

Polycykliske aromatiske hydrokarboner.
Eksponeringsmålinger ved A/S Årdal
og Sunndal verk, Årdal

Per Einar Fjeldstad
Kristin Halgard

HD 707/770610

ARBEIDSFORSKNINGSINSTITUTTENE
BIBLIOTEKET
Gydas vei 8
Postboks 8149 Oslo Dep. Oslo 1

Avdeling: Avdeling for utredning og forskning
Ansvarshavende: Cand. real Per Einar Fjeldstad
Stikkord: PAH, Al-verk

FORORD

Forfatterene vil rette en takk til Årdal Verk for praktisk hjelp under prøvetakingen og for tilrettelegging og gjennomføring av driftforandringer som var nødvendige under måleperioden. Sentrale personer var for oss: F. Bøhm, K. Kastet, O. Midtun og R. Røed.

Aluminiumindustriens miljøsekretariat ved Jørgen Jahr har bistått med råd og også sørget for finansiering av de gasskromatografiske analysene ved Sentralinstitutt for industriell forskning.

Verkstedet ved Arbeidsforskningsinstituttene sørget for høy standard på prøvetakningsutstyret.

T. Bakka ved Arbeidsforskningsinstituttene takkes for utarbeidelsen av datamaskinprogrammene som er benyttet under utregning og tabulering av analyseresultatene.

INNHOLDSFORTEGNELSE	Side
SAMMENDRAG	1
1. INNLEDNING	3
2. OPPLEGG OG GJENNOMFØRING	5
2.1 Generellt om prøvetaking og analyse	5
2.2 Prøvetaking Å III	6
2.3 Prøvetaking Å I	6
2.4 Prøvetaking i massefabrikkene	8
3. EKSPERIMENTELT	8
3.1 Prøvetaking	8
3.1.1 Stasjonære prøver	8
3.1.2 Eksponeringsmålinger	9
3.2 Analyse	9
3.2.1 Opparbeidelse av absorpsjonsløsninger	9
3.2.3 Høytrykks væsekromatografi (HPLC)	10
3.2.4 Opparbeidelse til gasskromatografering	10
4. RESULTATER/DISKUSJON	11
4.1 PAH-profiler	11
4.1.1 Å III, Søderberghaller	12
4.1.2 Å I, FL-haller	13
4.1.3 Massefabrikken	13
4.1.4 Konklusjon	14
4.2 Forhold mellom støv, PAH i støv og gassformig PAH	14
4.2.1 Forhold mellom støv og PAH i støv	14
4.2.2 Forhold mellom PAH i støv og PAH i gassfase	15

INNHOLDSFORTEGNELSE (forts.)	Side
4.3 Kalibrering av den væsekromatografiske metoden	16
4.4 Vurderinger av PAH-konsentrasjoner	16
4.4.1 Sammenheng mellom oksydtype og PAH-eksponeringer i Å III	17
4.4.2 Sammenheng mellom oksydtype og PAH-eksponering i Å I	19
4.4.3 Grunnlag for yrkeshygieniske vurderinger	20
4.4.4 Forholdene i Å III	21
4.4.5 Forholdene i Å I	22
4.4.6 Forholdene i massefabrikken	22
4.4.7 Kort teknisk-hygienisk konklusjon	23
Referanseliste	24
APPENDIX A Gasskromatografiresultater	
APPENDIX B Luftkonsentrasjoner av PAH	
APPENDIX C Støv, fluorid og SO ₂ -målinger	

SAMMENDRAG

En henvendelse fra Aluminiumsindustriens miljøsekretariat ved overingeniør Jørgen Jahr til Yrkeshygienisk institutt (YHI) førte til undersøkelsen som er beskrevet i denne rapporten.

Problemet som ble forelagt YHI var spørsmålet om bruk av sekundær oksyd fra elektrolysehallenes tørreanlegg på elektrolyseovnene ville kunne føre til økt innhold eller endring av sammensetningen av tjærestoffer i arbeidsatmosfæren. Man var også interessert i en vurdering av tjærestoffeksponering i massefabrikken.

Undersøkelsen ble lagt opp etter mønster av NTNf-undersøkelsen av forholdene ved Sunndalsøra¹. Prøvetakingen ble foretatt 13. - 17. september 1976.

Tjærestoffeksponering ble målt ved hjelp av personbåret utstyr for oppsamling av partikulært materiale på filter som ble analysert med hensyn på polycykliske aromatiske hydrokarboner (PAH). Resultatene er angitt som sum av PAH i partikulært materiale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

I massefabrikken fant man eksponeringsnivå på ca. 3 - 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

med en enkel verdi på $321 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for arbeid ved produksjonslinje 3.

I Å I (lukkede ovner med for-brente anoder, FL-hall) kunne det ikke måles forskjeller i tjæreeksponering avhengig av oksydtype. Eksponeringsnivået var ca. $1 - 8 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

I Å III (Søderberg-hall) var det en klar forskjell på PAH-eksponeringen avhengig av om det ble brukt sekundær- eller renoksyd på ovnene. Overgang fra renoksyd til sekundær- oksyd førte til en heving av eksponeringsnivået med en faktor på 3,1 til 3,7 for runde/blussrullere og ovnspassere. Eksponeringsnivået ved bruk av renoksyd ble målt til ca. $20 - 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for runde/blussrullere og ovnspassere; ved bruk av sekundær- oksyd var nivået ca. $150 - 270 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Bolte- trekkernes eksponering var uavhengig av oksydtype $240 - 860 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En del andre jobbtyper ble målt bare ved bruk av sekundær- oksyd på ovnene: kryssing $383 - 1400 \mu\text{g}/\text{m}^3$, feie- maskin $220 \mu\text{g}/\text{m}^3$ og pigghogging $50 - 130 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Sammensetningen av PAH viste seg avhengig både av oksydtype og ovnstype i hallene. Man vet imidlertid ikke hvilke yrkes- hygieniske konsekvenser det kan ha.

Ved den yrkeshygieniske vurderingen av de forskjellige

arbeidsoperasjoner er benyttet en grenseverdi på $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ total PAH på filter. Det svarer til den amerikanske TLV på $0,2 \text{ mg}/\text{m}^3$ benzenløslig materiale, en verdi som imidlertid ikke er basert på epidemiologiske undersøkelser eller noen form for helsemessige vurderinger.

1. INNLEDNING

Overgang fra ren-oksyd til sekundær-oksyd som råstoff på ovnene ved Sødeberg hallene (Å III) ved Årdal Verk førte til plager for hallarbeiderne i den grad at man måtte gjeninnføre ren-oksyd som råstoff. Sekundær-oksyden fra tørrenseanleggene ved Å III ble i stedet benyttet på tørrenseanleggene ved Å I og deretter på ovnene ved Å I. Ovnene ved Å I er lukkede med for-brente anoder (FL-ovner). Lite av ovngassene tilføres derfor hallatmosfæren. Imidlertid følte arbeiderne ved Å I en forverring av atmosfæren i hallen som man antok skyldtes sekundær-oksyden. Man var derfor interessert i å få undersøkt hvilke følger bruk av ren-oksyd resp. sekundær-oksyd medførte for eksponeringsnivået med hensyn på tjære, hydrogenfluorid og svoveldioksyd. Ved YHI kunne man påta seg målinger av PAH (polycykliske aromatiske hydrokarboner) som er en del av tjærestoffene, under forutsetning av at den gaskromatografiske delen av analysene kunne utføres på oppdrag ved Sentralinstitutt for industriell forskning (SI). Analysene av hydrogenfluorid og svoveldioksyd kunne Årdal Verk selv utføre. Samtidig ville man foreta en kartlegging av PAH-nivået ved massefabrikken på Årdalstangen.

Denne rapporten omhandler bare resultatene fra tjæremålingene.

PAH er en gruppe forbindelser som finnes i tjære, bek, asfalt m.v. Interessen for forbindelsene knytter seg primært til mulig kreftfare. Noen PAH har vist seg å ha kreftfremkallende egenskaper (dyreforsøk)² m.fl.

Det er ønskelig å ha kjennskap til eksponeringen for disse forbindelsene på arbeidsplasser der de finnes.

I en del industrier som koksverk og gassverk er tjærerøykens evne til å fremkalle lungekreft godt dokumentert^{3,9} m.fl.

Nyere rapporter tyder på kreftfare også i aluminiumsverk som har høy PAH konsentrasjon^{4, 5}.

Derfor er det nødvendig å holde PAH (les tjærestoffer) på et lavt nivå på arbeidsplassene.

2. OPPLEGG OG GJENNOMFØRING

2.1 Generellt om prøvetaking og analyse

Prøvetaking og analyse fulgte mønsteret som ble utarbeidet under NTNF-prosjektet: Kartlegging av polycykliske aromatiske hydrokarboner i arbeidsatmosfære ¹.

Det ble tatt en rekke stasjonære prøver med filter og gassvaskeflasker for oppsamling av både partikulært og gassformig PAH. Det ble benyttet pumper med kapasitet på ca. 1 m³ (Edwards) pr. time. Prøvene ble da store nok til å kunne analyseres i detalj gasskromatografisk. Resultatene fra disse detaljanalysene ble brukt til å fastlegge sammensetningen av PAH og til en kalibrering av den væskrokromatografiske analysemetoden. Utstyret ble plassert der det var mest hensiktsmessig, dvs. der det var minst til hinder for ferdsel i hallene.

Ved hjelp av små pumper (Casella), som ble båret over det meste av arbeidsdagen og med filter plassert i innåndingssonen, ble det tatt prøver for vurdering av eksponeringen. Prøvene ble analysert ved hjelp av høytrykks væskrokromatografi (HPLC) som er en enklere og raskere metode enn gasskromatografi, men som ikke gir detalj-sammensetning av PAH. Med PAH-sammensetningen fastlagt, og eksponeringsnivået for jobb-

type og personer bestemt ved målinger i innåndingssonen over en arbeidsdag fås et godt grunnlag for vurdering av PAH-nivået for jobber og arbeidsplasser.

2.2 Prøvetaking Å III

I Søderberghallen (Å III) blir det til vanlig benyttet ren-oksyd på ovnene. Tidligere var det en periode benyttet sekundær-oksyd, noe som førte til en forverring i hallene. Det var ønskelig å foreta analyser for om mulig å fastslå årsakene.

Ved personlig og stasjonær prøvetaking ble det tatt prøver mens ovnene som vanlig ble tilført ren-oksyd. Deretter ble det skiftet til sekundær-oksyd. Etter en stabiliseringsperiode på to dager ble det foretatt nye målinger.

Vær- og vindforholdene influerer på forholdene i hallene. Det var imidlertid stabilt og rolig vær hele prøvetakingsperioden. Eventuelle forskjeller i målte PAH konsentrasjoner antas derfor å skyldes oksydytten, men man kan selvfølgelig ikke helt utelukke andre årsaker.

2.3 Prøvetaking Å I

Undersøkelsen i Å I hadde, i likhet med den i Å III, til

hensikt å studere effekten på hallatmosfæren som følge av skifte av oksydkvalitet. Normalt brukes det i Å I en oksyd som først har vært brukt i tørrensanleggene ved Å III og deretter i tørrensanleggene ved Å I. For å undersøke hvor stor andel av tjæreforurensningene i hallen som stammet fra oksyden, var det ønskelig å bruke ren-oksyd i Å I og så måle eventuell nedgang i PAH. Av driftstekniske årsaker var dette ikke mulig.

Oppgaven ble derfor løst (se fig. 1) ved at det på østre halvdel av hall B ble benyttet oksyd fra filter 3 og 4 (gruppe II). Gruppe II ble tilført ren-oksyd og rensset bare gass fra hall B, øst. På de andre 3/4 av Å I ble det tilført oksyd fra de tilsvarende renseanleggene, men oksyden på disse renseanleggene var først benyttet til rensing ved Å III.

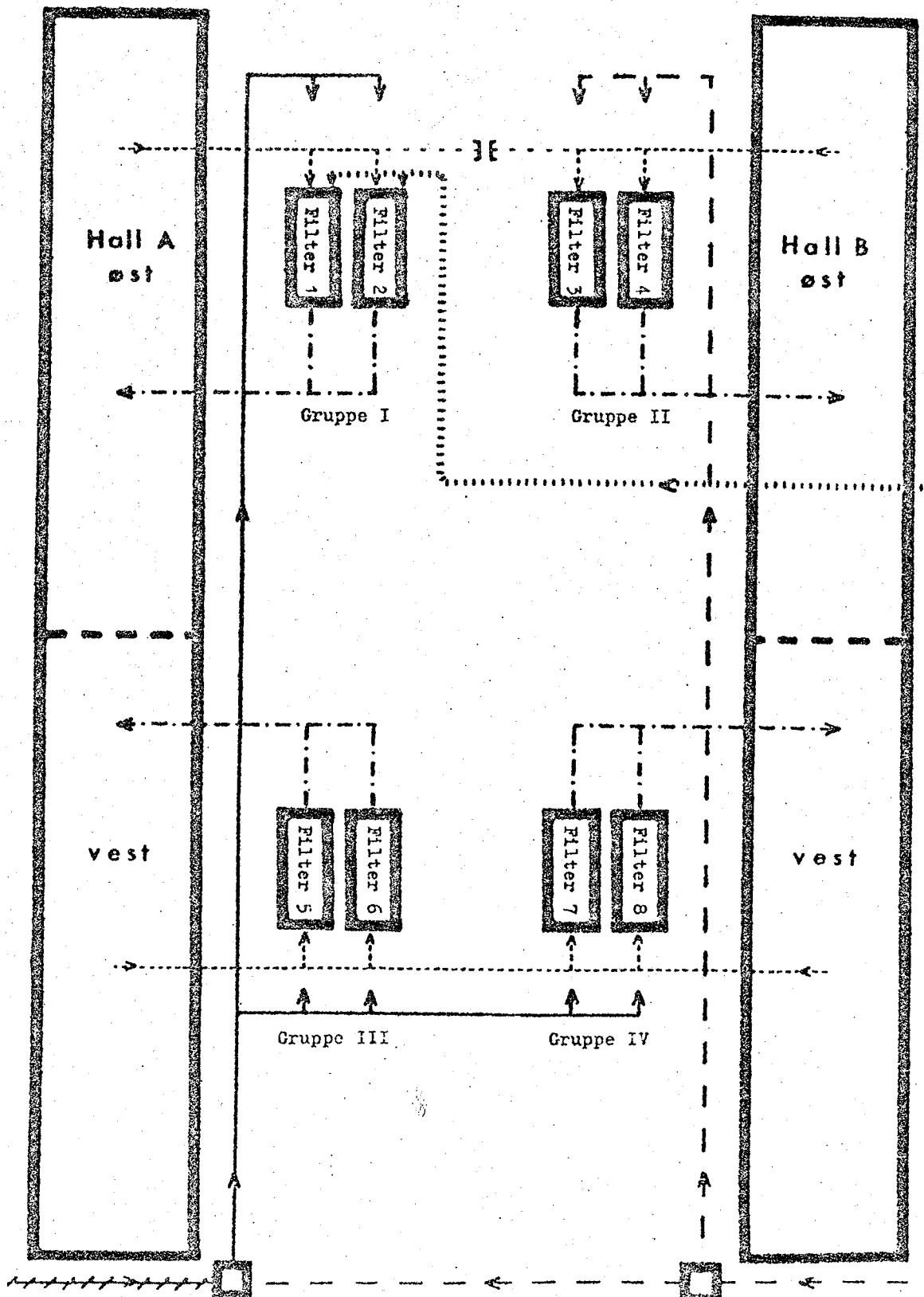
Oksyden som ble benyttet i hall B øst inneholdt altså bare forurensninger fra hall B øst. I resten av Å I ble det benyttet oksyd som inneholdt forurensninger både fra Å III og fra Å I.

