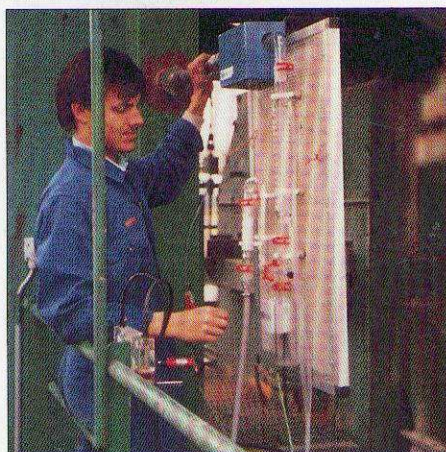


# Undersøgelse af støv-, PAH-, SO<sub>2</sub>- og lugtemission fra stationære asfaltværker med og uden genbrug 1987/88



Miljøstyrelsen

Asfaltindustrien

Udført af DK-TEKNIK

**UNDERSØGELSE AF  
STØV-, PAH-, SO<sub>2</sub>- OG LUGTEMISSION  
FRA STATIONÆRE ASFALTVÆRKER  
MED OG UDEN GENBRUG.  
1987/88**

**Undersøgelsen er et fællesprojekt  
mellem Miljøstyrelsen og Asfaltindustrien.**

**Projektet er udført af DK-TEKNIK.**

MILJØSTYRELSEN  
BIBLIOTEKET  
STRANDGADE 29  
1401 KØBENHAVN K

Adresseliste:

Miljøstyrelsen Strandgade 29 1401 København K 31 57 83 10

Asfaltindustrien - AOV Stamholmen 91 2650 Hvidovre 31 78 08 22

DK-TEKNIK Gladsaxe Møllevej 15 2860 Søborg 31 69 65 11

## FORORD

Denne undersøgelse er gennemført af Miljøstyrelsen og Asfaltindustrien (AOV) som et fællesprojekt.

Den er tilrettelagt i et samarbejde mellem DK-TEKNIK, Miljøstyrelsen, AOV og de virksomheder, der indgår i undersøgelsen. Det er Colas Vejmateriale A/S, Superfos Dammann-Luxol A/S, Tarco Vej A/S, A/S Phønix Contractors, R&S Belægningsteknik A/S og A/S Jens Villadsens Fabriker. DK-TEKNIK har som udførende institut haft ansvaret for gennemførelse, resultatvurdering og rapportering.

Undersøgelsen er i alle faser fulgt af en styringsgruppe med følgende sammensætning: Hans Falster, DK-TEKNIK, Ole Steen Larsen, AOV og Johan Hougs Møller, Miljøstyrelsen, (formand).

Prøvetagning på virksomhederne fandt sted i september og oktober 1987.

Miljøstyrelsen vil anvende undersøgelsens resultater ved den generelle vurdering af de miljømæssige forhold omkring asfaltvirksomheder, som styrelsen iværksatte i 1984-85.

30. November 1988

Styringsgruppen

	Side
FORORD	3
INDHOLDSFORTEGNELSE	4
1. RESUME OG KONKLUSION	7
1.1 Generelle kommentarer	7
1.2 Støvemission	7
1.3 SO <sub>2</sub> -emission	8
1.4 Gasemission	8
1.5 Emissionsbegrænsende foranstaltninger	9
2. FORMÅL	11
3. FORSØGSPLAN	11
4. ASFALTPRODUKTION	13
4.1 Procesforløb uden genbrug	14
4.2 Varmt genbrug	15
4.3 Koldt genbrug	15
5. ANLÆGSBESKRIVELSE	16
5.1 Den enkelte anlægsopbygning	16
5.1.1 Varmt genbrug	16
5.1.2 Koldt genbrug	17
5.2 Anlægsdata	19
5.2.1 Vurdering af anlæg ud fra data	20
6. PRODUKTION OG DRIFTSPARAMETRE	21
7. STØVEMISSION	24
7.1 Efter filter	24
7.2 Efter genbrugstromlen	27
8. LUGTEMISSION	28

	Side
9. PAH-EMISSION	31
9.1 Hvad er PAH?	31
9.2 Hvor kommer PAH fra?	32
9.2.1 Afdampning fra produkter	33
9.2.2 Forbrændingsprocesser	33
9.3 PAH-koncentrationer efter filter	35
9.4 PAH, støv- og gasfase	39
9.5 PAH fra genbrug og i rågas	41
10. ÅRSAGER TIL LUGT- OG PAH-EMISSION	43
11. SO <sub>2</sub> -EMISSION	44
12. SKORSTENSBUND KONTRA TOP	46
13. MIXERAFKAST	47
14. EMISSIONSBEGRÆNSNING	49
14.1 anbefalede foranstaltninger	49
14.2 Foranstaltninger til overvejelse	49
14.2.1 Brænderforhold	50
14.2.2 Filterforhold	50
14.2.3 Styring	50
14.2.4 Skorstensforhold	50
15. ENERGI/RØGTAB	51
16. MÅLEMETODER	52
17. MÅLEUSIKKERHED	55
18. ENGLISH SUMMARY	56
19. REFERENCER	64



## 1. RESUME OG KONKLUSION

I efteråret 1987 er gennemført en række måleserier til belysning af emissioner fra asfaltanlæg.

Der er målt dels på olie- og gasfyrede asfaltværker dels med og uden genbrugsasfalt.

De undersøgte emissioner var følgende:

- støv
- gasser
  - PAH
  - lugt
  - CO
  - TOC
  - SO<sub>2</sub>

### 1.1 Generelle kommentarer

Undersøgelsen har ikke kunne godtgøre sammenhænge mellem emissioner på den ene side og asfalttype eller klæbeforbedrer på den anden side.

Man kan konstatere en stor variation mellem anlæggenes emissioner i driftssituationer uden genbrug med jomfrutromlen alene. Emissionerne har ved målingerne på de 5 anlæg generelt været noget større ved genbrug end uden genbrug, men der ses ingen klare forskelle mellem koldt eller varmt genbrug.

### 1.2 Støvemission

Støvemissionen lå højere end 250 mg/m<sup>3</sup>(n,t) ved 15% O<sub>2</sub> på 3 af de 5 anlæg. På de øvrige to anlæg lå støvemissionen under 20 mg/Nm<sup>3</sup> ved 15% O<sub>2</sub>.



En reduktion af luftoverskuddet vil sandsynligvis have en gavnlig effekt på støvemissionen.

Ud fra de udførte målinger må det konkluderes, at filtrene til anlæg I, II og III fungerede utilfredsstillende. Undersøgelsen viste i øvrigt, at en forbedret støvfiltrering reducerer emissionen af tunge PAH'er.

### 1.3 SO<sub>2</sub>-emission

På de tre fueloliefyrede anlæg fandtes en svovlindbinding i produkt og posefilter på ca. 70%. Der emitteres således ca. 30% af den indfyrede SO<sub>2</sub> mængde.

### 1.4 Gasemission

Gasemissionerne viste, at forbrændingskvaliteten i flere tilfælde var for dårlig.

Således ses en tydelig sammenhæng mellem lugtemission og luftoverskuddet. Jo større luftoverskud jo større lugtemission. Dette tilskrives, at flammen bliver for kold (bratkøles). For PAH ses en tilsvarende tendens.

Der skelnes i denne undersøgelse mellem

PAH1 : PAH incl. naftalen

PAH2 : PAH (total), excl. naftalen

PAH3 : PAH'er til og med Pyren (de lette), excl. naftalen

PAH4 : PAH'er efter Pyren (de tunge)

Denne opdeling er foretaget, da de lette PAH'er (PAH3) udgør vægtmæssigt langt den største andel, hvorimod de tunge PAH'er (PAH4) er de mest toksiske.

Emissionerne af lugt og PAH viser, at et luftoverskud større

end 3,5-4 ved brænderen absolut bør undgås.

Såfremt et luftoverskud på over ca. 4 ønskes, bør den supplerende luft tilsættes uden om brænderen/flammen.

Med den nuværende teknologi bør brændertypen bestå af en brænder der er indreguleret til af størrelsesordenen  $\lambda = 2$ , hvor den resterende tørreluft tilføres uden om brænderen, hvor flammen eventuelt beskyttes af et brænderrør.

Det er fundet, at total PAH, PAH<sub>2</sub>-emissionen, typisk er større med genbrug end uden genbrug (jævnfør figur 9.2). For anlæg med varmt genbrug kan dette ligge i to forhold

1. afdampning fra genbrugsmaterialer, hvor dampene ikke destrueres tilstrækkeligt i jomfrutromlen.
2. generelt dårligere flammeforhold, og dermed øget PAH-dannelse, for brænderen til jomfrutromlen ved tilførsel af genbrugsrøg.

Det forventes at sidstnævnte årsag (flammeforhold) er hovedårsag til den større PAH-emission.

For anlæg med koldt genbrug kan den øgede PAH<sub>2</sub>-emission kun tilskrives bidraget fra mixeren.

Figur 9.2 viser desuden den tendens at PAH<sub>2</sub>-emissionen fra gasfyrede anlæg ligger lavere end fueloliefyrede anlæg.

### 1.5 Emissionsbegrænsende foranstaltninger

Alle 5 anlæg styrer olieforbruget efter stentemperaturen og temperaturen i jomfrutromlens bagende. I alle tilfælde var den eneste kontrol af forbrændingen, en visuel kontrol af sodning. Dette er klart utilstrækkeligt.

Generelt bør anlæg som minimum forsynes med en registrerende

måling af luftoverskuddet ( $\text{CO}_2$  eller  $\text{O}_2$ ) som supplerende styreparameter.

Derudover bør anlæg, hvor genbrugsrøg tilføres jomfrutromlen, justeres på en sådan måde at indføringen af genbrugsrøggassen ikke ødelægger forbrændingsforholdene for jomfrutromlens brænder.

Luftoverskuddet bør højst ligge på  $\lambda = 4$ , ønskes mere tørreluft skal denne tilsættes uden om brænderen.

Ved tilsætning af ekstra tørreluft (over  $\lambda=4$ ) og tilsætning af genbrugsrøg til jomfrutromlen bør brænderen forsynes med et brænderrør som beskytter flammen mod unødigt afkøling.

## 2. FORMÅL

Det er projektets formål at måle emissionen af støv, PAH, SO<sub>2</sub> og lugt fra asfaltværker med og uden genbrug af asfalt. Undersøgelsen gennemføres på 5 udvalgte anlæg og omfatter indflydelse af rensningsforanstaltninger, opvarmningsmedium, genbrug og genbrugsmetode m.m. på emissionerne.

Ud fra resultaterne peges på muligheder for emissionsbegrænsning.

## 3. FORSØGSPLAN

Undersøgelsen er udført på 5 anlæg med følgende genbrugsmetoder og brændselstyper:

- Anlæg I. varmt genbrug, fuelolie.
- Anlæg II. varmt genbrug, fuelolie/gasolie.
- Anlæg III. varmt genbrug, LPG.
- Anlæg IV. koldt genbrug, fuelolie.
- Anlæg V. koldt genbrug, naturgas.

Målingerne har omfattet følgende driftssituationer:

- uden genbrug, fuelolie, LPG eller naturgas
- varmt genbrug, fuelolie
- varmt genbrug, fuelolie, gasolie i genbrugstromle
- varmt genbrug, LPG
- koldt genbrug, fuelolie
- koldt genbrug, naturgas

I alle forsøgs kombinationer med genbrug er der tilstræbt den gængse, maksimale genbrugsprocent for det pågældende anlæg.

På anlæg med koldt genbrug (anlæg IV og V) er der udtaget prøver på tre positioner:

- efter jomfrutromle
- før filter
- i skorsten

På anlæg med varmt genbrug er der herudover også udtaget prøver efter genbrugstromlen.

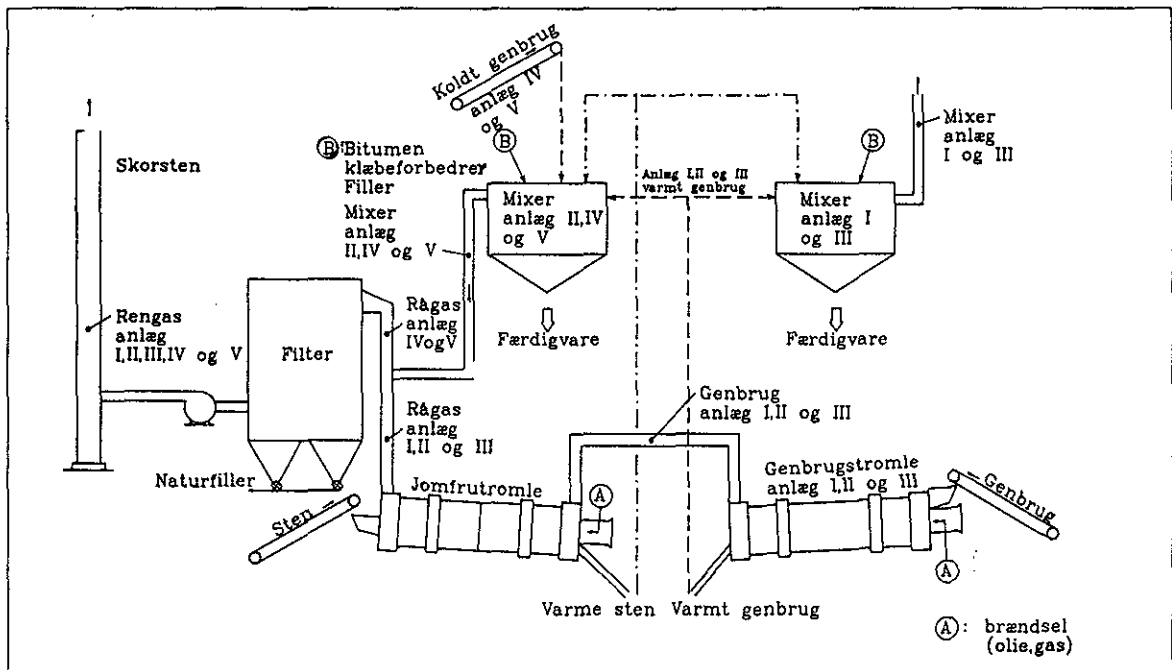
Prøvetagningsstederne og anlægsopbygningerne på de forskellige anlæg er vist på principskitsen i figur 3.1.

Målingerne blev gennemført efter følgende tidsskema:

Anlæg I,	17. september	1987, kl. 03.00-13.00.
Anlæg II,	6. oktober	1987, kl. 05.00-14.00.
Anlæg III,	23.-24. september	1987, kl. 11.00-14.00 og kl. 11.00-15.00
Anlæg IV,	8. oktober	1987, kl. 06.00-13.00
Anlæg V,	1. oktober	1987, kl. 09.00-16.00.

På hver fabrik er der udtaget to prøveserier uden genbrug og to serier med genbrug til bestemmelse af støv og PAH. Ved skorstensprøverne er der samtidig udtaget lugtprøver. Under prøvetagningen er *CO*, *CO<sub>2</sub>*, *TOC*, *SO<sub>2</sub>*, *temperatur*, *røggasflow* registreret. TOC er fællesbetegnelse for de lette kulbrinter, *C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>*. På anlæg III er foruden den almindelige skorstensprøve også taget en prøve i skorstenstoppen.

Alle skorstensprøver er analyseret for *støv*, *PAH*, *lugt* og *SO<sub>2</sub>*. Herudover er udført nogle supplerende PAH-analyser i rågas, genbrugsgas og mixerafkast, jævnfør tabel 3.1.



Figur 3.1. Anlægsoversigt og målesteder.

I 4 skorstensprøver er PAH bestemmelsen opdelt således at prøvens støv og dens gasfase er analyseret hver for sig.

En oversigt over prøvetagning og udførte analyser er vist i tabel 3.1.

For hver af prøveserierne er udtaget gennemsnitsprøver af råvarer incl. den knuste genbrugsasfalt.

#### 4. ASFALTPRODUKTION

Asfalt er sammensat af ca. 95% stenmaterialer og ca. 5% bitumen.

Bitumen fungerer som bindemiddel som sammenkitter sten og grus.

TABEL 3.1 : Oversigt over udførte analyser.

Målested	Anlæg/prøve																				
	1				2				3				4				5				
	1.1	1.2	2.1	2.2	1.1	1.2	2.1	2.2	1.1	1.2	2.1	2.2	1.1	1.2	2.1	2.2	1.1	1.2	2.1	2.2	
Skorsten																					
Støv	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
PAH	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
PAH-støv/gas			x	x			x													x	x
Lugt	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
SO <sub>2</sub>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Skorstenstop																					
Støv												x	x								
PAH												0	x								
PAH-støv/gas												0									
Rågas																					
Støv	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
PAH	0	0	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PAH-støv/gas	0	0	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Genbrug																					
Støv			x	x			x	x			x	x			x	x				x	x
PAH			0	x			0	0			0	0			0	0				0	0
PAH-støv/gas			0	x			0	0			0	0			0	0				0	0
Lugt							x	x				x								0	0
Mixer																					
Støv					(x)				x				x	x	x	x	x	x	x	x	x
PAH									x				x	0	0	x	0	0	0	0	0
PAH-støv/gas													0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lugt									x								x				

x : analyse foreligger  
 0 : prøve er udtaget men ikke analyseret.

prøve 1.1 og 1.2 er uden genbrug  
 prøve 2.1 og 2.2 er med genbrug

#### 4.1 Procesforløb uden genbrug

Jomfrumaterialerne (sten og grus) transporteres via et dose-ringsanlæg til en tørretromle, den såkaldte jomfrutromle. Her tørres stenmaterialerne og opvarmes til 150-180 °C. Tør-ringsprocessen er en direkte tørring der foregår i modstrøm.

