

STATENS FORSKNINGSSENTER FOR ARBEIDSMEDISIN OG YRKESHYGIENE

Postadresse: P.b. 8149 Dep. 0033 Oslo 1 - Kontoradresse: Gydas vei 8 - Tlf. 02-46 68 50 - Bankgiro 0629.05.81247 - Postgiro 2 00 02 14

Tittel: **AEROSOLER I ARBEIDSATMOSFÆRE**

STØV, RØYK OG TÅKE

Forfatter(e): **Jørgen Jahr**

Prosjektansvarlig:

Prosjektmedarbeidere:

Utgiver (institutt):

Dato: 28 12 87

Antall sider: 33

ISSN: 0801-7794

Serie:

HD 971/87 FOU

Sammendrag:

Heftet gir en oversikt over støv, røyk og tåke i arbeidsatmosfære, hva som skjer med partikler som inhaleres og hvordan de kan måles i luft. Det er gitt 27 definisjoner av begrep som er brukt og 94 litteraturreferanser.

Stikkord:

Aerosoler, støv, røyk,
tåke.

Key words:

Aerosols, dust, smoke
mist, fume.

STATENS FORSKNINGSSENTER FOR ARBEIDSMEDISIN OG YRKESHYGIENE

Postadresse: P.b. 8149 Dep. 0033 Oslo 1 - Kontoradresse: Gydas vei 8 - Tlf. 02-46 68 50 - Bankgiro 0629.05.81247 - Postgiro 2 00 02 14

Tittel: **AEROSOLER I ARBEIDSATMOSFÆRE**

STØV, RØYK OG TÅKE

Forfatter(e): **Jørgen Jahr**

Prosjektansvarlig:

Prosjektmedarbeidere:

Utgiver (institutt):

Dato: 28 12 87

Antall sider: 33

ISSN: 0801-7794

Serie:

HD 971/87 FOU

Sammendrag:

Heftet gir en oversikt over støv, røyk og tåke i arbeidsatmosfære, hva som skjer med partikler som inhaleres og hvordan de kan måles i luft. Det er gitt 27 definisjoner av begrep som er brukt og 94 litteraturreferanser.

Stikkord:

Aerosoler, støv, røyk,
tåke.

Key words:

Aerosols, dust, smoke
mist, fume.

AEROSOLER I ARBEIDSATMOSFÆRE

1 INNLEDNING

Hensikten med heftet er å gi en oversikt over aerosoler og hvilke metoder som for tiden er best egnet til å måle og karakterisere dem ut fra deres egenskaper og hva som skjer med dem i kroppen. Endel viktige begrep er definert og betydningen av noen forkortelser gitt. Prøvetagningsstrategi, beregningsmetoder og metoder for å redusere eksponeringen er behandlet annetsteds. Henvisninger til disse, samt til prøvetagnings- og analysemetoder finnes i de enkelte avsnitt. Den helsemessige virkning er bare omtalt for spesielle aerosoler.

2 DEFINISJONER AV BEGREP SLIK DE BRUKES I TEKSTEN

Aerodynamisk diameter for en partikkel er diameteren av en kule som i luft synker like hurtig som partiklen når kulen har densitet 1 g/cm^3 .

Aerosoler. Luftbårne partikler av fast stoff og/eller væske (støv, røyk og tåke).

Densitet. Masse per volumenhet, oftest i g/cm^3 .

Dose-respons er sammenhengen mellom en påvirkning i forskjellige grader og de tilhørende effekter for en stor gruppe personer.

Ekvivalentdiameteren for en partikkel er diameteren til en kule som i et fluidum (gass eller væske, oftest vann) synker like hurtig som partiklen når kulen har samme densitet som partiklen.

Fiber. Fast partikkel hvor forholdet lengde til tykkelse er $\geq 3 : 1$.

Gravimetrisk. Relatert til vekt eller bestemt ved veiing.

Innåndingssone. Et område mellom ansiktet og et kuleskall med radius 170 mm og med tenkt sentrum mitt mellom ørene. (ISO har foreslått en litt annen definisjon med radius 300 mm. Det gir et for stort område.)

Inspirabel aerosol. Alle partikler som kan innåndes. En omforent, presis definisjon mangler foreløpig.

Inspirabelt støv. Se inspirabel aerosol.

Isokinetisk. Med samme hastighet og retning.

Personbåret brukes her om utstyr som uten vesentlig sjenanse kan henge på en person mens vedkommende arbeider.

Personlig prøvetager er prøvetagningsutstyr som kan være personbåret.

Pneumokoniose. Lungesykdom forårsaket av støvtyper som krystallinsk silika (silikose), asbest (asbestose), kullstøv (anthrakose) og andre. Gir tungpustethet, dødelig i ekstreme tilfelle.

Prøvetagningsstrategi er et system som sammen med minst én prøvetagingsplan (hvor, når og hvordan prøver skal tas) gir representative prøver for eksponeringen og for kontrollen med eventuelle endringer med tiden.

Range. Laveste og høyeste verdi av en serie (måle-) verdier.

Respirabel aerosol defineres tilsvarende "Respirabelt støv" (se nedenfor).