Samtidig ble det ordnet slik at en del av arbeiderne i hallen bare arbeidet i Å I, hall B øst. De ble utstyrt med Casella-pumper sammen med et utvalg av arbeidere fra resten av Å I. Stasjonært ble det satt opp 4 måleutstyr i hall B. Forsøkene

Figur 1.

Skjematisk fremstilling av tilførselsveier for oksyd til rensesanlegg og elektrolysehaller, samt tilførsel av gass fra elektrolysehallerne til tørrensesanlegg under måleperioden ved FL-hallene.

- Ovnsgass fra Å II (Søderberghall)
- Ovnsgass fra Å I (FL-hall)
- - - - Ren-oksyd
- ++++ Sekundæroksyd fra Å III (Søderberg-rensesanlegg)
- Ren-oksyd + sekundæroksyd fra Å III
- Oksyd fra rensesanlegg til Å I



pågikk i to dager.

Eventuelle store forskjeller i målte konsentrasjoner vil da kunne tilskrives de to driftsmåtene.

2.4 Prøvetaking i massefabrikken

Målingene i massefabrikken skulle gi stikkprøver av eksponeringsnivået i de forskjellige jobbtypene for en yrkeshygienisk vurdering. Noen kartlegging av nivået i fabrikken skulle ikke foretas. Det ble derfor valgt ut et skift til målingene. Stasjonært utstyr ble plassert på to steder i fabrikkhallen og 8 av deltakerne på skiftet bar Casellapumper.

3. EKSPERIMENTELT

3.1 Prøvetaking

3.1.1 Stasjonære prøver

Det stasjonære prøvetakningsutstyret besto av filter, 2 gassvaskeflasker, pumpe og gassmeter koblet i serie. Partikulært materiale ble fanget opp på et 47 mm Ø Acropor-filter med porediameter 0,8 mikrometer. Luften ble deretter suget gjennom 2 tørriskjølte gassvaskeflasker hver med ca. 100 ml absolutt etanol. Pumpene Edwards med en kapasitet

på ca. $1 \text{ m}^3/\text{time}$, var tilkoblet gassmeter som registrerte gjennompumpet luftvolum.

3.1.2 Eksponeringsmålinger

Til eksponeringsmålinger ble benyttet Casellapumper med en kapasitet på ca. $2 \text{ l}/\text{min}$. Pumpene ble plassert i beltet eller i en baklomme på kjeledressen. En filterholder med et $37 \text{ mm } \varnothing$ acroporfilter ($0,8 \mu\text{m}$) ble festet til jakkekrage eller skjortesnipp. Utstyret samlet bare opp partikler/aerosoler, ikke gass. Brukstiden var ca. 6 timer.

3.2 Analyse

3.2.1 Opparbeidelse av absorpsjonsløsninger

Væskene fra absorpsjonsflaskene ble fortynnet til det dobbelte volum med destillert vann, tilsatt indre standard (β, β' -binafyl og 3,6-dimetylfenantren) og ekstrahert 2 ganger med 10 ml cykloheksan. Cykloheksanløsningen ble tørket med litt vannfri cykloheksanvasket natriumsulfat, dampet inn ved 50°C under svak nitrogenstrøm til ca. 2 ml . Løsningene ble så sendt til Sentralinstitutt for industriell forskning (appendix A) for analyse.

3.2.2 Ekstraksjon av filter

Etter veiing ble filtrene fra stasjonært og personlig prøve-

takningsutstyr ekstrahert. De ble plassert i reagensglass og dekket med etanol (3-4 ml). Reagensglassene ble satt i et vannbad og behandlet med ultralyd i ca. 20 min. Ekstraksjonsløsningen ble tatt av og behandlingen gjentatt 2 ganger med ny etanol-løsning.

Etanolløsningene ble dampet inn til 0,6 ml i reagensglass som ble varmet på en aluminiumsblokk (50°C). Fordampingen ble påskyndet ved hjelp av en nitrogenstrøm. De inndampede løsningene ble deretter tilsatt cykloheksan til 6 ml.

3.2.3 Høytrykks væskerkromatografi (HPLC)

Løsningene ble så analysert ved hjelp av HPLC. Det er benyttet en Perkin Elmer 604 kromatograf utstyrt med kolonne (0,5 m x 2,6 mm i.d.) pakket med Partisil 10. Som elueringsmiddel ble det brukt isooktan med en elueringshastighet på 1 ml/min. ved ca. 70 atm. PAH ble detektert ved hjelp av en UV-detektor (LC-55) innstilt på 254 nm. Prøvestørrelsen var 50 μ l (loop injector).

Resultatene ble beregnet i forhold til pyren som ble brukt som ekstern standard. Vi har brukt "klippe- og veiemetoden" for å finne topparealene.

3.2.4 Opparbeidelse til gasskromatografering

Etter analysen med HPLC ble prøvene tilsatt indre standard

(β, β' -binaftyl og m-quaterfenyl). Løsningene ble ekstrahert 4 ganger med 1 ml DMF^{x)}/vann i forholdet 30:1, og sentrifugert mellom hver gang. Deretter ble det tilbakeekstrahert 3 ganger med 3 ml cykloheksan etter fortynning av DMF-ekstraktene med destillert vann til det dobbelte volum. Cykloheksanekstraktene ble vasket 2 ganger med 1 ml destillert vann og tørket med vannfri, cykloheksanvasket natriumsulfat. Cykloheksanløsningene ble dampet inn til ca. 1 ml og sendt til Sentralinstitutt for industriell forskning for gasskromatografisk analyse (appendix A).

4. RESULTATER/DISKUSJON

4.1 PAH-profiler

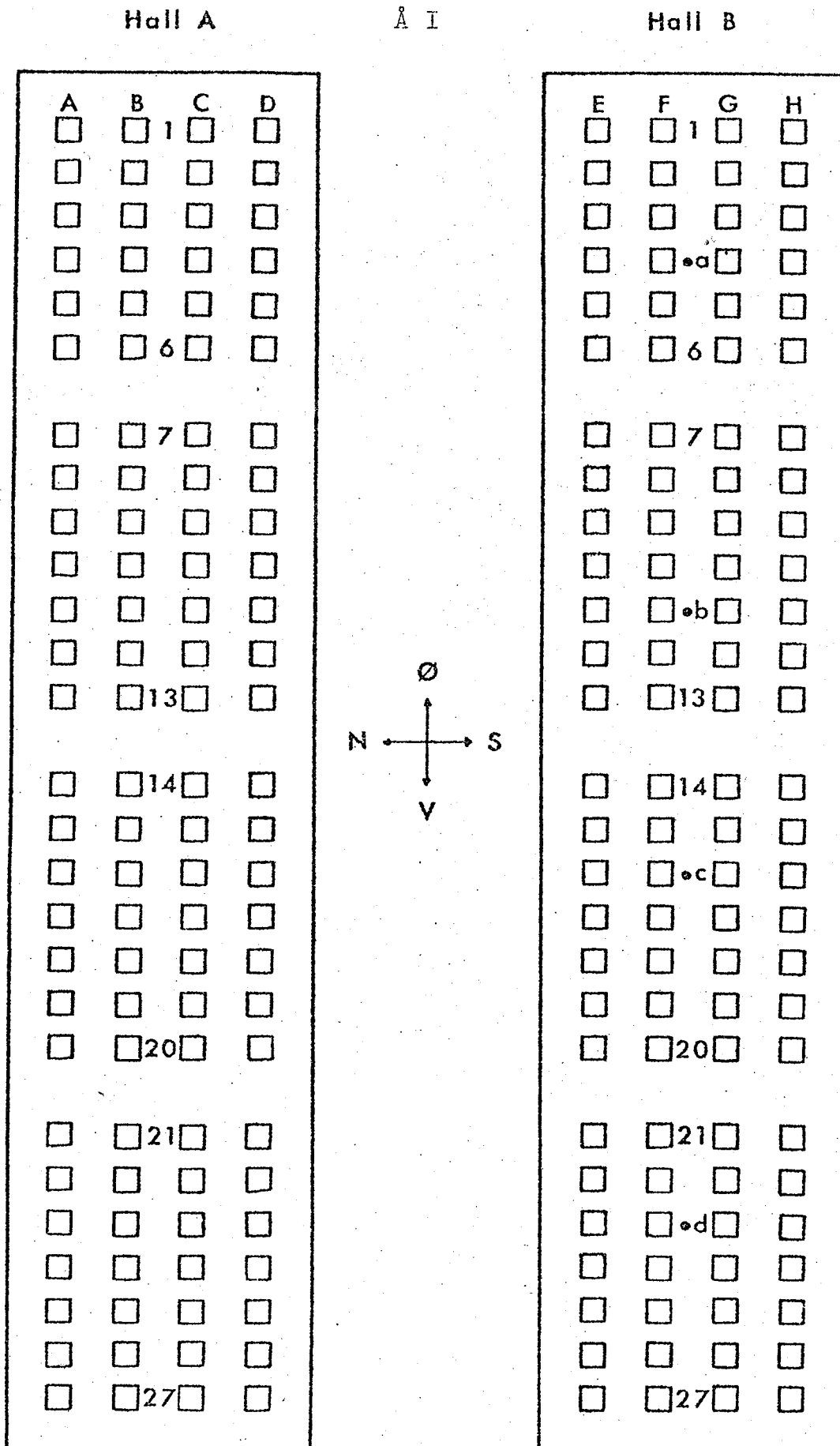
På grunnlag av de gasskromatografiske analysene av stasjonære prøver (appendix A) er konsentrasjonene for en rekke PAH regnet ut. Resultatene finnes i appendix B.

Stasjonære prøver ble tatt utelukkende for å bestemme sammensetningen av PAH, samt for kalibrering av den væskeskromatografiske metoden. Fig. 2 og 3 og tabell 1 viser plasseringen av stasjonært utstyr og analyseresultater.

For å lette sammenligningen av PAH-sammensetningen er det, som i Sunndalsöra-rapporten ¹, satt opp PAH-profiler for de

^{x)} N, N-dimetylformamid

Figur 3. Skisse av FL-hallene med angivelse av plasseringen av stasjonært prøvetakingsutstyr



Tabell 1. Oversikt over plassering og analyseresultater for de stasjonære prøvene. Detaljanalysen finnes i Appendix B.

Dato	Prøve nr.	Sted	Filter $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Abs.lsg. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Totalt $\mu\text{g}/\text{m}^3$
13/9	1 E	Massefabrikken	95.3	7346	7441
13/9	2 E	Massefabrikken	985	18789	19774
14/9	3 E	Å III e*	58.9	262	321
14/9	4 E	Å III f	147	429	576
14/9	5 E	Å III g	72.0	286	358
17/9	16 E	Å III f	101	713	814
17/9	17 E	Å III e	199	721	920
17/9	18 E	Å III g	106	493	599
15/9	8 E	Å I a	3.96	56.4	60.4
15/9	9 E	Å I b	2.84	57.6	60.4
16/9	12 E	Å I a	4.50	36.4	40.9
16/9	13 E	Å I b	2.91	10.2	13.1
15/9	10 E	Å I c	3.47	23.4	26.9
15/9	11 E	Å I d	4.55	76.6	81.2
15/9	14 E	Å I c	1.67	1.23	2.9

forskjellige prøvetypene (se fig. 4 - 8). Profilene tar med en del av de analyserte forbindelsene både fra gassvaskeflasker og filter. I profilfigurene er forbindelsene satt opp med avtakende flyktighet; grensen filter/absorpsjonsløsning går mellom fluoranten og fenantren. Hver av de 12 forbindelsene som er tatt med er angitt som prosent av summen av dem, med logaritmisk ordinat. Alle prøvene som er brukt ved profilbestemmelsen er tegnet inn. Profilen er trukket gjennom geometrisk middelvei.

Sundalsöraprofilene og Årdalprofilene er ikke direkte sammenliknbare av analysetekniske årsaker. Særlig gjelder det de flyktigste komponentene. I hovedtrekkene er allikevel profilene fra Årdal og Sundalsöra svært like.

