig i vissa fall på tidigare praktisk erfarenhet och baserar sig i övrigt på mätpersonalens synpunkter efter förhållandevis kort användning av apparaterna vid KTH. De positiva synpunkterna (+) har sammanställts i tabell 27.1 och de negativa (-) i tabell 27.2.



TABELL 27.1.

Praktiska bedömningar Positiva (+)	Provade stoftmätningstrustningar									
	BP	TYP 702	KTH I	KTH II	SF	Ströh- lein	Shell	ÅF I	ÅF II	At
Utförandet kvalitetsmässigt mycket gott	•	•				•		•	•	
Flera kombinationsmöjligheter (1) filter, (2) sonddiam., (3) sondrör	(2) •	(2) •		(2) •	(2,3) •	(1,2,3) •	(2,3) •	(2) •	(2,3) •	(2) •
Kan lätt ställas upp intill önskad mätpunkt	•		•	•		•	•			•
Lång sond, mätning möjlig i stora kanaler		•				•		•	•	•
Kanalanslutning kräver rel. liten stös	•									
Kompakt utförande, lätt flyttbar	•	•		•		•	•			•
Täthetsproblem obetydliga		•				•		•	•	
Skarvbart sondrör					•	•	•	•	•	•
Korta provtider möjliga		•					•			
Ingen begränsning genom igensättning av filter		•			•				•	
Hög pumpkapacitet								•	•	•
Lätt att byta sond (bajonettfattning)				•						
Inbyggd tidmätare		•								
Möjlighet till snabba filter- byten (bajonettfattning)			•	•						
Filtret medger prov med fuktig gas utan uppvärmning			•							
Stor filteryta									•	
Filter uppvärms av rökgasen	•			•		•	•	•		•



LITTERATUR

- Statens naturvårdsverk      Publikationer 1970:2, 1971:3 och  
1971:8
- Statens planverk            SBN-S68 Panncentraler. Publikation  
nr 6 (1968)
- Peterson, Folke              Stoftemissioner från värmecentraler.  
Hygienisk Forum nr 2 (1969)
- Peterson, Folke              Luftforurening fra kedelcentraler.  
(Varme nr 3 (1970))
- Mundt, Börje och  
Peterson, Folke              Stoftmätningsteknik vid oljeeldade  
värmecentraler. Tekniska meddelanden  
15, Inst för uppvärmnings- och ven-  
tilationsteknik, KTH, Stockholm,(1973)
- Dennis, Richard et al      Isokinetic Sampling Probes. Industrial  
and Engineering Chemistry (1957)
- Peterson, Folke              Stoftemissioner, undersökning för  
statens planverk (1968)
- Peterson, Folke              Problem vid mätning av stoftemissioner.  
Team nr 3 (1971)
- Walter, Erwin                Zur Problematik der Entnahmesonden  
und der Teilstromentnahme für die  
Staubgehaltsbestimmung in strömenden  
Gasen. Staub heft 53 (1957)
- Badzioch, S                  Correction for Anisokinetic Sampling  
of Gas-borne Dust Particles.  
Journal of the Institute of Fuel  
(1960)
- Bohnet, M                    Staubgehaltsbestimmung in strömenden  
Gasen mit Absaug - Sonden.  
Chemie - Ing - Techn Heft 16 (1967)
- Rüping, G                    Die Bedeutung der geschwindigkeits-  
gleichen. Absaugung bie der Staub-  
strömmessung mittels Entnamesonden.  
Staub-Reinhalung der Luft nr 4,  
(1968)
- Fahrenbach, W                Die Dynamik des Staubes und ihr  
Einfluss auf die Staubgehaltmessungen.  
Forschung 2 Bd/Heft 11 (Nov 1931)
- Peterson, Folke              Fel till följd av icke isokinetisk  
avsugning.  
Tekniska meddelanden 39, Inst för  
uppvärmnings- och ventilationsteknik,  
KTH, Stockholm (1974)

- Smolik, J et al  
Icke isokinetisk provtagning.  
Tekniska meddelanden 38, Inst för  
uppvärmnings- och ventilationsteknik,  
KTH, Stockholm (1974)
- Peterson, Folke och  
Skoog, Kurt  
Stoftbildning vid oljeeldningsanlägg-  
ningar.  
Rapport R54:1973, Statens institut  
för byggnadsforskning
- Hawksley, et al  
Measurement of Solids in Flue Gases.  
The British Coal Utilization.  
Research Association, Leatherhead,  
1961. Reprinted 1971.
- Sjøgren, Arne  
Nyt apparat til bestämmelse af  
partikelindholdet i røggas.  
Varme (april 1971).





**R29:1975**

**Denna rapport hänför sig till forskningsprojekt 288:3 vid Statens institut för byggnadsforskning. Projektet har finansierats med anslag från Statens råd för byggnadsforskning.**

**Försäljningsintäkterna tillfaller fonden för byggnadsforskning.**

**Distribution: Svensk Byggtjänst, Box 1403, 111 84 Stockholm**

**Grupp: installation**

**Pris: 21 kronor + moms**