Respirabel fiber. En fiber med tykkelse $< 3 \mu\text{m}$. (Det har vært hevdet at lengden samtidig skal være $\geq 5 \mu\text{m}$, men det kan diskuteres om det er riktig)

Respirabelt støv. Ifølge BMRC "- skal den 'respirable fraksjon' defineres ut fra den frie fallhastigen av partiklene ved formlen $C/C_0 = 1 - f/f_c$ hvor C og C_0 er konsentrasjonene av partikler med fallhastighet f i henholdsvis den respirable fraksjonen og i hele (støv-) skyen, og f_c er en konstant lik to ganger fallhastigheten i luft av en kule med densitet én og $5 \mu\text{m}$ i diameter" (Hamilton og Walton 1960). I Figur 1 er vist BMRC's krav til retensjon av støv i en forutskiller som funksjon av fallhastigheten. I Figur 2 er BMRC's, ACGIH's og AEC's definisjoner samt deponeringen i alveolarområdet vist i kurveform. I Tabell 1 er gitt noen prosentvise deler av aerosolen som skal slippe gjennom en forutskiller i henhold til definisjonene. For BMRC er formlen $100 - 2 \varnothing^2$ % hvor \varnothing er AED i μm .

Røyk. Faste partikler oppstått ved kondensasjon fra dampfase. Partiklene er oftest mindre enn $1 \mu\text{m}$, f. eks. i metallurgisk røyk, men kan unntaksvis være større. De danner ofte agglomerater (en gruppe partikler som henger mer eller mindre fast sammen).

Sekvensprøver. Prøver som tas direkte etter hverandre.

Silika er et samlebegrep for alle typer silisiumdioksid (SiO_2): kvarts, tridymitt, kristobalitt, amorf SiO_2 og andre.

Støv. Faste partikler oppstått ved mekanisk påvirkning av grovere fast stoff. Aerodynamisk diameter er oftest fra ca $0,1$ til ca $300 \mu\text{m}$ for luftbåret støv.

Totalaerosol er partikler samlet direkte fra luften uten forutskiller, med samme hastighet og retning på luftstrømmen i prøvetagerens inntaksåpning som i luften utenfor (isokinetisk oppsamling) og med effektivitet minst $99,9$ % for oppsamlingsmediet.

Totalstøv og -røyk. Samme definisjon som for totalaerosol, bortsett fra at den bare gjelder faste partikler.

Tåke er en aerosol hvor partiklene består av væske.

Volumstrøm er det volum av et fluidum (gass eller væske) som passerer gjennom et apparat per tidsenhet.

3 FORKORTELSER

ACGIH	= American Conference of Governmental Industrial Hygienists (USA)
AEC	= Atomic Energy Commission (USA)
AED	= Aerodynamisk diameter
AMY	= Statens forskningscenter for arbeidsmedisin og yrkeshygiene (Oslo)
BMRC	= British Medical Research Council (England)
ED	= Ekvivalent diameter
ISO	= International Organization for Standardization
LM	= Lysmikroskop
MMMF	= Man-made mineral fiber (se SUF)
MRC	= Medical Research Council (England)

MRE	= Mining Research Establishment of the National Coal Board (England)
μ	= Mikro = 1/1000 000
μm	= Mikrometer = 1/1000 millimeter
NS	= Norges Standardiseringsforbund, Oslo
OE	= Oppsamlingseffektivitet
SEM	= Sveipe-(scanning-) elektronmikroskop
SMR	= Standardisert mortalitetsrate (Standardized mortality ratio)
SUF	= Syntetisk uorganisk fiber
TLV	= Threshold Limit Value(s), utgitt av ACGIH (USA)
TEM	= Transmisjonselektronmikroskop
WHO	= World Health Organization
YHI	= Yrkeshygienisk Institutt, fra 1987 AMY, se ovenfor.
\emptyset	= Diameter

4 GENERELT OM AEROSOLER

Hvis ikke noe annet er spesifisert, er partikkelstørrelse angitt som AED i μm . Mellom AED og ED er det en enkel sammenheng som avhenger av partikkelens densitet, et eksempel er vist i Figur 3.

I almindelighet er det bare inspirable partikler (inklusive respirable partikler) som er av interesse fra et helsemessig synspunkt. Syre-, lut- og tjæretåke kan ha skadelig virkning på huden selv om de er større, de to første vil også irritere øynene. Noen forfattere har brukt betegnelsen "totalstøv" om inspirabelt støv.

Foreløpig synes det ikke mulig å gi noen presis definisjon av inspirabel aerosol eller støv, se pkt 6.3.

Begrepet respirabel støvfraksjon er definert for den delen av partikkelen kan komme helt ned i lungealveolarområdet og forårsake pneumokoniose. BMRC og ACGIH synes ikke å kunne komme til enighet om en felles definisjon, bortsett fra for fiber.

Knight og Kirk (1982) har sammenlignet BMRC's og ACGIH's spesifikasjoner med deponeringsdata for lungene og kom til at begge synes å falle innenfor grensene for personvariasjoner. De mente det bør lages en felles standard.

Deponeringen av partikler nedenfor strupehodet avhenger i betydelig grad av om personen er nese- eller munnpuster, fordi nesen er et effektivt filter. Definisjonen av respirabelt støv burde baseres på det "værste" tilfelle, nemlig munnpusting. Det samme gjelder toraks-fraksjonen som omfatter partikler som deponeres nedenfor strupehodet (ACGIH 1986).

Det er meget ønskelig å få felles internasjonale definisjoner av de forskjellige fraksjonene. Kanskje man da også kunne få samme normer og en enhetlig vurdering av eksponeringen.

Eksempler på hvor langsomt aerosolpartikler synker i luft er vist i Tabell 2. Partikler som kommer ned på gulv, hyller, maskiner og annet vil oftest ha en annen partikkelfordeling og kjemisk analyse enn inspirable og respirable partikler. For å få bestemt hva arbeidstagerne inhalerer, må det derfor som regel tas aerosolprøver i deres innåndingszone.