De varme og tørre stenmaterialer transporteres via en varme-elevator til en silo, hvorfra de doseres til asfalmixeren. I mixeren tilsættes bitumen, klæbeforbedrer og filler til stenmaterialerne. Den færdige asfalt transporteres til fær-digvaresilo.

Røggasserne fra jomfrutromlen føres via et posefilter og en sugetræksblæser til skorstenen. Det støv der udskilles i posefilteret (flyveasken) kan anvendes som filler ("naturfiller").

Stensilo og mixer er på nogle anlæg tilsluttet posefilteret via en mindre røgkanal. Herved afsuges afdampninger fra mixeren og udsendes via skorstenen. Andre anlæg har separat afkast fra mixeren.

#### **4.2 Varmt genbrug**

Ved varmt genbrug er anlægget udbygget med en tromle - genbrugstromlen (varmetromlen) - til tørring og opvarmning af genbrugsasfalten til 120-140 °C. Tørreprocessen (direkte tørring), foregår her i medstrøm.

Den lavere produkttemperatur skyldes ønsket om at begrænse afdampning af kulbrinter fra genbrugsasfalten.

Den opvarmede genbrugsasfalt doseres til mixeren og erstatter 40-50% af nyasfalten. For at kompensere for den lavere materialetemperatur på genbruget, opvarmes jomfrumaterialerne tilsvarende højere, således at færdigvaren har en temperatur på omkring 160 °C.

Røggasserne fra genbrugstromlen indføres på mange anlæg i brænderenden af jomfrutromlen. Dette sker for eksempel på de tre varme anlæg, der indgår i denne undersøgelse. Røggassen fra genbrugstromlen passerer således gennem jomfrubrænderens flammezone og herfra videre til posefilteret opblandet med røggassen fra jomfrutromlen.

#### **4.3 Koldt genbrug**

Ved koldt genbrug doseres genbrugsasfalten direkte i mixeren.



Her kan højst tilsættes 10-20% genbrug, da temperaturen fra de øvrige jomfrumaterialer skal tørre og opvarme genbrugsandelen. Dette betyder, at dimensionerne på afkastkanalen fra mixeren skal være meget større end ved varmt genbrug, da den skal kunne optage den meget kraftige vanddampudvikling der kommer ved dosering af genbrugsasfalten. Den nødvendige energi til tørring og opvarmning af genbruget fås her ved en højere temperatur på jomfrumaterialerne.

## 5. ANLÆGSBESKRIVELSE

### 5.1 Den enkelte anlægsopbygning

#### 5.1.1 Varmt genbrug

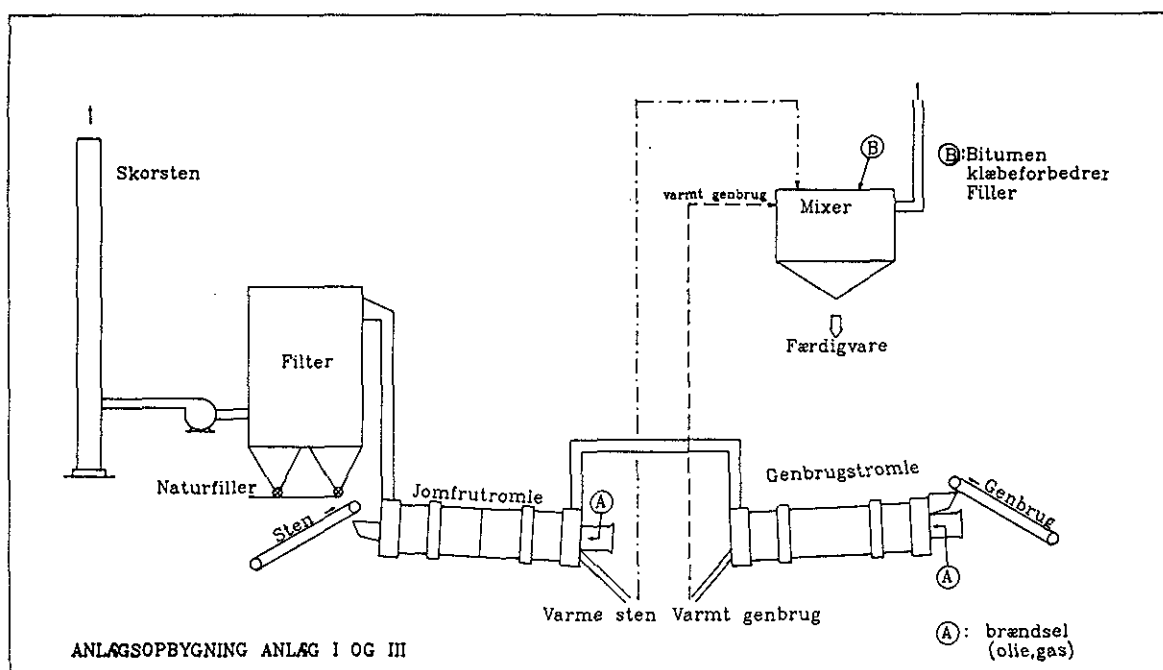
Anlæg I, II og III er principielt ens opbyggede anlæg til varmt genbrug. Forskellen ligger primært i brændselstype og afkastet fra mixeren, se figur 5.1 og 5.2.

Afkastet fra mixeren er separat på anlæg I og III. På anlæg II var afkastet ført til posefilteret, men afkastrøret var på et vandret stykke blokeret af aflejret støv. I praksis har mixerafkastet derfor ikke haft nogen indflydelse på emissionerne fra skorstenen på anlæggene med varmt genbrug.

Tabel 5.1 viser de anvendte brændselstyper.

TABEL 5.1: Brændselstyper, varmt genbrug.

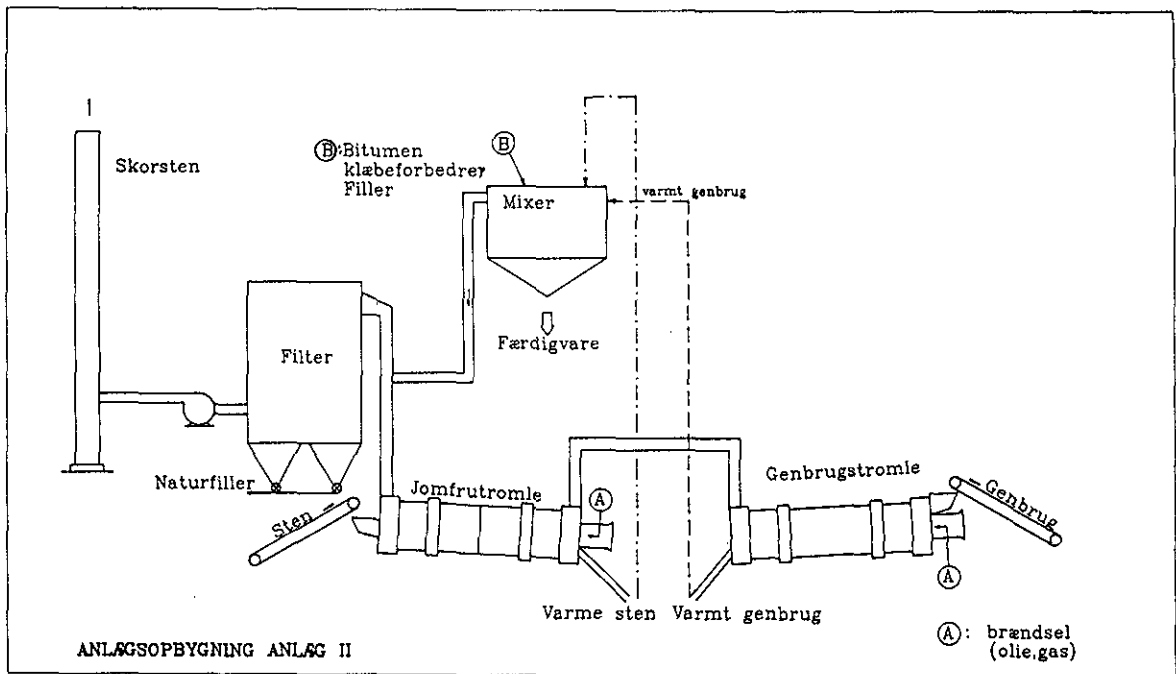
	Anlæg I	Anlæg II	Anlæg III
Jomfrutromle :	fuelolie (1500 sec.)	fuelolie (3500 sec.)	LPG
Genbrugstromle:	fuelolie (1500 sec.)	gasolie	LPG



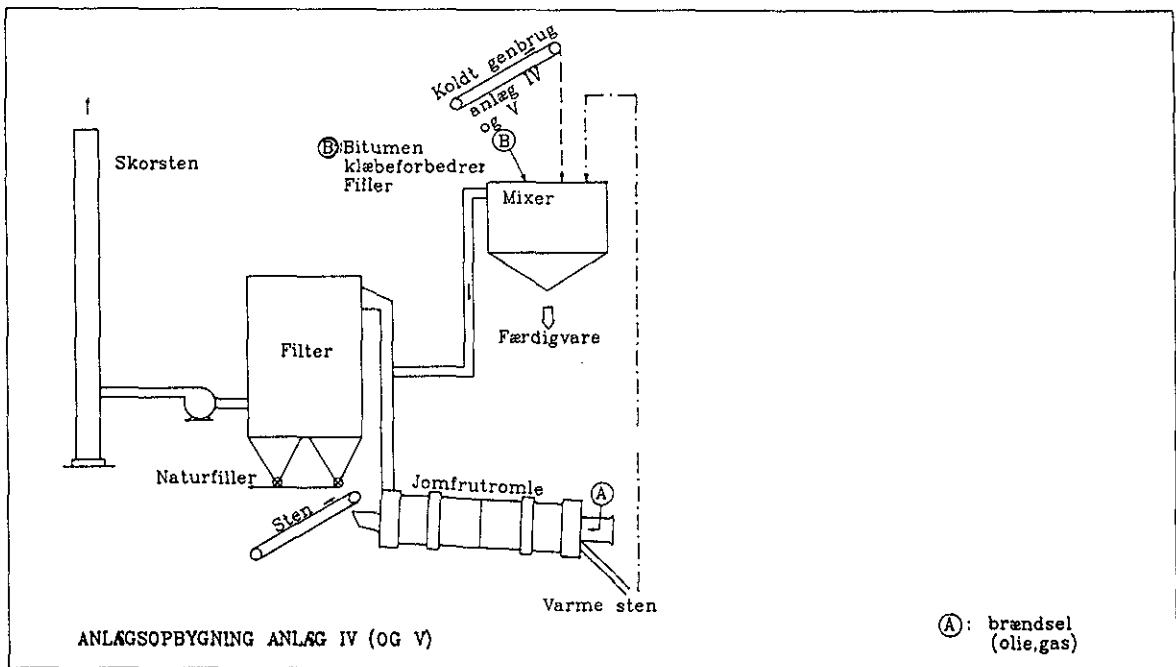
Figur 5.1. Anlægsopbygning for anlæg I og III.

### 5.1.2 Koldt genbrug

Mixerafkastene på anlæg IV og V er i begge tilfælde ført til posefilter se figur 5.3. Anlæg IV er opbygget traditionelt som anlæg I-III. Anlæg V er et helt nyopbygget anlæg efter det såkaldte "Hot-stock"-princip. De varme jomfrumaterialer opbevares i forskellige sorteringer i opvarmede siloer. Herfra dosseres de til de enkelte blandinger i mixeren. Aftaget fra disse siloer til mixeren behøver derfor ikke at have sammenhæng med de netop tørrede jomfrumaterialer. Man har således i dette anlæg adskilt processen i en tørreproces og en blandeproces. Endvidere opbevares stenmaterialerne i siloer. Dette betyder at stenmaterialernes vandindhold før tørring kan være væsentligt lavere end i anlæg I-IV.



Figur 5.2. Anlægsopbygning Anlæg II.



Figur 5.3. Anlægsopbygning anlæg IV og V.

Tabel 5.1 viser de anvendte brændselstyper.

TABEL 5.1 Brændselstyper, koldt genbrug.

	Anlæg IV	Anlæg V
Jomfrutromle	fuelolie (3500 sec.)	naturgas

Anlæg IV adskiller sig fra alle de øvrige ved brændertypen. Anlæg IV har åben brænderende som også er udmuret. Dette betyder at lufttilførslen forekommer jævnt fordelt over næsten hele tromlediameteren opdelt på primær, sekundær og tertiær luft. Dette sammen med udmuringen giver ved maks. last varmere flamme. Af minusser kan nævnes, kraftig støj og ved lave last en dårlig forbrænding.

## 5.2 Anlægsdata.

De 5 anlægs hoveddata er vist i tabel 5.2.

Til sammenligning af anlæggenes belastningsgrad eller forureningsbegrænsningsmuligheder anvendes følgende nøgletal.

- tromlebelastning (MW/m<sup>3</sup> tromle)
- filterbelastning I (MW/m<sup>2</sup> filter)
- filterbelastning II (m<sup>3</sup> tromle/m<sup>2</sup> filter).

Disse størrelser er altså udelukkende bestemt udfra anlæggenes bestykning og behøver ikke at afspejle de aktuelle driftsforhold.

Tromlebelastningen er defineret som den maksimale indfyrede varmemængde pr. tromlevolumen. Tilsvarende for filterbelastning I.

En høj tromlebelastning indikerer en høj tørrekapacitet, en høj filterbelastning I indikerer en vanskeligere støvrengning grundet et relativt mindre filter. Tilsvarende viser en høj filterbelastning II at anlægget har et, i forhold til anlæg med lavere tal, mindre filter.

### 5.2.1 Vurdering af anlæg ud fra data

Det fremgår af tallene i tabel 5.2 at specielt anlæg I har de højeste tal og er dermed det hårdest belastede af de 5 anlæg.

Anlæg III er næsthårdest belastet.

Anlæg II og IV er meget ens på trods af at anlæg IV er 50% større.

Anlæg V vurderes at være bedst trods de højere belastningstal i kraft af det helt igennem bedre filter (det har tykkere poser og er af typen jet-puls).

TABEL 5.2. Anlægsdata.

ANLÆG NR.	I	II	III	IV	V
Brændereffekt, jomfrutromle	22,5 MW	9,6 MW	15,8 MW	14,3 MW	16,6 MW
Brændsel	fuelolie 45	fuelolie 77	LPG	fuelolie 77	naturgas
Jomfrutromle, mål (d×l)	φ2,5×10 m	φ1,9× 9 m	φ2,7×9,7 m	φ2,5×9,5 m	
Genbrugstromle (d,h)	φ2,2×9,5 m	φ1,5×9 m	φ2,4/1,8×6,75 m		
Filter, fabrikat, type	Via nova 200NF	Via Nova 200NF	H.Nielsen&Søn	KVM-6-160N	KVM-2-K7-60N
rensemetode	returskyl	returskyl	trykluft	returskyl	jet-puls
areal	712 m <sup>2</sup>	740 m <sup>2</sup>	680 m <sup>2</sup>	1056 m <sup>2</sup>	840 m <sup>2</sup>
materiale	Nomex	Nomex	Nomex	Nomex	Nomex
vægt	400 g/m <sup>2</sup>	400 g/m <sup>2</sup>	400 g/m <sup>2</sup>	400 g/m <sup>2</sup>	550 g/m <sup>2</sup>
Skorstenshøjde	36 m	30 m	29 m	22 m	41 m
Beregningsmæssige nøgletal:					
Tromlebelastning MW/m <sup>2</sup> tromle	0,29	0,18	0,20	0,17	0,22
Filterbelastning I MW/m <sup>2</sup> filter	0,032	0,013	0,023	0,013	0,020
Filterbelastning II m <sup>3</sup> tromle/ m <sup>2</sup> filter	0,110	0,073	0,115	0,078	0,089

## 6. PRODUKTION OG DRIFTSPARAMETRE

De under målingerne producerede asfalttyper er vist i tabel 6.1 sammen med bitumentyper og klæbeforbedrer.

TABEL 6.1. Oversigt over produktioner.

ANLÆG	I	II	III	IV	V
Produktion uden genbrug	GAB 0	GAB 0/recept.83*	GAB 1	AB-0/8	GAB 1
med genbrug	GAB 0	GAB 0	GAB 1	GAB 0/GMA	GAB 1
Genbrugsandel	50 %	50 %	40 %	20 %	15 %
Genbrugsmetode	varm	varm	varm	kold	kold
Tilsætning af genbrug	mixer	mixer	mixer	varmeelevator	mixer
Genbrugsrøggas via	stentromle	stentromle	stentromle	-	-
Mixerafkast	eget	(filter)**	eget	filter	filter
Klæbeforbedrer	Amin/Polyram	Berolamin	Polyram	Redicote	Polyram
Bitumen	Nynæs	Statoil	Shell	Shell	Fyns Vejmat.

\*) GAB0 under prøve 1.1 og recept. 83 under prøve 1.2.

\*\*\*) afkastør tilstoppet, jævnfør afsnit 5.2.

I tabel 6.2 er opstillet de væsentligste måleresultater omkring driften.

De målte emissioner vil blive vist i de efterfølgende afsnit.

Af bemærkninger til de i tabel 6.2 viste måleresultater kan nævnes følgende:

Anlæg I : Dagen før målingerne forsøgte at indregulere brænderne til mindst muligt luftoverskud. Det var dog ikke muligt at opnå højere CO<sub>2</sub>-indhold i røggassen end de i tabel 6.2 viste, uden at brænderen begyndte at sode (misfarvning af naturfiller).

TABEL 6.2. Driftsdata.

