

**Tittel: GENERERING, PRØVETAKING OG ANALYSE AV TÅKE
OG DAMP FRA ISOLEROLJER**

**Forfatter(e): TORILL WOLDBÆK, MARGRETHE BRENDEFORD,
VIDAR SKAUG, KNUT SKYBERG**

Prosjektansvarlig: VIDAR SKAUG

**Prosjektmedarbeidere: VIDAR SKAUG, TORILL WOLDBÆK,
MARGRETHE BRENDEFORD, STEINAR MESSELT,
FRANK RASMUSSEN, KNUT SKYBERG**

Utgiver (seksjon): YRKESHYGIENISK SEKSJON

Dato: 27/5-93

Antall sider: 35

ISSN: 0801-7794

**Serie:
HD 1038/93 FOU**

Sammendrag:

To isoleringsvæsker, fenylxylyletan (PXE) og en mineralolje (T3570), ble fra april til juni 1991 testet på rotter i inhalasjonskammer med eksponeringstid 2 uker og ved to konsentrasjoner.

Omfattende utprøving av inhalasjonskammeret uten forsøksdyr ble utført fra november 1990 til april 1991.

Denne rapporten gir en beskrivelse av PXE, T3570 og generering, prøvetaking og analyse av væskenes aerosoler og dampfaser.

**Stikkord: OLJE
OLJETÅKE
FENYLXYLYLETAN
OLJETÅKEGENERERING
PRØVETAKING
INHALASJONSKAMMER**

**Key words: OIL
OIL MIST
PHENYLXYLYLETHANE
AEROSOL GENERATION
SAMPLING
INHALATION CHAMBER**

Postadresse:
PB. 8149 Dep.
0033 Oslo

Besøksadresse:
Gydasvei 8
Majorstua

Telefon 02 466850
Telefax 02 603276

Bankgiro 0629 05 81247
Postgiro 0804 20 00214

INNHALDSFORTEGNELSE

1. INNLEDNING	1
2. MATERIALE	2
2.1. OLJETYPER	2
2.2. EKSPONERINGSKAMMER OG OLJEGENERATOR	2
2.2.1. EKSPONERINGSKAMMER	2
2.2.2. GENERERING AV OLJETÅKE	4
2.2.2.1. Trykkluft og trykkluftregulering	4
2.2.2.2. Oljebeholder og dyse	4
2.2.3. AEROSOLTILFØRSEL TIL KAMMERET	5
2.2.4. UTSUG FRA KAMMERET	5
2.3. UTSTYR FORØVRIG	5
3. METODER	7
3.1. PRØVETAKING	7
3.2. ANALYSE	8
3.2.1. AEROSOL OG DAMP	8
3.2.2. PARTIKKELSTØRRELSSEFORDELING	10
4. RESULTATER	11
4.1. INNLEDENDE FORSØK	11
4.1.1. AEROSOLFASEN	11
4.1.2. DAMPFASEN	14
4.1.3. PARTIKKELSTØRRELSE	15
4.1.3.1. Sierra impaktor	15
4.1.3.2. Andersen impaktor	17
4.1.3.3. Partiklenes fallhastighet	19
4.2. HOVEDFORSØK	20
4.2.1. AEROSOLFASEN	20
4.2.2. DAMPFASEN	27
4.2.3. PARTIKKELSTØRRELSE	27
4.2.4. KONTROLLMÅLINGER I ROMMET OG I REFERANSEKAMMERET	32
5. OPPSUMMERING	33
6. REFERANSER	35

1. INNLEDNING

I 1990 fikk STAMI en henvendelse fra Alcatel STK om å utføre inhalasjonsforsøk på forsøksdyr med en syntetisk isoleringsvæske, PXE (fenylxylyletan). Til sammenlikning ble mineraloljen T3570 valgt. T3570 ingikk også i et tidligere testprogram for kabeloljer i 1983 (1) der den ble kalt mineralolje 2, senere også publisert under betegnelsen mineralolje A (2).

PXE og T3570 ble fra april til juni 1991 testet på rotter i inhalasjonskammer med eksponeringstid to uker og ved to konsentrasjoner. Forsøksbetingelsene, inhalasjonskammeret, oljeforstøvningen etc. ble holdt mest mulig likt forsøket i 1983 (1,2).

Omfattende utprøving av inhalasjonskammeret uten forsøksdyr ble utført med PXE og T3570 fra november 1990 til april 1991.

Denne rapporten gir en beskrivelse av PXE, T3570 og generering, prøvetaking og analyse av væskenes aerosoler og dampfaser. Rapporten omhandler både de innledende forsøkene fra november 1990 til april 1991 og hovedforsøkene med inhalasjonseksponering fra april til juni 1991.

En beskrivelse av forsøksdyrene og deres reaksjoner på eksponeringen blir publisert senere (3).

2. MATERIALE

2.1. OLJETYPER

Den syntetiske isoleringsvæsken, PXE, besto hovedsaklig av 7 isomerer av fenylylyletan. I tillegg inneholdt væsken også små mengder (ca. 6%) fenylylyleten. Væskens destillasjonsområde var 290-310 °C. To ulike forsendelser av PXE viste samme sammensetning.

T3570 er et mineraloljeprodukt som inneholder komponenter med lavere kokepunkt enn PXE. Dens destillasjonsområde var 220-330 °C. Oljen besto av 68% alifater, bl.a. C₁₃-C₁₆ parafiner, 31% aromater (C₁₀-C₁₃ alkylbenzener) og 1% polare forbindelser.

Den tilsvarende oljen, mineralolje 2, som ble brukt i 1983 inneholdt den gang 70% alifater, 29% aromater og ingen polare forbindelser. Oljens destillasjonsområde var 200-300 °C.

Væskene kom direkte fra leverandør og var således uten forurensing fra fat etter videre lagring.

2.2. EKSPONERINGSKAMMER OG OLJEGENERATOR

2.2.1. EKSPONERINGSKAMMER

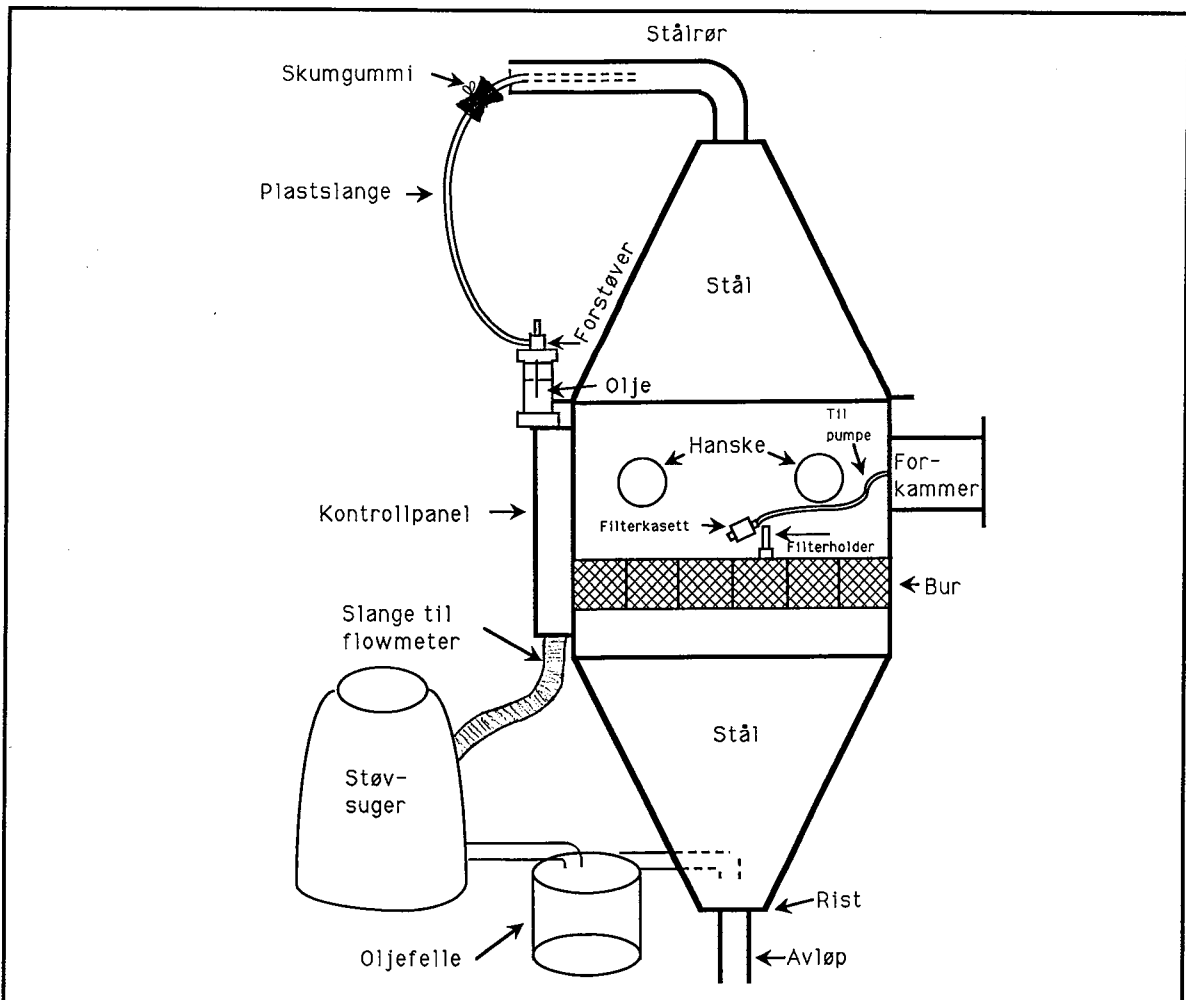
De samme to eksponeringskamrene ble benyttet som ved forsøkene i 1983 (1,2). De er bygget i rustfritt stål med store avtagbare glassvinduer og rommer ca. 1 m³. Luft ble suget gjennom kammeret ved hjelp av en støvsuger (utsug). En skisse av kammeret sett fra hanskesiden er vist i Figur 1.

Alle slanger, hansker etc. var laget av plast. Gummi ble unngått fordi oljene løser opp gummi.

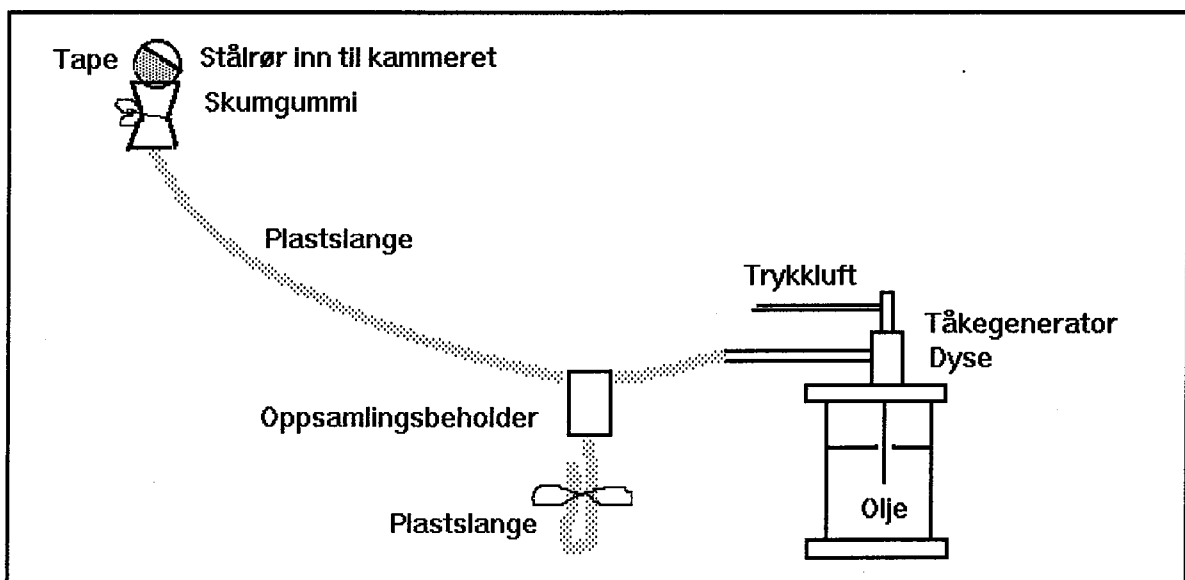
Det ble lagt en rist over sluket i bunnen av kammeret. Denne gjorde det enkelt å samle opp ting (f.eks. filterkassetter) som lett kunne mistes under arbeid i kammeret.

Under de innledende forsøkene ble ulike typer hansker til bruk i kammeret testet. De beste viste seg å være engangshansker av plast som ble skiftet hver dag. De ble holdt på plass med strikker.

Under hovedforsøkene ble kamrene spylt med vann hver kveld.



Figur 1. Eksponeringskammeret sett fra hanskesiden.



Figur 2. Oljebeholder med tilførselssystem til kammeret.

2.2.2. GENERERING AV OLJETÅKE

Oljetåke ble generert ved mekanisk forstøvning av oljen med trykkluft. Mengden av trykkluft ble regulert med et flowmeter. Luftstrømmen er avgjørende for hvor mye aerosol som genereres.

2.2.2.1. Trykkluft og trykkluftregulering

Trykkluftstrømmen ble regulert med en hovedkran og en fininnstillingsenhet kontrollert med et flowmeter.

En innstilling av hovedkranen på 2 bar ble funnet å være passende til generering av aerosol både i høy og lav konsentrasjon.

Fininnstillingen ble utført ved hjelp av en skrue. Relativ luftstrøm ble avlest fra en kules posisjon i et lite rotameter. Denne avlesningen er for upresis fordi skaleringen er svært dårlig, og bør forbedres ved et evt. senere forsøk. Selv meget små endringer i kulens posisjon gir vesentlige endringer i aerosolmengden. Det er derfor viktig at kulens posisjon kan bestemmes mer nøyaktig. Videre er det stor slark i skruen som regulerer kulens stilling.

Det ble funnet små mengder olje i trykkluften. Denne ble fjernet med et filter som ble satt inn i trykkluftsystemet før oljegenatoren. Filteret ble satt inn etter at hovedforsøkene med PXE var avsluttet.