4.1.1 Å III, Söderberghaller

Ved diskusjonen av sammensetningen av PAH fraksjonen tas utgangspunkt i det man finner i Å III ved bruk av ren-oksyd på i ovnene. Profilen (fig. 4) viser forholdsvis lite flyktig materiale, under 10% for hver av forbindelsene 1, 4 og 9. I mellomområdet (komponentene 15, 24 og 26) har vi de forbindelsene som det er mest av (10 - 50% av hver) mens det er under 5% av hver av de minst flyktige forbindelsene (31, 32, 35, 37, 38 og 45).

Ved forandring av driften til bruk av sekundæroksyd forandres også profilen (fig. 5) litt, men neppe av betydning for yrkeshygienisk vurdering. Forandringen består i at bifenyl (komponent 4) ikke lenger er detektert. Andelen av bifenyl i tjæren er altså betydelig mindre. Andre forandringer er ikke å se på grunnlag av profilene.

4.1.2 Å I, FL-haller

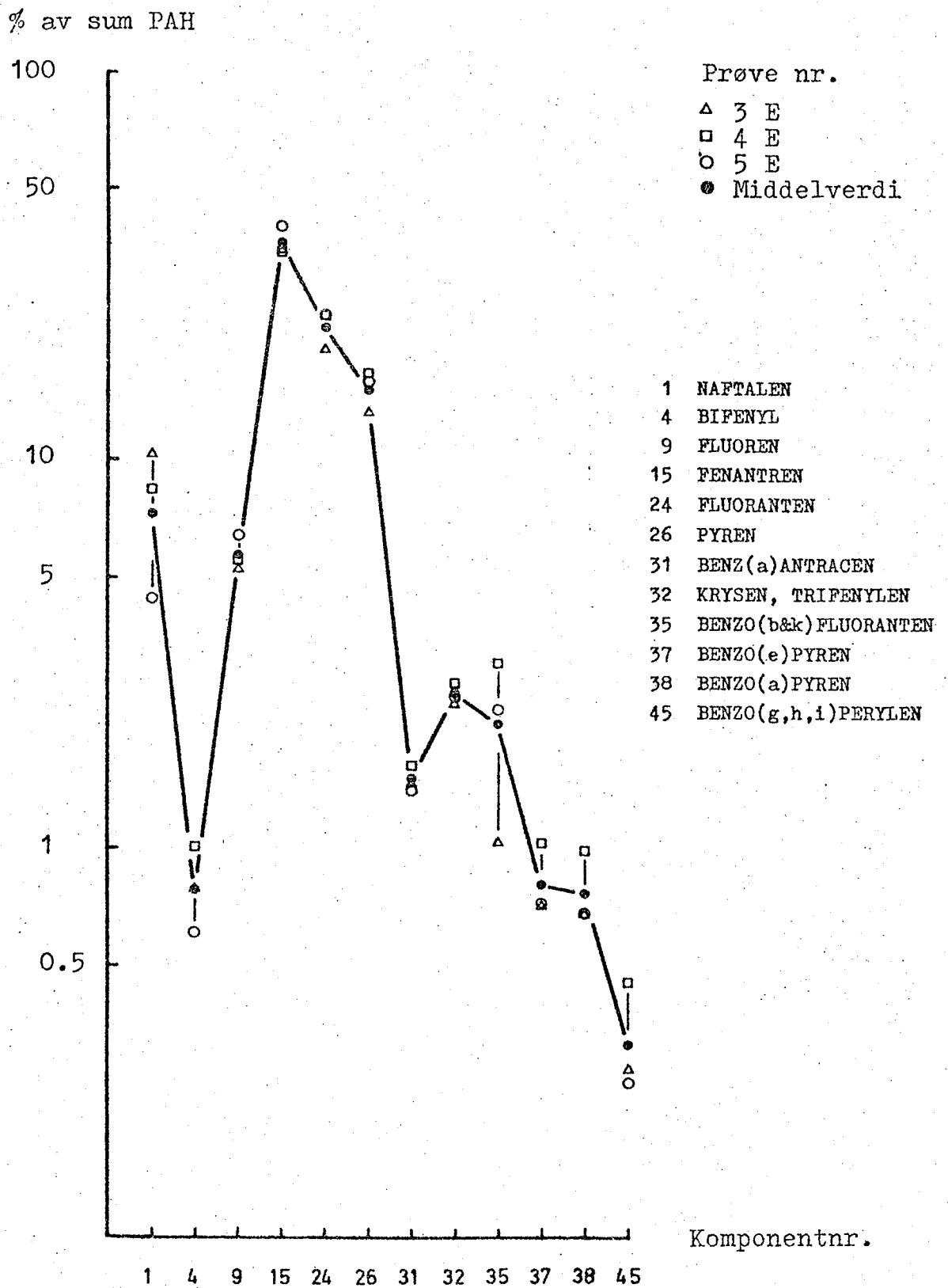
Profilen fra Å I B öst (fig. 6) er også svært lik fig. 4 med ett unntak. Benz(a)antracen (forbindelse 31) er ikke detektert. Ca. 1% av forbindelsene som er tatt med i profilene er benz(a)-antracen i Söderberghallene.

Profilen fra Å I B vest (fig. 7), som fikk tilførsel av sekundæroksyd som hadde vært benyttet både i renseanleggene i Å III og Å I, viser heller ikke detekterbare mengder av benz(a)antracen. I tillegg har også bifenyl forsvunnet (som ved bruk av sekundæroksyd i Å III).

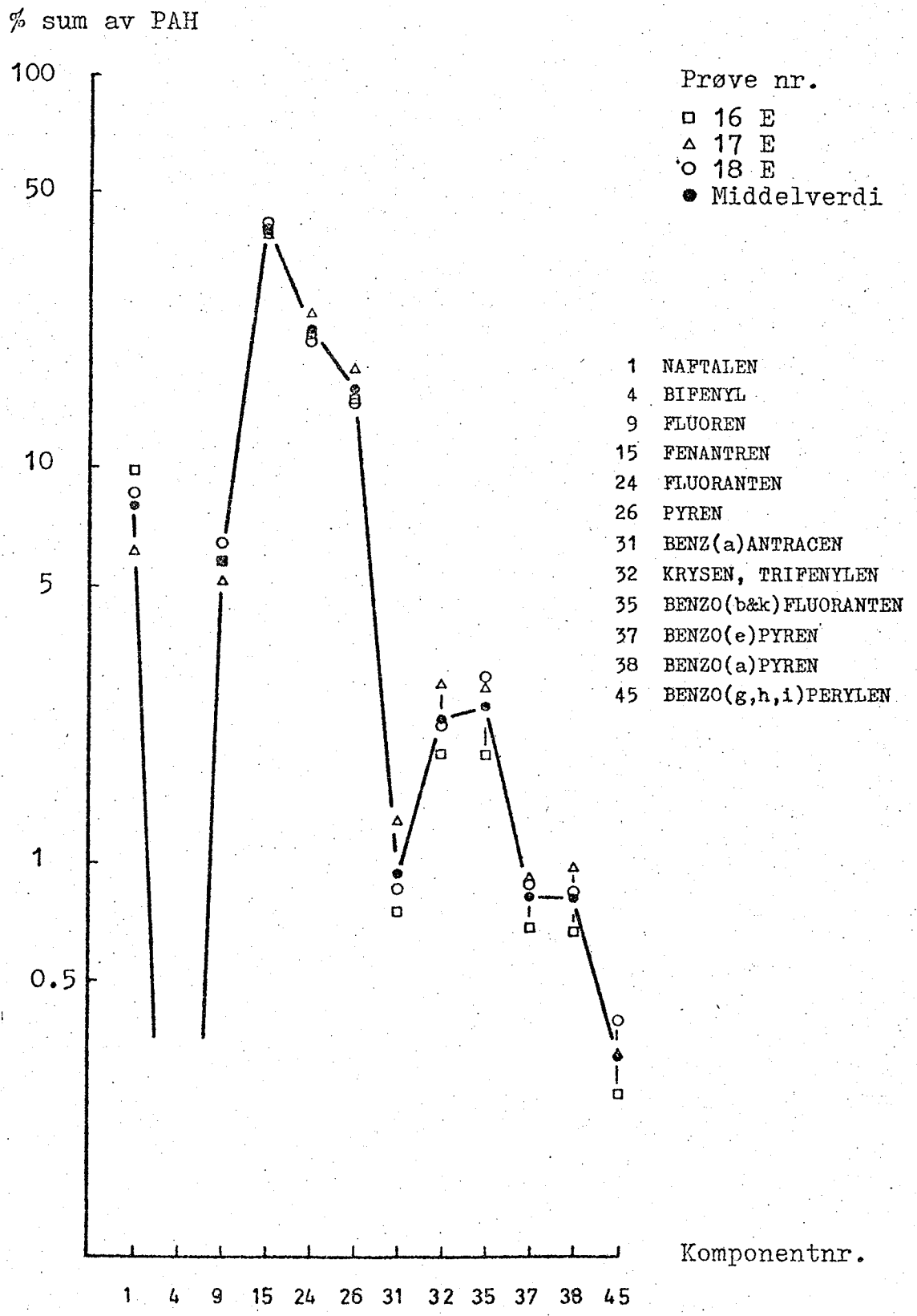
4.1.3 Massefabrikken

PAH-profilen for massefabrikken (fig. 8) skiller seg fra elektrolysehallene ved en vesentlig større andel flyktig materiale, især naftalen, som utgjør i alt omlag 80% av de 12 PAH som er tatt med ved profilanalysen. Bifenyl, fluoren

Figur 4. Fordeling av PAH-komponenter i prøver fra Søderberghall (Å III) med renoksyd.

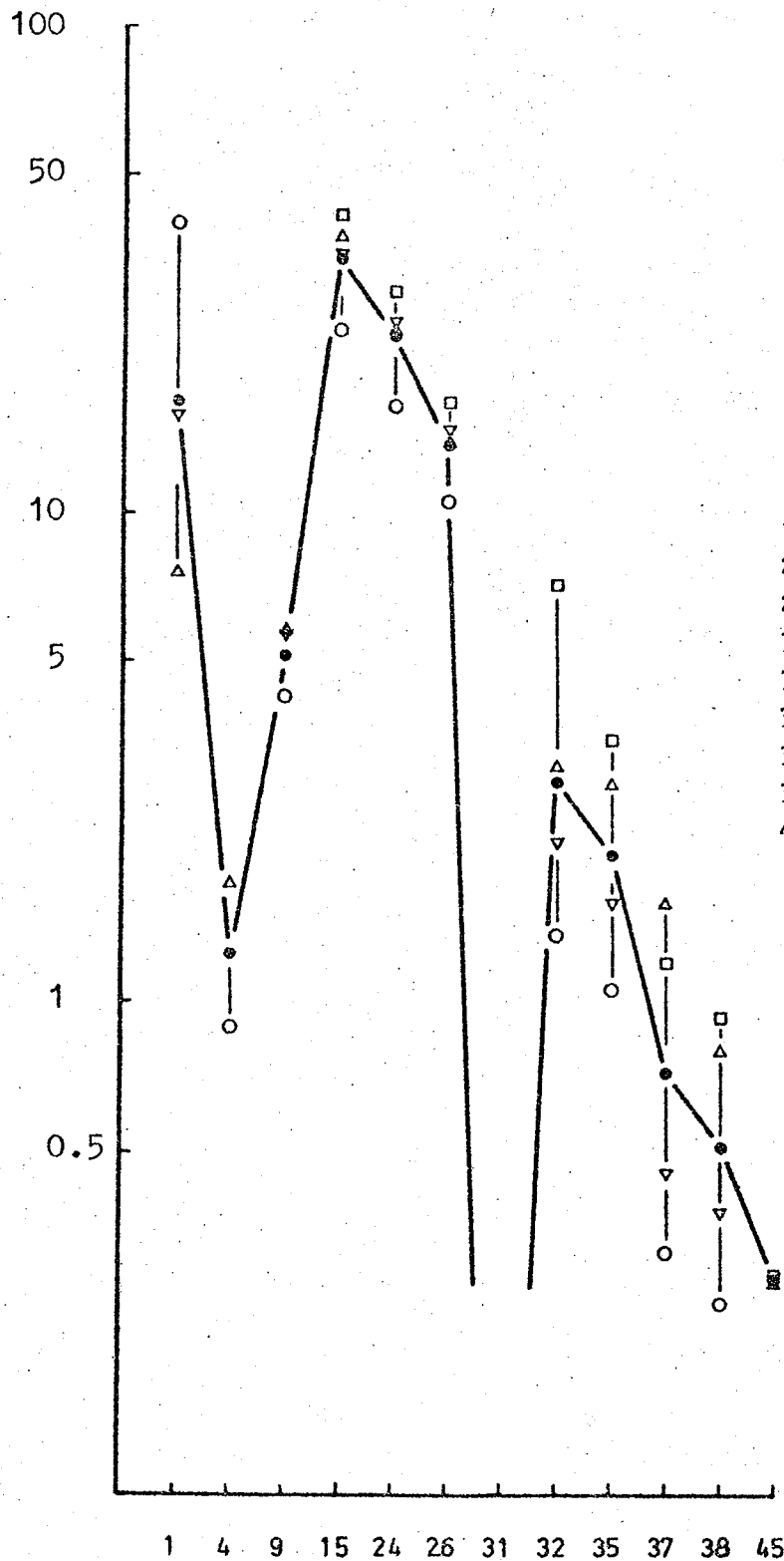


Figur 5. Fordeling av PAH-komponenter i prøver fra Søderberghall (Å III) med sekundærøksyd fra renseanlegg til Søderberghall.



Figur 6. Fordeling av PAH-komponenter i prøver fra FL-hall (Å I) med sekundærøksyd fra renseanlegg til FL-hall.