	Anlæg I		Anlæg II		Anlæg III		Anlæg IV		Anlæg V		
		genbrug		genbrug		genbrug		genbrug		genbrug	
Asfaltproduktion	ton/h	112	115	70	70	105	105	100	140	160	160
genbrugsandel	%		50		50		40		20		15
Brændseffekt	MW	11,4	9,9	6,3	7,2	7,9	6,8	8,5	10	11,8	13,3
Belastning på brænder	%	51		66		50		59		71	
Ton asfalt pr. MW	ton/MWh	9,8	11,6	11,1	9,7	13,3	15,4	11,8	14,0	13,6	12,0
EFTER FILTER:											
Røggastemperatur	°C	101	109	98	102	105	126	73	92	105	106
CO <sub>2</sub>	%	3,8	3,4	2,0	2,4	3,4	2,6	2,9	3,6	5,4	6,6
O <sub>2</sub>	%	16,0	16,5	18,3	17,9	15,0	16,3	17,2	16,2	11,6	9,5
H <sub>2</sub> O	%	17,7	18,6	11,7	12,2	14,5	13,0	12,1	19,5	17,7	26,4
Luftoverskud, λ		4,2	4,7	8,0	6,6	4,1	5,4	5,5	4,4	2,2	1,8
Røggasflow, driftstilst.	m <sup>3</sup> /h	71100	70900	65000	65600	45800	52300	60300	66500	37300	38400
Røggasflow, (våd, norm.)	m <sup>3</sup> (n)/h	51900	50700	47600	47700	33100	35800	47500	49600	27200	28000
Røggasflow, (tør, norm.)	m <sup>3</sup> (n,t)/h	42700	41300	42100	41800	28300	31200	41700	40000	22400	20600
FØR FILTER:											
Røggastemperatur	°C	101	115	137	135	114	140	97	106	117	131
Genbrugstrømle											
Røggastemperatur	°C		130		199		146				
CO <sub>2</sub>	%		5,5		6,4		4,4				
H <sub>2</sub> O	%		22,4		20,2		20,3				
Røggasflow, (våd, norm.)	m <sup>3</sup> (n)/h		9800		7800		5100				
Røggasflow, (tør, norm.)	m <sup>3</sup> (n,t)/h		7600		6200		4100				
MIXER											
Røggastemperatur	°C					103		102	114	37	61
H <sub>2</sub> O	%					10,8		0,6	23,2	1,1	39,5
Røggasflow, (våd, norm.)	m <sup>3</sup> (n)/h					1000		1600	1600	4300	4300
Røggasflow, (tør, norm.)	m <sup>3</sup> (n,t)/h					900		1600	1250	4200	2600

Under målingerne varierede CO og TOC-indholdet jævnt med store udsving. Det viste sig, at olieforvarmerens regulering var ustabil. Dette medførte varierende viskositet og dermed varierende olietilførsel gennem oliedysen.

Anlæg II : Udsugningsrøret fra mixeren var tilstoppet af støv, hvorfor måling af mixerafkastet blev opgivet.

Anlæg III: På dette anlæg udførtes supplerende prøvetagning i skorstenstoppen, jævnt før afsnit 12. På andendagen registreredes en periodisk misfarvning af røgfanen. Perioden svarede til en rensesekvens. En senere inspektion af filteret gav ingen forklaring på dette, men støvemissionen lå væsentlig over støvemissionen på førstedagen.

Anlæg IV : Ved produktion af AB, 0/8 var produktionen begrænset til 100 ton/h.

Anlæg V : For at opnå tilstrækkelige prøvetagningstider var produktionen i jomfrutromlen reduceret til 150 ton/h mod normalt 180 ton/h.

Det bemærkes, at i modsætning til de øvrige anlæg er angivelsen her produktion af jomfrumaterialer. En produktion på 150 ton jomfrumaterialer/h svarer ca. til 160 tons asfalt/h. Af hensyn til sammenligning er i tabel 6.2 anført de 160 ton asfalt/h.

Under de enkelte målinger lå belastningen på anlæggene I-IV meget konstant. På anlæg V, reguleredes brænderen under målingerne. Dette hænger sammen med produktionsformen (Hot Stock), der muliggør produktion af mange forskellige recepter indenfor kort tid.

I tabel 6.2 er tillige anført luftoverskuddet ( $\lambda$ ). Denne størrelse er praktisk at indføre i denne rapport, da der anvendes forskellige brændsler:

$$\lambda \cong \frac{\text{CO}_{2\text{max.}}}{\text{CO}_2} \cong \frac{21}{21-\text{O}_2}$$

$\text{CO}_{2\text{max.}}$  = 15,9 % fuelolie  
= 15,4 % gasolie  
= 14,1 % LPG (butan)  
= 12,1 % naturgas.

Jo større luftoverskud jo større luftmængde indblandes i tromlerne.



Det ses af tabel 6.2 at anlæg V har det laveste luftoverskud på 1,8 mod anlæg II's højeste værdi på  $\lambda=8$ . Dette betyder at nogle anlæg anvender 4 gange så meget luft til tørreprocessen som andre.

## 7. STØVEMISSION

### 7.1 Efter filter

De målte støvkoncentrationer før og efter filteret er anført i nedenstående tabel 7.1. De enkelte måledata er middelværdien af 2 enkeltprøver. Der kan forekomme en relativt stor variation i de to enkeltprøver, hvilket vil fremgå af originaldata i appendiksrapport.

I tabel 7.1 er yderligere angivet forskellige data for de enkelte filtre samt driftdata.

Det skal bemærkes, at anlæg V adskiller sig fra de øvrige undersøgte anlæg ved at være et helt nyt anlæg med jetpulsfilter monteret med kraftigere posemateriale. Anlæg V er tillige et såkaldt "Hot stock" anlæg og producerer givne stensorteringer til lager.

Generelt set ligger udskilningsgraden for filterne meget højt, mere end 98,5%. Alligevel medfører de høje støvkoncentrationer i røggassen at støvemissionen i skorstenen (rengas) bliver for høj for de tre anlæg.

Støvemissionen er i tabel 7.1 også anført omregnet til 15%  $O_2$ . Denne omregning er foretaget for at kunne sammenligne støvkoncentrationerne uafhængigt af de pågældende anlægs luftoverskud ved målestedet.

TABEL 7.1 : Støvkonzentrationer før og efter filter.

		Anlæg I		Anlæg II		Anlæg III		Anlæg IV		Anlæg V	
Anlægstype		varmt genbrug		varmt genbrug		varmt genbrug		koldt genbrug		koldt genbrug	
Brændsel		fuelolie		fuelolie		LPG		fuelolie		naturgas	
Filter type		returskyl		returskyl		trykluftskyl		returskyl		jet-plus	
materiale		Nomex		Nomex		Nomex		Nomex		Nomex	
vægt g/m <sup>2</sup>		400		400		400		400		550	
størrelse m <sup>2</sup>		712		740		680		1056		840	
		genbrug		genbrug		genbrug		genbrug		genbrug	
Måledata											
røgtmp. efter filter	°C	101	109	98	102	105	126	73	92	105	106
luftoverskud, λ		4,2	4,7	8,0	6,6	4,1	5,4	5,5	4,4	2,2	1,8
røgflow, driftstilst.	m <sup>3</sup> /h	71100	70900	65000	65600	45800	52300	60300	66500	37300	38400
air-to-cloth ratio	m/min.	1,66	1,66	1,46	1,48	1,12	1,28	0,95	1,05	0,74	0,76
rågasstøvkonzentrat.	g/m <sup>3</sup> (n,t)	270	340	95	105	45	70	65	105	18	22
rengasstøvkonsen.	mg/m <sup>3</sup> (n,t)	560	(560)*	520**	830	340	1070	7	4	9	12
udskilningsvirkningr.n	%	99,8	(99,8)	99,4	99,2	99,2	98,5	99,99	99,99	99,95	99,95
rengasstøvemission ved 15% O <sub>2</sub>	mg/m <sup>3</sup> (n,t)	670		1200	1550	400	1650	11	5	6	6
rengasstøvemission	g/ton asfalt	214		310	495	92	318	2,9	1,4	1,2	1,5

\*) Skønnet emission, grundet fejl i nettovægt. \*\*) Resultatet fra prøve 1.1. Prøve 1.2 er ikke medtaget da målingen grundet sin størrelse antages fejlagtig, for eksempel forårsaget af løsevne støvbelægninger.

Vurderes de enkelte anlæg udfra nogle simple modeller fås en klar tendens der forklarer de målte emissioner.

Støvemissionen vil øges, når følgende parametre øges

- air-to-cloth ratio (forhold mellem røggasflow og filterareal)
- rågasstøvindholdet
- andelen af fint støv i rågassen.

Andre forhold som vedligeholdelse, tryktab, skyllesekvenser m.m. spiller naturligvis også en væsentlig rolle, men at belysning af dette ville kræve en egentlig filterundersøgelse. Filtre som udsættes for et højt rågasstøvindhold vil få et betydeligt højere slid på poserne og dermed større gennembrud (penetrering) end andre. Et stort luftoverskud vil betyde større medrivning af små partikler og indirekte derved et større slid på poserne. Slid på poserne er måske den mest betydelige faktor for støvemissionen. Et stort rågasstøvindhold vil ud over at slide på poserne også give et stort slid på røgkanaler, filterhus, m.m. Således observeredes på anlæg II, at en stor støvmængde løb ud gennem isoleringen på rågas-kanalen før filteret før rågasmålestedet.

Betragtes de tre førstnævnte parametre sammen med en vurdering af filteralder og slitage og tildeles 5 point til højeste værdi og 1 for laveste fås den i tabel 7.2 simple model.

TABEL 7.2 Pointvurdering af diverse anlæg.

anlæg nr.	I	II	III	IV	V
air-to-cloth ratio	5	4	3	2	1
rågasstøvindhold	5	4	2	3	1
alder, slitage, ved- ligeholdelse	5**	3*	3*	2	1
andel fint i rågas	5	4	3	2	1
point i alt	20	15	10	9	4
målt emission mg/m <sup>3</sup> (n,t)	560	520	340	7	9

\*)Skønnet. \*\*)Efter målinger viste en nærmere undersøgelse slitage i skyllekamre og mellemdæk mellem rågas og rengas (huller).

Man må naturligvis ikke lægge for meget vægt på denne simple model, men den antyder en forklaring på de høje målte emissioner.

Vurderet på grundlag af anlægsdata (afsnit 5.2.1) skulle anlæg II, IV og V have de mest effektive filtre.

Måleresultaterne bekræfter kun dette for anlæg IV og V.

Anlæg II har det højeste luftoverskud. Det er så højt, at filteret - selv om det er det største - er det hårdest belastede filter (air-to-cloth ratio).

En halvering af luftoverskuddet vil sandsynligvis have en meget gavnlig effekt på støvemissionen.

Ud fra de udførte støvmålinger, må det derfor konkluderes, at filtrene til anlæg I, II og III er overbelastede. Dette tilskrives for anlæg II de høje røggasmængder som bør kunne reduceres. På anlæg I og III er filterarealet for lille.

## 7.2 Efter genbrugstromlen

Støvkonzentrationen efter genbrugstromlen ligger væsentligt lavere end støvkonzentrationen efter jomfrutromlen. Dette skyldes hovedsagelig at genbrugsasfalten - selv om den er knust - er klæbrig og dermed i princippet ikke støvende. Støvkonzentrationerne er vist i tabel 7.3.

TABEL 7.3 Støvkonzentrationer efter genbrugstromle.

	Anlæg I	Anlæg II	Anlæg III
røgtemperatur °C	130	199	146
CO <sub>2</sub> %	5,5	6,4	4,4
Støvkonc.* mg/m <sup>3</sup> (n,t)	460	310	300

\*) Se efterfølgende bemærkninger i teksten.

Støvfiltrene i prøvetagningsudstyret var tydelig farvet af kondenserede kulbrinter.

For anlæg I er et enkelt målefilter analyseret for PAH. PAH incl. naftalen udgør  $44 \text{ mg/m}^3(n,t)$  af den angivne støvkoncentration på  $460 \text{ mg/m}^3(n,t)$ . Det vurderes at den væsentligste del af støvkoncentrationen i virkeligheden er kondenserede kulbrinter. Da målefilteret er termostateret til  $120 \text{ }^\circ\text{C}$  vil et posefilter udsættes for en kondensering af samme størrelsesorden.

## 8. LUGTEMISSION

Lugtemissionen efter filteret blev bestemt under hver måling. Måleresultaterne (middel af to enkeltværdier) er vist i tabel 8.1.

Lugtkoncentrationen varierer meget fra anlæg til anlæg.

Der er fundet en klar sammenhæng mellem luftoverskuddet,  $\lambda$ , og lugtemissionen. Denne sammenhæng er vist i figur 8.1, hvor enkeltobservationerne er afbildet som funktion af  $\lambda$ .

En almindelig udbrændt røggas har en lugt i sig selv på grund af  $\text{SO}_2$  og  $\text{NO}_x$  indholdet i røgen. Denne værdi ligger på af størrelsesorden  $500\text{-}1000 \text{ LE/m}^3$  ved  $\lambda \sim 1,2$ . En direkte fortynding af denne røggas til for eksempel  $\lambda=4$  giver en lugtemission på  $100\text{-}250 \text{ LE/m}^3$ . Lugten fra  $\text{SO}_2$  og  $\text{NO}_x$  i røggassen har derfor ikke haft nogen praktisk betydning for lugtemissionsstørrelsen for de her betragtede anlæg.

Lugten efter jomfrutromlen må tilskrives tilstedeværelsen af uforbrændte kulbrinter i røggassen.

I figur 8.1 er anvendt følgende symboler

- A : fuelolie,
- B : fuelolie, genbrug
- C : gas
- D : gas, genbrug

Figur 8.1 viser at, der ikke syntes at være forskel på lugt-emissionerne med og uden genbrug.

At resultaterne i tabel 8.1 generelt viser en større lugt-emission under genbrug, kan altså ikke tilskrives genbruget. Årsagen skal søges i luftoverskuddet.

Da luftoverskuddet i genbrugstromlen er lavere end efter jom-frutromlen (tabel 6.2), må det formodes at brænderen til jom-frutromlen ikke er korrekt indreguleret på dellast (genbrugs-drift) eller at indføringen af genbrugsgassen ved brænderen ødelægger flammeformen.

**TABEL 8.1 : Lugtemissioner efter filter.**

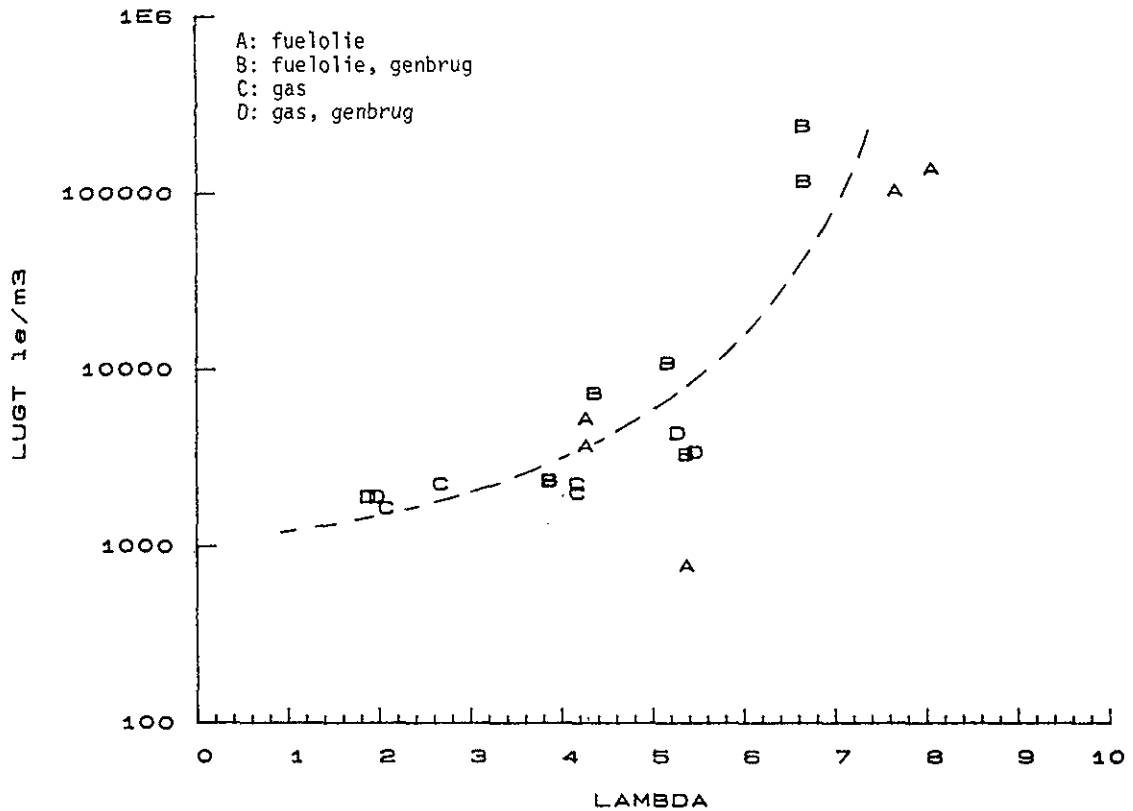
	Anlæg I		Anlæg II		Anlæg III		Anlæg IV		Anlæg V		
Anlægstype	varmt genbrug		varmt genbrug		varmt genbrug		koldt genbrug		koldt genbrug		
Brændsel	fuelolie		fuelolie		LPG		fuelolie		naturgas		
Mixerafkast	eget		(filter)*		eget		filter		filter		
	genbrug		genbrug		genbrug		genbrug		genbrug		
<b>Måledata</b>											
Asfaltproduktion	t/h	112	115	70	70	105	105	100	140	160	160
Luftoverskud		4,2	4,7	8,0	6,6	4,1	5,4	5,5	4,4	2,2	1,8
Lugtkoncentration (RC <sub>50</sub> )	LE/m <sup>3</sup>	5200	10500	124000	179000	2500	4500	900	3300	2300	2200
Lugtemission (RC <sub>50</sub> )	LE/s	51000	99500	1450000	2080000	19600	39000	10500	36700	14300	12600
do pr. ton asfalt	(10 <sup>3</sup> LE/ton)	1,64	3,11	74,6	107	0,67	1,34	0,38	0,94	0,32	0,28

\* ) Afkast var tilstoppet.