WHO (1984) har gitt en oversikt over luftbårne partiklers egenskaper, oppførsel i kroppen, prøvetagning, analyse, prøvetagningsstrategi, statistiske beregningsmetoder og vurdering av eksponering i forhold til normene. Selv om det er enkelte ting som burde vært skrevet anderledes, er helhetsinntrykket positivt. Her Majesty's Factory Inspectorate (udatert) har

gitt en tilsvarende oversikt for støv. Denne er mer praktisk orientert og omhandler også sykdommer som skyldes støv, samt metoder for å hindre/reducere eksponering.

Sveiserøyk inneholder alle de komponenter/elementer som finnes i sveise-tråden og -elektroden med mantel, samt i materialet det sveises på. Ved sveisearbeid på rustfritt/syrefast stål dannes nikkel- og kromforbindelser, i noen tilfelle med seksverdig krom. Røk fra slaglodding ("sølvlodding") inneholder kadmiumoksid (CdO), hvis ikke lodde-tråden er kadmiumfri. Sveise-/brennearbeid på kadmiert materiale er meget risikabelt fordi det dannes både CdO og nitrogendioksid (NO₂), som begge gir lungeødem (væske i lungene). Man kan neppe se forskjell på kadmiert og sinkbelagt gods.

Ved sveising, slaglodding og gass-skjæring ("brenning") kan det dannes akutt helsefarlige gasser. NO₂ dannes i betydelige mengder ved gass-skjæring og slaglodding, ozon (O₃) oppstår særlig ved dekk-gass-sveising med argon på silisium-aluminiumlegeringer, noe mindre ved tilsvarende sveising på aluminium og krom-nikkelstål.

Hår og klær brenner eksplosivt hvis de antennes i en oksygenkonsentrasjon i luften litt over over de naturlige 21 %. Flere dødsulykker er kjent, hvor årsaken var at oksygen ble brukt til å kjøle seg med og vedkommende ble antent av en gnist eller under forsøk på å tenne en sigarett.

4.1 HVA SKJER MED PARTIKLER SOM INHALERES?

I lungenes luftrør, bortsett fra de ytterste forgreningene nærmest lunge-blærene (alveolene), finnes flimmerhår (cilia) som vifter oppover og har et slimlag. Cilia finnes også i nesene. Partikler som deponeres i luftveiene, blir transportert til svelget og fordøyelsessystemet. (Noe kan bli hostet opp og spyttet ut, noe fjernes når man "pusser" nesene). Partikler mindre enn ca. 7-10 µm kan komme helt ned i lungealveolene. På grunn av luftstrømmens retningsforandringer i luftveiene, Brownske bevegelser og sedimentering av partiklene, vil en stor vekt-% av inspirable partikler deponeres i luftveiene, ca 50% av partikler < 5 µm allerede i nesene hos nese-pustere. I lungealveolene, hvor det ikke er flimmerhår, er det Brownske bevegelser og sedimentering som er viktigst for deponeringen. En liten del av de minste partiklene blir pustet ut igjen.

Noen luftforurensninger kan skade flimmerhårene, slik at man får "skallete" flekker i luftveiene, hvor partikler kan bli deponert for lengre tid og dermed øke risikoen for lungesykdom. Bl.a. har tobakksrøyk denne evnen.

Skjematisk kan man dele inn partiklene som vist i Figur 4. Deponering i luftveienes forskjellige deler er tilnærmet vist for munn-pustere ved 2 forskjellige volumstrømmer i Figur 5 (Heyder 1982). Se også Figur 2. Gylseth (1982) har utført en litteraturstudie av deponeringen.

Selv om et stoff vanligvis betraktes som nærmest uløselig, kan det løses i så stor grad i kroppsvæskene at man kan få en helseskade. Det skyldes vesentlig at svevepartikler er så små at overflaten per vekt-enhet blir meget stor. Dessuten løser noen kroppsvæsker mange stoffer mer effektivt enn f.eks. vann. For alle slike stoffer har hele den inspirable fraksjonen interesse, fordi de vil tilføres kroppens organer enten de løses i lungene eller i fordøyelsessystemet. Det kan imidlertid være forskjell på løsligheten de to steder. Bly løses f.eks. lettest i lungene.

I lungealveolene finnes "eteceller" (fagocytter) som innkapsler partikler og enten uskadeliggjør dem, transporterer dem til flimmerhårene og fordøy-

elsesystemet eller ut gjennom alveolveggene til lymfekarsystemet. Der filtreres de fleste ut i lymfekjertlene, men noen kan også følge lymfevæsken til denne tømmes i blodet. Disse partiklene blir dermed transportert til andre organer.

Fiber kan komme ned i de dypeste deler av lungene selv om de er relativt lange, mer enn 200 μm , hvis de er tynne nok. Fiber regnes som respirable hvis de har tykkelse lik eller mindre enn 3 μm , men det er vanlig at man bare teller fibre som samtidig har en lengde lik eller større enn 5 μm , fordi det er antatt at kortere fiber blir fagocyttert og fjernet fra lungealveolarområdet. Lengre fiber kan skade eller drepe fagocytene og dermed gi lungesykdommer. Fibre adskiller seg på mange måter fra andre støvtyper og er derfor behandlet noe mer inngående i avsnittene 4.2 og 6.6.