% av sum PAH



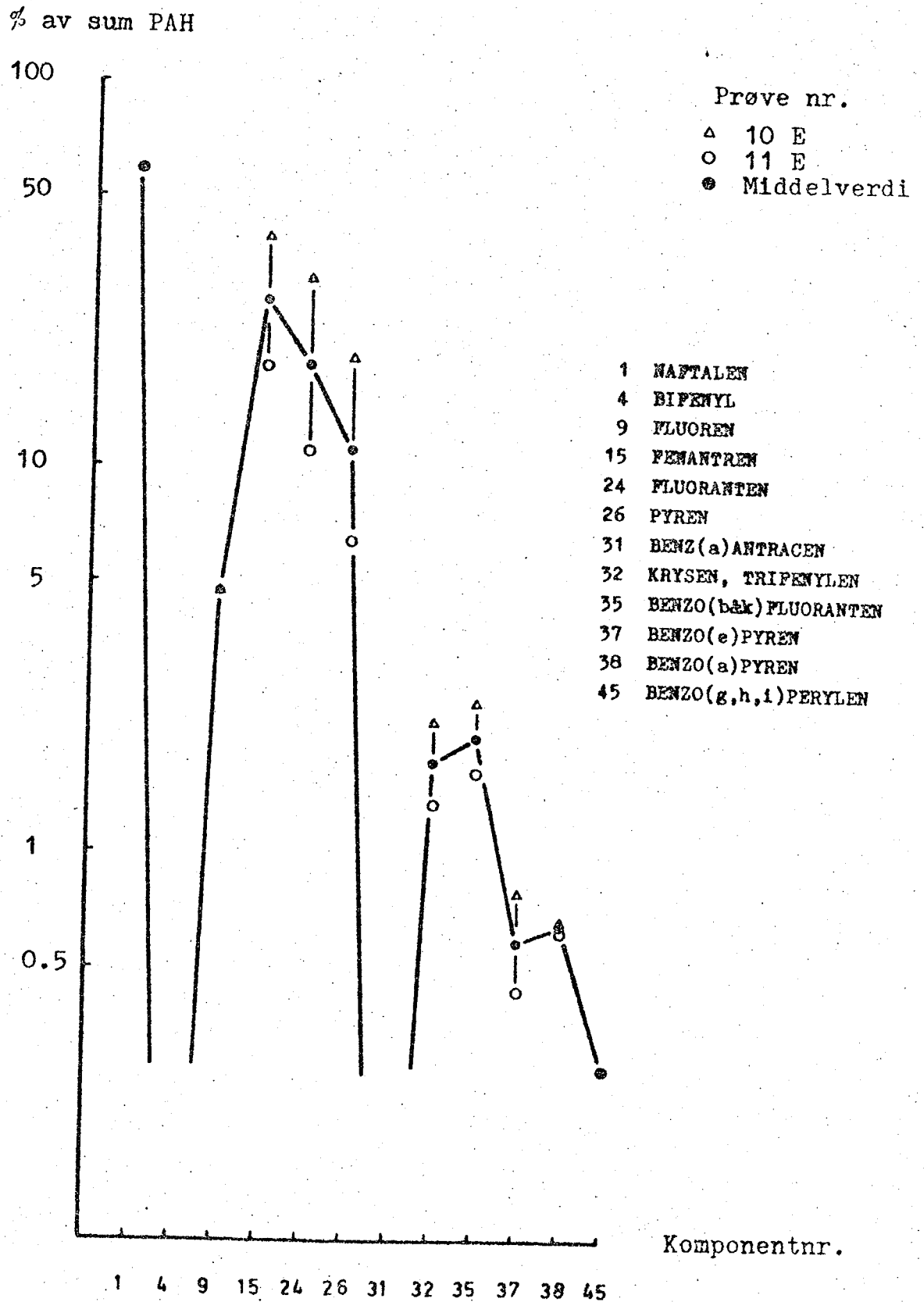
Prøve nr.

- ▽ 8 E
- 9 E
- △ 12 E
- 13 E
- Middelverdi

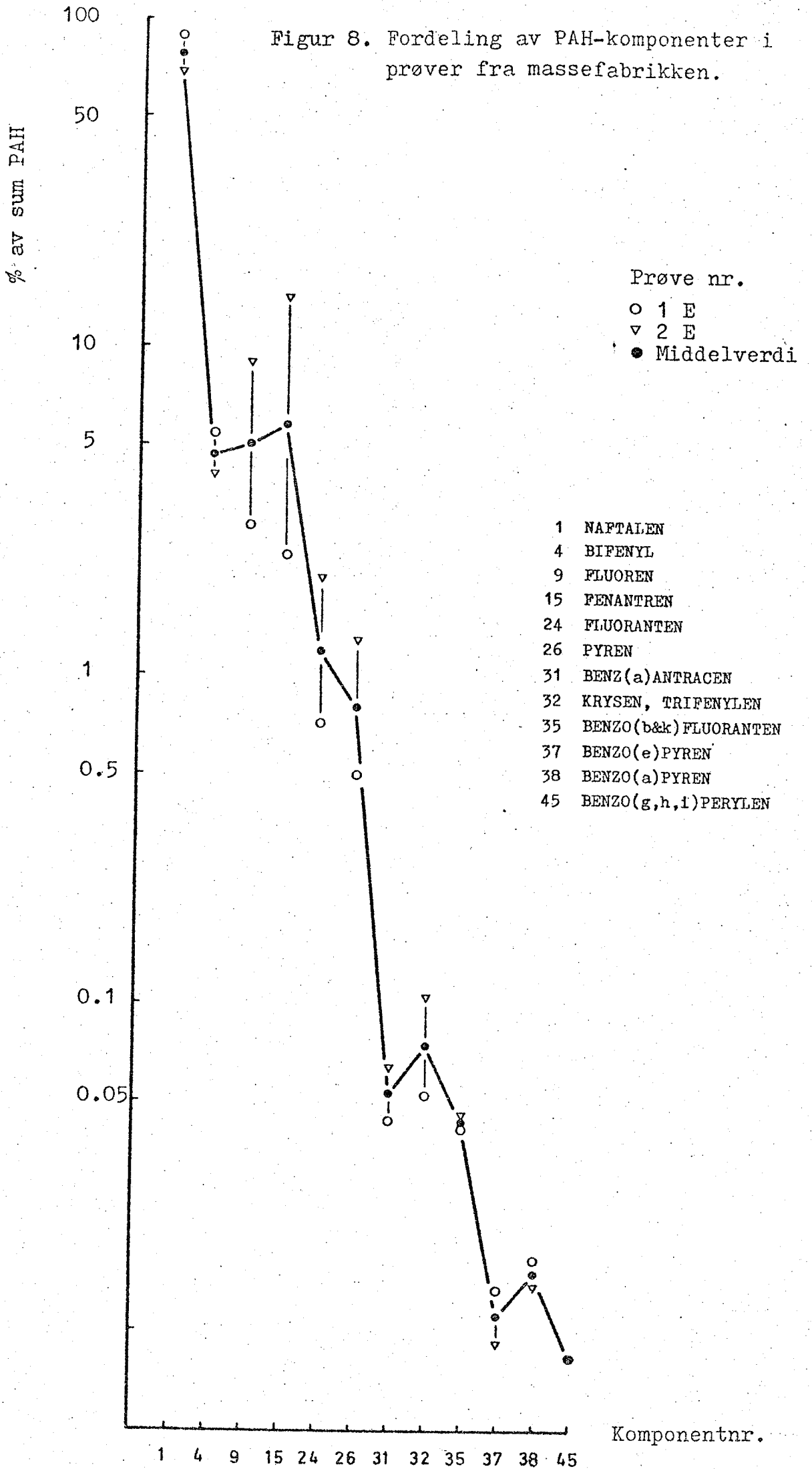
- 1 NAPTALEN
- 4 BIPENYL
- 9 FLUOREN
- 15 FENANTREN
- 24 FLUORANTEN
- 26 PYREN
- 31 BENZ(a)ANTRACEN
- 32 KRYSEN, TRIFENYLEN
- 35 BENZO(b&k)FLUORANTEN
- 37 BENZO(e)PYREN
- 38 BENZO(a)PYREN
- 45 BENZO(g,h,i)PERYLEN

Komponentnr.

Figur 7. Fordeling av PAH-komponenter i prøver fra FL-hall (Å I) med oksyd som først er benyttet på tørrenseanlegg til Söderberghall og deretter på tørrenseanlegg til FL-hall. Prøve 14 E er utelatt ved profilbestemmelsen som "outsider".



Figur 8. Fordeling av PAH-komponenter i prøver fra massefabrikken.



Komponentnr.

og fenantren har også en forholdsvis høy andel med omkring 5% hver. Resten av komponentene, som utgjør ca. 2%, har omtrent samme sammensetning som man finner i elektrolysehallene. De lette hovedkomponentene tilhører alle den fraksjonen av PAH som ikke samles opp på filter.

4.1.4 Konklusjon

PAH-profilene i elektrolysehallene forandrer seg lite ved overgang fra ren-oksyd til sekundær-oksyd på ovnene. Viktigste forskjell ser ut til å være at andelen av bifenyl i tjæren blir mindre.

Forskjellen mellom Søderberg og FL-profil gir seg utslag i vesentlig mindre andel benz(a)antracen. Tilsvarende forskjell ble ikke funnet ved Sunndalsøra undersøkelsen.

PAH fraksjonen i tjæren fra massefabrikken skiller seg fra elektrolysehalltjære vesentlig ved en betydelig høyere andel flyktig materiale.

4.2 Forhold mellom støv, PAH i støv og gassformig PAH

4.2.1 Forhold mellom støv og PAH i støv

I fig. 9 er støvkonsentrasjonen plottet mot konsentrasjonen

av PAH i støvet for de stasjonære prøvene. Det er brukt logaritmiske akser. Ved konstant forhold vil punktene ligge på linjer med 45°C stigning.

Figuren viser at i Å III er innholdet av PAH i støv temmelig konstant (ca. 0,8%) og lite avhengig av hvilken oksydtype som ble benyttet på ovnene.

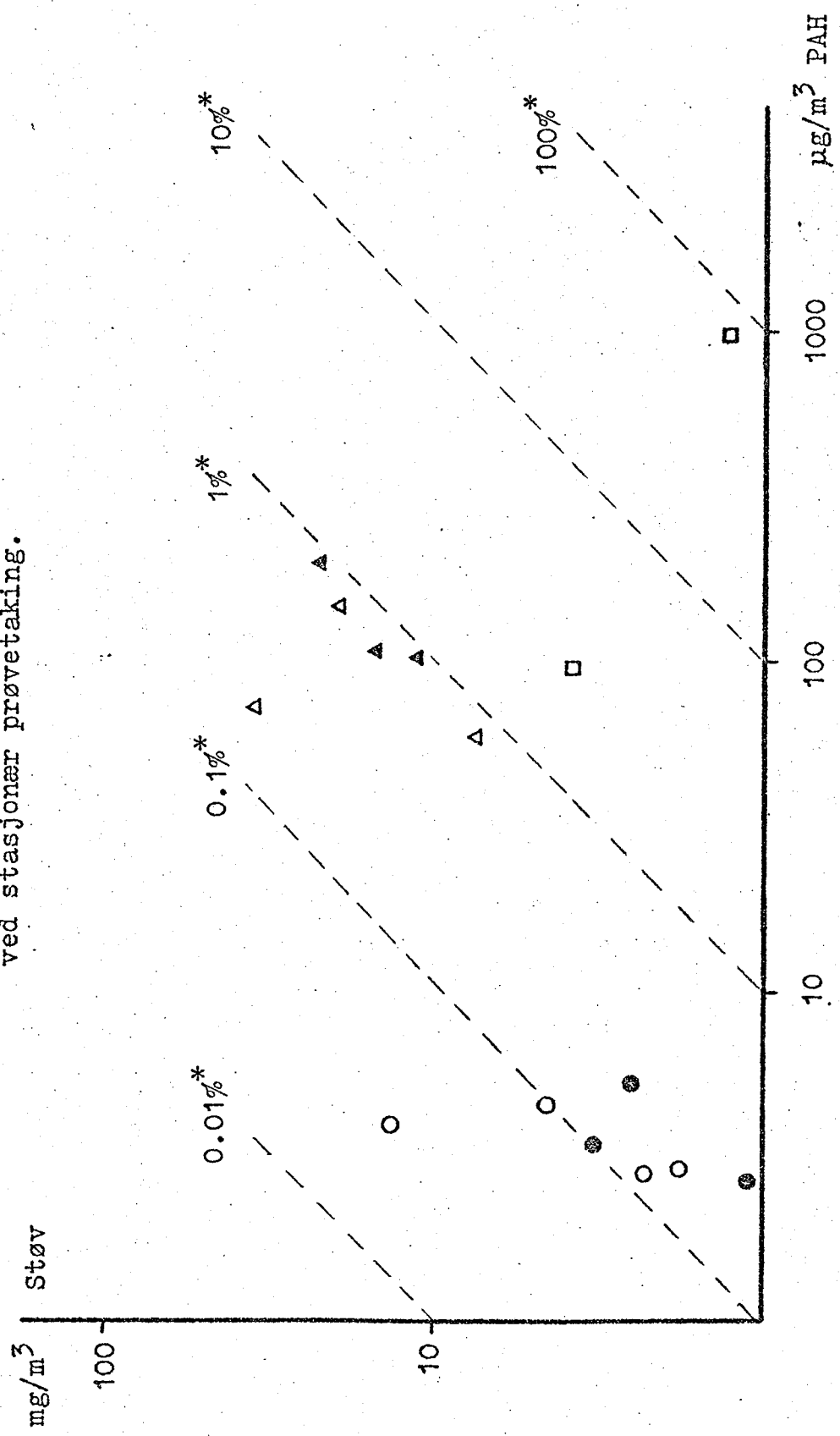
I Å I er støv og PAH-konsentrasjonen mindre enn i Å III. Støvvektene er også noe mer usikre på grunn av veieusikkerheten. Figurene antyder imidlertid noe mindre PAH (0,1%) i støv enn i Å III.