2.2.2.2. Oljebeholder og dyse

Under hovedforsøkene med høy konsentrasjon av PXE ble dysen tett flere ganger. Dette skyldtes partikler i trykkluften som kom etter at det var foretatt reparasjoner i trykkluftsystemet like før hovedforsøkene startet. Under de innledende forsøkene var det ingen problemer med dysen. Når dysen er tett, stopper aerosolgenereringen opp, og konsentrasjonen i kammeret faller forholdsvis raskt (se forsøk beskrevet s. 19).

Under hovedforsøkene ble dysen blåst ren hver morgen før aerosolgenereringen ble satt i gang, men den kunne allikevel bli tett i løpet av dagen. Under forsøkene med høy aerosolkonsentrasjon av PXE ble kammeret inspisert hver time. Et rusk i dysen fører til mindre bevegelse i oljen i oljebeholderen, hvilket er lett å observere. Hvis dysen viste tegn til å bli tett, ble genereringen stanset og dysen renses. Dette tok ca. 10 min.

Da forsøkene med PXE var avsluttet, og et filter ble satt inn i trykkluften (se over, punkt 2.2.2.1.), var det ikke flere problemer med dysen.

Oljen i oljebeholderen ble hele tiden holdt på omtrent det samme nivået. I forsøkene med høye konsentrasjoner ble olje fylt på hver morgen.

2.2.3. AEROSOLTLIFØRSEL TIL KAMMERET

Fra oljetåkegeneratoren ble tåken ført via en plastslange og inn i kammeret. Det var nødvendig å ha en beholder på slangen til oppsamling av olje som rant tilbake mot generatoren, se Figur 2, s. 3.

Under forsøkene med høy aerosolkonsentrasjon ble oppsamlingsbeholderen tømt hver morgen før forsøkene startet.

Det er viktig at slangen faller mot oppsamlingsbeholderen på begge sider av denne slik at oljereservoarer ikke kan dannes i slangen og sperre for tåken.

Ved innførselen av slangen til stålrøret over kammeret ble slangen omgitt av skumgummi som ble skiftet hver kveld. Den hindret oljen i å renne nedover slangen på utsiden.

Hullet der slangen gikk inn i røret, se Figur 2, ble tettet nesten helt med tape. En spalte var åpen for å sikre nødvendig lufttilførsel til kammeret sammen med tåken. Det var ikke mulig å generere PXE aerosol i den høyeste konsentrasjonen uten å tette dette hullet delvis igjen. Tettingen medførte også at det kom mindre mengder oljetåke og damp ut i rommet enn det gjorde med hullet helt åpent. Slangens posisjon i røret forøvrig ble funnet å ha liten betydning. Den ble holdt slik at den stakk inn til ca. midten av stålrøret over kammeret (se Figur 1 og 2, s. 3).

2.2.4. UTSUG FRA KAMMERET

Det ble holdt et svakt undertrykk i kammeret. Dette undertrykket var slik at hanskene akkurat så vidt ble stående vannrett inne i kammeret. Det synes som om dette er en tilstrekkelig nøyaktig målemetode for utsuget, siden endringer i utsuget som er så små at det ikke kan sees på hanskene heller ikke endrer aerosolkonsentrasjonen vesentlig.

Utsuget ble besørget av en støvsuger. Under de innledende forsøkene var det problemer med støvsugerens holdbarhet fordi oljene ødela støvsugeren. Før hovedforsøket ble støvsugeren lakkert innvendig, og det ble lagt inn et filter mellom kammeret og støvsugeren. Dette filteret ble byttet etter behov.

Under hovedforsøkene var det ingen problemer med støvsugeren. Støvsugerne ble i denne perioden ikke slått av om natten fordi det var nødvendig med ventilasjon i kamrene for å tørke dem etter spylingen om kvelden.

2.3. UTSTYR FORØVRIG

For å oppnå like forhold for kontrolldyrene og de oljeeksponerte dyrene, ble kontrolldyrene om dagen plassert i det ene eksponeringskammeret under samme betingelser som de oljetåkeeksponerte dyrene, dvs. at støvsuger og trykkluft var stilt inn på samme måte som i eksponeringskammeret, men oljeholderen var

tom. Stålrøret der plastslangen går inn (se Figur 1 og 2, s. 3) var delvis tettet med tape på samme måte i begge kamrene.

For å unngå at kontrolldyrene ble utsatt for oljedamp fra pelsen til de eksponerte dyrene, ble de om natten plassert i et plasttelt som var montert på et sted i rommet der ventilasjonen var god. Forsøksdyrene sto på tilsvarende måte et annet sted i rommert, men uten plasttelt og slik at luften strømmet fra kontrolldyrene mot forsøksdyrene.

3. METODER

3.1. PRØVETAKING

Til måling av aerosolkonsentrasjonen ble det, som i 1983 (1,2), anvendt plastfilterkassetter uten støtteplate med både glassfiberfilter av typen GF/A 37 mm diameter og Millipore AAWP celluloseacetatfilter med diameter 37 mm og porestørrelse 0,8 μm . Under de innledende forsøkene ble gassvaskeflasker med tetrakloretylen forsøkt benyttet til måling av dampkonsentrasjonen. Denne metoden ble brukt i 1983 (1,2). Under hovedforsøkene ble dampkonsentrasjonen målt med kullrør koplet til filteret.

Pumpe og manifold er beskrevet i rapporten fra 1983 (1).

Luftstrømmen gjennom filtrene ble målt med et digitalt flowmeter med en avlesningsnøyaktighet på 0,01 l/min. Luftstrømmen ble holdt på ca. 1,2 l/min i alle forsøkene. Denne verdien ble anbefalt etter pilotforsøkene i 1983 (1).

Partikkelstørrelsesfordelingen ble målt med en Andersen impaktor som beskrevet tidligere (1). Impaktoren ble lånt fra Industriell Måleteknikk. For å få riktig separasjon av partiklene måtte luftstrømmen gjennom impaktoren være 28,5 l/min. Oljen ble samlet opp på glassfiberfiltre.

Tabell 1. Anvendte prøvetakingstider for ulike typer prøvetakingsutstyr.

Prøvetakingsutstyr	Måleobjekt	Kons.	Prøvetakingstid min.			
			Innledende forsøk		Hovedforsøk	
			PXE	T3570	PXE	T3570
Filter	Tåke	Lav	25-60	10-30	15-20 ^a	10-15
Filter	Tåke	Høy	5-60	1-30	5	4-5
Impinger ^b	Damp	Lav	40-60	15-30	-	-
Impinger ^b	Damp	Høy	30-60	5-30	-	-
Kullrør ^b	Damp	Lav	30	10-15	25-45 ^c	10-15
Kullrør ^b	Damp	Høy	-	2-30	25-45	4-5
Sierra imp.	Partikkelstørrelse	Lav	60	10-30	-	-
Sierra imp.	Partikkelstørrelse	Høy	5-15	5	-	-
Andersen imp.	Partikkelstørrelse	Lav	-	5-10	15	1
Andersen imp.	Partikkelstørrelse	Høy	-	1-5	1-1,75	1

^a For to målinger var prøvetakingstiden henholdsvis 40 og 60 min.

^b Med filter foran.

- Ikke målt.

^c For én måling var prøvetakingstiden 60 min.

Under de innledende forsøkene ble også en impaktor fra Sierra Instruments Inc., Model 298 benyttet. I denne impaktoren ble oljen samlet opp på substrater av typen 34 mm Mylar media, og luftstrømmen gjennom impaktoren ble holdt på ca. 1,2 l/min.

Under de innledende forsøkene med PXE ble det brukt ulike prøvetakingstider (se Tabell 1, forrige side).

Ved lav PXE-konsentrasjon inneholdt filtrene etter ca. 15 min. oppsamlingstid en passende mengde olje til analysen, mens 45 min. oppsamlingstid ga en passende mengde PXE i kullrøret.

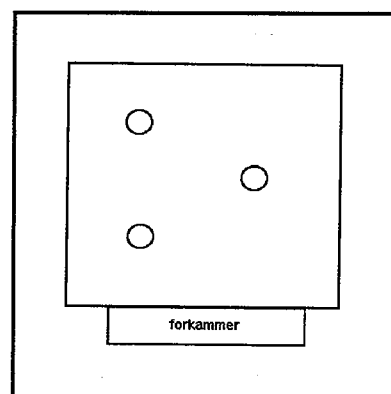
Ved høy PXE konsentrasjon var 5 min. en egnet prøvetakingstid for aerosolfasen. 45 min. som ville vært ønskelig for måling av dampfasen, ga svært mye olje på filtrene. Ca. 20 min. er den korteste prøvetakingstiden som kan benyttes til dampmålinger av PXE. Kortere tider gir for lite olje i kullrøret til analysen.

For T3570 ble 10 - 15 min. funnet å være en passende tid for oppsamling av både aerosol og dampfase ved lav konsentrasjon, mens ca. 5 min. var tilstrekkelig ved høy oljekonsentrasjon.

I hovedforsøkene med T3570 ble dampkonsentrasjonen målt med kullrør hver gang aerosolkonsentrasjonen ble målt. Med lav PXE aerosol konsentrasjon ble dampkonsentrasjonen målt med kullrør minst en gang daglig, mens det ved høy konsentrasjon bare ble tatt enkelte stikkprøver.

Under de innledende forsøkene ble det foretatt inntil 5 parallelle målinger. Med den oppstillingen av kammer og oljetåkegenereringsdel som er beskrevet, var konsentrasjonsvariasjonen i kammeret betydelig (se diskusjon s. 13). Under hovedforsøkene ble det vanligvis tatt 3 parallelle målinger, der filtrene var plassert som på Figur 3. Filtrene ble satt på spesielle holdere oppå rotteburene slik at hverken holdere eller slanger kom i kontakt med burene (se Figur 1, s. 3). Kassetten lå horisontalt med åpningen svakt hellende nedover ca. 10 cm over burene.

For at alle rottene skulle få tilnærmet samme oljeeksponering ble burene plassert på et nytt sted i kammeret hver dag slik at alle dyrene oppholdt seg like lenge i hver posisjon i kammeret.



Figur 3. Filtrenes plassering i eksponeringskammeret sett ovenfra.

3.2. ANALYSE

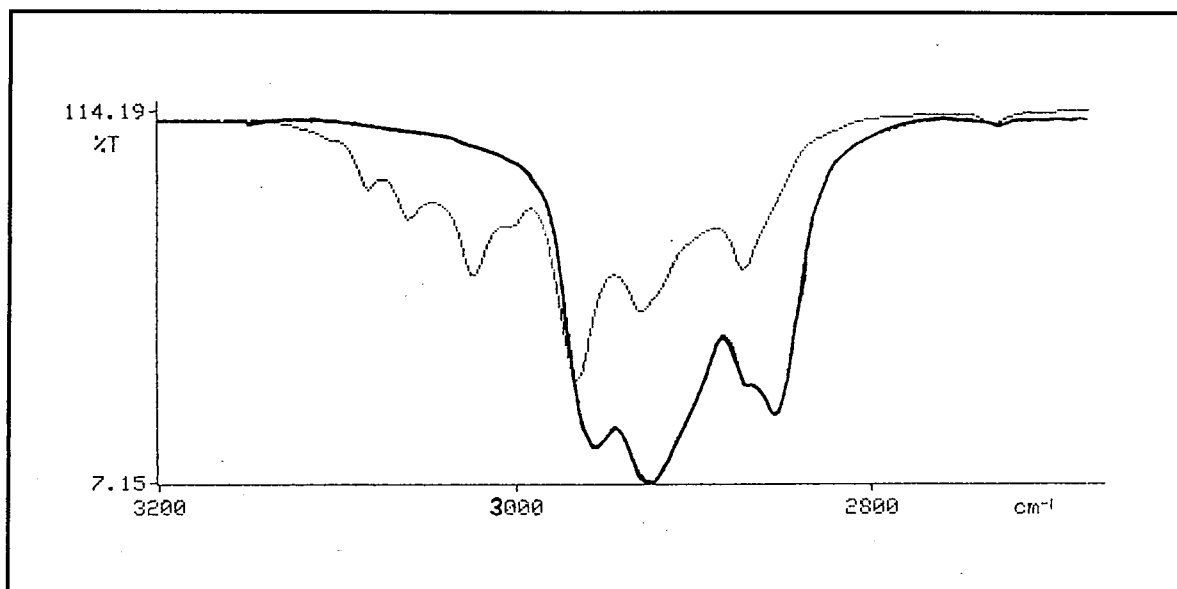
3.2.1. AEROSOL OG DAMP

Etter eksponering ble filtrene tatt ut av kassetten, plassert i 10 ml tetrakloretylen og behandlet i 10 min. med ultralyd. For å få en homogen løsning var det

nødvendig å riste glassene godt før løsningen ble overført til 10 cm lange kvartskvetter og analysert med IR spektroskopi.

Kullrørene ble behandlet på samme måte som filterne, men før analyse ble løsningene filtrert gjennom glassvatt for å fjerne kullet.

Spektrene ble registrert i området $3300 - 2600 \text{ cm}^{-1}$. Figur 4 viser spekteret av PXE og T3570 i dette området.



Figur 4. ---- IR spekter av PXE
 ___ IR spekter av T3570

PXE har betydelig svakere bånd enn T3570. For PXE ble transmisjonen lest av ved ca. $3080, 3060, 3030, 2970, 2930$ og 2870 cm^{-1} , mens for T3570 ble båndene ved ca. $2960, 2930$ og 2860 cm^{-1} benyttet.

Det ble laget standardkurver (løsningens konsentrasjon som funksjon av absorbansen ved et bestemt bølgetall). Flere parallelle fortynningsserier ble benyttet til konstruksjon av standardkurvene. Det ble laget en kurve for hvert av de aktuelle båndene (6 for PXE og 3 for T3570). Kurvene var lineære i det aktuelle konsentrasjonsområdet. Vinkelkoeffisient og skjæringspunkter med aksene ble beregnet med lineær regresjon for 25 målepunkter.