Luftveiene har et meget effektivt rensesystem, men det er noen gasser som kan skade flimmerhårene og noen støvtyper som har evne til å drepe fagocytene. Av de siste er krystallinsk SiO_2 og asbest de viktigste. Slike tungtløselige partikler kan bli liggende i lungene i mange tiår og gi lungesykdommer som fibrose ("steinlunge") med større eller mindre grad av åndenød, eventuelt død, avhengig av eksponeringsgrad og -varighet. I et tilfelle oppstod silikose 45 år etter at eksponeringen opphørte (Symanski 1981). Det er viktig å være oppmerksom på at noen typer amorf SiO_2 , som er lite silikosefarlige, omdannes til det meget silikosefarlige kristobalitt ved langt lavere temperatur (fra ca. 700 °C, kanskje enda lavere) enn man skulle vente etter omvandlingstemperaturen, se Tabell 3.

For stoffer som kan gi pneumokoniose, er det oftest den respirable fraksjonen som er av betydning, men hvis et stoff i tillegg medfører kreftrisiko, vil resten av den inspirable fraksjonen også kunne være av interesse. For dose-respons vurderinger av slike stoffer er det viktig å beregne livstidsdosen. Det er dessverre ofte blitt brukt en uheldig formel som gir samme dose for en høy eksponering tidlig i livet som hvis den samme eksponering kommer sent. Effekten blir imidlertid forskjellig hvis det for eksempel dreier seg om kvartseksponering. Dette er illustrert i Figur 6, hvor "dosen" (skravert) A kunne gi silikose sent i livet, mens "dose" B ikke ville kunne gjøre det, fordi personen vil dø av andre årsaker lenge før vedkommende kan få silikose. En mer korrekt formel for livstidsdosen er

$$D_1 = \sum_{j=1}^n (Y - Y_j + 1) \cdot K_j$$

hvor D_1 er livstidsdosen, Y året pasienten døde, Y_j året hvor hans middel-eksponering var K_j og n er det totale antall år fra eksponeringen startet til år Y (Jahr 1974). Se Figur 7, hvor arealene under de to kurver angir livstidsdoser som kan stemme med ovennevnte helseeffekter.

Slipestøv av hårdmetall er kjent for å kunne fremkalle pneumokoniose. En undersøkelse av 16 hårdmetallslipere (Rüttner et al. 1987) eksponert for mellom 0,3 og 15 mg/m^3 støv < 5 μm viste at alle lungene inneholdt kvarts og silikater. Latenstiden var i middel 33,6 år, med range 7 - 54 år. Forfatterne konkluderte med at det forelå blandingspneumokonioser.

Det har vært antydnet at silika skulle kunne fremkalle lungekreft, men undersøkelser av Hessel et al. (1986) og Steenland og Beaumont (1986) tyder på at det ikke foreligger noen slik risiko.

det å la asbesten bero der den er. Stedet bør imidlertid merkes, slik at man kan ta de nødvendige forholdsregler, hvis den må fjernes senere. Et viktig spørsmål er også hva som skjer med asbesten etter den er fjernet.

Syntetiske uorganiske mineralfiber (SUF) er tatt i bruk til mange formål, også som erstatning for asbest. Epidemiologiske undersøkelser på framstillingsstedene tyder på at både glassfiber og steinull har gitt en moderat overhyppighet av lungekreft etter 30 års latenstid eller mer (Wergeland et al. 1986, Gustavsson et al. 1987). Eksponeringen under produksjonen er idag meget lav, langt under $0,1 \text{ f/cm}^3$ de fleste steder, men kan ha vært meget høyere for mange år siden, da man ikke brukte bindemidler som hindrer støvning.

Med forbehold om betydelig usikkerhet, har Gustavsson et al. (1987) satt opp en dose-respons for SUF eksponering - SMR for lungekreft, se Tabell 5. Risikoen synes ubetydelig ved eksponering under ca $0,1 \text{ f/cm}^3$. Brukerne av SUF er tildels betydelig høyere eksponert, og bør ta rimelige forholdsregler. Noen måleresultater for brukere er vist i Tabell 6 (Jonasson et al. 1977, Schneider 1978, Head og Wagg 1980). Lindblad et al. (1986) har beskrevet håndteringen av mineralull i byggebransjen.

Goldsmith (1986) hevdet på grunnlag av litteraturstudier at glassull og mineralull ga både røntgenografiske lungeforandringer og lungekreft ved inhalering av langt lavere respirable fiberkonsentrasjoner enn hva som var tilfelle for asbest. Goldsmiths data bygget vesentlig på krysotil-eksponering som synes langt mindre farlig enn amfibolene. Dessuten ble livstidsdosene beregnet etter formelen som ikke er riktig for stoffer som blir liggende lang tid i lungene.

Helsevirkningen av forskjellige typer keramiske fiber som Al_2O_3 , SiO_2 , CaSiO_3 , osv, synes lite undersøkt.

Trefiberstøv kan gi kreft i nesen og bihulene. Det gjelder særlig støv fra eksotiske treslag, men også fra bøk og eik. Gerhardsson et al. (1985) fant at hyppigheten av adenocarcinoma i nesen var 63,4 ganger forventet blandt 8141 møbelsnekkere. Av 46 menn med kreft i nesebihulene, fant Voss et al. (1985) 11 som bare hadde vært eksponert for støv fra bløte tresorter. En pasient-kontroll studie for hele Norge er under forberedelse for å etterprøve resultatene. En oversikt over helseeffekter av trestøv er gitt av Levy (1985).

Ved SiC-fremstilling dannes respirable SiC-fiber (Bye et al 1985), de fleste steder i lav konsentrasjon. Den helsemessige betydning av fibre er ikke kjent. Det skal ikke være fiber i de fraksjoner av SiC som brukes til slipeskiver og liknende produkter.