Stikprøver på lugtkoncentrationen fra genbrugstromlen gav de i tabel 8.2 viste koncentrationer.

**TABEL 8.2 : Lugtkoncentration fra genbrugstromle.**

ANLÆG II	160.000 LE/m <sup>3</sup>
ANLÆG III	7.500 LE/m <sup>3</sup>



Figur 8.1. Lugtemissionen som funktion af luftoverskud,  $\lambda$ .

Endvidere antyder resultaterne (jævnfør punkterne C og D kontra A og B, figur 8.1) en tendens til at de gasfyrede anlæg har lavere lugtemission end de oliefyrede.

Det må fremhæves, at luftoverskuddet som er vist i figur 8.1, kun afspejler de målte resultater. Utætheder i tromlens bagende og eventuelle andre utætheder senere i røggaskanalen efter tromlen samt skylleluften til specielt de returskyllede filtre vil medføre højere målt luftoverskud end det der faktisk findes i brændzonen. De angivne luftoverskud er målt i rengassen.

## 9. PAH-EMISSION

### 9.1 Hvad er PAH ?

PAH står for polycykliske aromatiske hydrokarboner. Det er organiske forbindelser, som kun indeholder kulstof og brint. Molekylerne er opbygget af et antal benzenringe. Der er ikke helt enighed i litteraturen om, hvorvidt naftalen (2 benzenringe) skal regnes med til PAH'erne, men fra 3 ringe og opefter medregnes de i hvert fald.

Det skal lige nævnes, at man i litteraturen også opererer med et andet begreb, POM. POM stammer fra engelsk og står for Polycyclic Organic Matter. Det er en bredere gruppe organiske forbindelser, som også omfatter PAH. Ud over PAH indeholder den stoffer, der ligesom PAH har ringstruktur, men som også kan indeholde andre atomer end kulstof og brint i deres molekyler.

PAH gruppen omfatter et stort antal stoffer. Den er blevet kendt og omtalt i de senere år, fordi en række af stofferne har vist sig at være mutagene/kræftfremkaldende. PAH er dog kun ansvarlig for en lille del af røggassens totale mutagenitet, der væsentligst skyldes mere reaktive forbindelser (andre POM), for eksempel nitro-forbindelser. Undersøgelser af PAH har vist (ref. 2), at det kun er en vægtmæssigt lille del af PAH gruppen, der er ansvarlig for den mutagene effekt, ca. 1% med 4-7 ringe. Det er dog muligt, at andre PAH'er kan forstærke deres virkning.

En af de mest omtalte og undersøgte forbindelser er Benz-a-pyren (BaP). Stoffet anvendes ofte som indikatorforbindelse, når man skal sammenligne størrelsen af forskellige PAH indhold. Man analyserer for BaP og beregner på det grundlag for-



hold. Man analyserer for BaP og beregner på det grundlag forholdet mellem de størrelser, der skal sammenlignes. Metoden er imidlertid ikke god, fordi forholdet mellem BaP og total PAH ikke er konstant, og fordi PAH sammensætningen - forholdet mellem de forskellige PAH'er - varierer (ofte meget).

I denne undersøgelse har man valgt at analysere for et større antal, ialt 16 incl. naftalen. De 16 forbindelser er udvalgt dels efter en WHO anvisning (ref. 1), dels efter hvilke forbindelser, der kan fremskaffes analysestandard til. Tabel 9.1 giver en række data for disse 16 forbindelser.

TABEL 9.1 : Oversigt over de analyserede PAH.

PAH-gruppering			Formel	molvægt	Kogepunkt °C	Carcinogenitet*	
PAH1	PAH2		Naftalen	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	128	218	-
		PAH3	Acenaphthylen	C <sub>12</sub> H <sub>8</sub>	152	265	
			Acenaphthen	C <sub>12</sub> H <sub>10</sub>	154	279	
			Fluoren	C <sub>13</sub> H <sub>10</sub>	166	295	-
			Phenanthren	C <sub>14</sub> H <sub>10</sub>	178	340	-
			Anthracen	C <sub>14</sub> H <sub>10</sub>	178	342	-
			Fluoranthren	C <sub>16</sub> H <sub>10</sub>	202	375	-
			Pyren	C <sub>16</sub> H <sub>10</sub>	202	393	-
		PAH4	Benzo-a-anthracen	C <sub>18</sub> H <sub>12</sub>	228	400	+
			Chrysen	C <sub>18</sub> H <sub>12</sub>	228	448	+-
			Benz-e-pyren	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	252	493	-
			Benz-b-fluoranthren	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	252	481	++/+++
			Benz-k-fluoranthren	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	252	481	+
			Benz-a-pyren	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	252	495	++++
			Dibenzo-a,h-anthracen	C <sub>22</sub> H <sub>14</sub>	278	524	+++ /++++
			Benzo-g,h,i-perylen	C <sub>22</sub> H <sub>12</sub>	276	542	+-
Indeno-123-cd-pyren	C <sub>22</sub> H <sub>12</sub>		276	534	++		

\*):- ikke carcinogen, +-: muligvis, + til +++ varierende grad af carcinogenitet.

## 9.2 Hvor kommer PAH fra ?

Udsendelse af PAH til det ydre miljø sker væsentligst fra følgende kilder:

- afdampning fra produkter
- forbrændingsprocesser

### 9.2.1 Afdampning fra produkter

PAH holdige produkter vil ved stigende temperatur afgive stigende mængder af PAH til omgivelserne.

Under opvarmning af genbrugsasfalt til en gennemsnitstemperatur på ca. 150 °C vil der forekomme lokale overhedninger. Dette kan give anledning til mærkbar afdampning af PAH. Af denne årsag indføres genbrugsrøgen i jomfrutromlen med henblik på destruktions af PAH og andre kulbrinter.

### 9.2.2 Forbrændingsprocesser

Forbrændingsprocesser er imidlertid hovedkilden til udsendelse af PAH. Ved fuldstændig forbrænding omdannes brændslets indhold af kulstof og brint til CO<sub>2</sub> og vand. Undervejs dannes der som mellemprodukter dels CO, dels nogle reaktionsdygtige kulbrinteradikaler. Disse mellemprodukter kan ved ufuldstændig forbrænding reagere videre og blandt andet danne PAH.

Årsagerne til ufuldstændig forbrænding kan være enten underskud af ilt eller en køling af flammen, så forbrændingsprocessen går i stå. Det sidste kan for eksempel forekomme ved for stor tilsætning af luft til forbrændingen. For at begrænse dannelsen af PAH skal man altså tilstræbe lave koncentrationer af CO og kulbrinter i røggassen. Det kan opnås ved

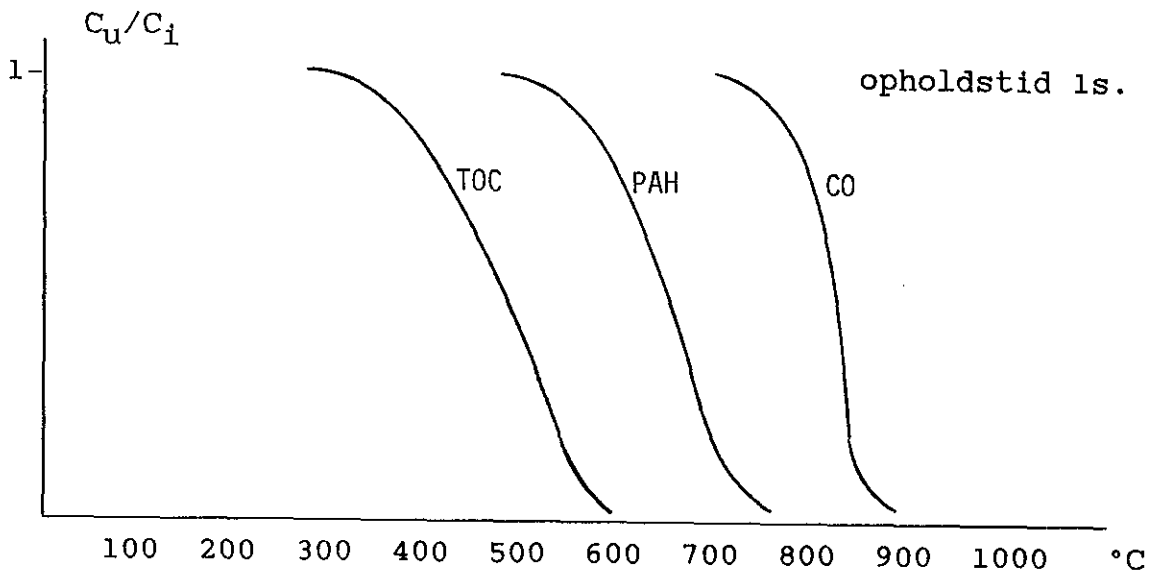
- korrekt luft-brændsel blanding
- opholdstid på mindst 1-2 sek. ved 900 °C for blandingen

Der er ikke en entydig sammenhæng mellem CO-koncentration og PAH-koncentration. Dog viser erfaringer, at en lav CO-koncentration er en nødvendig betingelse for lav PAH-koncentration. Som udtryk for kulbrintekoncentration anvendes idag begrebet

TOC (Total Organic Carbon).

En TOC-monitor registrerer kun de lette kulbrinter da detektionsgrænsen er ca. 1000 x for høj til at kunne registrere de tungere kulbrinter. De lette kulbrinter (TOC) destrueres lettest (temperaturniveau ca. 600 °C). Derfor vil TOC i røg-gassen vise at forbrændingen er virkelig dårlig.

Til anskueliggørelse af dette vises i figur 9.1 nogle skitserede destruktionskurver. Kurverne viser sammenhæng mellem restkoncentration og temperaturen efter en opholdstid på 1 sek. ved en given temperatur.



Figur 9.1. Destruktionskurver.  $C_u$  = koncentration efter 1 sek.  
og  $C_1$  = koncentration før varmepåvirkning.

### 9.3 PAH-koncentrationer efter filter

De PAH-koncentrationer, som i dette forsøg er målt efter posfilteret, er anført i tabel 9.2. Da en sammenligning mellem de enkelte PAH'er hurtigt bliver uoverskuelig er der beregnet nogle sumtal (se også tabel 9.1).

- PAH 1 : sum af 16 PAH'er incl. naftalen
- PAH 2 : sum af 15 PAH'er (total) excl. naftalen
- PAH 3 : sum af 6 PAH'er t.o.m. pyren (lette)
- PAH 4 : sum af 9 PAH'er efter pyren (tunge)

Da der er tvivl om naftalen hører til PAH eller ej er det derfor PAH 2 (udtryk for total PAH) og PAH 4 (de tunge PAH'er) der har interesse for resultaterne.

PAH 4 udgør mellem 0,1-5% (middel 1%) af PAH 2.

TABEL 9.2 : PAH-emissioner i  $\mu\text{g}/\text{m}^3(\text{n,t})$ .

Anlægstype Brændsel	Anlæg I		Anlæg II		Anlæg III		Anlæg IV		Anlæg V		
	varmt genbrug fuelolie		varmt genbrug fuelolie		varmt genbrug LPG		koldt genbrug fuelolie		koldt genbrug naturgas		
	genbrug		genbrug		genbrug		genbrug		genbrug		
Asfaltproduktion	t/h	112	115	70	70	105	105	100	140	160	160
Luftoverskud	$\lambda$	4.2	4.7	8.0	6.6	4.1	5.4	5.5	4.4	2.2	1.8
Naftalen	$\mu\text{g}/\text{m}^3(\text{n,t})$	96,000	2300,000	702,000	930,000	4,800	68,000	14,000	350,000	20,300	108,000
Acenafthen	$\mu\text{g}/\text{m}^3(\text{n,t})$	4,200	120,000	160,000	170,000	0,150	13,000	1,090	170,000	5,700	8,100
Fluoren	$\mu\text{g}/\text{m}^3(\text{n,t})$	3,600	509,000	27,000	22,000	0,054	11,000	1,900	280,000	0,960	10,900
Phenanthren	$\mu\text{g}/\text{m}^3(\text{n,t})$	26,000	901,000	99,000	92,000	0,290	39,000	7,100	504,000	5,700	34,000
Anthracen	$\mu\text{g}/\text{m}^3(\text{n,t})$	1,600	4,400	13,000	7,100	0,012	1,300	0,108	15,000	0,707	4,400
Fluoranthren	$\mu\text{g}/\text{m}^3(\text{n,t})$	14,000	95,000	11,000	11,000	0,054	3,900	2,300	85,000	2,600	6,020
Pyren	$\mu\text{g}/\text{m}^3(\text{n,t})$	5,600	25,000	15,000	15,000	0,036	1,900	0,580	38,000	1,700	2,200
Benzo-a-anthracen	$\mu\text{g}/\text{m}^3(\text{n,t})$	0,640	1,300	3,500	3,100	<0,006	0,037	0,069	0,790	0,110	<0,069
Chrysen	$\mu\text{g}/\text{m}^3(\text{n,t})$	1,200	2,300	4,200	6,600	0,012	0,081	0,150	0,850	0,110	<0,069
Benzo-e-pyren	$\mu\text{g}/\text{m}^3(\text{n,t})$	0,520	0,850	2,100	0,910	<0,031	0,060	<0,060	0,270	0,064	0,069
Benzo-b-fluoranthren	$\mu\text{g}/\text{m}^3(\text{n,t})$	0,520	0,990	0,250	0,250	<0,006	0,047	0,014	0,068	0,015	<0,007
Benzo-k-fluoranthren	$\mu\text{g}/\text{m}^3(\text{n,t})$	0,190	0,420	0,067	0,035	<0,003	0,020	<0,007	0,024	0,009	0,007
Benzo-a-pyren	$\mu\text{g}/\text{m}^3(\text{n,t})$	0,019	0,036	0,088	0,058	<0,003	0,007	<0,007	0,015	0,012	<0,007
Dibenzo-ah-anthracen	$\mu\text{g}/\text{m}^3(\text{n,t})$	0,019	0,032	0,078	0,053	<0,006	<0,007	<0,007	<0,025	0,012	<0,007
Benzo-ghi-perylen	$\mu\text{g}/\text{m}^3(\text{n,t})$	0,083	0,140	0,190	0,140	<0,006	0,020	<0,007	<0,015	0,021	0,017
Ideno-123-cd-pyren	$\mu\text{g}/\text{m}^3(\text{n,t})$	0,077	0,150	0,260	<0,120	<0,031	<0,034	<0,070	<0,049	<0,031	<0,069
Sumtal		150,000	3900,000	1040,000	1200,000	5,400	130,000	28,000	1400,000	35,000	174,000
PAH 1 (incl.naftalen)	$\mu\text{g}/\text{m}^3(\text{n,t})$	60,100	1600,000	340,000	330,000	0,606	72,000	13,000	1100,000	14,000	66,000
PAH 2 (excl.naftalen)	$\mu\text{g}/\text{m}^3(\text{n,t})$	56,000	1600,000	330,000	320,000	0,600	71,000	13,000	1100,000	14,000	65,000
PAH 3 (t.o.m. pyren)	$\mu\text{g}/\text{m}^3(\text{n,t})$	3,200	6,400	10,700	11,000	0,006	0,190	0,220	2,050	0,207	0,058
BVRIGE EMISSIONER											
CO	ppm	600*	900*	500	350	330	380	75	65	200	225
TOC	ppm	50*	140*	200	180	120	150	65	25	25	80

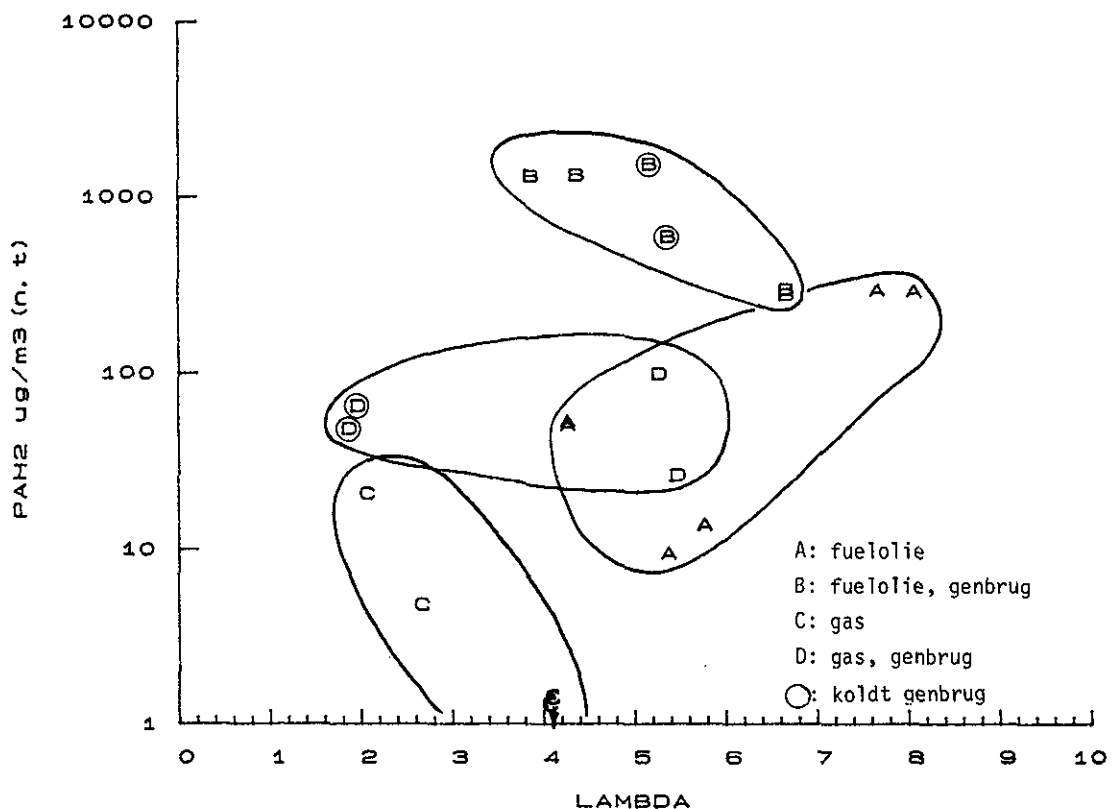
\* Emissionen svingede  $\pm 150$  ppm CO og  $\pm 10-20$  ppm TOC på grund af den varierende olieforvarmtemperatur, jævnfør afsnit 6. Værdier under detektionsgrænsen angivet ved (<) er ikke medregnet i sumtallene

Koncentrationen af total PAH (PAH<sub>2</sub>), de tunge PAH (PAH<sub>4</sub>) og Benz-a-pyren som funktion af luftoverskuddet er vist i figur 9.2, 9.3 og 9.4.