I massefabrikken viste de to prøvene svært forskjellig resultat. Begge viser imidlertid et høyere PAH innhold i støv (2,6% og 78%) enn det man finner i elektrolysehallene.

4.2.2 Forhold mellom PAH i støv og PAH i gassfase

I fig. 10 er PAH på filter plottet mot PAH i gassvaskeflaskene for de stasjonære prøvene. Under diskusjon av profilene gikk det fram at sammensetningen av PAH i Å I og Å III ikke var svært forskjellig. Fig. 10 viser da også at forholdet flyktig/ikke flyktig PAH er av samme størrelsesorden i de to hallene (ca. 5 - 10).

Figur 9. Sammenheng mellom støvkonsentrasjon og partikulært PAH ved stasjonær prøvetaking.



- ▲ Soderberg/renoksyd
- FL-hall/sek. oksyd fra FL-renseanlegg
- Massefabrikken
- ▲ Soderberg/sek. oksyd fra Soderbergrenseanlegg
- FL-hall/sek. oksyd fra Soderberg/FL-renseanlegg
- * Nivålinjer for PAH i støv

Profilen for massefabrikken viste mye mer flyktig materiale i forhold til ikke flyktig. Det er i overensstemmelse med hva fig. 10 viser. Forholdet for de to prøvene er ca. 20 og 75.

4.3 Kalibrering av den væskrokromatografiske metoden

Den væskrokromatografiske analysemetoden er kalibrert i forhold til den gaskromatografiske metoden ved hjelp av de stasjonære filterprøvene. Kalibreringen er benyttet for kvantifisering av de bærbare prøvene med hensyn på summen av PAH i partikulært materiale.

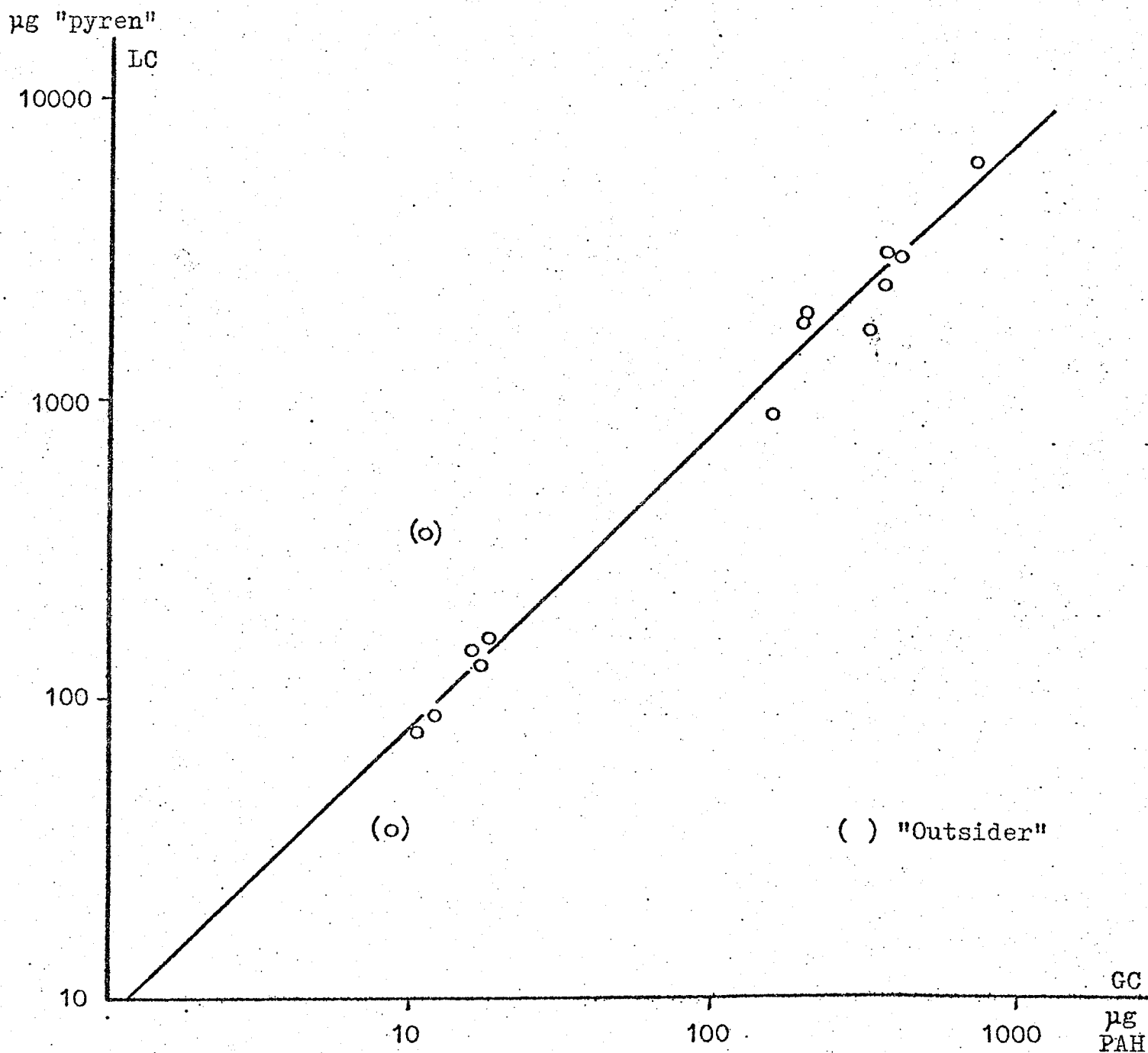
Ved kalibreringen er det benyttet i alt 15 prøver. Av disse er to å betrakte som "outsidere" og er ikke tatt med i beregningene. Resultatene er ført opp i tabell 2 og tegnet i fig. 11. Pyren ble brukt som ekstern standard. Man fant et forhold mellom sum PAH og pyrenekvalenter på ca. 1:10. Det stemmer bra overens med hva man tidligere har funnet, 1, 6.

4.4 Vurderinger av PAH-konsentrasjoner

Vurderingen av PAH-konsentrasjonene baserer seg på målingene med personlig prøvetakningsutstyr (Casella-pumper, væskrokromatografi). De stasjonære prøvene egner seg dårlig til slike vurderinger idet de også får med seg variasjoner som

Tabell 2. Resultater fra gasskromatografering og væskrokromatografering av de stasjonære prøvene (filter).

	GC	LC
Prøve nr.	µg PAH	µg "pyren"
1 E	379.2	2336
2 E	335.0	1670
3 E	206.5	1751
4 E	426.7	2864
5 E	162.7	881
8 E	15.7	145
9 E	12.1	88
10 E	16.8	129
11 E	11.2	352
12 E	18.0	158
13 E	10.4	77
14 E	8.8	36
16 E	207.6	1885
17 E	763.0	6144
18 E	389.2	3032



Figur 11. Sammenheng mellom væske- og gasskromatografi av PAH

Med logaritmiske akser er satt opp totalmengden av PAH målt som pyrenekvivalenter (LC) og sum av PAH-komponenter (GC) for filtre fra stasjonære prøver. Linjen som er tegnet inn på figuren er bestemt ved lineær regresjon.

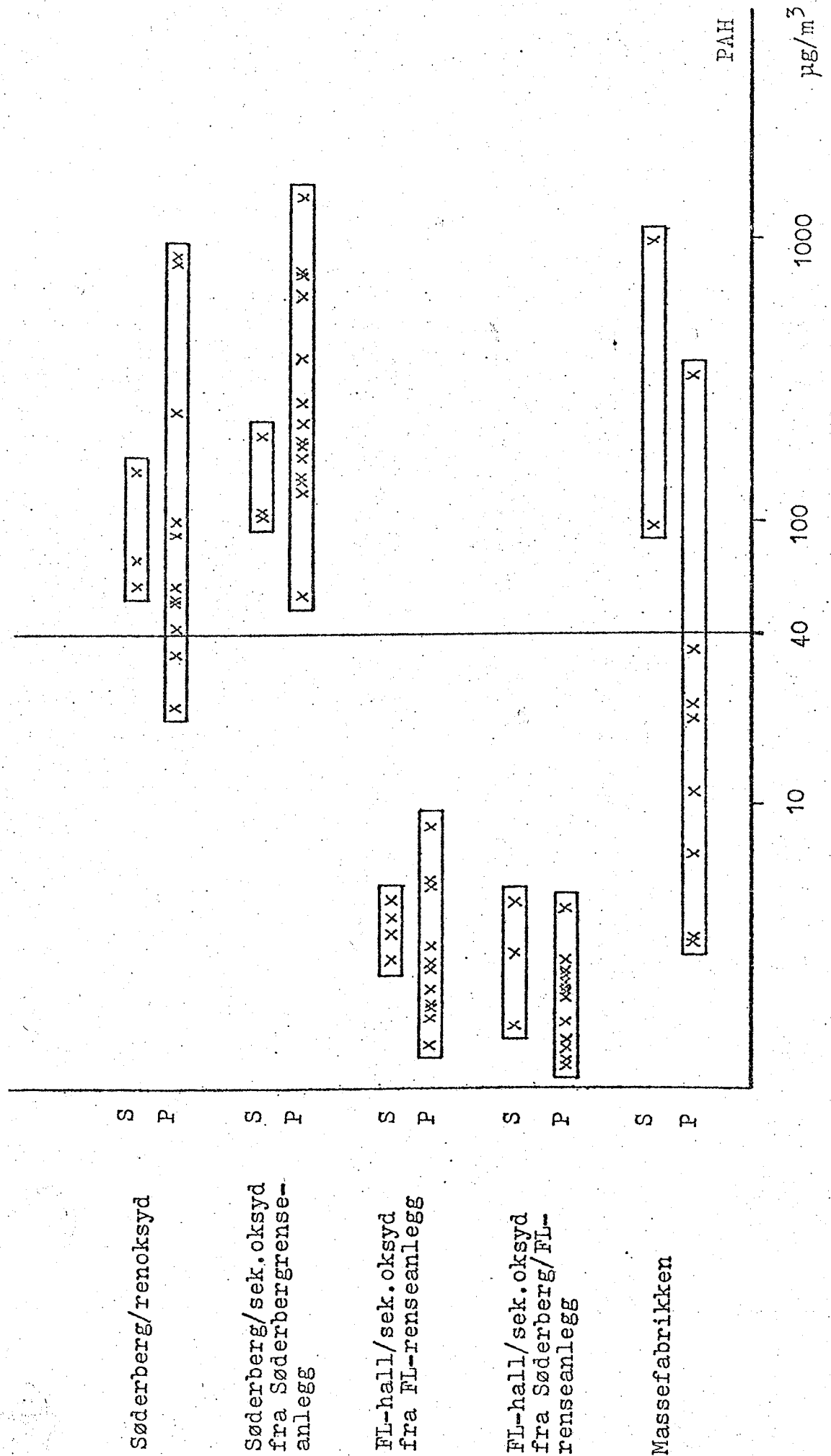
$$\text{Likning: } \lg(\text{LC}) = (0.962 \pm 0.034)\lg(\text{GC}) + (0.940 \pm 0.072)$$

kan skyldes driftforholdene på de nærmeste elektrolyseovnene, tilfeldig opphvirvling av støv etc. Ved personlig prøvetaking som strekker seg over det meste av arbeidstiden får man et direkte mål for gjennomsnittseksponeringen for den enkelte arbeider måledagen. Tilfeldig lokale variasjoner har ikke så stor betydning idet måleapparatet stadig skifter oppholdssted i hallen. Eksponeringsmålinger ved personlig prøvetaking egner seg derfor best både til yrkeshygieniske vurderinger og til vurdering av virkningen ved forandringen av oksydtype på ovnene. I fig. 12 er gjengitt en oversikt over analyseresultatene, både fra stasjonær og personlig prøvetaking.

4.4.1 Sammenheng mellom oksydtype og PAH-eksponeringer i Å III

Eksponeringsresultatene er ført opp i tabell 3. Det ble tatt 11 prøver med ren-oksyd på ovnene (14.9) og 16 prøver mens ovnene gikk på sekundær-oksyd (17.9). Hensikten var å la de samme personer ha pumpene begge dager for å minimalisere personvarasjoner. På grunn av skiftordningene lyktes dette dårlig. Det ble tatt prøver av fire jobb-typer begge måledager; runderullere, ovnspassere, blussrullere og bolte-trekkere. Ved en nøye gjennomgåelse av tallmaterialet synes en måling å være "outsider". Det er T.Je hvis analyse-resultat 17.9 ligger for høyt i forhold til de andre ovnspasserne. I beregningene av verdiene i tabell 4 som viser

Figur 12. Totalkonsentrasjon av PAH (filter) målt ved personlig (P) og stasjonært (S) utstyr



Tabell 3. Total PAH fra filterprøver tatt med personlig prøvetakingsutstyr i Å III (Søderberghall).

Jobbtype	Bærer	Prøve nr. 14/9	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ 14/9	Prøve nr. 17/9	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ 17/9
Tapper	Hi	12 C	22.6		
Runderuller	P.Ha	13 C	59.4		
Runderuller	I.Th	16 C	52.6		
Runderuller	K.Sø			52 C	266
Runderuller	S.Gr			66 C	145
Boltetrekker	R.Rø	14 C	822		
Boltetrekker	A.No	15 C	863		
Boltetrekker	B.Ma	23 C	243		
Boltetrekker	N.Br			57 C	754
Boltetrekker	J.Ne			59 C	768
Boltetrekker	I.Da			69 C	746
Boltetrekker	R.Lo			64 C	743
Ovnspasser	J.Sm	17 C	33.8	63 C	197
Ovnspasser	A.Jø	18 C	51.2	58 C	185
Ovnspasser	T.Je	21 C	88.9	65 C	627
Ovnspasser	S.Gr	22 C	100.6		
Blusskjører	K.Br	20 C	41.4	53 C	140
Blusskjører	I.Ra			67 C	164
Pigghogger	Sk			54 C	55.1
Pigghogger	B.Øv			70 C	127
Krysser	J.Fe			60 C	383
Krysser	O.Br			62 C	1400
Feiemaskin	M.Ko			61 C	223

gjennomsnittsverdiene og gjennomsnittsokning av tjære-eksponeringen fra 14.9 til 17.9 er derfor denne verdien utelatt.