De samme standardkurvene ble benyttet til både aerosol og damp. For PXE er det rimelig å anta at både damp og aerosol har samme sammensetning som utgangsoljen. For T3570 vil de flyktigste komponentene være anrikt i dampen, mens aerosolen vil inneholde mindre av de flyktige komponentene. IR spektrene av dampen og aerosolen fra T3570 er forholdsvis like i spektralområdet $2600 - 3200 \text{ cm}^{-1}$. Dampen vil inneholde en høyere konsentrasjon av korte hydrokarbonkjeder, men også mindre av de tyngre tilsetningsstoffene. Både de korte hydrokarbonkjedene og tilsetningsstoffene bidrar mindre til IR absorbansen ved de bølgetallene der vi måler, enn de lange hydrokarbonkjedene. Senere forsøk (4) har vist at for mange mineraloljer vil utgangsoljen gi omtrent den samme

standardkurven som hydrokarbonkjeder med den lengden man vil forvente å finne i dampen.

Tidligere (1,2) har oljemengden på filtrene vært bestemt ved veiing av filtrene før og etter eksponering. Denne metoden ble ikke benyttet nå. Filtrene går lett i stykker når de tas ut av filterkassetten etter eksponering, og små biter har lett for å bli sittende igjen i kassetten. IR ble derfor antatt å være en nøyaktigere analysemetode.

3.2.2. PARTIKKELSTØRRELSSESFORDELING

Substratene og filtrene fra impaktorene ble veid før og etter eksponering. Etter veiing ble de behandlet på samme måte som filtrene brukt til aerosoloppsamling og analysert med IR. Det var god overensstemmelse mellom de to analysemetodene.

Filtrene benyttet i Andersen impaktoren er store og enkle å behandle. De egner seg derfor godt til veiing.

4. RESULTATER

4.1. INNLEDENDE FORSØK

Under de innledende forsøkene ble det først og fremst lagt vekt på å finne fram til den luftstrømmen inn til dysen og gjennom kammeret, som ga den ønskede konsentrasjonen av aerosol i eksponeringskammeret.

Det ble gjort flest innledende forsøk med PXE, og det er data for denne oljen som er vist i de fleste eksemplene.

Tabell 2 viser tidsplanen for de innledene forsøkene.

Tabell 2. Tidsplan for de innledende forsøkene 22/10-90 - 4/4-91 .

Tidsrom	Olje	Konsentrasjon
22/10 - 13/12	PXE	lav
19/12 - 6/3	PXE	høy
11/3 - 21/3	T3570	lav
22/3 - 4/4	T3570	høy

4.1.1. AEROSOLFASEN

Aerosolkonsentrasjonen varierte med forskjellige innstillinger av støvsuger og trykkluftstrøm, se f. eks. Tabell 3 (neste side) som viser data for PXE. Tilsvarende variasjoner ble også observert for T3570. Det synes som om denne oljen er noe lettere å forstøve, fordi den samme innstillingen av trykkluften og støvsugeren ga høyere aerosolkonsentrasjon av T3570 enn av PXE.

Tabell 3 viser også at små endringer i trykkluftstrømmen har stor betydning for aerosolkonsentrasjonen i kammeret.

Forsøkene fra 4/12 synes å vise at det ble generert mest aerosol når oljenivået i beholderen var forholdsvis lavt. Under hovedforsøkene ble oljenivået hele tiden holdt konstant, dvs. at olje ble fylt på hver morgen.

Større luftstrøm gjennom kammeret reduserer aerosolkonsentrasjonen. Da et filter ble plassert foran støvsugeren, ble luftstrømmen vesentlig redusert.

En sammenlikning av øverste og nederste del av Tabell 3, viser at aerosolkonsentrasjonen varierte mer inne i kammeret etter at røret over kammeret ble delvis tettet (se også Figur 1 og 2, s. 3). Slangen for aerosoltilførselen ble forsøkt plassert i ulike avstander inn i stålrøret uten at dette syntes å ha noen innvirkning på aerosolkonsentrasjonsvariasjonen i kammeret (dette er ikke vist i Tabell 3).

Tabell 3. Innledende forsøk med PXE i lav konsentrasjon. Aerosolkonsentrasjonens avhengighet av trykkluft og støvsuger.

Tabellen er delt i to, før og etter 28/2. I perioden etter 28/2 (tabellens nederste del) er et filter satt inn mellom eksponeringskammeret og støvsugeren, og røret med slange for aerosoltilførselen er delvis tettet med tape.

Dato	Oljestand i beholder	Relativ trykkluft innstilling	Støvsuger flowmeter % av fullt utslag	Konsentrasjon mg/m ³	
				min	max
27/11	høy	${}^3_2\Omega = 2,5^a$	80	96	104
28/11	↓ ^b	- "-	- "-	114	126
- "-	↓	- "-	- "-	112	115
- "-	↓	- "-	- "-	116	117
29/11	↓	- "-	- "-	115	125
3/12	↓	- "-	60	171	180
- "-	↓	- "-	70	140	159
- "-	↓	- "-	80	130	151
4/12	↓	2,49	72	114	121
- "-	lav	2,3	- "-	66	69
- "-	høy	- "-	- "-	48	53
6/12	høy	2,45	- "-	75	82
28/2	høy	${}^2_1\Omega = 1,5^a$	30	4	5
- "-	- "-	1,8	30	111	149
1/3	- "-	1,55	15	2	3
4/3	- "-	1,6	- "-	37	53
- "-	- "-	1,8	- "-	104	131
- "-	- "-	1,7	- "-	69	92
5/3	- "-	- "-	- "-	102	124
- "-	- "-	1,6	- "-	50	72
6/3	- "-	- "-	- "-	30	72

^a Kulens posisjon i flowmeteret, tallet angir posisjonen til kulens midtpunkt.

^b ↓, olje er ikke fylt på etter 27/11.

Konsentrasjonen varierte betydelig fra målepunkt til målepunkt i kammeret som vist i Tabell 4. Alle målingene i denne tabellen er tatt med innsugingsrøret delvis tettet, og med et filter foran støvsugerens.

De ulike måleposisjonene er vist i Figur 5.

Tabell 4. PXE aerosol - konsentrasjonsvariasjon i kammeret.

Dato	Tid ^a	Middelkons. ^b mg/m ³	I ^c % ^d	II %	III %	IV %	V %
12/2	0 min	264	-31	-39	42	9	19
12/2	5 min	713	33	-27	-24	27	-9
12/2	30 min	924	6	4	-13	6	-3
12/2	4 t	913	<1	-26	7	9	9
13/2	1 t	922	-1	-10	6	<1	5
13/2	6,5 t	860	13	-20	1	18	-12
14/2	1 t	978	3	-10	5	11	-8
14/2	6,5 t	673	-9	-6	8	14	-7

^a Tid fra oljegerereringen startet. Prøvetakingstiden er 5 min.

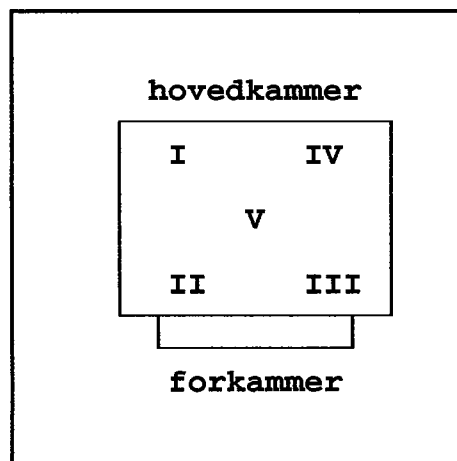
^b Aritmetisk middelværdi av konsentrasjonene målt i posisjon I - V i kammeret.

^c Måleposisjon i kammeret i henhold til Figur 5.

^d Avviket fra middelværdien er angitt i %.

Den laveste aerosolkonsentrasjonen ble hyppigst funnet i posisjon II, mens de høyeste ble registrert i posisjon III og IV.

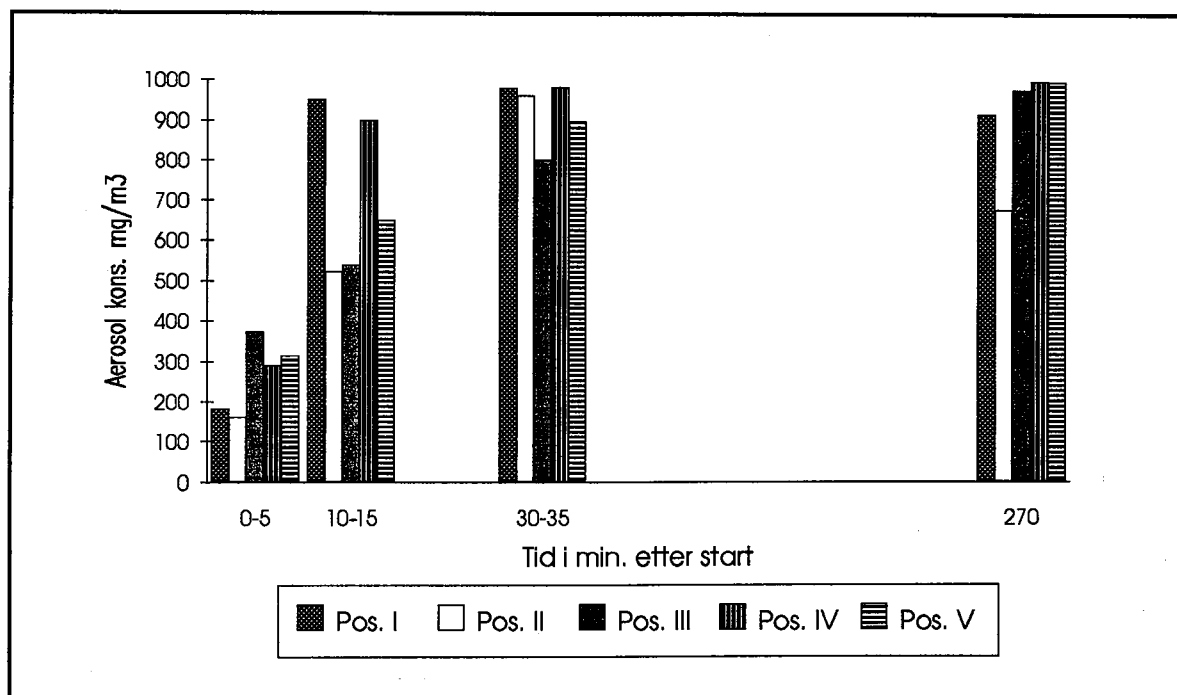
Figur 6 (neste side) viser hvordan aerosolkonsentrasjonen varierte i kammeret fra oljetåkegenereringen ble startet. Den første målingen er foretatt umiddelbart etter at oljetåkegenereringen ble satt igang. Alle målingene hadde en prøvetakingstid på 5 min. Allerede etter 5 min. var det en betydelig aerosolkonsentrasjon i kammeret. Visuelt ble det observert at tåken kom først til posisjon III, og sist til posisjon II. Tåken falt ned i kammeret i posisjon III med det samme genereringen startet. Etter 10 min. hadde aerosolkonsentrasjonen nådd maksimum i punkt I og IV, og etter en halv time hadde konsentrasjonen stabilisert seg i hele kammeret. I posisjon II var konsentrasjonen lav på slutten av dagen.



Figur 5. Målepunkter i kammeret sett ovenfra.

Ved evt. senere forsøk av denne typen, bør det arbeides mer med å få en jevn aerosolkonsentrasjon i hele kammeret. Det bør være mulig å tette innførselsrøret (se Figur 1 og 2, s. 3) på en slik måte at det ikke påvirker fordelingen av aerosol i kammeret.

Med en skjev tåkefordeling som i dette tilfellet, er det ved dyreforsøk nødvendig å flytte dyreburene systematisk rundt i kammeret hvis hvert enkelt dyr skal få omtrent den samme gjennomsnittseksposeringen.



Figur 6. PXE - aerosolkonsentrasjon i ulike posisjoner i kammeret i forhold til tid etter start.

4.1.2. DAMPFASEN

De innledende dampmålingene med PXE ble alle utført med impinger. Med denne metoden ble dampkonsentrasjonen målt til ca. 5 mg/m³ både ved høy og lav aerosolkonsentrasjon. Dette viser at luften i kammeret hele tiden var mettet med PXE damp.

Impingermålinger med og uten filter foran ble sammenliknet med filtermålinger uten impinger. I alle forsøkene der impinger ble benyttet uten filter foran, ble det registrert lavere PXE konsentrasjon i impingeren enn det som skulle forventes. Eksempler er vist i Tabell 5 (neste side).

Totalkonsentrasjonen av PXE (tåke og damp) målt med impinger uten filter foran, var i alle tilfellene lavere enn tåkekonsentrasjonen alene målt med filter (se Tabell 5). Oppsamlingen av PXE-partikler i impingeren må derfor være ufullstendig. Tilsvarende ble også funnet for T3570.

Tetrakloretylen ble benyttet som løsemiddel i impingeren. Dette er det løsemiddelet som er kjent og som i dette tilfellet egner seg best for analysere med

IR spektroskopi. Freon som kan benyttes ved analysen, er for flyktig til å kunne benyttes i impingeren.

Til tross for at tetrakloretylenen hadde Uvasol kvalitet, var det problemer med løsemiddelets renhetsgrad. Det var nødvendig å boble luft gjennom tetrakloretylenen før den kunne benyttes. Tetrakloretylen har forskjellig IR absorpsjon i det aktuelle spektralområdet før og etter gjennombobling av luft.

Tabell 5. Sammenlikning av oppsamling av PXE i impinger og på filter.