For de totale PAH (PAH<sub>2</sub>) som vist i figur 9.2 må det konkluderes, at emissionen er afhængig af

- luftoverskud
- genbrug / uden genbrug
- fuelolie / gas

Hoved tendensen må være, at PAH-emissionen er ca. 10×højere med end uden genbrug. Samt at PAH-emissionen fra gasfyrede anlæg ligger en faktor 10 lavere end fueloliefyrede anlæg.

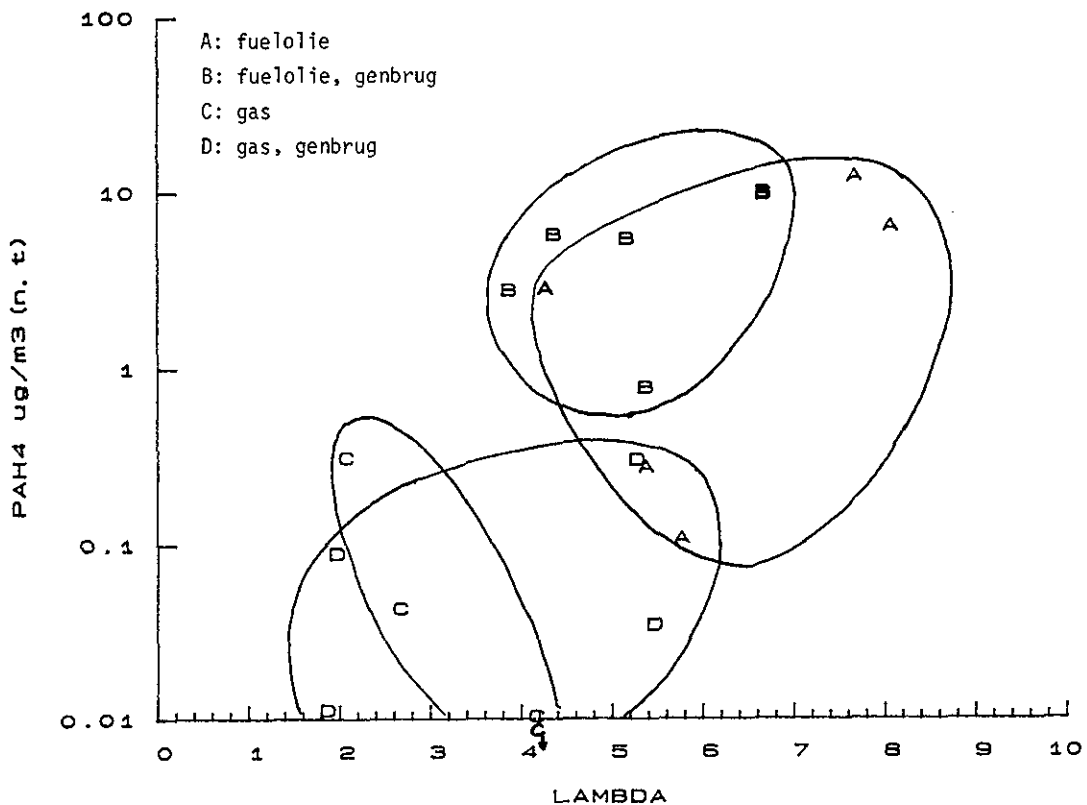


Figur 9.2 : PAH<sub>2</sub>-emission som funktion af luftoverskud,  $\lambda$ .

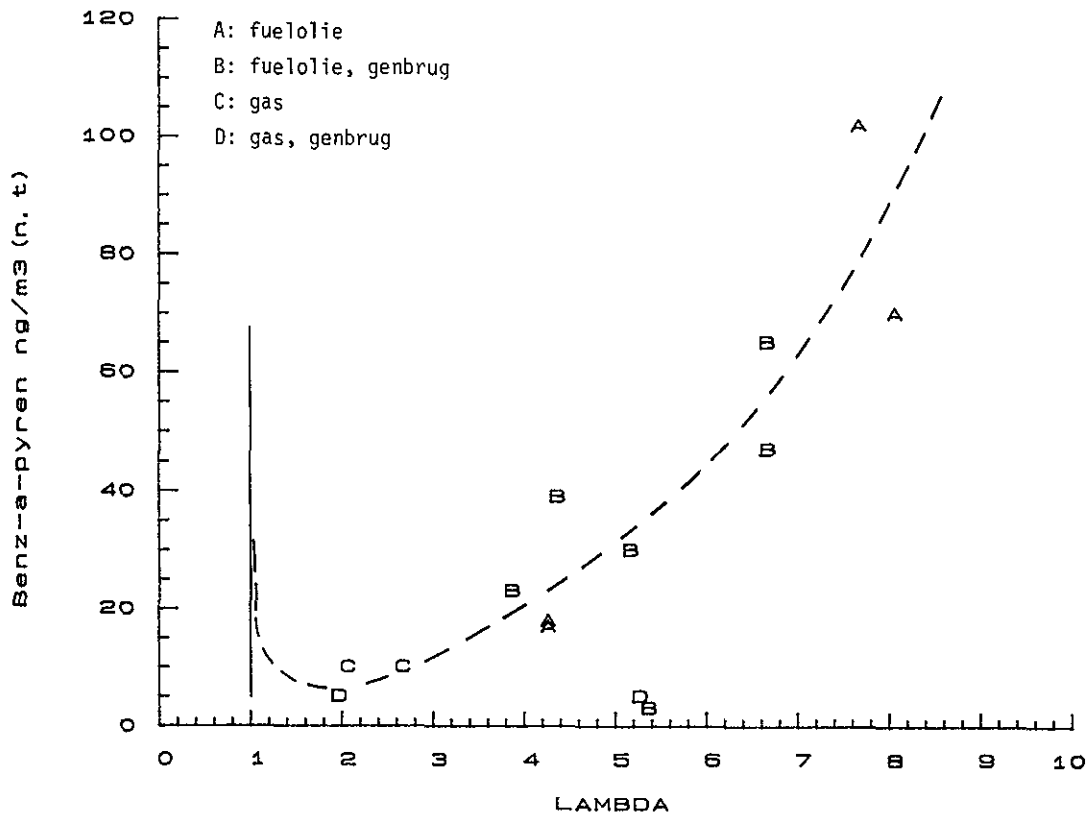
For de tunge PAH (PAH4) ses af figur 9.3 at der ikke er nogen forskel på genbrug og ikke genbrug. Derimod er niveauerne for de fueloliefyrede anlæg ca. en faktor 10 højere end de gasfyrede. Figuren viser også en afhængighed af luftoverskuddet.

Benz-a-pyren, BaP, i figur 9.4 viser en tydelig sammenhæng med luftoverskuddet. PAH4 gruppen udviser ikke samme klare tendens som BaP, der er et enkeltstof i PAH4-gruppen, se figur 9.3.

Der er ikke fundet nogen sammenhæng mellem CO og PAH eller TOC og PAH.



Figur 9.3 : PAH4 – emission som funktion af luftoverskud,  $\lambda$ .



Figur 9.4 : BaP-emission som funktion af luftoverskud,  $\lambda$ .

Betragtes vandindholdet i røggassen ligger dette meget lavt, det vil sige at røggassens tørreevne ikke er helt udnyttet.

En sammenhæng mellem støv og PAH er kun fundet for de fueloliefyrede anlæg, hvor de tunge PAH (PAH4) vokser med stigende støvkoncentration i rengassen. Dette bekræftes i øvrigt af tabel 9.4, hvor det mest effektive filter har tilbageholdt de på støvet bundne tunge PAH.

#### 9.4 PAH, støv- og gasfase

PAH er ved høje temperaturer  $>500$  °C på dampform. Ved afkøling kondenseres PAH på partikler. I temperaturområdet mellem  $50-300$  °C vil der være en form for ligevægt mellem adsorberet og dampformig PAH.

I det anvendte måleudstyr er målefilteret termostateret til  $120$  °C. Målefilteret har derfor analoge betingelser med posefilteret, ca.  $90-110$  °C. Efter målefilteret køles røggassen til  $10$  °C og ledes gennem et XAD-filter til total adsorption af rest PAH.

Ved at analysere målefilteret for sig fås et udtryk for den PAH-andel der må forventes at kunne udskilles i et effektivt posefilter. Det er denne analyseopdeling af de udtagne PAH prøver vi betegner som opdeling i støv- og gasfase.

På anlæg I, II og V er denne opdeling foretaget på en enkelt prøve og på anlæg I er yderligere opdelt en rågasprøve. Tabel 9.3 viser den procentvise andel af PAH fundet på rågasstøvet og tabel 9.4 den tilsvarende opdeling på rengasstøvet. Alle prøverne er under genbrugsdrift.

Det fremgår af tabel 9.3, at de tungere PAH i råggassen udskilles med samme effektivitet som støvet.

Tabel 9.4 viser, at det partikelbundne PAH er udskilt i det meget effektive filter på anlæg V. Denne del kan altså stort set tilbageholdes i effektive posefiltre.



TABEL 9.3 PAH-andel på rågasstøv.

PAH	anlæg I, 2.2
Naftalen	25
Acenafthen	32
Fluoren	42
Phenanthren	80
Anthracen	61
Fluoranthen	95
Pyren	95
Benzo-a-anthracen	98
Chrysen	98,5
Benz-e-pyren	99
Benz-b-fluoranthen	99
Benz-k-fluoranthen	99
Benz-a-pyren	99
Dibenzo-ah-anthracen	99
Benzo-ghi-perylen	99
Ideno-123-cd-pyren	97

TABEL 9.4 PAH-andel på rengasstøv.

PAH	%andel på støv			
	anlæg I		II	V
	2.1	2.2	2.1	2.1
Naftalen	0	0	0	0
Acenafthen	0	0	0	0
Fluoren	0,05	0,04	0,1	0,2
Phenanthren	0,3	0,2	0,2	0
Anthracen	2,4	3,6	1,4	0
Fluoranthen	1,9	3,3	1,7	0
Pyren	1,3	2,4	1,2	0
Benzo-a-anthracen	22	34	10,4	~
Chrysen	28	43	6,2	~
Benz-e-pyren	52	71	15,5	~
Benz-b-fluoranthene	55	70	18,9	~
Benz-k-fluoranthen	40	65	50	~
Benz-a-pyren	40	75	63	~
Dibenzo-ah-anthracen	~	~	~	~
Benzo-ghi-perylen	58	78	73	0
Ideno-123-cd-pyren	~	~	~	~

~: koncentrationer under detektionsgrænsen.

### 9.5 PAH fra genbrug og i rågas

For at forsøge at følge PAH-koncentrationen gennem anlægget er på anlæg I gennemført en analyse af PAH-koncentrationerne dels før filteret dels mellem genbrugstromle og jomfrutromle.

Tabel 9.5 viser disse analyseresultater.

TABEL 9.5 PAH-emissioner fra asfaltanlæg,  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , Anlæg I, Prøve 2.2

Prøve navn	Genbrug	Rågas	Rengas
	før jomfrutromle		
	$\lambda = 4,4$	$\lambda = 4,4$	$\lambda = 4,7$
Naftalen	10490,000	265,000	2090,000
Acenafthen	4080,000	39,300	123,000
Fluoren	5030,000	115,000	551,000
Phenanthren	11800,000	481,000	994,000
Anthracen	3310,000	8,100	3,950
Fluoranthren	4540,000	193,000	82,000
Pyren	2890,000	66,800	24,400
Benzo-a-anthracen	423,000	16,500	1,300
Chrysen	367,000	33,800	2,220
Benz-e-pyren	174,000	20,100	0,920
Benz-b-fluoranthren	175,000	25,200	1,020
Benz-k-fluoranthren	95,200	10,900	0,365
Benz-a-pyren	147,000	9,200	0,032
Dibenzo-ah-antracen	12,300	4,360	0,032
Benzo-ghi-perylen	85,800	18,400	0,143
Indeno-123-cd-pyren	102,000	22,300	0,151
PAH1 (incl. naftalen)	43700,000	1330,000	3880,000
PAH2 (excl. naftalen)	33200,000	1065,000	1785,000
PAH3 (t.o.m. pyren)	31700,000	904,000	1770,000
PAH4 (efter pyren)	1580,000	161,000	6,200

PAH-koncentrationen var af størrelsesorden 30 gange højere i genbrugsrøggassen før jomfrutromlen end i rågassen efter jomfrutromlen. Da genbrugsrøgen kun udgør ca. 20% af røggassen efter jomfrutromlen skal man sammenligne masseflow i stedet for koncentrationer. Denne sammenligning er vist i tabel 9.6.

TABEL 9.6 Masseflow - PAH gennem anlæg I, prøve 2.2

	genbrugsrøg (mellem genbrugstromle og jomfrutromle)	rågas (efter jomfru- tromle)
Røgmængde (tabel 6.2) m <sup>3</sup> (n,t)/h	7600	34100
<b>Totale PAH</b>		
PAH2-koncentration µg/m <sup>3</sup> (n,t)	33300	1060
PAH2-masseflow g/h	253	36
<b>Tunge PAH</b>		
PAH4-koncentration µg/m <sup>3</sup> (n,t)	1580	161
PAH4-masseflow g/h	12	5,5

PAH-mængden i rågassen efter jomfrutromlen består af bidrag dels fra jomfrutromlens oliebrænder dels fra genbrugsrøgen. At PAH-masseflowet er mindre efter jomfrutromlen end i genbrugsrøgen skyldes altså, at den væsentligste del af genbrugsrøgens PAH destrueres af jomfrubrænderen.

I den her betragtede ene prøve er destruktionsen større end 85% for de totale PAH (PAH2) og større end 50% for de tunge PAH (PAH4).

Det høje indhold af PAH i røgen fra genbrugstromlen må hovedsagelig skyldes afdampning fra genbrugsasfalten.

Målingen i rengassen, prøve 2.2 anlæg I, er desværre målt umiddelbart før målingen i rågas og genbrugsgas. Rengasmålingen, målt som timemiddel, lå ca. 2 x højere end den efterfølgende måling i rågassen, se tabel 9.5.

Forskellen mellem disse målinger skyldes luftoverskuddet som lå på 4,4 under målingen i rå- og genbrugsgas og 4,7 under rengasmålingen. Resultatet (den høje rengaskoncentration) tyder således på, at anlæg I har et forureningsmæssigt knæpunkt omkring et luftoverskud på ca.  $\lambda = 4,5$  (3,5% CO<sub>2</sub>). Dette bekræftes yderligere af rengasmålingerne uden genbrug ( $\lambda = 4,2$ ) hvor emissionerne af PAH lå ca. 30 gange lavere end rengasemissionen med genbrug ( $\lambda = 4,7$ ).

## 10. ÅRSAGER TIL LUGT- OG PAH-EMISSION

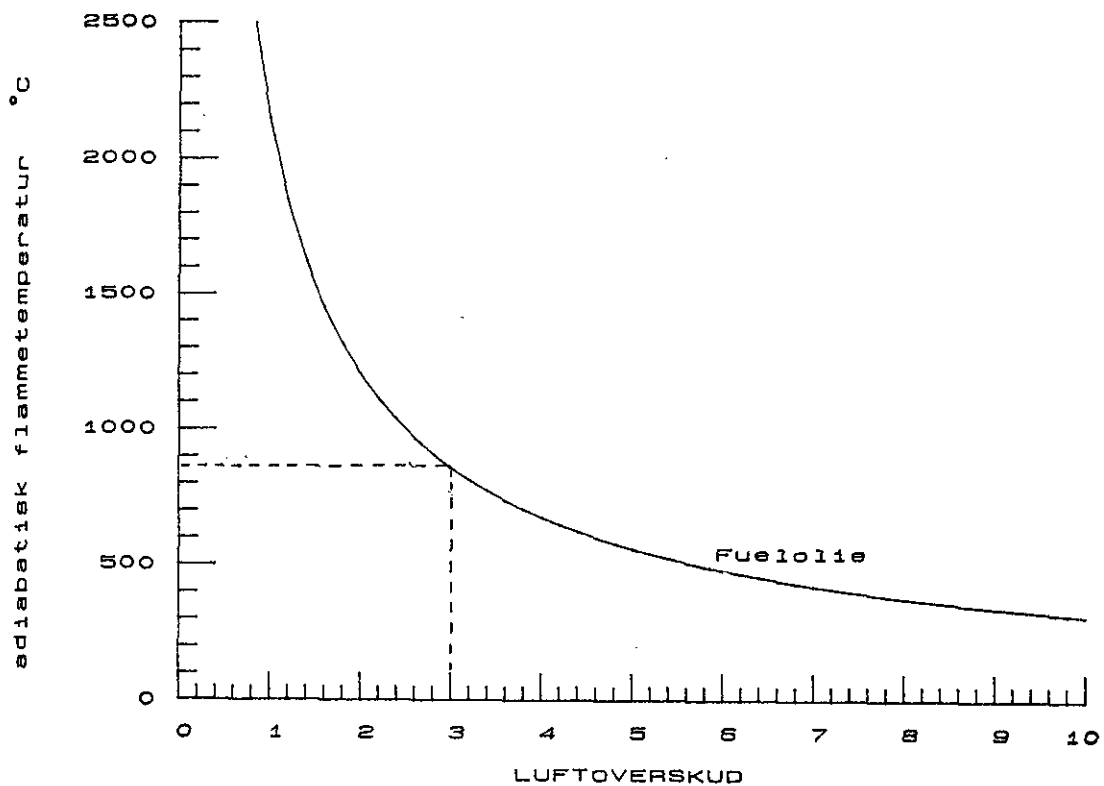
Resultaterne i afsnit 8, Lugtemission og afsnit 9, PAH-emission, viser at der er en sammenhæng mellem luftoverskud og lugt samt luftoverskud og PAH-emissionen.