Tabell 4

Gjennomsnittseksponering ved bruk av ren-oksyd og sekundær-oksyd ved Å III. Forholdet mellom verdiene er også angitt.

	14.9 /ug/m ³	17.9 /ug/m ³	17.9 : 14.9
Runderullere	56,0	205	3,7
Blussrullere	41,4	152	3,7
Ovnspassere	61,9	191	3,1
Boltetrekkere	643	753	1,2

Tabellen viser at økningen i eksponeringen er 3,1 til 3,7 ganger for runderullere, blussrullere og ovnspassere. Disse får det meste av sin eksponering som avryking fra oksydlaget på ovnene og opphvirvling av støv. Man vil derfor vente en øking av eksponeringen ved overgang til en mer uren oksyd. For boltetrekkerne finner man ingen økning. Dette er i overens-

stemmelse med det som kan ventes. Boltetrekkerne får det meste av sin tjæreksponering fra anoden på ovnene som var den samme begge forsøksdagene.

Forskjellen mellom dagene er signifikant. For gruppen runderullere, ovnspassere og blusskjørere, som danner grunnlaget for tabell 4, finner man (lognormal fordeling) middelveidier på $56.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 14/9 og $183.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 17/9. Konfidensgrensene er henholdsvis $38.6-84.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ og $143.2-183.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Det ble altså en reell økning av PAH-eksponeringen ved overgang fra ren-oksyd til sekundær-oksyd på ovnene. Økningen synes å være ca. 3.2 ganger.

4.4.2 Sammenheng mellom oksydtype og PAH-eksponering i Å I

Som forklart under 2.3 ble hall B delt i to under forsøkene. Hall B øst fikk den reneste oksyden som bare hadde rensset gass fra hall B øst. Hall B vest og hall A fikk som vanlig oksyd som hadde vært benyttet på renseanleggene både til Å III og Å I. Forsøkene gikk over to dager (15.9 og 16.9). Det lyktes bedre her å få de samme personer til å ha pumper begge dager enn hva tilfellet var i Å III. I alt ble det tatt 7 prøver i hall B øst og 4 i hall B vest (se tabell 5).

t-Test på de to gruppene viser at forskjellen i eksponeringsnivå mellom hall B øst og vest ikke er signifikant.

Tabell 5. Total PAH fra filterprøver tatt med personlig prøvetakingsutstyr i Å I (FL-hall).

Jobbtype	Sted	Bærer	Prøve nr. 15/9	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ 15/9	Prøve nr. 16/9	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ 16/9
Rullekjører	ÅI B øst	K.Kv	24 C	1.95	43 C	2.20
Kullskifter	ÅI B øst	Br	26 C	1.95	50 C	1.48
Kullskifter	ÅI B øst	S.Heg	28 C	1.79	41 C	1.20
Ovnspasser	ÅI B øst	O.Ni	29 C	3.15		
Rullekjører	ÅI B vest	J.Gr	27 C	1.41	34 C	2.51
Ovnspasser	ÅI B vest	E.Skj	25 C	1.98	39 C	2.59
Fyllvogn	ÅI B	J.Ha	37 C	5.09	45 C	1.37
Tapper	ÅI B	Rø			44 C	1.70
Tapper	ÅI B	Ho			47 C	2.07
Rullekjører	ÅI A	J.Mø	32 C	2.72	46 C	2.36
Rullekjører	ÅI A	E.Fi	36 C	2.23	35 C	2.84
Kullskifter	ÅI A	Mi	30 C	5.38	40 C	1.25
Kullskifter	ÅI A	S.Hel	31 C	8.41		
Kullskifter	ÅI A	B.He			48 C	2.83
Fyllvogn	ÅI A	M.Fe	38 C	2.63	33 C	4.25
Tapper	ÅI A	Ri			51 C	2.26

4.4.3 Grunnlag for yrkeshygieniske vurderinger

Den amerikanske listen over yrkeshygieniske grenseverdier ⁸, angir en grenseverdi for partikulært polycyklisk organisk materiale (PPOM) til $0,2 \text{ mg/m}^3$ benzenløslig stoff fra filter. PAH er en del av PPOM. I det benzenløslige materialet fra filter er det normalt 10 - 40% PAH. Typiske verdier er 20%. Utfra dette vil amerikansk TLV tilsvare ca. $40 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ PAH på filter. En grenseverdi av denne typen må betraktes som teknisk grense. Den er ikke basert på epidemiologiske undersøkelser eller noen annen form for helsemessige vurderinger.

Man vet at enkelte PAH-forbindelser er kreftfremkallende. Stoffer som benzo(a)pyren, dibenzopyrener, benzo(b)fluoranten, og benzo(c)fenantren er noen av de kreftfremkallende forbindelsene som til vanlig finnes i tjære o.l. Det vites ikke på hvilken måte en blanding av PAH og andre forbindelser, som man finner i elektrolysehallene eller massefabrikkene ved aluminiumsverkene, virker. Virkningene kan forsterkes eller svekkes i forhold til de rene forbindelsene. Derfor finner en det ikke riktig nå, i yrkeshygienisk sammenheng, å vurdere mengden av enkeltforbindelser, men baserer seg på total mengde PAH på filter. Det finnes utenlandske rapporter ^{4, 5, 7m.fl.} som viser at tjærestoffene også kan fremkalle kreft hos mennesker. Kreft i luftveiene er i denne sammenheng viktigst. Velkjent er også virkningen av sigarettøyk, som

gjernes tilskrives tjæren i røyken.

Det foregår også en norsk undersøkelse (samarbeid mellom kreftregisteret, Al-industrien, YHI) der krefthyppigheten i norske aluminiumsverk blir undersøkt.

Tjærestoffene er altså kreftfremkallende. Derfor skal eksponeringen for dem være minst mulig slik at overhyppighet av kreft unngås.

Målet er lavest mulig konsentrasjoner av tjærestoffer i all arbeidsatmosfære.

I fig. 12 er verdien $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ total PAH på filter markert. Verdiene som er målt vil i det følgende bli vurdert i forhold til denne verdien.

4.4.4 Forholdene i Å III

Det går fram av fig. 12 og tabell 3 at eksponeringsverdiene ved bruk av ren-oksyd på ovnene varierte fra 23 - $860 \mu\text{g}/\text{m}^3$ total PAH på filter. Ved praktisk talt alt arbeide i hallene overskrides $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Særlig boltetrekkerne har høye eksponeringsverdier; ca. 240 - $860 \mu\text{g}/\text{m}^3$ er målt. Selv bruk av en god maske (90% effektivitet) vil her ikke være tilfredsstillende yrkeshygienisk sett.

En del arbeidsoperasjoner ble bare målt under bruk av sekundær-oksyd på ovnene. Verdiene er derfor noe høyere enn normalt. Eksponering målt under pigghogging, kryssing og feiemaskinkjøring ser ut til å være av samme størrelsesorden som resten av hallarbeidet. En prøve fra en krysser viste imidlertid hele $1400 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Det må forøvrig tas med i betraktning at krysserne får hovedparten av sin eksponering fra anoden og ikke fra oksydlaget på ovnene, på samme måte som boltetrekkerne (se 4.4.1). Tjæreeksponeringen under kryssing er derfor sannsynligvis ikke like avhengig av oksydtype som annet hallarbeid.

4.4.5 Forholdene i Å I

I FL-hallene var det ingen eksponeringsverdier (PAH på filter over $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, de fleste verdiene lå under $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tjærestoffeksponeringene må derfor sies å være små sett i forhold til Søderberghallene og antakelig uten yrkeshygienisk betydning. Se fig 12 og tabell 5.

4.4.6 Forholdene i massefabrikken

Med hensyn til tjæreeksponering inntar massefabrikken en mellomstilling mellom de to typene elektrolysehaller (se fig. 12 og tabell 6). Operatørene på linje 1, 3 og 4 oppholdt seg hovedsakelig på kontrollrom i måleperioden og har forholdsvis lave eksponeringer ($3 - 11 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Operatørene i blanderhallen, der det foregikk "batch"-blanding av masse, hadde

Tabell 6. Total PAH fra filterprøver tatt med personlig prøvetakingsutstyr i massefabrikken.

Arbeidssted/jobbtype	Bærer	Prøve nr.	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Blandehallen (traktorkjører)	J.Kl	1 C	22.3
Blandehallen	A.Gj	9 C	34.8
Blandehallen	G.Ne	10 C	20.2
Linje 1 (kontrollrom)	S.Fl	2 C	3.22
Linje 3	H.Tø	3 C	321
Linje 3 (operatør)	M.Læ	5 C	11.0
Linje 4 (operatør)	B.Ar	4 C	6.59
Skiftformann	A.Aa	7 C	3.42

eksponeringer på 20 - 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En måling var særlig høy (321 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Denne eksponeringen ble oppnådd ved arbeid ute på linje 3 som produserte Söderberg-masse.

4.4.7 Kort teknisk-hygienisk konklusjon

I forhold til en grense på 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ total PAH fra filter er forholdene i Söderberg-hallene yrkeshygienisk ikke akseptable. Særlig er boltetrekkerne utsatt.

Eksponeringene for PAH i FL-hallen er lave og under ovennevnte grense.

I massefabrikken er, bortsett fra en verdi, (321 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) alle målingene under 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, men verdiene fra blandedhallen ligger i området 20 - 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, altså like under grensen på 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Referanse-liste:

1. A. Bjørseth, O. Bjørseth og P.E. Fjeldstad:
Kartlegging av PAH ved A/S Årdal og Sunndal verk,
Sunndalsøra (NTNF-rapport, 1976).
2. J.C. Arcos og M.F. Argus: Chemical Induction of Cancer,
Vol. IIa (1974).
3. J.W. Lloyd: Long-term mortality study of steelworkers. V.
Respiratory cancer in coke plant workers.
J. Occup. Med. 13 (1971), 53-68.
4. V.G. Konstaninov og A.I. Kuzminyuk: Tarry substances and
3,4- Benzpyrene in the air of electrolytic shops of
Aluminium works and their carcinogenic significance.
Hygiene & Sanit 36 (1971), 368-73.
5. G.W. Gibbs and J. Horowitz: Lung Cancer Mortality in
Aluminium Plant Workers. ALCAN report 1977.
6. A. Bjørseth, O. Bjørseth og P.E. Fjeldstad: Kartlegging
av PAH ved A/S Norsk Koksverk (NTNF-rapport kommer 1977).
7. Schulte, K.A. Larsen, R.W. Hornung and J. V. Crable:
Report on analytical methods used in a coke oven effluent
study. NIOSH, 1974.
8. ACGIH: TLV's etc. for 1976
9. Anonym. Particulate Polycyclic Organic Matter. National
Acad. of Science, Washington D.C., 1972.

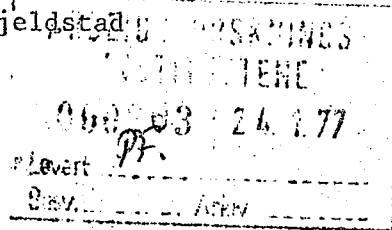
APPENDIX A

Resultater av gasskromatografisk analyse av stasjonære
prøver



RAPPORT

Yrkeshygienisk institutt
v/Cand. real. Per E. Fjeldstad
Gydas vei 8
Boks 8149 Dep.
OSLO 1



Deres ref.
Deres henv. av M. Skogland/hl
SI's saksbehandler
Dato 26. november 1976

Oppdragets tittel

Analyse av tjæreprøver fra Årdal verk

Oppdrag nr.

451.124

30 PAH-ekstrakter ble mottatt for gasskromatografisk analyse på PAH. Hver prøve ble dampet inn under svak nitrogenstrøm til ca. 500 µl før injeksjon på gasskromatograf. De enkelte PAH-forbindelser ble kvantifisert ut fra indre standard ved hjelp av elektronisk integrasjon. Resultatene er oppført i tabell I-VII. Alle resultater er angitt i µg.

EKSPERIMENTELT

Prøvene ble analysert på Carlo Erba Fractovap 2101. Prøvene listet i tabell I-V (til og med ÅSV 10-E) og prøvene listet i tabell VI-VII er analysert på to forskjellige kolonner. Som en sammenligning er prøve ÅSV 10-E analysert på begge kolonnene og resultatene oppført i tabell V (ÅSV 10-E og ÅSV 10-E^x).

Gasskromatografisk analyse av prøver oppført i tabell I-V (til og med ÅSV 10-E):

Kolonne:	Glasskapillar, 50 m x 0,38 mm ID
Stasjonærfase:	OV-1
Detektor:	FID
Bæregass:	H ₂ , ca. 4 ml/min.
Injektortemperatur:	275°C
Detektortemperatur:	275°C
Temperaturprogrammering:	Fra 100°C til 250°C med 3°/min.

Gasskromatografisk analyse av prøver oppført i tabell V-VII (fra og med ÅSV 10-E^x):

Kolonne: Glasskapillar, 20 m x ca. 0,4 mm ID
Stasjonærfase: OV-101
Detektor: FID
Bæregass: H₂, ca. 4 ml/min.
Injektortemperatur: 275°C
Detektortemperatur: 275°C
Temperaturprogrammering: Fra 100°C til 260°C med 3^omin.