I aluminium-elektrolysehaller fant Bjørseth et al. (1983) et betydelig antall meget små (geometrisk middel for $\text{Ø} = 0,053 \text{ }\mu\text{m}$ og for $L = 0,87 \text{ }\mu\text{m}$), tungtløslige fiber av NaAlF_4 i forbindelse med skorpebryting. Helsevirkningen av denne fibertypen er ikke kjent, men ut fra fiberdimensjonene mener forfatterne at de ikke skulle ha noen betydning.

4.3 FORHOLD SOM HAR BETYDNING FOR VURDERING AV EKSPONERINGEN

- a) Hvilke enkeltstoffer aerosolen består av og hvilken virkning de har på organismen, hver for seg og sammen.
- b) Partiklenes form, størrelsesfordelingen og om de er krystallinske eller amorfe.

4.2 FIBER GENERELT

Fiber finnes mange steder i naturen og brukes i industri og ellers. Av naturlig forekommende mineralfiber er asbestene mest kjent. Ved innånding kan de gi asbestose og lungekreft. Risikoen for lungekreft er særlig stor for røykere som er asbesteksponert, betydelig større enn summen av risiko fra røyking og asbest hver for sig. Gerde (1987) har fremlagt følgende teori: Lungevevet er normalt beskyttet av en dobbeltfilm av fett og vann. Kreftframkallende stoffer fra sigaretttrøken tas opp av fettskiktet. Hvis en asbestfiber går gjennom dette og inn i en lungecelle, vil de kreftframkallende stoffene kunne "vandre" fra fettskiktet, langs fiberen og inn i cellen. Kjuus et al. (1986) anga at 92 % av lungekrefttilfellene i en stor epidemiologisk pasient - kontroll undersøkelse teoretisk kunne vært unngått hvis de eksponerte ikke hadde røkt.

Amfibole asbesttyper, spesielt den såkalte blåasbest, krokidolitt, kan i tillegg til lungekreft også gi mesotheliom (kreft i bryst- og/eller bukhinnen). Amfibolene har rette eller svakt buete fiber. Disse asbestkreftformene blir sjelden oppdaget før 30 - 40 år etter eksponeringens begynnelse. Den mest brukte asbesttype, krysotil, som er hvit og har bølgede ("krølllete") fiber, synes å gi relativt liten risiko for asbestsykdommer. Hos sement-asbestarbeidere som nesten utelukkende hadde brukt krysotil, var det ifølge Gardner og Powell (1986) ingen overhyppighet av asbestrelaterte sykdommer.

Ved meget høye eksponeringer i to Kanadiske krysotil-gruber, Asbestos og Thetford i Quebec, fant McDonald et al. (1980) en generell overdødelighet for menn på 10 % i Thetford og 2 % i Asbestos, mens SMR var bare 0,90 for kvinner. Disse arbeidet vesentlig i Asbestos. For de ialt 11 379 arbeidstagerne var det en liten overhyppighet av lungekreft og pneumokoniose. For lungekreft var det en linjær korrelasjon mellom livstidsdose (beregnet etter den noe uheldige formelen) og SMR. Av 10 939 menn og 440 kvinner døde henholdsvis ti menn og en kvinne av mesotheliom. For menn som var lavere eksponert enn 20 f/cm³, ville man kunnet påvise en statistisk sikker overdødelighet for pneumokoniose, men ikke for kreft.

Pooley (1976) påviste tildels store mengder amfibolasbest i lungevevet til arbeidere fra Kanadiske asbestgruber, spesielt fra Thetford King, hvor lungevevet inneholdt mellom 75 og 100 % amfiboler, tiltross for at arbeiderne sannsynligvis vesentlig hadde inhalert krysotil. I lungevev fra andre gruber var det vesentlig færre fiber og mindre amfiboler. De overhyppigheter av asbestsykdommer som ble funnet av McDonald et al. (1980), kan således helt eller delvis henge sammen med samtidig eksponering for amfiboler. Ren krysotil synes å ha liten innflytelse på lungene.

Den kjemiske sammensetningen av de viktigste asbesttypene er vist i Tabell 4. Sporelementene kan dels komme fra andre mineraler som forekommer i asbestgruben, dels fra prosessutstyret (knusere, sikt osv), eller inngår istedenfor et av hovedelementene i asbeststrukturen. Asbest kan inneholde polysykliske aromatiske hydrokarboner og voks, opptil 200 mg/kg. Det synes rimelig å anta at asbests kreftframkallende egenskaper henger sammen både med de fysiske og de kjemiske egenskaper.

Selv om asbest ikke lenger tillates brukt i Norge uten dispensasjon, vil man i mange år fremover risikere eksponering under rivingsarbeid på steder hvor asbest har vært brukt. Det er omdiskutert hvorvidt man skal fjerne asbest som ikke støver, f.eks. asbest i brannsikre vegger. Hvis man ikke, eller bare i ubetydelig grad kan påvise asbestfiber i den omgivende luft, vil fjerningen sannsynligvis representere en vesentlig større risiko enn

- c) Konsentrasjonen, både under spesielle arbeidsoperasjoner og i gjennomsnitt over dagen eller over lengre tid.
- d) Eksponeringens varighet og variasjon.
- e) At målingene er representative både for det arbeid som utføres, den tid resultatene skal vurderes over, og for den person, persongruppe eller det sted/område målingene skal gjelde for.
- f) Graden av fysisk anstrengelse under arbeidet. Det har betydning for hvor store luft- og aerosolmengder som inhaleres og deponeringsgraden i de forskjellige deler av luftveiene.
- g) Om den eksponerte puster gjennom nesen eller munnen.
- h) Personlige forhold, f.eks. om vedkommende er røyker eller har hatt spesielle luftveissykdommer.