I figur 10.1 er vist den adiabatisk flammetemperatur som funktion af luftoverskuddet. Den adiabatisk flammetemperatur er den maksimale teoretiske temperatur en total luft/brændstof opblandet flamme vil opnå uden varmetab til omgivelserne. Jo større luftoverskud jo lavere temperatur. Det kan aflæses af figur 10.1 at ved et luftoverskud over  $\lambda=3$  er temperaturen under ca. 850 °C. Denne temperatur er absolut i underkanten for at opnå en rimelig forbrænding, jævnfør afsnit 9.2.2. De store luftoverskud giver altså for lave forbrændingstemperaturer. Dette giver anledning til de høje lugt og PAH-emissioner.

Det er klart, at en del af luften kommer fra utætheder i tromlen. Her tænkes på materiale til- og afgang samt slæberingstætningerne i tromleenderne. Disse utætheder vurderes højst, at udgøre 5000-10000 m<sup>3</sup>(n,t)/h. Dette betyder, at CO<sub>2</sub>% i brændzonen er ca. 1% højere end i rengassen. Alt i alt vurderes brænderne på trods af utætheder stadig at have for højt luftoverskud.

Hvis der korrigeres for disse utætheder i tromlen svarer det til, at der absolut højst bør være et luftoverskud på  $\lambda = 4$  for at undgå bratkøling af flammen og dermed dannelse af PAH'er og andre stoffer. En del af disse andre stoffer, fortrinsvis aromater, er formentlig hovedansvarlige for lugtindtrykket.

Med  $\lambda=4$  fås en lugtemission på ca. 3500 LE/m<sup>3</sup>, figur 8.1.



Figur 10.1 : Adiabatisk flammtemperatur som funktion af luftoverskuddet,  $\lambda$ .

## 11. SO<sub>2</sub>-EMISSION

Der er målt SO<sub>2</sub> i skorstensrøgen fra de tre oliefyrede anlæg, nemlig anlæg I, II og IV. Målingerne viser, at der sker en betydelig binding af SO<sub>2</sub> i stenmaterialerne og i posefilteret (basisk filler).

Til belysning af svovlbindingen blev SO<sub>2</sub>-emissionen sammenholdt med svovlindholdet i brændslet.

Resultaterne er vist i tabel 11.1.

TABEL 11.1 : SO<sub>2</sub>-emissionen.

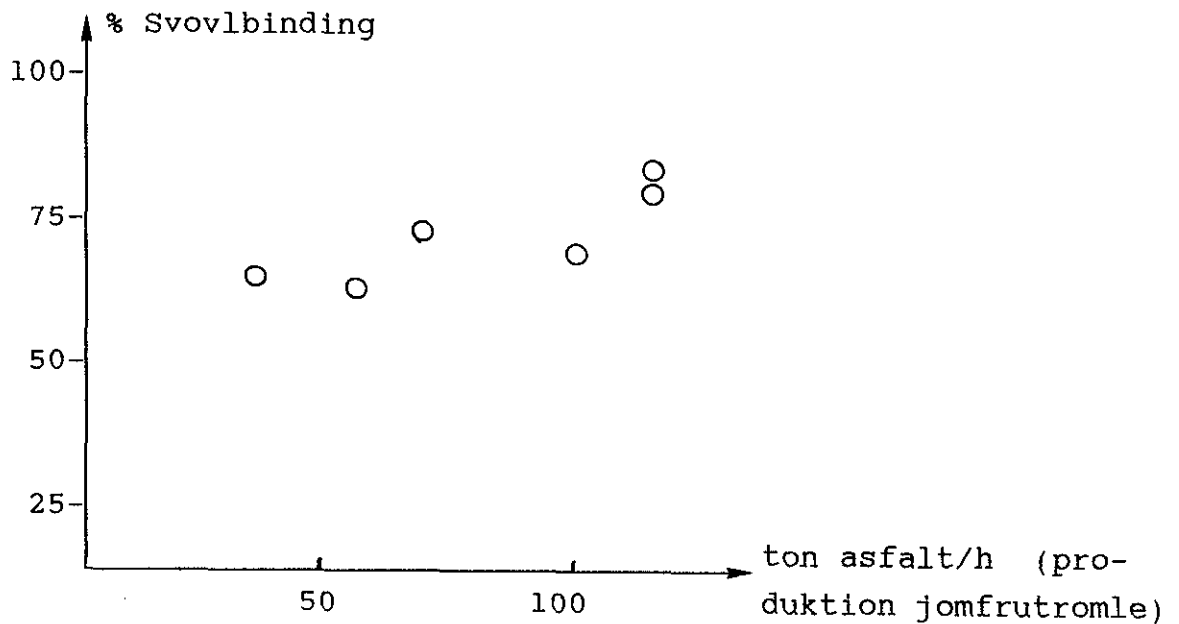
	Anlæg I		Anlæg II		Anlæg IV	
	genbrug		genbrug		genbrug	
Tør røggasflow m <sup>3</sup> (n,t)/h	42700	41300	42100	41900	41700	40000
SO <sub>2</sub> -emission ppm	30	50	35	40	45	30
SO <sub>2</sub> -emission mg/m <sup>3</sup> (n,t)	88	147	103	117	132	88
SO <sub>2</sub> -emission kg/h	3,8	6,0	4,3	4,3	5,5	3,5
Brændsel, fuelolie kg/h	1007	872	562	376	750	893
Brændsel, gasolie kg/h	-	-	-	254	-	-
Svovl i fuel %	0,94	0,94	1,45	1,45	1,24	1,24
Svovl i gasolie %	-	-	-	0,3	-	-
SO <sub>2</sub> via brændsel kg/h	18,9	16,4	16,3	12,4	18,6	22,1
Svovlbinding i produkt %	80	63	73	65	70	84

Usikkerheden vurderes til ± 5 ppm svarende til ± 10-15% på koncentrationen og ca.

± 3% point på svovlbindingen. En svovlbinding på 80% betyder altså mellem 77 og 83%.

Svovlbindingen svarer således til ca. 70%.

Den lavere svovlbinding på anlæg I og II under genbrug kan skyldes, at jomfrutromlens produktion er reduceret tilsvarende genbrugsproduktion. På anlæg IV (koldt genbrug) er produktionen på jomfrutromlen 10% højere med genbrugsasfalt end uden genbrug. I figur 11.1 er svovlbindingen vist som funktion af jomfrutromlens produktion. Figuren antyder en lineær sammenhæng.



Figur 11.1 : Svovlbinding afbildet som funktion af asfaltproduktion.

## 12. SKORSTENSBUND KONTRA TOP

Til belysning af en eventuel PAH-binding i skorstenen blev der udført en speciel måling i toppen af skorstenen på anlæg III. Dette anlæg blev udvalgt da skorstenen her var uisoleret.

Målingen i skorstenstoppen blev udført af en måletekniker hængende 30 m oppe i en kurv til en mobil kran. Sonden var svær at holde med fast placering og målingen er derfor behæftet med en del usikkerhed.

Resultatet antyder ikke at der kondenseres PAH i skorstenen.

Både støv- og PAH-resultaterne lå ca. 20-50% højere i skorstenstoppen end i skorstensbunden. Dette tilskrives helt den større måleusikkerhed og den manglende traversering af målesonden over tværsnittet i skorstenstoppen.

### 13. MIXERAFKAST

Afkastet fra mixerne er undersøgt på anlæg III og IV. Røgmængden fra mixerne ligger typisk mellem 3-10% af røgmængden fra skorstenen (jævnfør tabel 6.2).

Der er udført 3 PAH-analyser ialt, to er udført uden genbrug og én med genbrug. Resultatet er vist i tabel 13.1.

Det skal bemærkes, at prøve 1.1 på anlæg III afveg meget fra de øvrige analyser. Det skyldes, at analysen (chromatogrammet) domineredes af tre enkelttoppe, naftalen og 2 ukendte med retentionstid mellem naftalen og acenaften. Dette er den væsentligste forskel mellem prøve 1.1 på anlæg III og IV.

Den enkelte prøve under genbrugsdrift viser at PAH-emissionen fra mixeren er ca. 40 × højere med genbrug og at emissionerne af de tunge PAH (PAH<sub>4</sub>), er ca. 3 × højere.

To enkelt lugtanalyser viser lugtemissioner på 28.000 (anlæg IV, genbrug) og 155.000 le/m<sup>3</sup> (anlæg III, uden genbrug).

Den høje lugtemission er netop målt på anlæg III prøve 1.1 med det unormalt høje niveau af lette aromatiske forbindelser, jævnfør ovenfor.

Sammenlignes PAH-koncentrationerne fra mixerne med rågas og genbrugsgassen (tabel 9.5 og 13.1) kan det konkluderes, at PAH-koncentrationen fra mixeren (med genbrug) og genbrugstromlen stort set ligger på samme niveau.

Støvemissionen fra mixerne varierede meget og lå mellem 1000 og 13000 mg/m<sup>3</sup>(n,t).

Enkeltresultaterne er vist i tabel 13.2



TABEL 13.1 PAH-emissioner fra asfaltanlæg,  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Mixerafkast.

Prøve navn prøve nr.	Anlæg III 1.1	Anlæg IV 1.1	Anlæg IV 2.2
Røgmængde $\text{m}^3(\text{n,t})/\text{h}$	900	1600	1250
Naftalen	57300,000	436,000	11700,000
Acenafthen	243,000	126,000	6660,000
Fluoren	104,000	68,000	6790,000
Phenanthren	278,000	235,000	16530,000
Anthracen	14,000	43,600	5380,000
Fluoranthren	9,560	69,700	7050,000
Pyren	46,900	109,000	4350,000
Benzo-a-anthracen	66,900	134,000	435,000
Chrysen	67,800	126,000	269,000
Benz-e-pyren	40,000	92,400	141,000
Benz-b-fluoranthren	11,300	4,530	96,100
Benz-k-fluoranthren	0,852	1,429	50,000
Benz-a-pyren	0,870	0,924	87,100
Dibenzo-ah-anthracen	0,661	0,672	4,100
Benzo-ghi-perylen	0,609	1,420	29,400
Ideno-123-cd-pyren	<17,300	<16,800	28,200
PAH1-incl. naftalen	58200,000	1450,000	59700,000
PAH2-excl. naftalen	886,000	1014,000	47900,000
PAH3-t.o.m. pyren	697,000	652,000	46700,000
PAH4-efter pyren	189,000	361,000	1140,000

NB! nøjagtighed højst 2 betydende cifre.

TABEL 13.2 Støvemission, mixerafkast,  $\text{mg}/\text{m}^3(\text{n,t})$

			1.1	1.2	2.1	2.2
Anlæg III	Flow	$\text{m}^3(\text{n,t})/\text{h}$	880			
	Støvkonc.	$\text{mg}/\text{m}^3(\text{n,t})$	710			
Anlæg IV	Flow	$\text{m}^3(\text{n,t})/\text{h}$	1590	1580	1250	1280
	Støvkonc.	$\text{mg}/\text{m}^3(\text{n,t})$	9440	13500	9200	4500
Anlæg V	Flow	$\text{m}^3(\text{n,t})/\text{h}$	4020	4380	1260	2700
	Støvkonc.	$\text{mg}/\text{m}^3(\text{n,t})$	1190	1090	3010	7350

## 14. EMISSIONSBEGRÆNSNING

Undersøgelsen har vist en række muligheder for begrænsning af emissionen.

### 14.1 Anbefalede foranstaltninger

Anlæggene styrer olieforbruget efter stentemperatur og temperaturen i jomfrutromlens bagende.

Den visuelle kontrol af sodning var i alle tilfælde den eneste kontrol af forbrændingen. Dette er klart utilstrækkeligt. Generelt bør anlæg som minimum forsynes med en registrerende måling af luftoverskuddet ( $\text{CO}_2$  eller  $\text{O}_2$ ), som supplerende styreparametre.

Derudover bør anlæg, hvor genbrugsrøg tilføres jomfrutromlen, justeres på en sådan måde at indføringen af genbrugsrøggassen ikke ødelægger forbrændingsforholdene for jomfrutromlens brænder.

Luftoverskuddet bør højst ligge på  $\lambda = 4$ , ønskes mere tørreluft skal denne tilsættes uden om brænderen.

Ved tilsætning af ekstra tørreluft (over  $\lambda=4$ ) og tilsætning af genbrugsrøg til jomfrutromlen bør brænderen forsynes med et brænderrør som beskytter flammen mod unødigt afkøling.

### 14.2 Foranstaltninger til overvejelse

Følgende punkter bør overvejes ved nyanlæg eller renoveringer af eksisterende anlæg.

#### 14.2.1 Brænderforhold

- Brænderne reguleres til  $\lambda = 2$  og supplerende luft tilføres i yderkransen af tromlen gerne på ydersiden af et brænderør der beskytter flammen.
- Brænder og brænderrør i jomfrutromlen udformes således, at der opstår en efterforbrændingszone for genbrugsrøggassen til destruktions af kulbrinter.

#### 14.2.2 Filterforhold

- Hvis posefiltre fremover skal kunne overholde  $20-50 \text{ mg/m}^3$  (n,t) må det anbefales at filtre dimensioneres efter et air-to-cloth ratio på  $1-1,5 \text{ m/min}$ . ved det maksimale røggasflow. Alternativt skal anlægget forsynes med en tættere filterdug, for eksempel  $550 \text{ g/m}^2$ .

#### 14.2.3 Styring

- Der etableres en ny styring af jomfrutromlen, således at luftoverskud og vanddampindhold optimeres under hensyn til
  - fast stentemperatur
  - og rimelig (lav) røgtemperatur.

#### 14.2.4 Skorstensforhold

Lugtemissionen vil muligvis blive afgørende for skorstenshøjden fremover.

Med udgangspunkt i et luftoverskud på  $\lambda = 4$ , en lugtimmissionskoncentration på  $10 \text{ le/m}^3$ , en røgmængde på  $30.000 \text{ m}^3$  (n,t) /h pr. 100 ton asfalt, en røgtemperatur på  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  og et generelt højdetillæg på 10 m fås de i tabel 17.1 anførte skorstenshøjder. Højderne er beregnet ud fra 3 forskellige lugtemissioner.

TABEL 17.1 Skorstenshøjder.

Asfaltproduktion ton/h	Lugtemission le/m <sup>3</sup>		
	3500	5000	10.000
50	25	29	38
100	29	34	47
150	31	37	52
200	33	40	57
250	34	42	60

Med udgangspunkt i en lugtemission på 5000 le/m<sup>3</sup> fås en nødvendig skorstenshøjde på af størrelsesorden 30 - 40 m. Såfremt myndighederne sætter lugtimmissionskoncentrationsbidraget til 5 le/m<sup>3</sup> fås nødvendige skorstenshøjder på af størrelsesorden 50 - 60 m, ved samme lugtemission.

## 15. ENERGI/RØGTAB

I de forrige afsnit er fokuseret en del på luftoverskuddet. Specielt anbefales det at ligge på max.  $\lambda = 4$  i luftoverskud. Udover de miljømæssige fordele ved at reducere luftoverskuddet fås en energimæssig fordel.

Til vurdering af energitabet fra anlæggene er her anvendt det såkaldte røgtab.

Røgtabet består af flere delstørrelser

- tab med vanddamp
- tab med tør røggas
- tab ved uforbrændte gasser og partikler
- tab ved faststof i røggassen.

Da de to sidstnævnte ikke betyder noget væsentligt tab er kun tabet ved de to førstnævnte bestemt.

Vandindholdet i røggassen ligger meget lavt, se tabel 6.2 det vil sige at røggassens tørreevne ikke er helt udnyttet.

Da der er tale om en tørreproces, er det naturligvis formålet, at have meget vanddamp i røggassen. For at sammenligne energitab må man derfor se bort fra denne del, da vandfordampningen er forskellig på de undersøgte anlæg (produktafhængig).

Dette røgtab er vist i tabel 15.1.

TABEL 15.1 Energibesparelser:

Anlæg	I	II	III	IV	V
Røgtab i % excl.					
H <sub>2</sub> O fordampning	13-17	19-23	12-20	12-14	6-10
Mulig besparelse i %					
Regulering af brænder	3	10	5-10	0	0
ny styring	7-8	15	8-14	0-2	1-3

Den i tabel 15.1 anførte mulige besparelse er vurderet ud fra hensynet til varierende vandindhold i produkterne. Det er yderligere antaget at røgtemperaturen efter filteret mindst er 30 °C højere end dugpunktet, samt at der højst er 30% vanddamp i røggassen.

Såfremt der blev etableret en styring af tørreluften/olieforbruget efter vandindholdet i røggassen kan altså spares ganske meget energi på anlæggene med varmt genbrug.

En 10%-besparelse svarer for de her undersøgte anlæg til ca. 50-80 kg fuelolie pr. time.