Dato	Posisjon i kammeret	Måleutstyr	Aerosol mg/m ³	Damp mg/m ³	Totalt mg/m ³
30/10	I	Impinger med filter	124	5	129
	II	Impinger uten filter	116		116
	III	Filter alene	124	>124	
	IV	Filter alene	128	>128	
	V	Impinger med filter	126	4	130
29/11	II	Impinger med filter	115	5	120
	IV	Impinger med filter	125	5	130
	V	Impinger uten filter	85		85
6/12	II	Impinger med filter	75	5	80
	III	Filter alene	82		>82
	IV	Impinger med filter	76	5	81
	V	Impinger uten filter	73		73

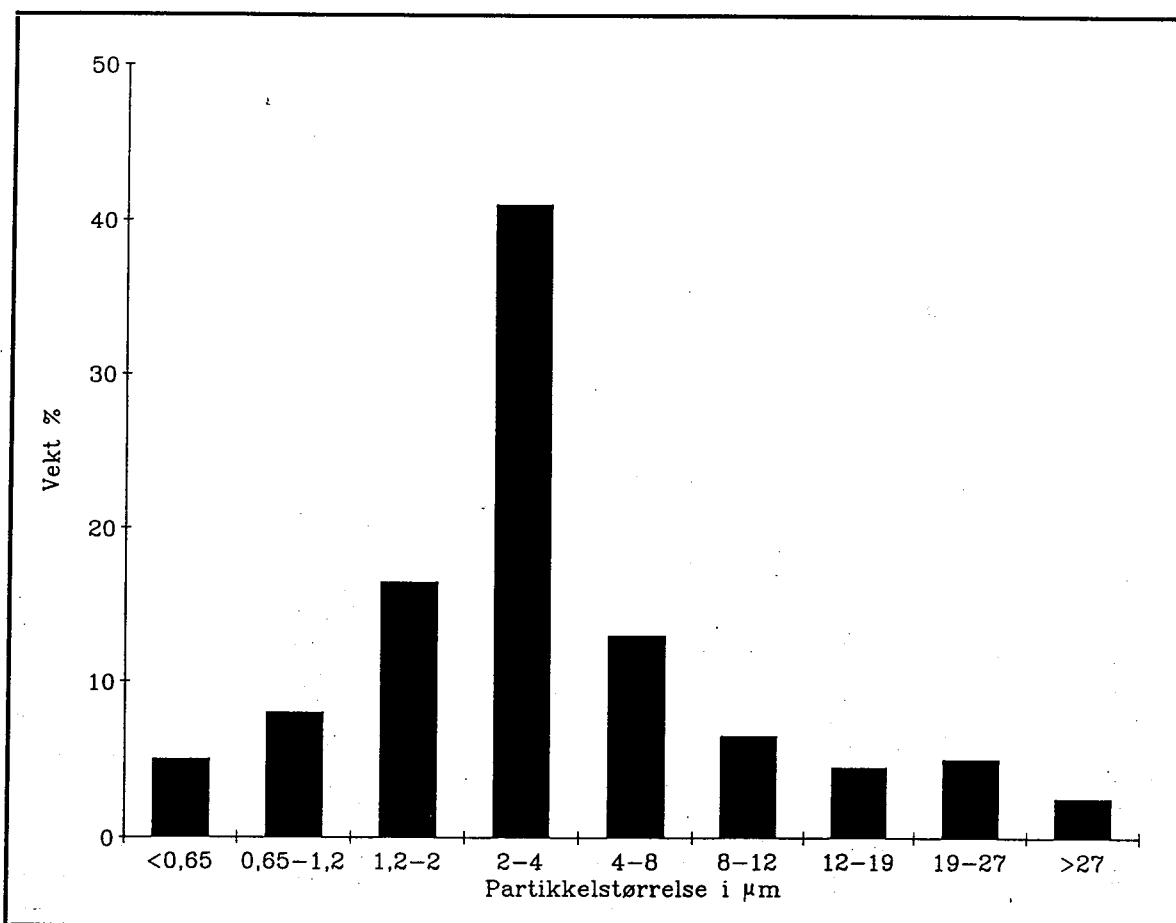
Det har tidligere (5) vært angitt at kullrør kan benyttes til oppsamling av dampfasen ved aerosol/dampblandinger av olje.

Et forsøk ble gjort med parallelle kullrør og impingermålinger for T3570. Både kullrøret og impingeren hadde filter foran. Den høyeste dampkonsentrasjonen ble målt med kullrøret. Det ble ikke funnet olje i kullrørets kontrolldel. Oppsamlingseffektiviteten av oljedamp synes derfor å være like god eller bedre for kullrør enn for impinger.

4.1.3. PARTIKKELSTØRRELSE

4.1.3.1. Sierra impaktor

Figur 7 (neste side) viser partikkelstørrelsesfordelingen av PXE aerosol. Resultatene er basert på veiing av substratene fra 5 parallelle målinger. Alle målingene basert på veiing gir nesten samme resultat. Med IR analyse finnes omtrent den samme fordelingen, se Tabell 6 (neste side).



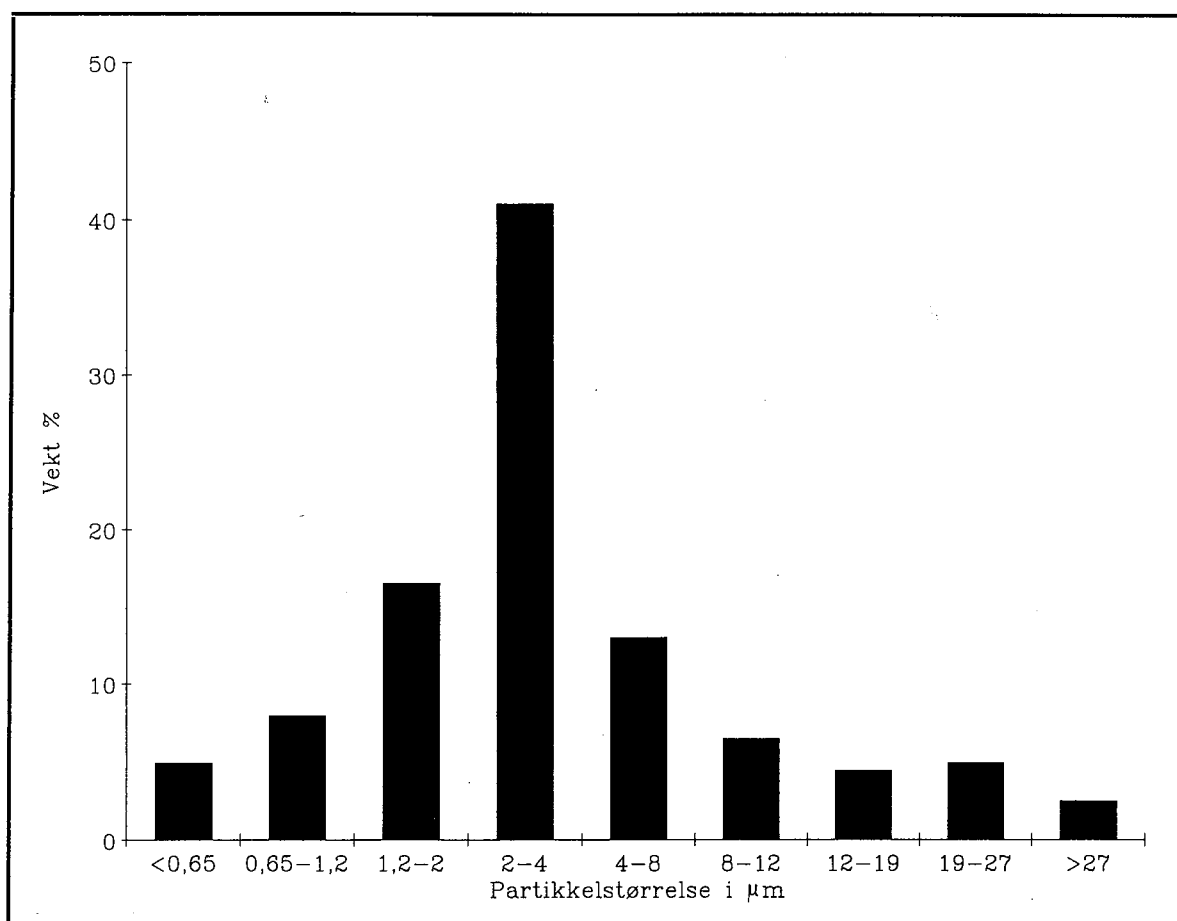
Figur 7. Partikkelmålinger med Sierra impaktoren av PXE aerosol i høy konsentrasjon. Vekt % på de ulike trinn.

Tabell 6. Sammenlikning av analysemetoder for partikkelstørrelsesmålinger med Sierra impaktoren. Resultatene er angitt som vekt % olje på de enkelte trinn.

Olje	Kons.	Analyse	<0,65 µm	0,65- 1,2µm	1,2- 2µm	2- 4µm	4- 8µm	8- 12µm	12 19µm	19- 27µm	>27 µm
PXE	høy	veiling	5	8	16,5	41	13	6,5	4,5	5	2,5
		IR	1	9	21	45	12	7	2	1	1
	lav	impaktor ^a	1	7	50	25	7	2	2,5 ^b	2,5 ^b	6
		veiling	8	6	12	43	12	5	5	4	5
		IR	7	6	20	41	17	5	2	1	1
T3570	høy	veiling	17	16	16	32	9	5	0	2	2
		IR	15	15	19	34	10	4	1	0	2
	lav	veiling	14	9	10	37	10	10	6	2	0,5
		IR	17	13	17	43	8	1	0,1	0	0

^a Impaktordelene (uten substrat) er desorbent i tetrakloretylen og analysert med IR spektroskopi.

^b Trinnene er slått sammen.



Figur 7. Partikkelmålinger med Sierra impaktoren av PXE aerosol i høy konsentrasjon. Vekt % på de ulike trinn.

Tabell 6. Sammenlikning av analysemetoder for partikkelstørrelsesmålinger med Sierra impaktoren. Resultatene er angitt som vekt % olje på de enkelte trinn.

Olje	Kons.	Analyse	<0,65 μm	0,65-1,2 μm	1,2-2 μm	2-4 μm	4-8 μm	8-12 μm	12-19 μm	19-27 μm	>27 μm
PXE	høy	veiling	5	8	16,5	41	13	6,5	4,5	5	2,5
		IR	1	9	21	45	12	7	2	1	1
	lav	impaktor ^a	1	7	50	25	7	2	2,5 ^b	2,5 ^b	6
		veiling	8	6	12	43	12	5	5	4	5
T3570	høy	IR	7	6	20	41	17	5	2	1	1
		veiling	17	16	16	32	9	5	0	2	2
	lav	IR	15	15	19	34	10	4	1	0	2
		veiling	14	9	10	37	10	10	6	2	0,5
		IR	17	13	17	43	8	1	0,1	0	0

^a Impaktordelene (uten substrat) er desorbert i tetrakloretylen og analysert med IR spektroskopi.

^b Trinnene er slått sammen.

Selv om alle målingene med Sierra impaktoren gir tilnærmet den samme partikkelfordelingen, er oppsamlingen av aerosol på substratene lite effektiv. I Tabell 7 er total mengde aerosol på substratene sammenliknet med aerosolmengden på et filter som var plassert like ved siden av impaktoren. I impaktoren gjenfinnes ca. 60 % av den mengden som ble funnet på filteret.

I to tilfelle ble de enkelte metalltrinnene i impaktoren lagt i tetrakloretylen etter eksponering. Løsningen ble deretter analysert med IR spektroskopi. Det meste av det som ikke ble samlet opp på substratene, ble funnet igjen på impaktorens metalleder (se Tabell 7). Tabell 6 viser at fordelingen av olje på de enkelte metalledene passer med fordelingen på substratene. Mest olje finnes på metalleden som ligger mellom substratet for partikler med størrelse 1,2 - 2 μm og 2 - 4 μm .

Tabell 7. Partikkelstørrelsesmålinger av PXE med Sierra impaktor. Sammenlikning med filtermålinger.

Filter måling Aerosol mg/m^3	Aerosolkons. beregnet som summen over alle impaktorens substrater mg/m^3	Olje på impaktorens metalleder mg/m^3	% aerosol oppsamlet på impaktor- substratene
1161	622	387	54
949	557	366	59
855	498	-	58
797	336	-	42
685	515	-	75
119	70	-	59

- Ikke målt.

Sierra impaktoren er ikke egnet for prøvetaking av så store aerosolmengder som forekommer under disse forsøkene.

4.1.3.2. Andersen impaktor

Glassfiberfiltrene fra Andersen impaktoren ble veid før og etter eksponering, og de ble også desorbent i tetrakloretylen og analysert med IR spektroskopi. I Tabell 8 (neste side) er de to analysemetodene sammenliknet. Begge analysemetodene ga samme partikkelstørrelsesfordeling. Det er også god overensstemmelse mellom målinger med filter ellers i kammeret og impaktormålingene (se Tabell 8) unntatt i ett enkelt tilfelle der IR metoden ga for lav totalkonsentrasjon.

Andersen impaktoren er godt egnet for store partikkelmengder. Denne impaktoren gir en litt annen inndeling av partikkelstørrelsen enn Sierra impaktoren.

Tabell 8. Partikkelstørrelsesmålinger av T3570 angitt i vekt % utført med Andersen impaktoren. Sammenlikning med filtermålinger.

Analyse metode	Filter ^a mg/m ³	Sum alle trinn ^b mg/m ³	Impaktorens trinn							
			<0,7 µm %	0,7- 1,1 µm %	1,1- 2,1 µm %	2,1- 3,3 µm %	3,3- 4,7 µm %	4,7- 5,8 µm %	5,8- 9,0 µm %	>9 µm %
veiling		104	0	2	15	26	23	14	15	4
IR	105	71	1	3	15	25	23	14	14	4
veiling		628	1	6	20	26	21	7	13	6
IR	623	629	1	6	20	26	21	7	13	6

^a Aerosolkonsentrasjonen i kammeret målt med filterkasett.

^b Aerosolkonsentrasjonen beregnet som summen over alle impaktorens trinn.

I Tabell 9 er Sierra impaktoren sammenliknet med Andersen impaktoren. Med begge impaktorene ble det funnet flest partikler i området 2 - 4,7 µm. Med Sierra impaktoren forskyves fordelingen noe mot små partikler sammenliknet med målinger med Andersen impaktoren.

Tabell 9. Sammenlikning av partikkelstørrelsesmålinger i vekt % med Andersen og Sierra impaktoren.