5 PRØVETAGNINGSTRATEGI OG BEREGNINGSMETODER

Det er ubetinget nødvendig for vurderingen av resultatene at prøvene er representative etter 4.3. e). For dette formål er prøvetagningsstrategien nyttig. En oversikt er gitt av Direktoratet for arbeidstilsynet (1984a). En mer detaljert beskrivelse er utarbeidet av Jahr (1987). Der er også gitt de nødvendige beregningsmetoder for måleresultatene, som har hatt en log-normal fordeling i alle de tilfelle hvor fordelingen er blitt undersøkt. Det betyr at for logaritmene til måleresultatene kan man bruke de vanlige statistiske metoder. Beregningene er forskjellige ettersom resultatene skal være generelt gyldige eller bare gjelde for den aktuelle måleperiode.

6 PRØVETAGNINGS- OG ANALYSEMETODER

6.1 GENERELT OM PRØVETAGNINGS- OG ANALYSEMETODER

Detaljerte prøvetagnings- og analyseforskrifter gis ikke i dette heftet. Endel finnes i de angitte litteraturreferanser og mange kan fås fra AMY. Arbetarskyddsverket (1987) har gitt en oversikt over prinsipper og metoder for prøvetagning og analyse av stoffer som er angitt i listen over de Svenske "Hygieniska Gränsvärden", utgitt av Arbetarskyddsstyrelsen (1984). Det vises også til WHO (1984). Arbeidstilsynet (udatert) har utgitt heftet "Prøvetaking av forurensninger i arbeidsatmosfære" som gir en god, kortfattet oversikt. Noen detaljer bør forandres.

Konsentrasjon av aerosoler måles vanligvis gravimetrisk og angis i mg per m³ luft, men for fibre brukes i alminnelighet tallmessige metoder og resultatene gis i fiber per volumenh³, f/cm³, f/L eller millioner f/m³ (1 f/cm³ = 1000 f/L = 10⁶ f/m³). Et unntak er trefiber, hvor konsentrasjonen angis i mg/m³. Tidligere brukte man mest tallmessige metoder for alle typer partikler. Måling av fiber er behandlet i pkt 6.6.

Jacobson og Tomb (1967) undersøkte korrelasjonen mellom den tallmessige impingermetoden, hvor partiklene ble tallet i LM, og gravimetrisk måling av respirabelt støv med nylonsyklon. Jahr (1973) har undersøkt korrelasjonen mellom impingermålinger og vektkonsentrasjonen av støv mindre enn 5 µm ED bestemt ved sedimentering.

Verma (1984) har gitt en oversikt over totalt, inspirabelt ("inhalerbart")

og respirabelt støv, samt parallellmålinger for disse fraksjonene i støperier. Han brukte en åpen, 25 mm Ø filterholder til måling av totalstøv, ORB-prøvetageren (Ogden og Birkett 1978) for inspirabelt støv, samt MRE-elutriator (Casella 113A) og en nylonsyklon for bestemmelse av respirabelt støv. Det var relativt god korrelasjon mellom inspirabelt og totalt støv når høye konsentrasjoner tas med, men ikke for de mest aktuelle konsentrasjoner (mellom 0 og 2 mg/m³). Mellom andre parametre var korrelasjonen dårligere.

Det finnes en rekke forskjellige filtertyper som kan brukes til oppsamling av aerosoler. Mest alminnelig brukt er membranfilter av celluloseacetat, men for spesialformål kan andre typer være bedre egnet. Hvis det også skal bestemmes flyktige stoffer i forbindelse med aerosolen, må man bruke ad- eller absorpsjonsutstyr etter filteret. Vær oppmerksom på at selve filteret, avhengig av typen, kan adsorbere betydelige mengder flyktige stoffer. Ved stasjonær prøvetagning kan man bruke et oppvarmet filter for å hindre adsorpsjon. Filtertypen begrenser temperaturen.

Filtere som adsorberer fuktighet fra luften bør oppbevares (kondisjoneres) minst 24 timer i et veierom med temperatur 21 ± 1 °C og relativ fuktighet på 50 ± 2 % før de veies. Hvis støvet er hygroskopisk, kan denne metoden ikke brukes. Alternativt kan filtrene kondisjoneres i eksikator med blå silikagel, men det gir mindre nøyaktig resultat. Filtere som blir elektrostatisk oppladet ved håndteringen, avioniseres med en α -strålekilde. Se NS 4860 (1983) (Rettelser: se referansen).

Man kan bruke PVC-filter som ikke tar opp vann fra luften, men de er vanskelige å ha med å gjøre på grunn av elektrostatisk opplading. Glassfiberfilter tar ikke opp vann og blir heller ikke spesielt elektrostatisk oppladet, men har en tendens til å miste fiber og det er vanskelig å få tak i aerosolen for videre analyse.

Pumper for personlig og annen prøvetagning bør ha en volumstrøm som, innenfor rimelighetens grenser, er uavhengig av aerosolbelastningen på filteret. Ved bruk av stasjonære pumper som gir et tilstrekkelig undertrykk, kan man få en konstant volumstrøm ved å kople en kritisk dyse (engelsk: Flow Limiting Orifice) mellom filteret og pumpen. Til måling av den generelle arbeidsatmosfære kan man bruke samme utstyr og metoder som til personlig prøvetagning, men ofte vil man heller bruke en nettdrevet, stasjonær vakumpumpe med større kapasitet. Målinger med direktevisende og/eller registrerende instrumenter er omtalt i avsnitt 6.8.