Med hilsen

SENTRALINSTITUTT FOR
INDUSTRIELL FORSKNING

Alf Bjørseth

Alf Bjørseth
Cand. real

Margareth Skogland

Margareth Skogland
Ingeniør

Tabell I

PAH - forbindelse	ÅSV	ÅSV	ÅSV	ÅSV	ÅSV
	1 - EA	2 - EA	3 - EA	4 - EA	5 - EA
1 Naphtalene	11800	1401	60.8	59.6	17.4
2 2 - Methylnaphtalene	3933	256	28.2	35.5	15.7
3 1 - Methylnaphtalene	1886	127	16.2	19.1	9.2
4 Biphenyl	732	83	4.6	7.1	2.4
5 Acenaphtylene					
6 Acenaphtene	1528	616	65.0	84.1	50.7
8 Dibenzofuran	402	121	14.8	17.7	12.6
9 Fluorene	383	183	30.8	39.2	25.3
10 9 - Methylfluorene		34	5.4	6.7	17.4
12 2 - Methylfluorene			3.5	4.9	3.1
13 1 - Methylfluorene			3.5	4.3	2.9
14 Dibenzthiophene			20.0	25.5	2.2
15 Phenanthrene	269	231	200.0	225.9	153.7
16 Anthracene		13.5	27.5	29.1	17.8
19 2 - Methylanthracene			12.4	14.9	10.3
20 1 - Methylphenathrene			3.1	3.1	2.7
24 Fluoranthene	6.3	2.1	70.0	95.6	61.4
26 Pyrene	3.3	0.8	43.4	64.1	38.8
28 Benzo (a) fluorene					
29 Benzo (b) fluorene					
30 Benzo (c) phenanthrene					
31 Benz (a) anthracene					
32 Chrysene / Triphenylene					
35 Benzo (b&k) fluoranthene					
37 Benz (e) pyrene					
38 Benz (a) pyerene					
39 Perylene					
42 o - phenylenepyrene					
45 Benzo (g,h,i) perylene					
46 Anthanthrene					
SUM PAH	20942.6	3068 .4	609.2	736.4	443.0

Tabell II

PAH - forbindelse	ÅSV 8 - EA	ÅSV 9 - EA	ÅSV 10 - EA	ÅSV 11 - EA	ÅSV 12 - EA
1 Naphtalene	16.5	62.4		54.8	4.8
2 2 - Methylnaphtalene	3.8	9.0		7.5	3.6
3 1 - Methylnaphtalene	2.2	4.8		3.8	2.1
4 Biphenyl		1.4			1.1
5 Acenaphtylene		1.3			
6 Acenaphtene	11.4	14.5		8.0	10.3
8 Dibenzofuran	2.3	3.7			2.1
9 Fluorene	5.9	6.7	3.5		3.7
10 9 - Methylfluorene	27.3	19.0		23.3	28.3
12 2 - Methylfluorene				0.7	
13 1-- Methylfluorene				0.7	
14 Dibenzthiophene	3.2	3.3	2.3	1.6	2.5
15 Phenanthrene	35.4	35.9	28.9	16.9	23.2
16 Anthracene	1.4	1.4	1.2	0.3	1.2
19 2 - Methylanthracene					
20 1 - Methylphenathrene					
24 Fluoranthene	23.5	24.4	20.8	8.8	12.3
26 Pyrene	14.4	15.1	12.6	4.9	7.2
28 Benzo (a) fluorene					
29 Benzo (b) fluorene					
30 Benzo (c) phenanthrene					
31 Benz (a) anthracene					
32 Chrysene / Triphenylene					
35 Benzo (b&k) fluoranthene					
37 Benz (e) pyrene					
38 Benz (a) pyerene					
39 Perylene					
42 o - phenylenepyrene					
45 Benzo (g,h,i) perylene					
46 Anthanthrene					
SUM PAH	147.3	202.5	69.3	131.3	102.4

Tabell III

PAH - forbindelse	ÅSV 13 - EA	ÅSV 14 - EA	ÅSV 16 - EA	ÅSV 17 - EA	ÅSV 18 - EA
1 Naphtalene			108.5	133.7	117.5
2 2 - Methylnaphtalene			32.8	54.1	79.2
3 1 - Methylnaphtalene					42.8
4 Biphenyl					
5 Acenaphtylene					
6 Acenaphtene	4.9		135.4	224.7	182.2
8 Dibenzofuran			26.4	45.3	35.9
9 Fluorene			64.2	111.6	87.6
10 9 - Methylfluorene			17.3	32.2	26.3
12 2 - Methylfluorene				14.5	11.8
13 1 - Methylfluorene				12.8	10.2
14 Dibenzthiophene	1.3		46.0	83.3	61.6
15 Phenanthrene	13.0	0.6	436.7	817.9	551.4
16 Anthracene	0.4		54.3	108.5	69.3
19 2 - Methylanthracene			26.4	62.3	36.6
20 1 - Methylphenathrene			6.3	15.9	8.8
24 Fluoranthene	7.6	0.9	201.2	367.5	195.5
26 Pyrene	4.1	0.5	132.2	254.8	124.8
28 Benzo (a) fluorene					
29 Benzo (b) fluorene					
30 Benzo (c) phenanthrene					
31 Benz (a) anthracene					
32 Chrysene / Triphenylene					
35 Benzo (b&k) fluoranthene					
37 Benz (e) pyrene					
38 Benz (a) pyerene					
39 Perylene					
42 o - phenylenepyrene					
45 Benzo (g,h,i) perylene					
46 Anthanthrene					
SUM PAH	31.3	2.0	1287.7	2339.1	1641.5

Tabell IV

PAH - forbindelse	ÅSV	ÅSV	ÅSV	ÅSV	ÅSV
	1 - E	2 - E	3 - E	4 - E	5 - E
1 Naphtalene					
2 2 - Methylnaphtalene					
3 1 - Methylnaphtalene					
4 Biphenyl					
5 Acenaphtylene					
6 Acenaphtene					
8 Dibenzofuran					
9 Fluorene					
10 9 - Methylfluorene					
12 2 - Methylfluorene					
13 1 - Methylfluorene					
14 Dibenzthiophene					
15 Phenanthrene	49.2	63.8	8.3	25.9	5.2
16 Anthracene	23.1	21.0	1.7	3.0	0.5
19 2 - Methylanthracene	8.5	6.3	1.8		
20 1 - Methylphenathrene	2.1	1.3	0.6		
24 Fluoranthene	103.4	40.7	53.5	99.7	39.1
26 Pyrene	73.9	27.3	42.5	75.6	30.2
28 Benzo (a) fluorene	12.9	3.7	4.9	23.7	11.6
29 Benzo (b) fluorene	9.5	2.6	3.8	16.9	6.6
30 Benzo (c) phenanthrene	3.6	0.9	3.5	5.9	2.9
31 Benz (a) anthracene	6.8	1.4	10.8	16.3	6.8
32 Chrysene / Triphenylene	8.2	2.3	17.2	26.4	11.9
35 Benzo (b&k) fluoranthene	6.5	1.0	7.6	29.8	11.0
37 Benz (e) pyrene	2.1	0.2	5.5	10.3	3.5
38 Benz (a) pyrene	2.6	0.3	5.0	9.8	3.3
39 Perylene	0.5		1.0	2.0	0.5
42 o - phenylenepyrene	1.4		2.0	4.7	1.3
45 Benzo (g,h,i) perylene	1.3		2.0	4.5	1.2
46 Anthanthrene	0.4		0.4	1.1	
SUM PAH	316.0	172.8	172.1	355.2	135.6

Tabell V

PAH - forbindelse	ÅSV 8 - E	ÅSV 9 - E	ÅSV 10 - E	ÅSV * 10 - E
1 Naphtalene				
2 2 - Methylnaphtalene				
3 1 - Methylnaphtalene				
4 Biphenyl				
5 Acenaphtylene				
6 Acenaphtene				
8 Dibenzofuran				
9 Fluorene				
10 9 - Methylfluorene				
12 2 - Methylfluorene				
13 1 - Methylfluorene				
14 Dibenzthiophene				
15 Phenanthrene		1.4	0.4	0.6
16 Anthracene				0.1
19 2 - Methylanthracene				
20 1 - Methylphenanthrene				
24 Fluoranthene	2.8	1.8	2.8	2.8
26 Pyrene	1.4	1.6	2.1	2.3
28 Benzo (a) fluorene	1.4		1.0	1.4
29 Benzo (b) fluorene	1.0		1.0	0.6
30 Benzo (c) phenanthrene	0.5	0.5	0.4	0.5
31 Benz (a) anthracene				
32 Chrysene / Triphenylene	2.8	2.2	2.2	2.5
35 Benzo (b & k) fluoranthene	2.1	1.7	2.5	2.5
37 Benz (e) pyrene	0.6	0.5	0.8	
38 Benz (a) pyrene	0.5	0.4	0.7	0.9
39 Perylene			0.1	0.8
42 o - phenylenepyrene				
45 Benzo (g,h,i) perylene				
46 Anthanthrene				
SUM PAH	13.1	10.1	14.0	15.0

* Ny kolonne.

Tabell VI

PAH - forbindelse	ÅSV 11 - E	ÅSV 12 - E	ÅSV 13 - E	ÅSV 14 - E	ÅSV 16 - E
1 Naphtalene					
2 2 - Methylnaphtalene					
3 1 - Methylnaphtalene					
4 Biphenyl					
5 Acenaphtylene					
6 Acenaphtene					
8 Dibenzofuran					
9 Fluorene					
10 9 - Methylfluorene					
12 2 - Methylfluorene					
13 1-- Methylfluorene					
14 Dibenzthiophene					
15 Phenanthrene		0.2	0.3	0.2	8.6
16 Anthracene					1.9
19 2 - Methylanthracene					
20 1 - Methylphenathrene					
24 Fluoranthene	1.7	3.2	1.7	1.4	37.9
26 Pyrene	1.3	2.6	1.4	1.1	31.3
28 Benzo (a) fluorene	0.7	1.5	0.5	0.4	14.8
29 Benzo (b) fluorene	0.2	0.4	0.3	0.3	6.0
30 Benzo (c) phenanthrene	0.2	0.4	0.2	0.2	4.2
31 Benz (a) anthracene					7.8
32 Chrysene / Triphenylene	1.5	2.3	2.3	2.2	19.6
35 Benzo (b&k) fluoranthene	1.8	2.1	1.1	1.0	19.5
37 Benz (e) pyrene	0.5	1.2	0.4	0.1	7.1
38 Benz (a) pyerene	0.7	0.6	0.3	0.2	7.0
39 Perylene					1.7
42 o - phenylenepyrene	0.4	0.3	0.1	0.1	2.9
45 Benzo (g,h,i) perylene	0.3	0.2	0.1	0.1	2.7
46 Anthanthrene					
SUM PAH	9.3	15.1	8.7	7.3	173.0

Tabell VII

PAH - forbindelse		ÅSV 17 - E	ÅSV 18 - E
1	Naphtalene		
2	2 - Methylnaphtalene		
3	1 - Methylnaphtalene		
4	Biphenyl		
5	Acenaphtylene		
6	Acenaphtene		
8	Dibenzofuran		
9	Fluorene		
10	9 - Methylfluorene		
12	2 - Methylfluorene		
13	1 - Methylfluorene		
14	Dibenzthiophene		
15	Phenanthrene	28.2	14.0
16	Anthracene		
19	2 - Methylanthracene		
20	1 - Methylphenathrene		
24	Fluoranthene	169.6	84.5
26	Pyrene	132.7	68.9
28	Benzo (a) fluorene	62.3	29.8
29	Benzo (b) fluorene	21.6	10.5
30	Benzo (c) phenanthrene	14.2	6.6
31	Benz (a) anthracene	27.1	10.8
32	Chrysene / Triphenylene	60.4	28.0
35	Benzo (b & k) fluoranthene	59.8	37.3
37	Benz (e) pyrene	19.6	11.1
38	Benz (a) pyrene	20.9	10.6
39	Perylene	5.2	2.6
42	o - phenylenepyrene	7.2	4.6
45	Benzo (g, h, i) perylene	7.0	5.0
46	Anthanthrene		
SUM PAH		635.8	324.3

APPENDIKS B

Tabeller over konsentrasjoner av enkeltkomponenter ved stasjonær prøvetaking

ABS. LOSN. FRA ARDAL VERK, STASJ. PROVER, SEPTEMBER 1976.

PROVENR.:	1-EA	2-EA	3-EA	4-EA
MG STCV:	3.8	1.3	7.6	19.3
M3 LUFT:	3.98	0.34	3.51	2.91
	UG/M3	UG/M3	UG/M3	UG/M3
NAFTALEN	4139.56	8579.05	26.18	34.68
2-METYLNAFTALEN	1379.74	1567.62	12.14	20.66
1-METYLNAFTALEN	661.63	777.69	6.97	11.11
BI FENYL	256.79	508.25	1.98	4.13
ACENAFTYLEN				
ACENAFTEN	536.04	3772.09	27.98	48.94
DI BENZOFURAN	141.03	740.95	6.37	10.30
FLUOREN	134.36	1120.60	13.26	22.81
9-METYLFLUOREN		208.20	2.32	3.90
2-METYLFLUOREN			1.51	2.85
1-METYLFLUOREN			1.51	2.50
DI BENZOTIOFEN			8.61	14.84
FENANTREN	94.37	1414.53	86.11	131.45
ANTRACEN		82.67	11.84	16.93
2-METYLANTRACEN			5.34	8.67
1-METYLFENANTREN			1.33	1.80
FLUORANTEN	2.21	12.86	30.14	55.63
PYREN	1.16	4.90	18.69	37.30
BENZOC(A)FLUOREN				
BENZOC(B)FLUOREN				
BENZOC(C)FENANTREN,				
BENZ(C)ANTRACEN				
KRYSEN, TRIFENYLEN				
BENZOC(B&K)FLUORANTEN				
BENZOC(E)PYREN				
BENZOC(A)PYREN				
PERYLEN				
O-FENYLENPYREN				
BENZOC(G,H,I)PERYLEN				
ANTANTREN				
SUM:	7346.89	18789.41	262.28	428.50

ABS. LOSN. FRA ARDAL VERK, STASJ. PROVER, SEPTEMBER 1976.