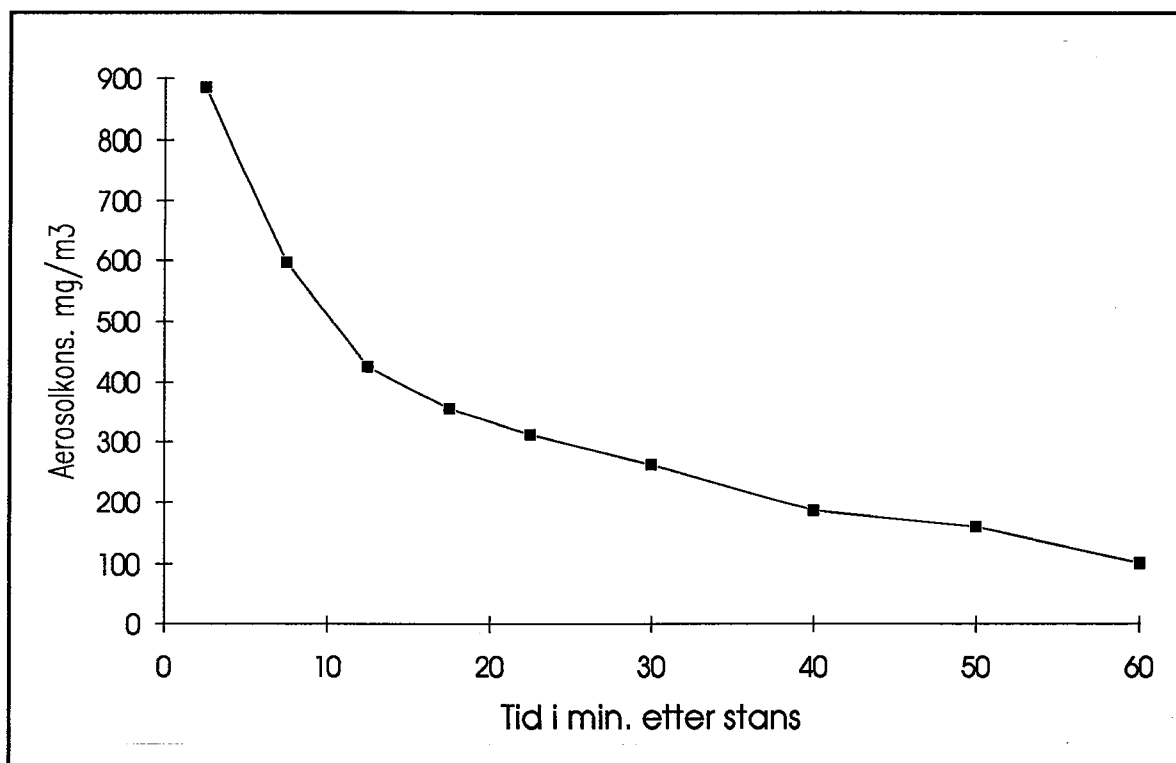
Impaktor	Olje	Kons.	<0,65 (<0,7) ^a µm	0,65-1,2 (0,7-1,2) µm	1,2-2 (1,1-2,1) µm	2-4 (2,1-4,7) µm	>4 (>4,7) µm
Sierra	PXE	høy	5	8	16	41	31
Andersen			1	1	9	61	28
Sierra	PXE	lav	14,5	5	11,5	48	21
Andersen			1	1	9	55	34
Sierra	T3570	høy	17	16	16	32	18
Andersen			1	7	23	46	23
Sierra	T3570	lav	14	9	10	37	30
Andersen			0,5	3	16	50	31

^a <0,65µm (<0,7µm) Det første tallet viser Sierra impaktorens inndeling. Tallet i parentes gjelder Andersen impaktoren.

Under hovedforsøkene ble bare Andersen impaktoren benyttet.

4.1.3.3. Partiklenes fallhastighet

Det ble gjort et overslag over partikkelstørrelsesfordelingen ved måling av partiklenes fallhastighet. Oljegerereringen ble stanset og luftstrømmen gjennom kammeret slått av. Aerosolkonsentrasjonen ble målt et bestemt sted i kammeret (ca. 1/2 m fra toppen) som en funksjon av tiden etter stans. Resultatene er vist i Figur 8.



Figur 8. PXE - aerosolkonsentrasjonen etter stans av oljegerereringen.

Hver prøvetaking i den første halvtimen tok 5 min, mens prøvetakingstiden for de siste 3 målingene var 10 min.

En fritt fallende partikkel i det partikkelstørrelsesområdet tåken inneholder, vil raskt anta en konstant fallhastighet. Ifølge Stokes lov er denne fallhastigheten for en kuleformet partikkel (6):

$$v = \frac{g \cdot \rho}{18\eta} \cdot D_p^2 = 0,003 \cdot D_p^2$$

der v = fallhastigheten i cm/sek., D_p = partikkeldiameteren, ρ = partikkelens tetthet = 1 g/cm³ for PXE, g = jordakselerasjonen = 9,8 m/s², η = luftens dynamiske viskositet = 181 μ poise.

Aerosolkonsentrasjonen i et punkt i kammeret er halvert når partikler med diameter $> D_{50}$ har sedimentert. D_{50} er diameteren som deler partikkelstørrelsesfordelingen i to på vektbasis.

Etter ca. 11 min. var konsentrasjonen i kammeret ca. 50 cm fra toppen halvert. I følge Stokes lov burde da tåken inneholde 50% partikler med størrelse over:

$$D_{50} = \left(\frac{v}{0,003} \right)^{1/2} = \left(\frac{50}{0,003 \cdot 60 \cdot 11} \right)^{1/2} = 5 \mu\text{m}$$

Forsøkene med Andersen impaktoren antyder en verdi for D_{50} på ca. 3 μm ved høy PXE konsentrasjon (se Figur 14, s. 29). Denne verdien er lavere enn det som ble funnet med fallforsøket, men med de usikkerheter som er forbundet med fallforsøket bl.a. med tidspunktfastsettelse, høydemåling og turbulens er det brukbar overensstemmelse mellom de ulike målemetodene.

4.2. HOVEDFORSØK

Hovedforsøkene var delt i fire perioder som vist i Tabell 10.

Tabell 10. Tidsplan for hovedforsøkene 15/4-91 - 21/6-91.

Tidsrom	Olje	Gjennomsnittlig aerosol konsentrasjon mg/m ³ (SD)
15/4 - 26/4	PXE	71 (21)
29/4 - 10/5	PXE	735 (84)
27/5 - 7/6	T3570	73 (12)
10/6 - 21/6	T3570	688 (96)

I alle periodene ble aerosolkonsentrasjonen målt med filter flere ganger om dagen. Dampkonsentrasjonen av PXE ble målt daglig med kullrør i den første perioden med lav konsentrasjon. Under alle forsøkene med PXE var luften mettet med PXE damp. Ved høy PXE eksponering er dampkonsentrasjonen ubetydelig sammenliknet med aerosolkonsentrasjonen. I den andre perioden med høy PXE eksponering ble det derfor ansett å være tilstrekkelig med enkelte kontrollmålinger av dampkonsentrasjonen. Dampkonsentrasjonen av T3570 ble målt flere ganger daglig i begge periodene.

I hver periode ble partikkelstørrelsesfordelingen målt to ganger med Andersen impaktoren. Det ble også i alle periodene foretatt flere målinger av luften i rommet om natten og i kammeret der kontrolldyrene var plassert om dagen.

4.2.1. AEROSOLFASEN

Figur 9-12 og Tabell 11-14 (s. 22-25) viser daglig middelkonsentrasjon av PXE og T3570.

Middelkonsentrasjonen i Tabell 11-14 er beregnet ut fra gjennomsnittskonsentrasjonene over de ulike tidsintervallene mellom hver måling i løpet av dagen. Etter at trykkluften var regulert tok det ca. 15 min. før konsentrasjonen i kammeret var stabil (se Figur 6, s. 14). Tabell 15 (s. 26) viser et eksempel på beregning av middelkonsentrasjonen den 18/4.

Det er relativt stor spredning på målinger foretatt samme dag. Tabell 16 (s. 26) og 17 (s. 27) viser dette i detalj.

De to første dagene, dvs. den 15/4 og 16/4 ble støvsugeren slått av etter endt eksponering ca. kl. 14³⁰. Deretter ble kamrene vasket med høytrykkspyler. Morgenen etter var det fremdeles svært fuktig i kamrene med mange vandrdåper på vegger og bur. Fra og med den 17/4 sto støvsugeren på hele tiden. Kamrene var da helt tørre om morgenen.

Vanndampproblemene kan ha vært årsak til den svært lave aerosolkonsentrasjonen av PXE som ble målt om morgenen den 17/4 (se Tabell 16, s. 26). Både trykkluften og støvsugeren var innstilt på det samme som dagen før da aerosolkonsentrasjonen var betydelig høyere. Trykkluften ble justert opp 2 ganger i løpet av den 17/4 før en akseptabel konsentrasjon ble oppnådd. Denne innstillingen ga imidlertid en altfor høy aerosolkonsentrasjon morgenen etter da kammeret var tørt fordi støvsugeren hadde stått på hele natten. Trykkluften måtte justeres ned for at konsentrasjonen igjen skulle bli som ønsket.

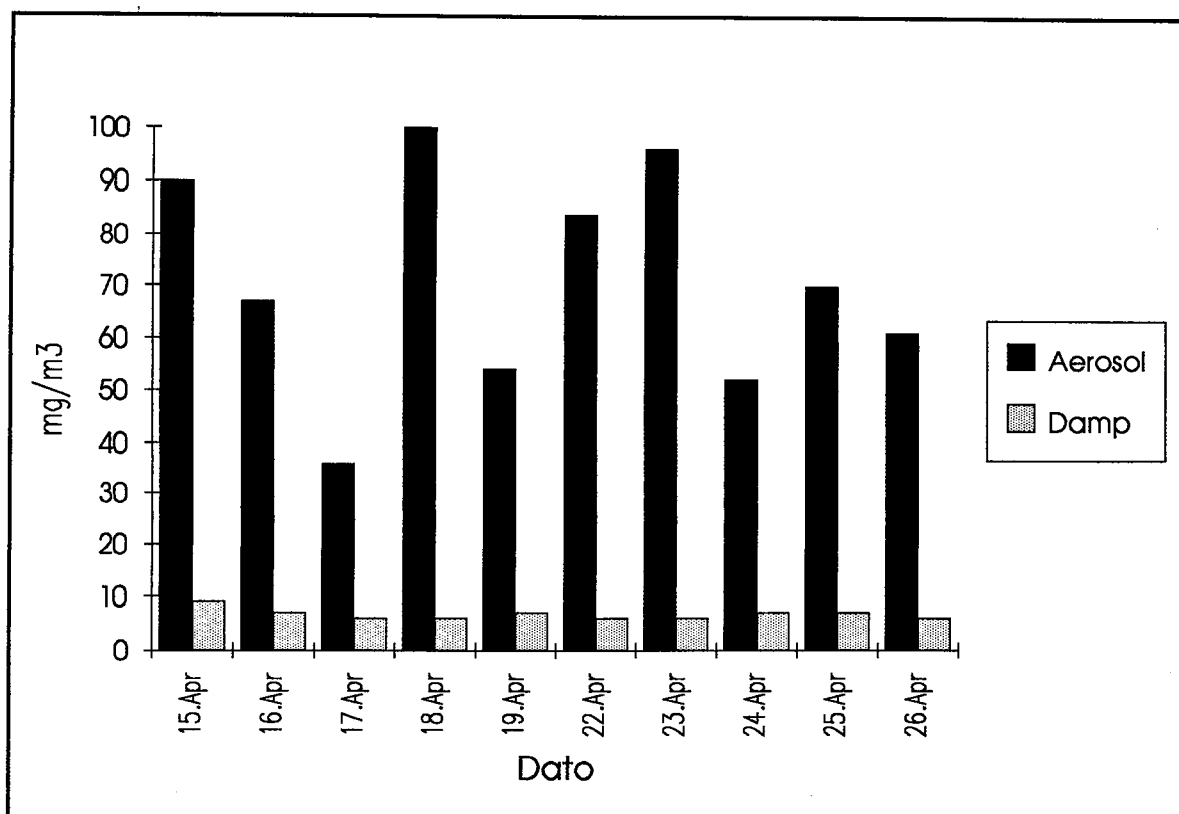
I resten av forsøksperioden med lav PXE eksponering var konsentrasjonsvariasjonene akseptable.

Figur 10 og Tabell 12, s. 23 viser middelkonsentrasjonen av PXE ved høy eksponering. I denne to-ukers perioden var det en del problemer med rusk i trykkluftdysen, slik at oljegenneringen stoppet helt eller delvis i kortere tidsrom. De laveste minimumsverdiene i Tabell 12 skyldes disse problemene. Kammeret ble inispisert hver time slik at dysen aldri var tett i lengre tid. Dysen ble også rensert rutinemessig hver morgen.

Før forsøkene med T3570 startet, var det satt inn et filter i trykklufttilførselen slik at rusk ble fjernet. Det var derfor ingen problemer med dysen under disse forsøkene.

Figur 11 og Tabell 13, s. 24 viser middelkonsentrasjonen av T3570 ved lav eksponering. Den 31/5 var aerosolkonsentrasjonen svært høy fordi støvsugeren var fylt med vann den dagen p.g.a. en vannlekkasje i rommet om natten. Støvsugerens sugeseffekt ble nedsatt og luftgjennomstrømningen i kammeret redusert.

Figur 12 og Tabell 14, s. 25 viser middelkonsentrasjonen av T3570 ved høy eksponering. Den 20/6 ble filteret foran støvsugeren skiftet. Det nye filteret var dobbelt så tykt som det gamle, og luftgjennomstrømningen i kammeret ble betydelig redusert. Aerosolkonsentrasjonen ble derfor for høy denne dagen.