6.2 MÅLING AV TOTALSTØV OG -RØYK (Fiber: se pkt 6.6)

Ved personlig prøvetagning er det neppe mulig å foreta en isokinetisk oppsamling av aerosoler. Ved stasjonær måling kan man kanskje tilnærmet klare det ved å bruke en åpen filterholder og lav strømningshastighet, men det medfører risiko for forurensning av prøvene og kanskje også tap av partikler. Internasjonalt har man i mange år stort sett brukt en metode med en tredelt plast-filterholder hvor lokket har et 4 mm Ø hull og en volumstrøm på ca 2 L/min, se NS 4860 (1983). Beaulieu et al. (1980) fant at denne metoden ga lavere resultat enn om man bruker en åpen filterholder (uten lokk). Doemeny og Smith (1981) hevdet i en kommentar til Beaulieu et al.'s arbeid at det i praksis er bedre å bruke lokk med 4 mm Ø hull.

Malvik og Bjørseth (1981) har utført 8 forsøksreier med støvtypene aluminiumoksyd (Al₂O₃), støv i luften i en aluminiumelektrolysehall, pussestøv fra tre og slipestøv fra glassfiberarmert polyester. I hver serie ble brukt 16 plastfilterholdere med 37 mm Ø, hvorav 8 med lokk med 4mm Ø

hull og 8 åpne filterholdere som ble plassert annen hver gang ved siden av hverandre i en sirkel inne i en stor sylinder. I alle seriene var det en tendens (ikke signifikant) til **høyere verdier med lokk enn uten**, enten filterholderne var montert horisontalt eller vertikalt (inntak ned). Resultatene synes å stride mot teorien som sier at for mange store partikler går utenom åpningen når luften suges inn gjennom et tynnvegget rør med hastighet over den isokinetiske. Forfatterne mente forklaringen var at når man bruker lokk, har man en avsugåpning med flens, noe som fører til at store partikler ikke eller bare i liten grad kan gå utenfor åpningen.

Breslin og Stein (1975) har ved **partikkeltelling** undersøkt oppsamlings-effektiviteten (OE) for filterholdere med inntaksåpninger henholdsvis 4 og 1,2 mm Ø ved volumstrøm 3 L/min. Resultatene viste at med 4 mm Ø inntaksåpning var OE 95 til 100 % og uavhengig av partikkelstørrelsen opp til 20 µm AED, mens den med 1,2 mm Ø hull i lokket var avtagende fra 100 ned til 40 % ved økende partikkelstørrelse fra 3 til 20 µm.

Noen absolutt-metode for bestemmelse av totaltalstøv/røyk i arbeidsatmosfære finnes ikke. Foreløpig anbefales å bruke NS 4860. Helsemessig er det de inspirable og respirable fraksjonene som har interesse.

6.3 INSPIRABELT STØV OG RØYK (Fiber: se 6.6)

ISO TC 146 (1983) og ACGIH (1984) har foreslått to forskjellige definisjoner for inspirabiliteten, se Figur 8. ACGIH-kurven bygger på forsøk med en full-skala dukke i vindtunnell hvor prøvetageren var festet på brystet til dukken som ble dreiet i alle retninger. Vindhastigheten var mellom 0,75 og 2,75 m/sek (Ogden og Birkett 1978, Vincent og Armbruster 1981, Vincent og Mark 1987). De vindhastigheter man har operert med under forsøkene kan være aktuelle for utendørsmålinger, men synes alt for høye for innendørsforhold, hvor lufthastigheter over ca 0,3 m/sek oppfattes som trekk og sjelden forekommer. Ingen av kurvene stemmer med Wood og Birkett's (1979) målinger ved vindhastighet 1 m/sek (i vindtunnell) på en full-skala dukke med innebygget pusteapparat. De fant at OE på vektbasis var praktisk talt 100 % både ved munn- og neseputing for partikler med opptil 50µm AED, se Figur 9. Disse resultatene kan stemme med Breslin og Stein's (1975) forsøk i stille luft, se 6.2.

Ogden og Birkett (1978) konstruerte en prøvetager, ORB, for "inhalerbart" støv, se Figur 10. I luft som har opptil 0,5 m/s hastighetsbevegelse forbi hodet, samler den opp nær samme støvfraksjon som mennesker puster inn. Den er beregnet for stasjonær prøvetagning.

Kuile (1985) har konstruert en personlig prøvetager for inspirabelt støv, Badge PAS, som er vist i Figur 11. Den ga god overensstemmelse med referanseprøvetageren "Gromoz" (uten henvisning til litteratur om "Gromoz").

Inntil det foreligger en velbegrunnet definisjon av den inspirable aerosolfraksjon, anbefales at man for personlig eksponeringsmåling bruker Norsk standard NS 4860 (1983) med oppsamling av partiklene på et 37 mm Ø filter i en holder med 4 mm Ø hull og volumstrøm 1,9 L/min. For stasjonær måling kan samme metode brukes, eventuelt med nettdrevet pumpe og kritisk dyse, gjerne også utstyrt med gassur og "timer". Det vil si at man bruker samme metoder som for totalaerosol.

6.4 RESPIRABELT STØV OG RØYK (Fiber: se 6.6)

Kravene til utstyr varierer betydelig. ISO (1983) forlanger at i praktisk bruk og etter anvendelse av korreksjonsfaktor, skal 67 % av resultatene falle innenfor 10 % av det resultat man ville oppnådd om den spesifiserte kurven ble fulgt helt nøyaktig. ACGIH's (1984) krav er langt mindre strenge og sterkt kritisert av Bartley og Doemeny (1986) som mente at kravene ville tillate bruk av utstyr som kunne gi resultater mellom 0,71 og 4,3 mg/m³ for en respirabel støvkonsentrasjon som var 2 mg/m³.