## 16. MÅLEMETODER

De anvendte målemetoder er kort beskrevet i det efterfølgende.

## 16.1 Støv

Isokinetisk prøvetagning og opsamling af faststoffet på kvartsuldsfilter (se bilag 1).

Støvkonzentrationen er her udført med måleudstyret til PAH-bestemmelsen.

## 16.2 PAH

En isokinetisk udsuget delrøgstrøm er ledt gennem et kvartsuldsfilter, som udskiller røgens partikelindhold.

Efter kondensering er røggassen ledt gennem en kolonne pakket med XAD 2 for adsorption af gasformige organiske forbindelser (se bilag 2).

Efter hver måling er udstyret skyllet med dichlormethan ( $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ ).

Det opsamlede støv, kolonnematerialet, røggaskondensat og skyllevæske er analyseret for polyaromatiske kulbrinter. Filtre og kolonner er ekstraheret (soxhlet) i 24 timer med dichlormethan. Skyllevæske og røggaskondensat er skyllet i dichlormethan. Ekstrakterne fra filtre og kolonner samt skyllevæske og røggaskondensat bliver tilsammen opkoncentreret på rotationsinddamper og derefter under helium. Herefter bestemmes indholdet af PAH ved væskechromatografi (HPLC) med fluorescensdetektion.

Separationen er udført på en supelcosilkolonne ved gradienteluering med acetonitril/vand. Ved analyse er bestemt 16 forbindelser, der er kvantificeret i forhold til en kommerciel standardopløsning.

Summen af de her analyserede PAH'er er et relativt mål for røgens indhold af polyaromater. Hvorvidt andre PAH er tilstede undersøges ikke ved den benyttede analysemetode.

### 16.3 Lugt

Lugtkoncentrationen er bestemt efter lugttærskelmetoden. Metoden er nærmere beskrevet i bilag 3.

### 16.4 Røggasmængde

Lufthastigheden er fundet med pitotrør og multipliceret med skorstenens tværsnitsareal.

### 16.5 Røggastemperatur

NiCr/Ni termoelement i forbindelse med et digitaltermometer.

### 16.6 CO<sub>2</sub>

Registrerende infrarød CO<sub>2</sub>-måler.

### 16.7 CO

Registrerende infrarød CO-måler.

### 16.8 TOC

Registrerende instrument med flammeionisationsdetektor kalibreret med methan (CH<sub>4</sub>).

## 17. MÅLEUSIKKERHED

Støvemissionsmålinger udført efter anvisningerne i miljøstyrelsens vejledning nr. 7/74 ligger normalt på ca.  $\pm 10\%$ . Denne størrelse indbefatter håndtering, filtervejning og målestedets placering.

For de her udførte PAH- og støvemissionsmålinger vurderes måleusikkerheden til  $\pm 10-25\%$ .

Den lidt højere usikkerhed begrundes i det af hensyn til PAH-målingen anvendte glasudstyr, og de ikke altid ideelle mulige målesteder.

Selve PAH-laboratorieanalysen er bestemt med en nøjagtighed på 2 betydende cifre.

Anlæggenes driftsvariationer vil i øvrigt i sig selv kunne give en variation i emissionerne på betydelig mere end  $\pm 25\%$ .



## 18. ENGLISH SUMMARY.

An investigation of emissions (particulates, odours, PAH and SO<sub>2</sub>) from stationary hot mix asphalt plants.

During autumn 1987, emission measurements were carried out in five Danish hot mix asphalt plants.

The aim was to improve the knowledge of the nature and level of air pollution from stationary asphalt plants.

The effect of asphalt recycling was also investigated. The investigation included measurements from gas-fired as well as from oil-fired plants.

The following emission types were studied:

- particulates
  
- gases
  - PAH (polyaromatic hydrocarbons)
  - Odours
  - CO
  - TOC (total organic carbon)
  - SO<sub>2</sub>

The modus operandi of the 5 hot plants were as follows

- Plant 1 hot recycling, fuel oil fired
- Plant 2 hot recycling, fuel/gasoil fired
- Plant 3 hot recycling, LPG fired
- Plant 4 cold recycling, fuel oil fired
- Plant 5 cold recycling, natural gas fired

The influence on emissions from operational parameters, such as heating/drying methods, recycling and type of recycling (cold/hot) and filtration techniques, was assessed.

The results of this investigation of emissions and related operational influences provide a basis for improvement for reducing emission levels in asphalt production.

#### **18.1 General.**

The investigation indicated large plant-to-plant variations in emission level. This was due to plant size, methods of manufacture and operational differences.

However, for all 5 plants, there was a higher emission rate when using recycled asphalt. For hot recycling, this is most likely due to recirculation of waste gases from the asphalt re-heat rotary dryer to the aggregates rotary dryer; for cold recycling, a higher temperature requirement for the aggregate. No significant difference was found between the emissions from hot and cold recycling. Addition of cold recycled asphalt to the pug mill mixer causes flashing. Consequences from this are a certain PAH carry-over and higher fluegas rates (also caused by the demand for higher aggregate temperatures).

The investigation did not reveal any dependence between the levels of emissions and the types of bitumen or additive used or the type of asphalt produced.

#### **18.2 Particulate emissions.**

Particulate concentrations were measured both before and after the dust collectors.

Particulate concentrations in the final discharge were above 250 mg/m<sup>3</sup> for 3 out of 5 plants. The remaining plants had particulate emissions less than 20 mg/Nm<sup>3</sup>.

Particulate concentrations were much higher after the aggregates rotary dryer than after the recycled asphalt rotary dryer. Despite the fact that the recycled asphalt was crushed, it seemed that particulate carry-over was reduced by its quick melting and consequent adhesive character.

Except for the 2 low particulate concentration results, the results showed that the dust collectors were inadequate, despite the use of high efficiency filter fabric.

### 18.3 SO<sub>2</sub>-emissions.

SO<sub>2</sub>-emissions were measured for oil-fired plants only. The low SO<sub>2</sub> concentrations in the final discharge indicated a high rate of absorption in the aggregates and in the alkaline dust layer formed on the filter.

The theoretical SO<sub>2</sub> formation was calculated from the sulphur content of the fuel. It was found that only approx 30% of this amount was released to the atmosphere.

### 18.4 Odours.

Odour concentrations differed from plant to plant.

The overall results indicated a strong relationship between excess air and odour emissions (LE/m<sup>3</sup>). Increasing excess air produces higher odour concentrations, see Figure 18.1 below. An analysis of the results suggest lower odour emissions for gas-fired plants.

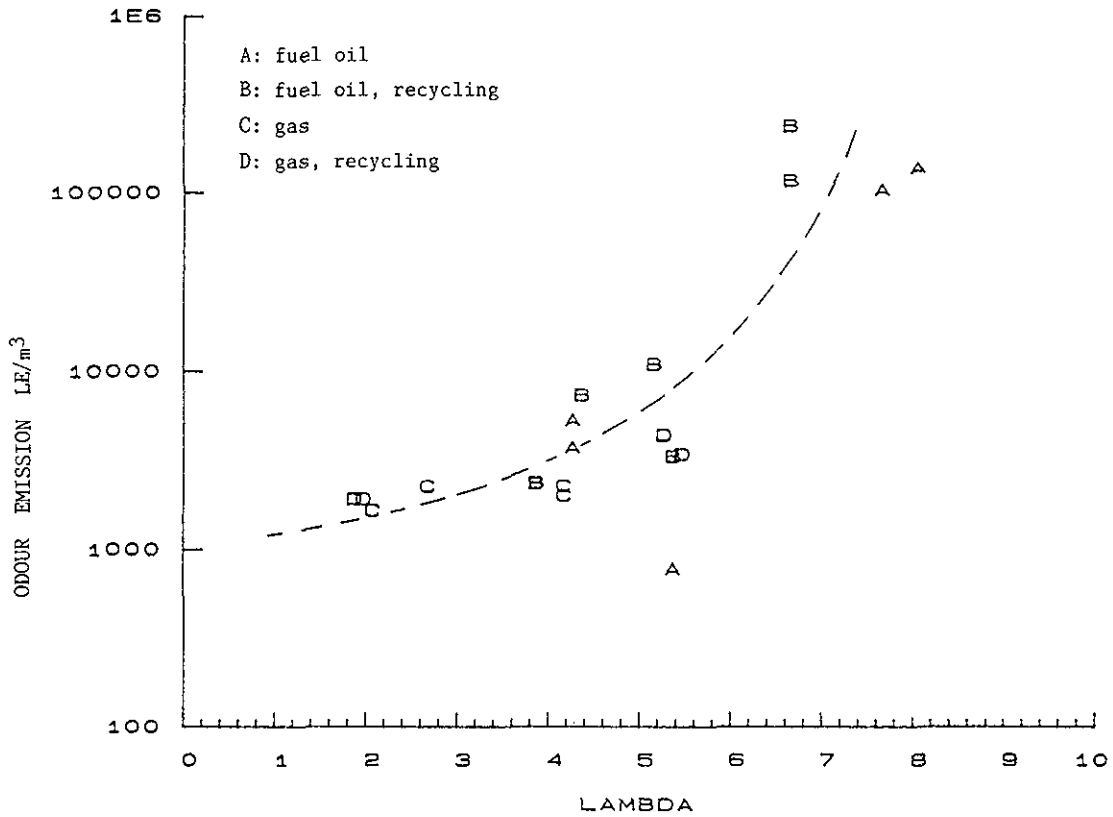


Figure 18.1 The relationship between excess air and odour emissions.

### 18.5 Gaseous emissions (PAH, TOC etc.).

The complete combustion of fuel, results in the formation of CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O. Incomplete combustion will give CO, unburnt hydrocarbons and various radicals, which may react further yielding PAH and smaller molecules, see table 18.1 . The total amount of carbon in organic compounds are collectively TOC.

PAH-concentrations were measured after the dust collectors.

The oil fired plant had higher total PAH emissions than the gas fired plant.

Table 18.1 Classification of PAH.

PAH-groups		Compound	Molecular Formula	Mol.wt.	Boiling pt. °C	Carcinogenicity*	
PAH1	PAH2	Naphthalene	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	128	218	-	
		PAH3	Acenaphthene	C <sub>12</sub> H <sub>10</sub>	154	279	
			Fluorene	C <sub>13</sub> H <sub>10</sub>	166	295	-
			Phenanthrene	C <sub>14</sub> H <sub>10</sub>	178	340	-
			Anthracene	C <sub>14</sub> H <sub>10</sub>	178	342	-
			Fluoranthene	C <sub>16</sub> H <sub>10</sub>	202	375	-
			Pyrene	C <sub>16</sub> H <sub>10</sub>	202	393	-
		PAH4	Benz[a]anthracene	C <sub>18</sub> H <sub>12</sub>	228	400	+
			Chrysene	C <sub>18</sub> H <sub>12</sub>	228	448	+-
			Benzo[e]pyrene	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	252	493	-
			Benzo[b]fluoranthene	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	252	481	++/+++
			Benzo[k]fluoranthene	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	252	481	+
			Benzo[a]pyrene	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	252	495	++++
			Dibenz[a,h]anthracene	C <sub>22</sub> H <sub>14</sub>	278	524	+++/++++
Benzo[ghi]perylene	C <sub>22</sub> H <sub>12</sub>		276	542	+-		
Indeno[1,2,3-cd]pyrene	C <sub>22</sub> H <sub>12</sub>	276	534	++			

\*) -: not carcinogenic, +-: uncertain, + to +++ varying degree of carcinogenicity.

Total PAH emissions were much higher for plant with recycling than without, see above table 18.2. The high PAH content in the gas from recycled asphalt rotary dryers indicates that there is carry-over from flashing processes during heating of recycled asphalt. PAH concentrations were up to 30 times higher than after the aggregates rotary dryer.

However, this carry-over introduced as secondary combustible gas may not be effectively burnt out when mixed in the combustion zone of the aggregates dryer. The degree of destruction varied from plant to plant and was dependent on burner and flame characteristics. The heavier and more toxic PAH4 were also less prone to destruction.

Table 18.2 PAH-emissions ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Type of plant Fuel type	Plant I		Plant II		Plant III		Plant IV		Plant V		
	hot recycling fuel oil	recycling	hot recycling fuel oil	recycling	hot recycling LPG	recycling	cold recycling fuel oil	recycling	cold recycling natural gas	recycling	
Asphalt production	t/h	112	115	70	70	105	105	100	140	160	160
Excess air	$\lambda$	4.2	4.7	8.0	6.6	4.1	5.4	5.5	4.4	2.2	1.8
Naphthalene	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (n,t)	96,000	2300,000	702,000	930,000	4,800	58,000	14,000	350,000	20,300	108,000
Acenaphthene	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (n,t)	4,200	120,000	160,000	170,000	0,150	13,000	1,090	170,000	5,700	8,100
Fluorene	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (n,t)	3,600	509,000	27,000	22,000	0,054	11,000	1,900	280,000	0,960	10,900
Phenanthrene	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (n,t)	26,000	901,000	99,000	92,000	0,290	39,000	7,100	504,000	5,700	34,000
Anthracene	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (n,t)	1,600	4,400	13,000	7,100	0,012	1,300	0,108	15,000	0,707	4,400
Fluoranthene	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (n,t)	14,000	95,000	11,000	11,000	0,054	3,900	2,300	85,000	2,600	6,020
Pyrene	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (n,t)	5,600	25,000	15,000	15,000	0,036	1,900	0,580	38,000	1,700	2,200
Benzo[a]anthracen	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (n,t)	0,640	1,300	3,500	3,100	<0,006	0,037	0,069	0,790	0,110	<0,069
Chrysene	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (n,t)	1,200	2,300	4,200	6,600	0,012	0,081	0,150	0,850	0,110	<0,069
Benzo[e]pyrene	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (n,t)	0,500	0,850	2,100	0,910	<0,031	0,060	<0,060	0,270	0,064	0,069
Benzo[b]fluoranthene	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (n,t)	0,520	0,990	0,250	0,250	<0,006	0,047	0,014	0,068	0,015	<0,007
Benzo[k]fluoranthene	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (n,t)	0,190	0,420	0,067	0,035	<0,003	0,020	<0,007	0,024	0,009	0,007
Benzo[a]pyrene	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (n,t)	0,019	0,036	0,088	0,058	<0,003	0,007	<0,007	0,015	0,012	<0,007
Dibenz[ah]anthracene	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (n,t)	0,019	0,032	0,078	0,053	<0,006	<0,007	<0,007	<0,025	0,012	<0,007
Benzo[ghi]perylene	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (n,t)	0,083	0,140	0,190	0,140	<0,006	0,020	<0,007	<0,015	0,021	0,017
Ideno[123-cd]pyrene	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (n,t)	0,077	0,150	0,260	<0,120	<0,031	<0,034	<0,070	<0,049	<0,031	<0,069
PAH groups subtotals											
PAH 1	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (n,t)	150,000	3900,000	1040,000	1200,000	5,400	130,000	28,000	1400,000	35,000	174,000
PAH 2	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (n,t)	60,100	1600,000	340,000	330,000	0,606	72,000	13,000	1100,000	14,000	66,000
PAH 3	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (n,t)	56,000	1600,000	330,000	320,000	0,600	71,000	13,000	1100,000	14,000	65,000
PAH 4	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (n,t)	3,200	6,400	10,700	11,000	0,006	0,190	0,220	2,050	0,207	0,058
OTHER EMISSIONS											
CO	ppm	600*	900*	500	350	330	380	75	65	200	225
TOC	ppm	50*	140*	200	180	120	150	65	25	25	80

\* Emissions varied  $\pm 150$  ppm CO and  $\pm 10$ -200 ppm TOC because of varying preheated oil temperatures.  
 Values below detection limits (<) are not included in the subtotals.

As with odour emissions, a similar tendency was found for PAH emissions where increased excess air levels caused even greater emissions, see figure 18.2.

The investigation further indicated that improvement of dust collection will cause a reduction in the emission of heavy PAHs, see table 18.3.

### 18.6 Conclusions.

The varying quantity and quality of gaseous and particulate emissions measured indicate overall that the quality of combustion has not been particularly good and that the levels of excess air used are too high.

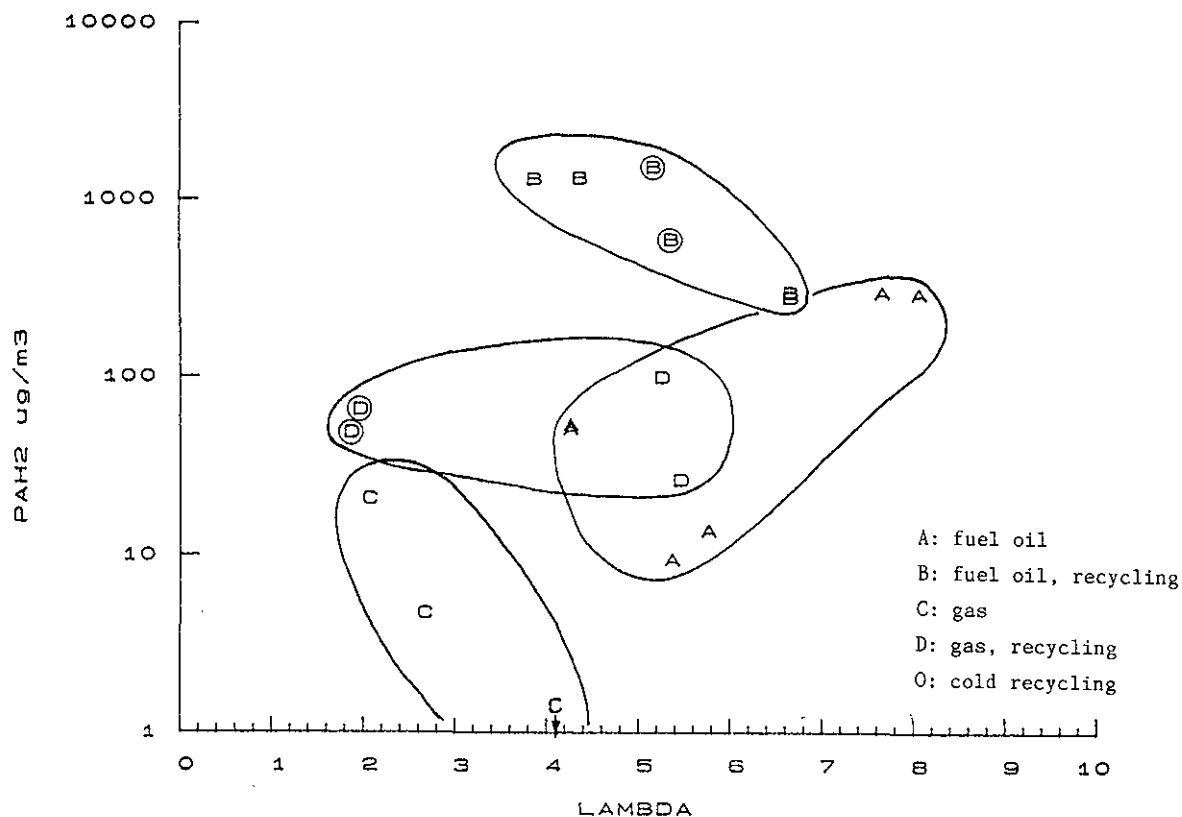


Figure 18.2 The relationship between excess air and PAH2 emissions.