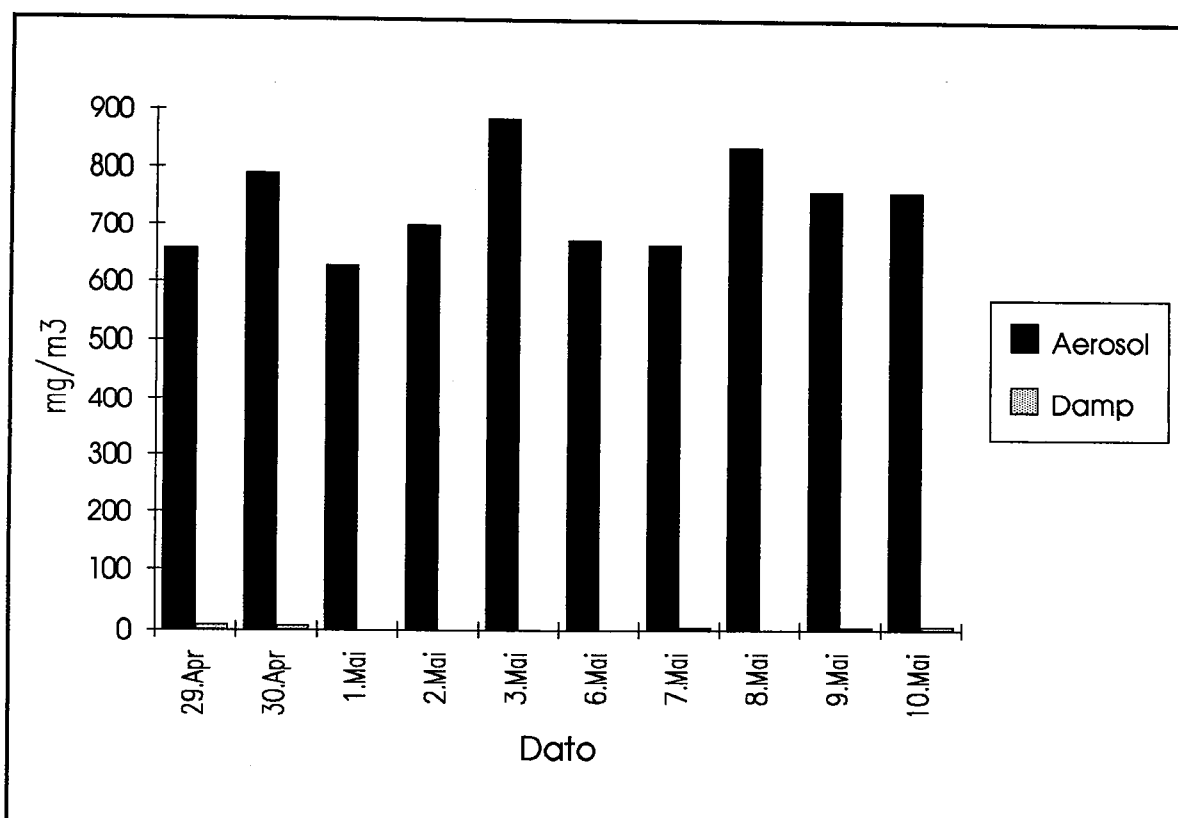


Figur 9. Daglig middelkonsentrasjon av PXE ved lav eksponering.

Tabell 11. Daglig middelkonsentrasjon av PXE ved lav eksponering.

Dato	Tid	Aerosol mg/m ³			Damp mg/m ³		
		middel (SD)	min	max	middel (SD)	min ^a	max ^a
15/4	5t 35m	90	62	115	9		
16/4	5t 50m	67	62	76	7	7	7
17/4	5t 43m	36	15	73	6	5	7
18/4	5t 50m	100	66	209	6		
19/4	5t 48m	54	42	75	7		
22/4	5t 45m	84	48	110	6		
23/4	5t 47m	96	85	129	6		
24/4	5t 50m	52	40	70	7		
25/4	5t 48m	70	48	101	7		
26/4	5t 47m	61	38	78	6	4	8
Hele forsøket	5t 46m	71 (21)	15	209	6,7 (0,9)	4	9

^a Laveste og høyeste måleverdi er angitt når det er foretatt mer enn én dampmåling.

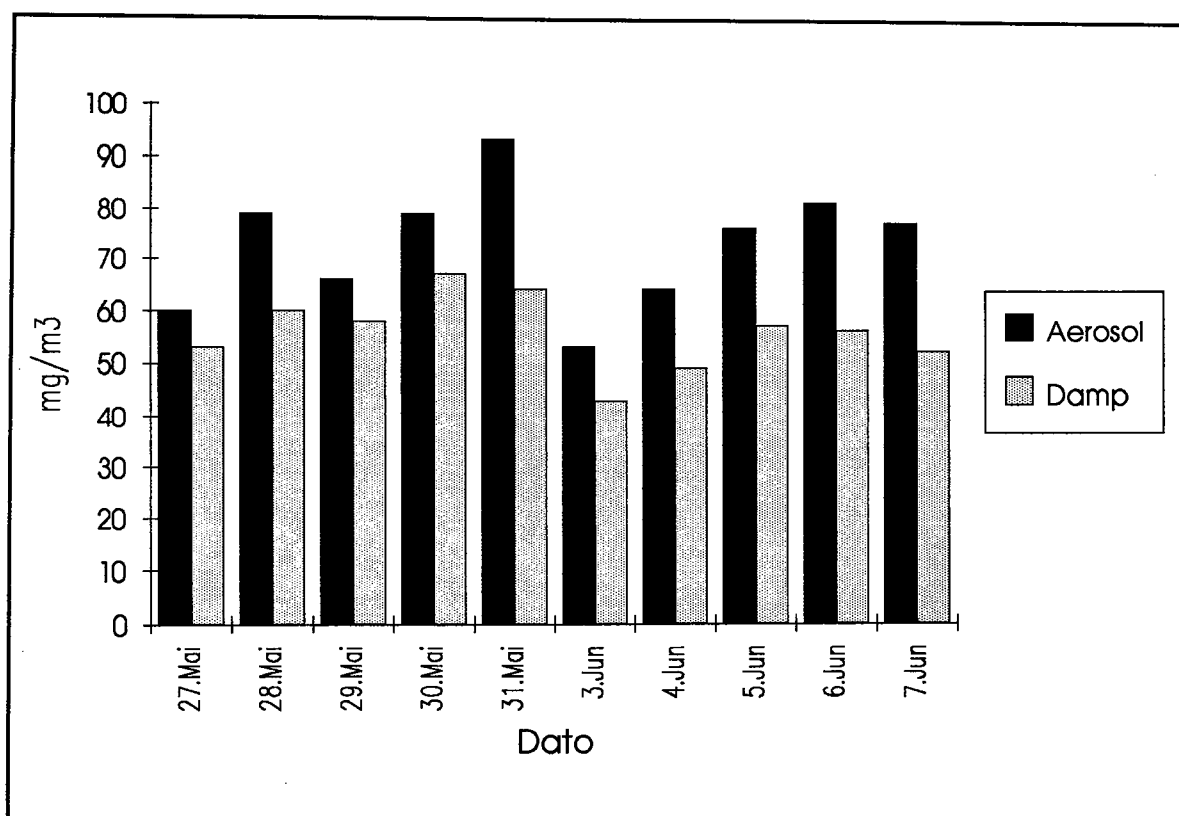


Figur 10. Daglig middelkonsentrasjon av PXE ved høy eksponering.

Tabell 12. Daglig middelkonsentrasjon av PXE ved høy eksponering.

Dato	Tid	Aerosol mg/m ³			Damp mg/m ³		
		middel (SD)	min	max	middel (SD)	min ^a	max ^a
29/4	5t 36m	657	327	923	9		
30/4	5t 45m	790	669	912	8		
1/5	5t 50m	628	499	1022			
2/5	5t 50m	699	355	1032			
3/5	5t 50m	884	791	976			
6/5	5t 50m	673	473	949			
7/5	5t 46m	665	488	759	4,5		
8/5	5t 33m	834	699	955			
9/5	5t 37m	762	609	840	4,3		
10/5	5t 48m	761	642	887	6,5	5	8
Hele forsøket	5t 45m	735 (84)	327	1032	6,5 (2)	4,3	9

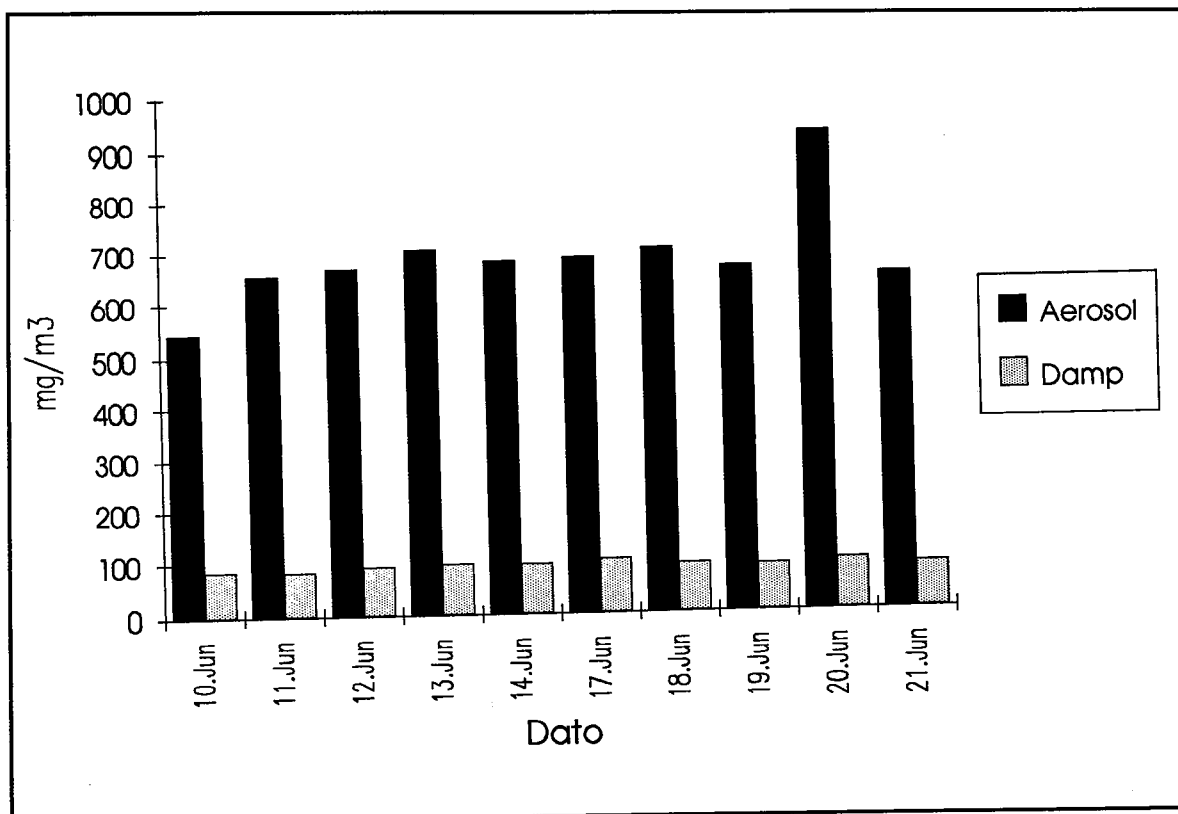
^a Laveste og høyeste måleverdi er angitt når det er foretatt mer enn én dampmåling.



Figur 11. Daglig middelkonsentrasjon av T3570 ved lav eksponering.

Tabell 13. Middelkonsentrasjonen av T3570 ved lav eksponering.

Dato	Tid	Aerosol mg/m ³			Damp mg/m ³		
		middel (SD)	min	max	middel (SD)	min	max
27/5	5t 50m	60	55	73	54	53	64
28/5	5t 45m	79	50	112	61	60	75
29/5	5t 47m	66	57	80	60	58	69
30/5	5t 52m	79	73	93	68	67	78
31/5	5t 48m	93	56	156	66	64	79
3/6	6t 00m	53	51	96	44	43	51
4/6	5t 46m	64	43	117	50	49	58
5/6	5t 52m	76	54	105	58	57	69
6/6	5t 47m	81	70	94	57	56	64
7/6	5t 48m	77	52	120	53	52	60
Hele forsøket	5t 50m	73 (12)	43	156	56 (7)	42	79



Figur 12. Daglig middelkonsentrasjon av T3570 ved høy eksponering.

Tabell 14. Middelkonsentrasjonen av T3570 ved høy eksponering.

Dato	Tid	Aerosol mg/m ³			Damp mg/m ³		
		middel (SD)	min	max	middel (SD)	min	max
	timer						
10/6	5t 46m	543	481	672	84	83	106
11/6	5t 40m	654	520	756	81	81	91
12/6	5t 50m	666	575	796	90	85	103
13/6	5t 43m	704	654	793	94	89	100
14/6	5t 47m	682	640	786	93	94	95
17/6	5t 45m	688	587	783	100	90	105
18/6	5t 45m	703	612	804	90	83	100
19/6	5t 50m	667	612	754	86	86	92
20/6	5t 48m	927	619	1209	94	89	102
21/6	5t 48m	649	582	746	85	87	87
Hele forsøket	5t 46m	688 (96)	481	1209	91 (6)	81	106

Tabell 15. Beregning av gjennomsnittlig aerosolkonsentrasjon 18/4.

Tidsrom	Tid (t) min	Kons. (c) mg/m ³	Kommentar
8 ³⁰ - 8 ⁴⁰	15	105	Middelkons. fra start til 1.måling
8 ⁴⁰ - 9 ³⁵	50	209	1. måling - justering av trykkluft
9 ³⁵ - 9 ⁴⁵	10	138	Middelkonsentrasjon før og etter trykkluft justering
9 ⁴⁵ - 10 ⁴⁵	60	66	2. måling - justering av trykkluft
10 ⁴⁵ - 10 ⁵⁵	10	72	Middelkonsentrasjon før og etter trykkluft justering
10 ⁵⁵ - 14 ²⁰	205	83	Gjennomsnitt av de to siste målingene

$$\text{Middelkonsentrasjonen} = \frac{\sum c \cdot t}{\sum t}$$

Tabell 16. Dagsvariasjon i aerosolkonsentrasjonen av PXE ved lav eksponering.