PROVENR.:	5-EA	8-EA	9-EA	10-EA
MG STOV:	35.5	13.6	2.3	3.2
M3 LUFT:	2.26	3.96	4.27	4.84
	UG/M3	UG/M3	UG/M3	UG/M3
NAFTALEN	11.23	6.32	17.72	
2-METYLNAFTALEN	10.14	1.45	2.56	
1-METYLNAFTALEN	5.94	0.84	1.36	
BIFENYL	1.55		0.40	
ACENAFTYLEN			0.37	
ACENAFTEN	32.74	4.36	4.12	
DIBENZOFURAN	8.14	0.88	1.05	
FLUOREN	16.34	2.26	1.90	1.18
9-METYLFLUOREN	11.23	10.45	5.39	
2-METYLFLUOREN	2.00			
1-METYLFLUOREN	1.87			
DIBENZOTIOFEN	1.42	1.23	0.94	0.78
FENANTREN	99.24	13.55	10.19	9.76
ANTRACEN	11.49	0.54	0.40	0.41
2-METYLANTRACEN	6.65			
1-METYLFENANTREN	1.74			
FLUORANTEN	39.64	9.00	6.93	7.03
PYREN	25.05	5.51	4.29	4.26
BENZO[A]FLUOREN				
BENZO[B]FLUOREN				
BENZO[C]FENANTREN,				
BENZO[A]ANTRACEN				
KRYSEN, TRIFENYLEN				
BENZO[B&K]FLUORANTEN				
BENZO[E]PYREN				
BENZO[A]PYREN				
PERYLEN				
C-FENYLENPYREN				
BENZO[G,H,I]PERYLEN				
ANTANTREN				
SUM:	286.41	56.39	57.62	23.42

ABS. LOSN. FRA ARDAL VERK, STASJ. PROVER, SEPTEMBER 1976.

PROVENR.:	11-EA	12-EA	13-EA	14-EA
MG STOV:	2.5	4.6	1.4	1.1
M3 LUFT:	2.46	4.02	3.56	5.27

	UG/M3	UG/M3	UG/M3	UG/M3
NAFTALEN	31.98	1.70		
2-METYLNAFTALEN	4.38	1.28		
1-METYLNAFTALEN	2.22	0.75		
BIFENYL		0.39		
ACENAFTYLEN				
ACENAFTEN	4.67	3.66	1.60	
DIBENZOFURAN		0.75		
FLUOREN		1.31		
9-METYLFLUCREN	13.60	10.05		
2-METYLFLUCREN	0.41			
1-METYLFLUOREN	0.41			
DIBENZOTI OFEN	0.93	0.89	0.42	
FENANTREN	9.86	8.24	4.24	0.37
ANTRACEN	0.18	0.43	0.13	
2-METYLANTRACEN				
1-METYLFENANTREN				
FLUORANTEN	5.14	4.37	2.48	0.56
PYREN	2.86	2.56	1.34	0.31
BENZ[A] FLUCREN				
BENZ[B] FLUOREN				
BENZ[C] FENANTREN,				
BENZ[A] ANTRACEN				
KRYSEN, TRIFENYLEN				
BENZ[B & K] FLUORANTEN				
BENZ[E] PYREN				
BENZ[A] PYREN				
PERYLEN				
C-FENYLEN PYREN				
BENZ[G, H, I] PERYLEN				
ANTANTREN				
SUM:	76.64	36.38	10.21	1.24

ABS. LOSN. FRA ARDAL VERK, STASJ. PROVER, SEPTEMBER 1976.

PROVENR.:	16-EA	17-EA	18-EA
MG STOV:	11.4	22.4	15.6
M3 LUFT:	2.04	3.84	3.67
	UG/M3	UG/M3	UG/M3
NAFTALEN	60.05	41.19	35.29
2-METYLNAFTALEN	18.15	16.67	23.79
1-METYLNAFTALEN			12.85
BIFENYL			
ACENAFTYLEN			
ACENAFTEN	74.94	69.23	54.72
DIBENZOFURAN	14.61	13.96	10.78
FLUOREN	35.53	34.38	26.31
9-METYLFLUOREN	9.57	9.92	7.90
2-METYLFLUOREN		4.47	3.54
1-METYLFLUCREN		3.94	3.06
DIBENZOTIOFEN	25.46	25.66	18.50
FENANTREN	241.70	251.99	165.60
ANTRACEN	30.05	33.43	20.81
2-METYLANTRACEN	14.61	19.19	10.99
1-METYLFENANTREN	3.49	4.90	2.64
FLUORANTEN	111.36	113.22	58.72
PYREN	73.17	78.50	37.48
BENZO[A]FLUOREN			
BENZO[B]FLUOREN			
BENZO[C]FENANTREN,			
BENZO[A]ANTRACEN			
KRYSEN, TRIFENYLEN			
BENZO[B&K]FLUORANTEN			
BENZO[E]PYREN			
BENZO[A]PYREN			
PERYLEN			
O-FENYLENPYREN			
BENZO[G,H,I]PERYLEN			
ANTANTREN			
SUM:	712.69	720.65	492.98

FILTRE FRA ARDAL VERK, STASJ. PROVER, SEPTEMBER 1976.

PROVENR.:	1-E	2-E	3-E	4-E
MG STOV:	3.8	1.3	7.6	19.3
M3 LUFT:	3.98	0.34	3.51	2.91
	UG/M3	UG/M3	UG/M3	UG/M3
NAFTALEN				
2-METYLNAFTALEN				
1-METYLNAFTALEN				
BIFENYL				
ACENAFTYLEN				
ACENAFTEN				
DIBENZOFURAN				
FLUOREN				
9-METYLFLUOREN				
2-METYLFLUOREN				
1-METYLFLUOREN				
DIBENZOTIOFEN				
FENANTREN	14.83	363.78	2.84	10.68
ANTRACEN	6.96	119.74	0.58	1.24
2-METYLANTRACEN	2.56	35.92	0.62	
1-METYLFENANTREN	0.63	7.41	0.21	
FLUORANTEN	31.18	232.07	18.29	41.11
PYREN	22.28	155.66	14.53	31.17
BENZOC(A)FLUOREN	3.89	21.10	1.68	9.77
BENZOC(B)FLUOREN	2.86	14.83	1.30	6.97
BENZOC(C)FENANTREN,	1.09	5.13	1.20	2.43
BENZ(CA)ANTRACEN	2.05	7.98	3.69	6.72
KRYSEN, TRIFENYLEN	2.47	13.11	5.88	10.89
BENZOC(B&K)FLUORANTEN	1.96	5.70	2.60	12.29
BENZOC(E)PYREN	0.63	1.14	1.88	4.25
BENZOC(A)PYREN	0.78	1.71	1.71	4.04
PERYLEN	0.15		0.34	0.82
FENYLEN PYREN	0.42		0.68	1.94
BENZOC(G,H,I)PERYLEN	0.39		0.68	1.86
ANTANTREN	0.12		0.14	0.45
SUM:	95.25	985.28	58.85	146.63

FILTRE FRA ARDAL VERK, STASJ. PROVER, SEPTEMBER 1976.

PROVENR.:	5-E	8-E	9-E	10-E
MG STOV:	35.5	13.6	2.3	3.2
M3 LUFT:	2.26	3.96	4.27	4.84
	UG/M3	UG/M3	UG/M3	UG/M3
NAFTALEN				
2-METYLNAFTALEN				
1-METYLNAFTALEN				
BIFENYL				
ACENAFTYLEN				
ACENAFTEN				
DIBENZOFURAN				
FLUOREN				
9-METYLFLUOREN				
2-METYLFLUOREN				
1-METYLFLUOREN				
DIBENZOTIOFEN				
FENANTREN	2.76		0.39	0.10
ANTRACEN	0.27			
2-METYLANTRACEN				
1-METYLFENANTREN				
FLUORANTEN	20.76	0.85	0.51	0.69
PYREN	16.03	0.42	0.45	0.52
BENZ[A] FLUCREN	6.16	0.42		0.25
BENZ[B] FLUCREN	3.50	0.30		0.25
BENZ[C] FENANTREN,	1.54	0.15	0.14	0.10
BENZ[A] ANTRACEN	3.61			
KRYSEN, TRIFENYLEN	6.32	0.85	0.62	0.55
BENZ[B & K] FLUORANTEN	5.84	0.64	0.48	0.62
BENZ[E] PYREN	1.86	0.18	0.14	0.20
BENZ[A] PYREN	1.75	0.15	0.11	0.17
PERYLEN	0.27			0.02
FENYLEN PYREN	0.69			
BENZ[G, H, I] PERYLEN	0.64			
ANTANTREN				
SUM:	72.00	3.96	2.84	3.47

FILTRE FRA ARDAL VERK, STASJ. PROVER, SEPTEMBER 1976.

PROVENR.:	11-E	12-E	13-E	14-E
MG STOV:	2.5	4.6	1.4	1.1
M3 LUFT:	2.46	4.02	3.56	5.27
	UG/M3	UG/M3	UG/M3	UG/M3
NAFTALEN				
2-METYLNAFTALEN				
1-METYLNAFTALEN				
BIFENYL				
ACENAFTYLEN				
ACENAFTEN				
DIBENZOFURAN				
FLUOREN				
9-METYLFLUOREN				
2-METYLFLUOREN				
1-METYLFLUOREN				
DIBENZOTIOFEN				
FENANTREN		0.06	0.10	0.05
ANTRACEN				
2-METYLANTRACEN				
1-METYLFENANTREN				
FLUORANTEN	0.83	0.96	0.57	0.32
PYREN	0.64	0.78	0.47	0.25
BENZ[A] FLUOREN	0.34	0.45	0.17	0.09
BENZ[B] FLUOREN	0.10	0.12	0.10	0.07
BENZ[C] FENANTREN,	0.10	0.12	0.07	0.05
BENZ[A] ANTRACEN				
KRYSEN, TRIFENYLEN	0.73	0.69	0.77	0.50
BENZ[B & K] FLUORANTEN	0.88	0.63	0.37	0.23
BENZ[E] PYREN	0.24	0.36	0.13	0.02
BENZ[A] PYREN	0.34	0.18	0.10	0.05
PERYLEN				
FENYLENPYREN	0.20	0.09	0.03	0.02
BENZ[G, H, I] PERYLEN	0.15	0.06	0.03	0.02
ANTANTREN				
SUM:	4.55	4.50	2.91	1.67

FILTRE FRA ARDAL VERK, STASJ. PROVER, SEPTEMBER 1976.

PROVENR.:	16-E	17-E	18-E
MG STOV:	11.4	22.4	15.6
M3 LUFT:	2.04	3.84	3.67

	UG/M3	UG/M3	UG/M3
--	-------	-------	-------

NAFTALEN
2-METYLNAFTALEN
1-METYLNAFTALEN
BIFENYL
ACENAFTYLEN

ACENAFTEN
DIBENZOFURAN
FLUOREN
9-METYLFLUOREN
2-METYLFLUOREN

1-METYLFLUOREN			
DIBENZOTIOFEN			
FENANTREN	5.06	8.81	4.58
ANTRACEN	1.12		
2-METYLANTRACEN			

1-METYLFENANTREN			
FLUORANTEN	22.29	53.00	27.63
PYREN	18.41	41.47	22.53
BENZO[A]FLUOREN	8.71	19.47	9.74
BENZO[B]FLUOREN	3.53	6.75	3.43

BENZO[C]FENANTREN,	2.47	4.44	2.16
BENZO[A]ANTRACEN	4.59	8.47	3.53
KRYSEN, TRIFENYLEN	11.53	18.88	9.16
BENZO[B&K]FLUORANTEN	11.47	18.69	12.20
BENZO[E]PYREN	4.18	6.13	3.63

BENZO[A]PYREN	4.12	6.53	3.47
PERYLEN	1.00	1.63	0.85
FENYLENPYREN	1.71	2.25	1.50
BENZO[G, H, I]PERYLEN	1.59	2.19	1.64
ANTANTREN			

SUM:	101.78	198.71	106.05
------	--------	--------	--------

APPENDIKS C

Støv, fluorid og SO₂-målinger

N O T A T

Analyse av støv, fluorid og SO₂ i arbeidsatmosfærene i ÅI og ÅIII i forbindelse med PAH undersøkelsene 13.- 17. september 1976

Dato	Prøvested		Støvfas e		Gassfas e		Total F
	Hall	Ovns nr. m.v.	Mg støv/m ³	Mg F/m ³	Mg F/m ³	Mg S/m ³	
1976							
13-14/9	E	P 22 f.side	11,93	0,79	2,25	1,38	3,04
16-17/9	E	P 24 - " -	8,47	0,84	1,01	1,38	1,85
13-14/9	F	R 22 - " -	1,38	0,09	0,30	0,26	0,39
16-17/9	F	R 23 - " -	3,00	0,25	0,26	0,42	0,51
15-16/9	A	B 12 - " -	0,69	0,09	0,09	0,15	0,18
15-16/9	B	F 11 - " -	4,72	0,41	0,09	0,10	0,50
15-16/9	B	H 12 b.side	0,95	0,14	0,13	0,06	0,27
15/9	B	H 12 - " -	4,16	0,41	0,14	0,31	0,55
Gjennemsnitt i prøveperioden:							
	Hall	A/B	2,63	0,26	0,12	0,16	0,38
	"	E/F	6,20	0,49	0,96	0,91	1,45
Gjennemsnitt på årsbasis:							
	Hall	A/B	2,01	0,19	0,18	0,53	0,37
	"	E/F	5,23	0,21	0,27	0,67	0,48

Merknader: Analytisk sett var arbeidatmosfæren i forsøksperioden noe ugunstigere enn gjennemsnitt på årsbasis for Å III, og da spesielt i hall E. Forøvrig var forholdende stort sett normale.

Tillegg Bolund