Table 18.3 PAH-concentration in particulates (after filter).

PAH	% -PAH in particulates			
	Plant I		II	V
	2.1	2.2	2.1	2.1
Naphthalene	0	0	0	0
Acenaphthene	0	0	0	0
Fluorene	0,05	0,04	0,1	0,2
Phenanthrene	0,3	0,2	0,2	0
Anthracene	2,4	3,6	1,4	0
Fluoranthene	1,9	3,3	1,7	0
Pyrene	1,3	2,4	1,2	0
Benz[a]anthracene	22	34	10,4	~
Chrysene	28	43	6,2	~
Benzo[e]pyren	52	71	15,5	~
Benzo[b]fluoranthene	55	70	18,9	~
Benzo[k]fluoranthene	40	65	50	~
Benzo[a]pyrene	40	75	63	~
Dibenz[ah]anthracene	~	~	~	~
Benzo[ghi]perylene	58	78	73	0
Ideno[123-cd]pyrene	~	~	~	~

~: concentrations below detection limits.

Excess air levels at burner intake should be less than  $\lambda = 3,5 - 4$  and optimal around  $\lambda \geq 2$ . If the overall air requirement is  $\lambda \geq 4$  then the extra air should be supplied further down the flame front. This also applies to the secondary combustible gases fed from the asphalt rotary dryer. With the current design of burner, the flame temperature does not reach an optimum level owing to rapid cooling from the addition of supplementary gases and/or extra air. A redesign of burner is recommended.

Furthermore the lack of adequate control over air intake/leakage and combustion conditions necessitates feed back from end product gases.  $\text{CO}_2$  or  $\text{O}_2$  monitoring could provide a relatively secure method for achieving some control over burner and furnace operation and will be safer and better than the current visual methods of observing stack opacity.

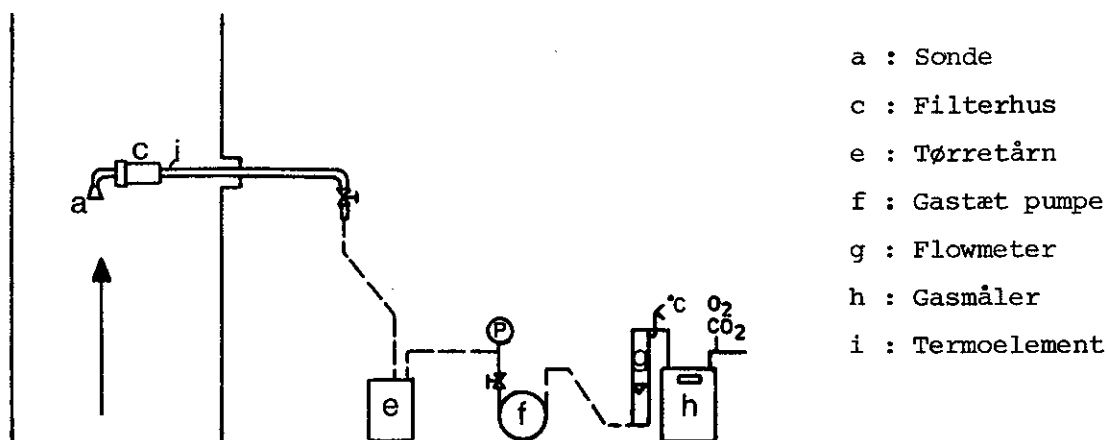


## 19. REFERENCER

- 1) Ramdahl T.: Workshop on Polynuclear Aromatic Hydrocarbons, Sources and Emission factors of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. OECD, Paris (1981).
- 2) Planeringsrapport NE 1982:15.  
Polyaromatiska kolväten från förbränningsanläggningar.  
ISBN 91-38-07042-1.
- 3) IEA-Coal Research  
Particulate Control for Coal Combustion  
Februar 1988, ISBN 92-9029-155-9.

## BESKRIVELSE AF DK-TEKNIK'S FASTSTOFMÅLEUDSTYR.

dk - 4 m<sup>3</sup>/h FASTSTOFMÅLEUDSTYR

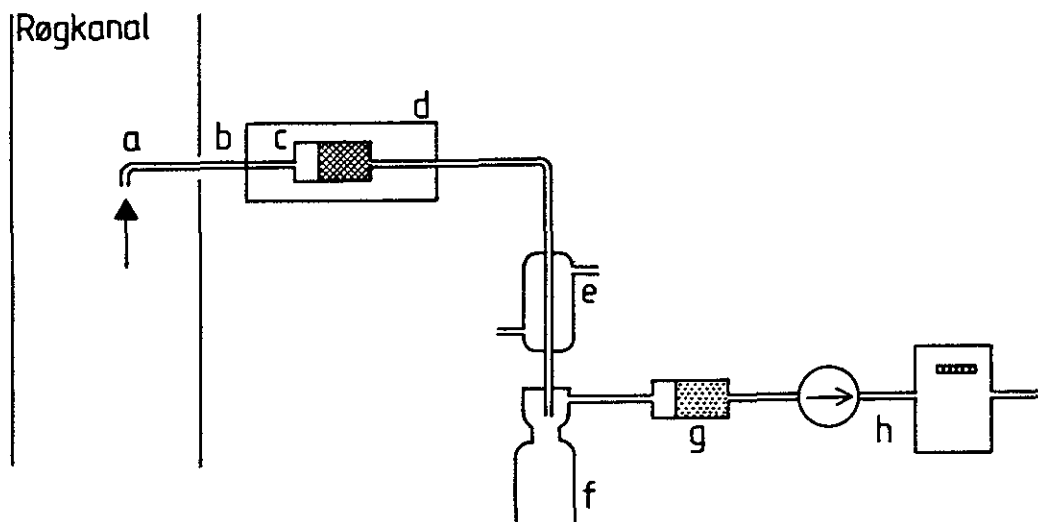


Princippet for måling af faststofkoncentrationer i strømmende gasser er fastlagt i Miljøstyrelsens vejledning nr. 7/1974, og vort måle- og beregningsprincip er i overensstemmelse med denne og med VDI 2066, Staubmessungen in strömenden Gasen.

Princippet for målingen er i korthed følgende:

1. Måletværsnittet inddeles i et antal målepunkter, fastlagt i overensstemmelse med tværsnitsarealet og tilstrømningsforholdene til måletværsnittet. Vejledning nr. 7/1974 angiver, at det lige tilstrømningsstykke  $M_1$  før målestedet bør være mindst  $5 \times$  diameteren og så vidt muligt ikke under  $2 \times$  diameteren.
2. Strømningshastigheden måles med pitotrør i hvert enkelt målepunkt.
3. Der udsuges en delgasstrøm fra hvert af de ovennævnte målepunkter efter tur, udsugningen foretages isokinetisk det vil sige med samme hastighed i sondemundingen a, som i det aktuelle målepunkt.
4. I filterhuset c er anbragt et rent filter, som er tørret og vejet og som tilbageholder alle partikler større end  $0,3 \mu\text{m}$ . Den udsugede delrøgstrøm renses for støv i målefilteret.
5. Delrøgstrømmen tørres for vanddamp i silikagel i tørretårnet e, hvorefter det udsugede tørre gasvolumen bestemmes med gasmåleren h. Ved hjælp af flowmeteret foretages en regulering af det udsugede flow, så der punkt for punkt er overensstemmelse mellem strømningshastigheden og udsugningshastigheden. Der anvendes samme udsugningstid for hvert enkelt målepunkt og udsugningstiden fastsættes blandt andet ud fra en vurdering af faststofkoncentrationen.
6. De eksponerede filtre tørres og vejes på en analysevægt, og vægtstigningen sammenholdes med det udsugede gasvolumen, hvorefter støvkoncentrationen beregnes.

PRINCIPSKITSE AF DK-TEKNIK'S USTYR FOR PRØVETAGNING AF ORGANISKE MIKROFORURENINGER.



- a. Sonde for isokinetisk udsugning
- b. Glasrør
- c. Kvartsuldsfilter i glasholder
- d. Ovn, 120 °C
- e. Køler
- f. Kondensfraskiller
- g. Adsorptionskolonne
- h. Pumpe og gasmåler

## BESKRIVELSE AF DK-TEKNIK'S METODE TIL BESTEMMELSE AF LUGTEMISSION.

### PRINCIP.

Lugtkoncentration bestemmes ved den såkaldte lugttærskelmetode, hvor man bestemmer den mindste fortynding i ren luft, som kræves for at 50% af forsøgspersonerne netop kan registrere lugt i afgangsluften, der således er en blanding af henholdsvis ren luft og forurenede luft. Den fundne værdi er gentlig en dimensionsløs størrelse, men efter ASTM-standard D 1391-57 /1/ udtrykkes tallet i lugtenheder (le), eller rettere lugtenheder pr.  $m^3$  ( $le/m^3$ ).

### PRØVETAGNING.

På målestedet udtages luftprøven via en teflonslange i en 20 liter diffusions- og adsorptionsfri Tedlarpose (Tedlar-polyvinyl-fluorid-film), idet posen er anbragt i en trykbeholder som evakueres, hvorved prøveluften suges ind i posen.

### LUGTTÆRSKELBESTEMMELSEN.

Lugttærskelbestemmelsen (i princippet efter T. Lindvall's metode /2/) udføres som parvise sammenligninger mellem den lugtende prøveluft i forskellige fortyndinger og ren luft i dk-laboratoriet (se principskitse fig. 1).

Fortyndingsluften er trykluft, der tørres i silicagelfilter, renses i aktiv kulfilter, filtreres for støv samt befugtes med destilleret vand. Den rene (neutrale) luft har sluttelig følgende konditioner,  $20^{\circ}C$  og  $\varphi = 0,4-0,5$ .

En ventilator i lugtpanelrummet trækker via et friskluftindtag i lugtanalyse-rummet friskluft igennem de to rum. Denne bliver ved hjælp af et airconditionsanlæg samt en luftbefugter konditioneret til  $20^{\circ}C$  og  $\varphi = 0,4-0,5$ .

Prøveluften doseres gennem en kalibreret kanyle, idet der sættes overtryk på en trykbeholder, hvori prøveposen er anbragt. Idet flowet af ren luft holdes konstant, kan der ved forskellige doseringer af prøveluft fremstilles fortyndinger fra 20 til 1.500.000 gange.

Lugtpanelet, som anvendes til bestemmelsen, består af minimum 6 trænede personer i alderen fra 18 til 40 år, hvoraf der kan testes to ad gangen. Forsøgspersonerne sidder under hele forsøgsperioden i det konditionerede lugtpanelrum, for derved at vænne sig til dette rums atmosfære. Hvert delforsøg består af 2 eksponeringer, én med neutral luft og én med en blanding af neutral- og prøveluft.

## LUGTBESKRIVELSE/FORTSAT.

Fra en styrepult i lugtanalyserummet styres forsøgsgangen.

Forsøgspersonerne adviseres via en signal-og svarpult, om hvornår der skal lugtes samt hvornår der skal svares.

Eksponeringstiden er 6 sekunder for hver eksponering og intervallet mellem de 2 eksponeringer i delforsøget er 14 sekunder, hvilket har vist sig at være tilstrækkeligt tidsrum til at opnå stabil koncentration efter dosisændring. Umiddelbart efter at forsøgspersonerne har lugtet til de 2 luftblandinger, skal de afgive svar på signal-og svarpultene, idet der er tre alternativer:

ENS: Ingen lugt ved nogen af eksponeringerne

1: Lugt ved den første eksponering

2: Lugt ved den anden eksponering

Herefter fortsættes med nye delforsøg med prøveluft i stigende koncentrationorden (mindre fortyndingsgrad), hele tiden i sammenligning med neutral luft, indtil forsøgspersonernes lugttærskel er nået, det vil sige korrekt har registreret lugt ved første eller anden eksponering.

## BEREGNING AF LUGTKONCENTRATION.

For hver fortynding af prøveluften (hvert delforsøg) beregnes et nettosvar for panelet på basis af de enkelte forsøgspersoners svar.

Nettosvaret beregnes som summen af antallet af rigtige svar minus summen af forkerte svar i forhold til det totale antal af afgivne svar. Panelets nettosvar placeres i en kumulativ frekvensfordeling i forhold til de forskellige fortyndingsgrader. Ved at beregne den lineære korrelation mellem nettosvaret for hver fortyndingsgrad og logaritmen for hver modsvarende fortyndingsgrad, findes for prøveluften antallet af fortyndinger ved 50% værdien af nettosvar, svarende jævnfør ASTM til lugtkoncentration af prøven i  $le/m^3$ .

## LITTERATUR.

/1/ Standard Method for Measurement of Odor in Atmospheres (Dilution Method)  
ASTM, D 1391-57 (1967).

/2/ Lindvall, T "On Sensory Evaluation of Odourous Air Pollution Intensities"  
Sweden, 1970.

# LUGTBESKRIVELSE / FORTSAT.

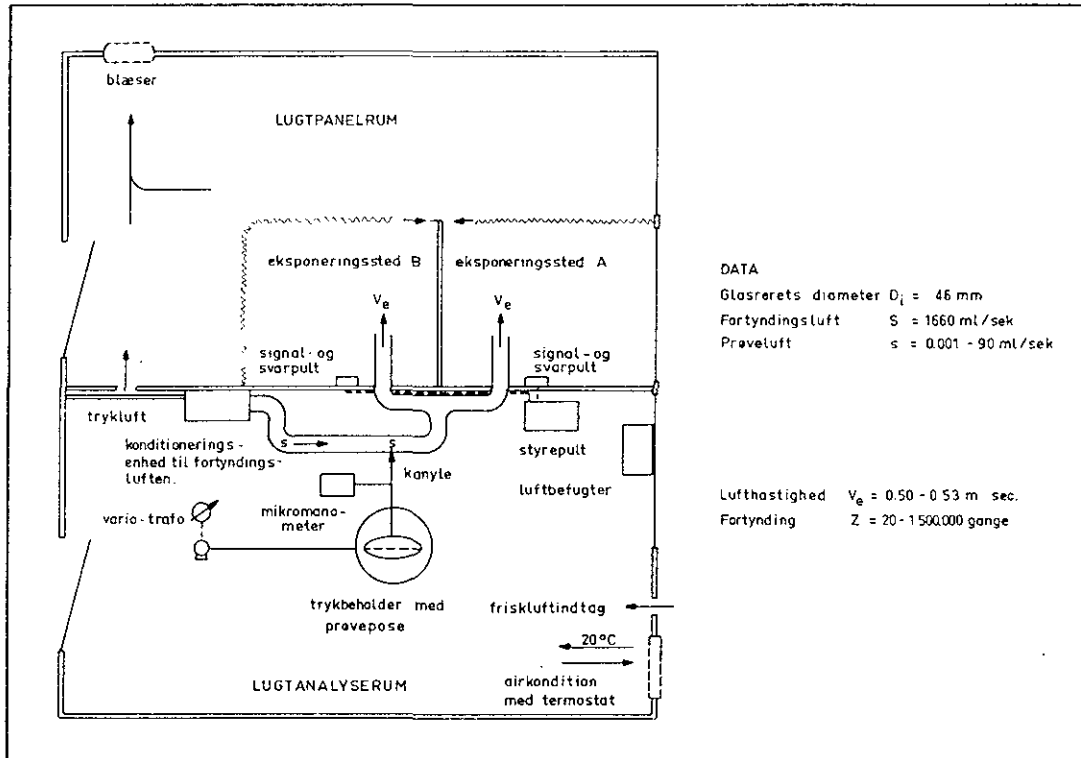


Fig. 1. Principkitse



Fig. 2. Lugtpanelrum

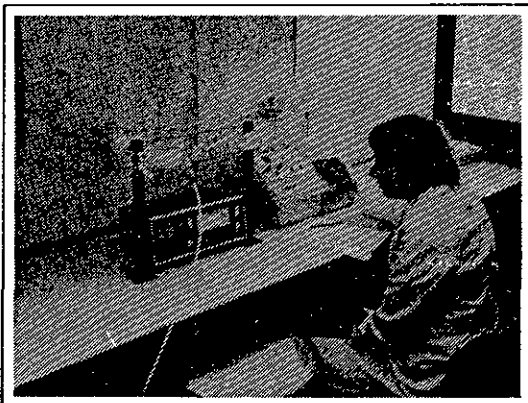


Fig. 3. Lugtanalyserum