Dato	1. måling (mg/m ³)				2. måling (mg/m ³)			
	kl	middel	min	max	kl	middel	min	max
15/4	10 ³⁰	115	- ^a	-	14 ³⁰	67	62	73
16/4	9 ⁴⁵	68	62	72	13 ⁰⁰	72	67	76
17/4	9 ¹⁵	22	26	15	11 ³⁰	29	-	-
18/4	8 ⁵⁵	209	-	-	10 ⁰⁰	66	-	-
19/4	9 ⁰⁰	42	-	-	10 ³⁰	75	-	-
22/4	8 ⁵⁵	48	-	-	10 ¹⁰	110	-	-
23/4	8 ⁵⁵	87	85	88	13 ⁴⁵	108	94	129
24/4	9 ⁰⁰	48	40	56	10 ¹⁵	61	51	70
25/4	9 ⁰⁰	56	48	63	11 ¹⁵	81	66	95
26/4	9 ¹⁰	45	38	57	11 ⁰⁰	77	72	82

Dato	3. måling (mg/m ³)				4. måling (mg/m ³)			
	kl	middel	min	max	kl	middel	min	max
15/4								
16/4								
17/4	13 ⁰⁰	73	-	-	13 ⁵⁰	58	50	63
18/4	11 ⁰⁰	78	-	-	13 ⁴⁵	88	81	99
19/4	11 ³⁰	56	-	-	13 ³⁰	55	50	65
22/4	11 ¹⁵	73	59	86	13 ⁴⁵	89	76	105
23/4								
24/4	13 ⁰⁰	49	41	64				
25/4	13 ²⁵	82	75	101				
26/4	13 ³⁰	69	64	78				

^a Angir at det er foretatt kun én måling i én posisjon i kammeret

Tabell 17. Dagsvariasjon i aerosolkonsentrasjonen av T3570 ved lav eksponering.

Dato	1. måling (mg/m ³)				2. måling (mg/m ³)			
	kl	middel	min	max	kl	middel	min	max
27/5	9 ⁰⁰	58	55	64	13 ⁵⁵	66	61	73
28/5	9 ³⁵	56	50	65	13 ⁴⁵	101	88	112
29/5	9 ³⁵	72	65	80	13 ³⁵	61	57	64
30/5	9 ³⁰	77	73	84	13 ⁴⁵	85	79	93
31/5	9 ³⁵	137	123	156	13 ¹⁵	61	56	69
3/6	9 ¹⁸	75	58	96	13 ¹⁰	53	51	55
4/6	9 ³⁰	47	43	53	13 ¹⁰	82	63	117
5/6	9 ³⁵	59	54	64	13 ¹⁰	94	87	105
6/6	9 ³⁰	78	70	92	13 ¹⁵	87	78	94
7/6	9 ³⁰	98	85	120	13 ¹⁵	59	52	64

4.2.2. DAMPFASEN

Tabell 11 og 12, s. 22 og 23 viser at det var liten variasjon i dampkonsentrasjonen av PXE. Luften var hele tiden mettet med PXE damp, både ved lav og høy aerosolkonsentrasjon. Dampkonsentrasjonen var ubetydelig sammenliknet med aerosolkonsentrasjonen.

For T3570 var derimot dampkonsentrasjonen betydelig (ca. 76 % av aerosolkonsentrasjonen ved lav eksponering og 13 % ved høy) som det vises i Tabell 13 og 14 og i Figur 11 og 12, s. 24-25. Metningskonsentrasjonen av dampen fra T3570 ser ut til å være ca. 90 mg/m³ ved den aktuelle temperaturen. Ved lav eksponering av T3570 var luften i kammeret ikke mettet med damp.

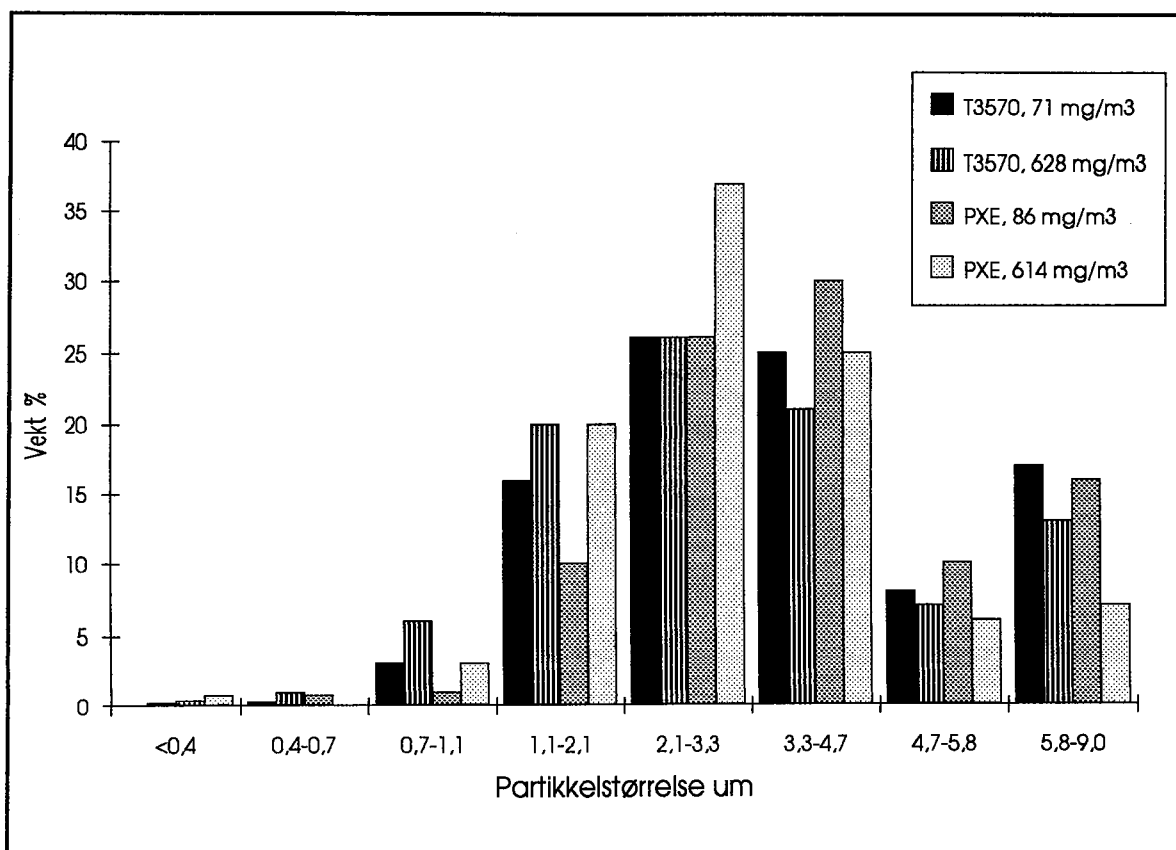
Ved lav T3570 konsentrasjon ble dampkonsentrasjonen målt i flere posisjoner parallelt flere ganger daglig. I motsetning til aerosolkonsentrasjonen varierte dampkonsentrasjonen lite fra målepunkt til målepunkt.

Ved høy aerosolkonsentrasjon ble dampkonsentrasjonen i de fleste tilfelle målt i bare én posisjon. Min og max verdiene i Tabell 14, s. 25 vil derfor representere målinger ved ulike tidspunkter på dagen.

4.2.3. PARTIKKELSTØRRELSE

Partikkelstørrelsesfordelingen ble målt to ganger i hver to-ukers periode. Måleresultatene er vist i Figur 13 og i Tabell 18 (neste side). Partikkelstørrelsesfordelingen er relativt uavhengig av oljetype og konsentrasjon. I alle målingene finnes flest partikler med partikkeldiameter 2,1 - 4,7 µm.

Sammenliknet med forsøkene i 1983, er fordelingen forskjøvet mot større partikler. I 1983 ble det funnet fler partikler med partikkeldiameter 0,7 - 1,1 µm og færre med 4,7 - 5,8 µm. Dette er vist i Figur 14, s. 29.

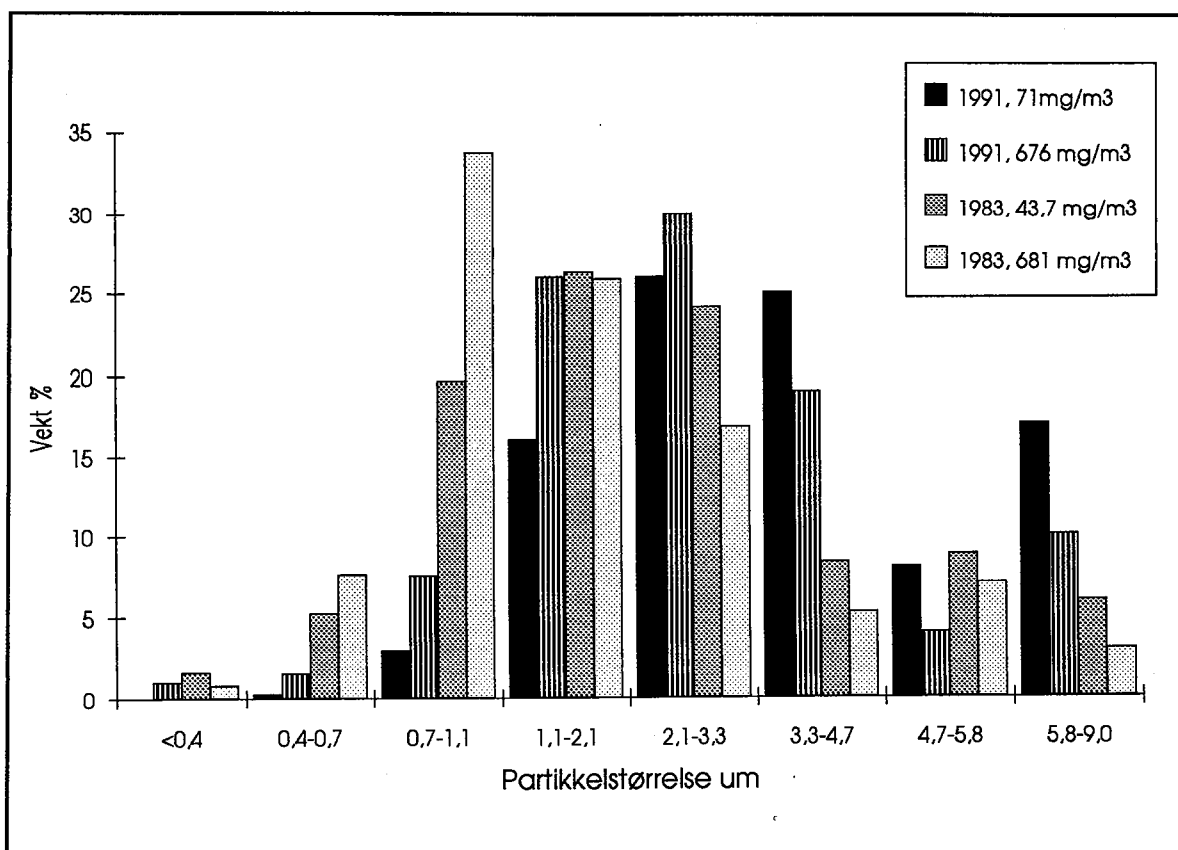


Figur 13. Partikkelstørrelsesfordelinger målt med Andersen impaktoren.

Tabell 18. Partikkelstørrelsesfordelinger i vekt % målt med Andersen impaktoren.

Olje	Partikkel-kons. ^a mg/m ³	<0,4 µm	0,4-0,7 µm	0,7-1,1 µm	1,1-2,1 µm	2,1-3,3 µm	3,3-4,7 µm	4,7-5,8 µm	5,8-9,0 µm
PXE	50	0,8	0,04	0,6	9	26	29	10	18
	86	0,4	0,8	1	10	26	30	10	16
	892	0,6	0,5	2	17	35	25	8	11
	614	0,8	0	3	20	37	25	6	7
T3570	104	0	0	2	15	26	23	14	15
	71	0	0,3	3	16	26	25	8	17
	628	0,2	1	6	20	26	21	7	13
	676	1	1,5	7,5	26	30	19	4	10

^a Partikkelkonsentrasjonen er beregnet ut fra summen av olje på de enkelte impaktortrinnene.



Figur 14. Partikkelstørrelsesfordelinger for T3570 målt i 1991 og for mineralolje 2 målt i 1983.

Forsøkene både med PXE og T3570 bekrefter observasjonen fra 1983 (1) om at andelen av små partikler i aerosolen øker når totalkonsentrasjonen av oljen øker. Dette sees også av massemedian diameterne, D_{50} verdiene, som er vist i Tabell 19 (s. 30). D_{50} er minst for de høyeste konsentrasjonene.

D_{50} verdiene i Tabell 19 er beregnet ut fra Figur 15 og 16, s. 30 og 31, der den relative kumulative vektfordelingen er plottet normalfordelt mot logaritmen til partikkelstørrelsen. Den relative kumulative partikkelstørrelsesfordelingen er gitt ved:

$$\sum_{i=j-1}^n \frac{w_i}{w_{tot}}$$

der n = antall trinn i impaktoren, w_j = aerosolkonsentrasjonen på hvert enkelt trinn, w_{tot} = total aerosolkonsentrasjon beregnet som summen av konsentrasjonene på de enkelte trinn.

Det geometriske standardavviket er også vist i Tabell 19. Dette er gitt ved (7):

$$\sigma_g = \frac{D_{50}}{D_{16}}$$

der 16 vekt% av partiklene har diameter $< D_{16}$.

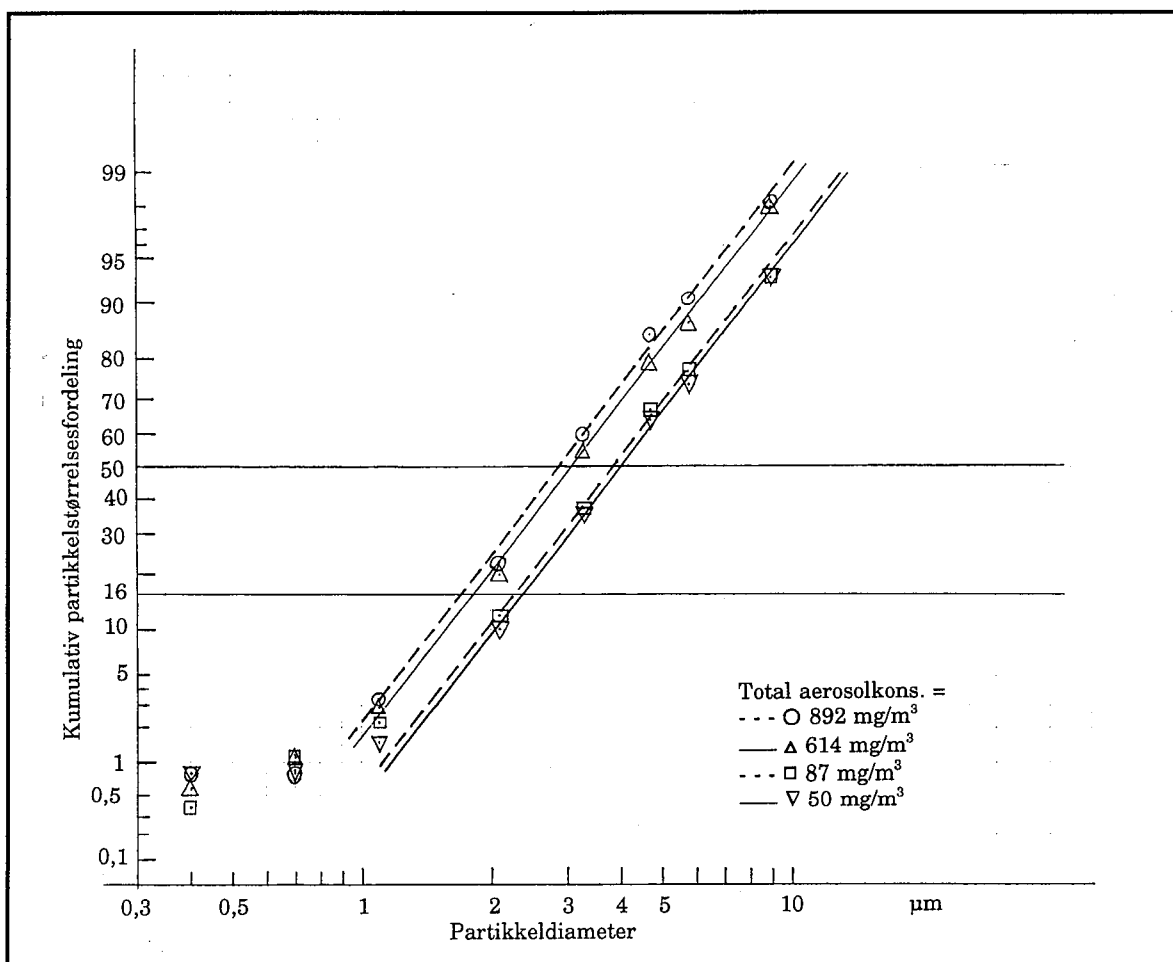
Tabell 19. Beregnede D_{50} verdier for PXE og T3570 i ulike konsentrasjoner.

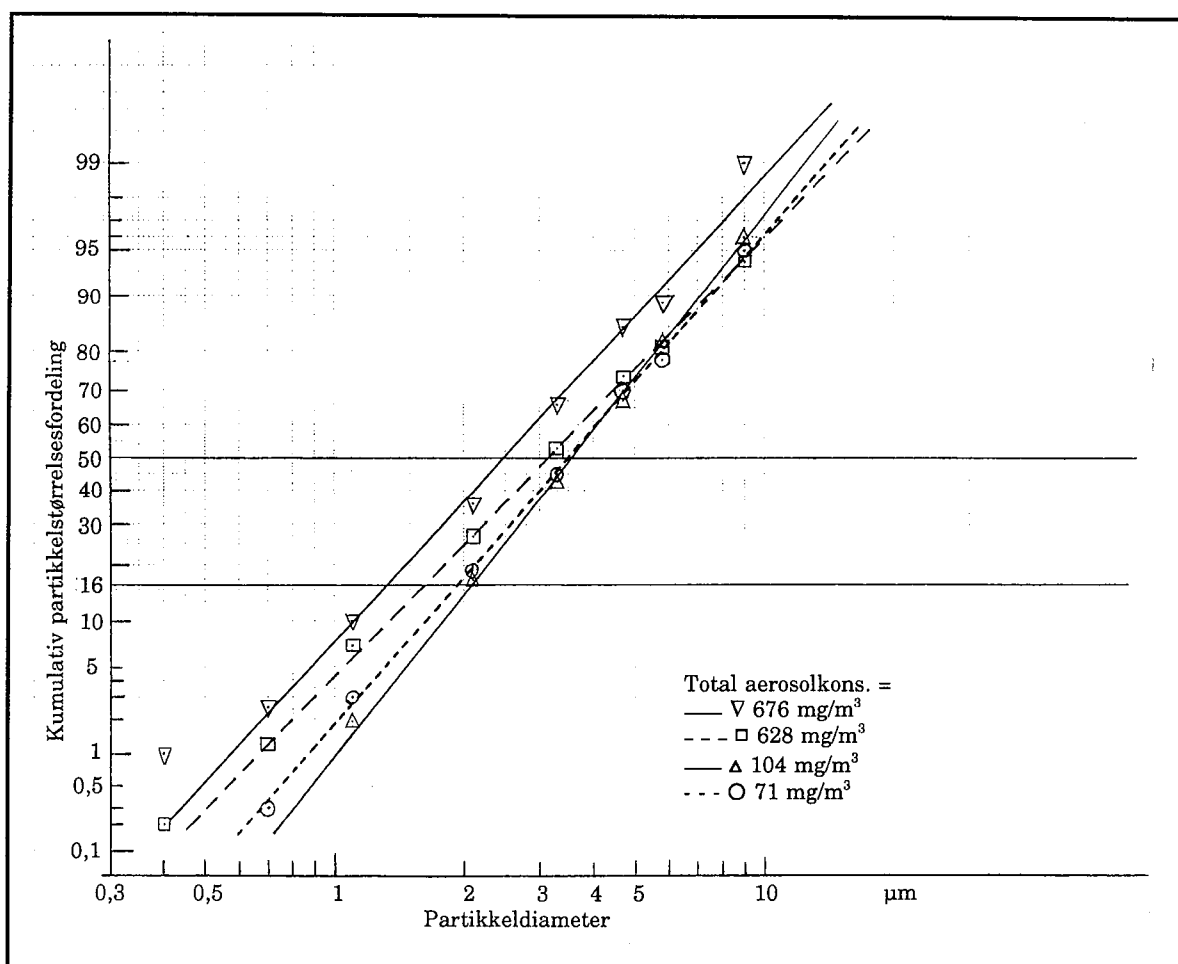
Olje	Aerosolkonsentrasjon ^a (mg/m ³)	D_{50} ^b (µm)	σ_g ^c
PXE	892	2,9	1,7
	614	3,1	1,7
	87	3,9	1,7
	50	4,0	1,7
T3570	676	2,5	1,9
	628	3,1	1,9
	104	3,6	1,7
	71	3,5	1,8

^a Aerosolkonsentrasjonen er beregnet ut fra summen av olje på de enkelte impaktortrinnene.

^b D_{50} er den partikkeldiameteren som deler partikkelstørrelsesfordelingen i to på vektbasis.

^c σ_g er geometrisk standardavvik.

**Figur 15.** Beregning av D_{50} og σ_g for PXE i ulike konsentrasjoner.



Figur 16. Beregning av D_{50} og σ_g for T3570 i ulike konsentrasjoner.

For PXE er σ_g uavhengig av konsentrasjonen. Alle målingene gir samme verdi. Verdien er forholdsvis lav, 1,7, dvs. at vi har en relativt smal fordeling. Denne fordelingen er normal for aerosoler som er forstøvet fra væske med trykkluft (8). De to laveste D_p verdiene faller utenfor linjen. I forhold til en log-normal fordeling av partikkelstørrelsen, er det fler partikler med diameter $< 0,7 \mu\text{m}$, men det er få partikler i dette størrelsesområdet.

For T3570 faller også de laveste D_p verdiene rimelig godt inn på linjen. Linjene er ikke parallelle, men σ_g verdiene avviker ikke mye fra σ_g for PXE.

4.2.4. KONTROLLMÅLINGER I ROMMET OG I REFERANSEKAMMERET

I Tabell 20 vises en oversikt over kontrollmålinger i rommet om natten og i referansekammeret om dagen. Det ble ikke i noen målinger funnet aerosol, og det sees av tabellen at også dampkonsentrasjonen var ubetydelig.

Romkonsentrasjonene svarer til en middelkonsentrasjon for hele natten. Målingen ble startet i det øyeblikk oljetåkegenereringen stanset og avsluttet før genereringen startet igjen neste morgen.

Tabell 20. Kontrollmålinger i rommet om natten og i referansekammeret om dagen.

Olje	I rommet			I kontrollkammeret		
	Antall målinger	Aerosol mg/m ³	Damp mg/m ³	Antall målinger	Aerosol mg/m ³	Damp mg/m ³
PXE (lav kons.)	4	<0,01	<0,2	4	<0,04	<0,1
PXE (høy kons.)	4	<0,01	<0,25	3	<0,04	<0,1
T3570 (lav kons.)	3	<0,005	<0,4	2	<0,02	<0,6
T3570 (høy kons.)	3	<0,005	<0,8	3	<0,02	<1,5

5. OPPSUMMERING

Til tross for endel eksperimentelle vanskeligheter, ble rottene i gjennomsnitt utsatt for de oljetåkekonsentrasjonene som det i utgangspunktet var ønsket, se Tabell 21.

Ved å rotere rotteburene i kammeret fikk alle dyrene sannsynligvis også tilnærmet den samme totaleksponeringen i hver toukers periode.

Partikkelstørrelsesfordelingen var akseptabel. På vektbasis har mer enn 50% av partiklene diameter $\leq 4 \mu\text{m}$. Størrelsesfordelingen forskyver seg mot mindre partikler når aerosolkonsentrasjonen øker. T3570 har høyere vektprosent små partikler enn PXE.

Tabell 21. Målte og ønskede gjennomsnittskonsentrasjoner av PXE og T3570 i dette forsøket og av mineralolje 2 i 1983.

Olje	Aerosolkonsentrasjon mg/m^3		Gjennomsnittlig dampkonsen- trasjon (SE) mg/m^3	Partikkel- diameter μm Massemedian
	Ønsket	Målt middel (SE)		
PXE	70	71 (5)	6,7 (0,3)	4,0
	700	735 (27)	6,5 (0,9)	3,0
T3570, 1991	70	73 (4)	57 (2)	3,5
	700	688 (31)	91 (2)	2,8
Mineralolje 2, 1983	70	79 (2)	47 (4)	1,9
	700	692 (15)	79 (6)	1,6

Dag til dag variasjonene i aerosolkonsentrasjonen var større enn forventet og betydelig større enn i 1983. I tillegg til enkelte spesielle problemer som rusk i trykkluften og dårlig utsug fra kammeret, skyldes den store variasjonen problemer med å få en jevn aerosolkonsentrasjon i hele kammeret. Disse problemene oppsto da innsugningsrøret over kammeret (se Figur 1 og 2, s. 3) ble delvis tettet. Ved eventuelt senere forsøk av denne typen bør det arbeides med å tette dette røret på en slik måte at det ikke påvirker fordelingen av aerosol i kammeret i vesentlig grad.

Tettingen var nødvendig for å oppnå en tilstrekkelig høy aerosolkonsentrasjon av PXE i kammeret, og den fører også til at det kommer mindre aerosol og damp ut i rommet. Alle målinger som ble foretatt i rommet og i referensekammeret viste neglisjerbare dampkonsentrasjoner og ingen aerosol. I forsøket i 1983 ble det funnet olje også i kontrolldyrene (2). Det er ikke rapportert målinger i rommet fra dette forsøket.

Ved senere forsøk bør trykkluftjusteringen forbedres vesentlig, slik at trykkluftstrømmen inn til dysen kan reguleres presist. Det må kunne skilles

mellom mindre variasjoner i luftstrømmen enn det som var mulig under dette forsøket.

Følgende anbefalinger gis for senere forsøk:

- Trykkluften bør gå gjennom et filter før den kommer inn til dysen i oljegenatoren.
- Det er nødvendig å ha et filter foran støvsugeren.
- Olje som renner tilbake i slangen fra kammeret til oljegenatoren, må samles opp både på utsiden og innsiden av slangen.
- Støvsugerne må stå på også om natten hvis kamrene blir vasket om kvelden.

Til måling av oljeeksponeringen anbefales følgende utstyr:

- Aerosolfasen samles opp på filter (glassfiber + celluloseacetat) og analyseres ved hjelp av IR spektroskopi. Tetrakloretylen benyttes som løsemiddel.
- Dampfasen samles opp i kullrør koplet direkte etter filtrene og analyseres på samme måte som filtrene.
- Partikkelstørrelsesmålinger utføres med en Andersen impaktor med glassfiberfiltre som veies før og etter eksponering.

6. REFERANSER

1. Pedersen J. R., Gylseth B., Skyberg K., Generering, prøvetagning og analyse av oljetåke og damp fra isoleroljer, rapport HD 893/84.
2. Skyberg K., Skaug V., Gylseth B., Pedersen J. R., Iversen O. H., Subacute Inhalation Toxicity of Mineral Oils, C₁₅-C₂₀ Alkylbenzenes, and Polybutene in male rats, Environ Res. 53,48 (1990).
3. Skaug V. et al, Skadevirkninger etter innånding av oljetåke og damp fra PXE og mineralolje A, utkast til HD rapport (1993).
4. Brendeford M., Woldbæk T., Metodeutvikling av prøvetaking og analyse av oljetåke og oljedamp, uavsluttet prosjekt.
5. Malvik B. Børresen E., Målemetoder for oljetåke/damp, SINTEF rapport STF21 F88028.
6. Krantz S., Ekström T., Christensson B., Mätning av damm, rök och dimma i arbetsmiljön, Utbildningsrapport 1979:6, Arbetarskyddsstyrelsen.
7. Series 290 Marple Personal Impactors, Instruction Manual, Bulletin No. 290I.M-3-82.
8. Raabe O. G. i Liu B. Y. H. , Fine Particles, s. 74 (1976) fra Symposium of Fine Particles, Minneapolis, 1975.