For personbåret utstyr bør en kalibrert metallsyklon av anerkjent fabrikat brukes som forutskiller. En norsk standard er foreslått og ventes utgitt i 1988. Den vesentlige forskjell fra NS 4860 er at det kobles en syklon foran filteret, slik at den ikke-respirable del av støvet samles i syklo- nen og den respirable på filteret. Figur 12 viser syklon-prinsippet.

Knight og Kirk (1982) anså at BMRC-spesifikasjonen hadde den helt vesent- lige fordel at en prøvetager (horisontal plateelutriator) som oppfyller spesifikasjonen kan bygges med rimelig nøyaktighet ut fra (beregnete) teg- ninger og at andre prøvetagere kan justeres så de stemmer med den med rimelig reproduserbarhet. Dette i motsetning til ACGIH-spesifikasjonen som krever en møysommelig kalibrering (av prøvetageren) med monodisperse støv- partikler. De fant at nylonsykloner ga bare 80 % av støvkonsentrasjonen bestemt med horisontal plateelutriator etter BMRC-spesifikasjonen.

Lidén og Kenny (1986) fant at penetrasjonskarakteristikken for 10 mm Ø sykloner avvek fra BMRC-kurven, men at det i praksis kanskje ikke betød noe vesentlig. MRE plateelutriator, se Figur 13 (Ogden et al. 1978), har vært brukt som standardinstrument for bestemmelse av respirable partikler og stemte ifølge Lidén og Kenney meget bra med BMRC-kurven når den ikke hadde inntaksskjerm ("nosepiece"). Den er best egnet til stasjonær bruk.

Cossey og Vaughan (1987) konstruerte en 23 mm Ø syklon og fant at den ga god overensstemmelse med BMRC-kurven ved volumstrøm 10,2 l/min. For å kunne bruke den personbåret, måtte man ha en relativt stor og tung pumpe. Syklonen er antakelig best egnet til stasjonære målinger.

Reproducerbarheten eller presisjonen (Lidén 1985, utfyllende beregninger av Jahr 1986) for enkelt-bestemmelse av respirabelt støv med 10 mm diame- ter metallsyklon var tilfredsstillende, med standardavvik for logaritmene til måleresultatene henholdsvis $s_{1n} = 0,07$ ($\approx \pm 7$ % relativ) for kvarts og $s_{1n} = 0,15$ ($\approx \pm 15$ % relativ) for SiC.

Nøyaktigheten for syklonmålingene var lavere. De enkelte resultatene (med varianter av samme type syklon) avvek for kvarts med mellom -19 % og +27 % fra paralelle resultater med en horisontal plateelutriator (MRE). Tilsva- rende tall for SiC var mellom - 25% og + 44% (Lidén 1985, Jahr 1986).

Usikkerheten i MRE inngikk i resultatene, men de vesentligste årsaker til unøyaktighetene var antakelig dels bruk av forskjellige varianter syklo- ner, dels usikker adskillingsgrense for partikler i området 7 µm. I praksis vil den oppsamlede mengde respirabelt støv/røyk ofte være såvidt liten at det også blir betydelig usikkerhet i veiingen av støvet, særlig hvis man bruker de hygroskopiske celluloseacetatfilter uten å ha et klima- tisert veierom.

Fordelen ved syklonmetoden er at den er lite arbeidskrevende sammenlignet med sedimentering av totalaerosol oppsamlet med personbåret utstyr. Hvis man holder seg til én anerkjent, kalibrert syklontype og veiefilen samti-

dig er minimal, skulle usikkerheten komme ned i ca ± 10 % relativ for kvarts. Dessuten er støvets løselighet uten betydning for resultatet, i motsetning til sedimentering av støvet i væske. På flere av arbeidsstedene i industrien er variasjonen av aerosolkonsentrasjonen så stor at en usikkerhet på 15-20 % i målingene kan aksepteres.

Mengden av de fleste stoffer som samles opp på et filter kan bestemmes ved analyse uten veiing, slik at veifeilen bortfaller. Men man mister en kontrollmulighet, når man ikke veier filteret før og etter prøvetagning.

Ifølge Toffolo og Lockington (1981) samt Bruun, Bye og Olaisen (1985), kan silika bestemmes direkte på PVC-filter ved infrarød spektrofotometri (IR) uten ytterligere preparering, eventuelt også ved røntgendiffraktometri (RD). IR-bestemmelse direkte på PVC-filter var mindre nøyaktig enn KBr-metoden, hvor støvet/røyken blandes med kaliumbromid (KBr) og presses under høyt trykk til en gjennomsiktig tablett før IR-analysen. Den siste metoden er imidlertid mer tidkrevende. IR-metoden forstyrres av grafitt som f.eks finnes i SiC-verkenes ovnshusatmosfære. En akustisk målemetode for direkte bestemmelse av kvarts oppsamlet på filter er utarbeidet av Nordal (1984), men instrumentet er foreløpig ikke satt i produksjon.

Det finnes små kaskadeimpaktorer for måling av personlig eksponering. De består oftest av 4 til 8 konsentriske platesett montert over hverandre med litt avstand mellom, se Figur 14. En svakhet er at man får meget små støvmengder på hver plate. Treaftis et al. (1986) fant at resultatene ikke stemte særlig godt med andre metoder.

For målinger av respirabelt støv/røyk i den generelle arbeidsatmosfære, kan man bruke sykklon eller horisontal plateelutriator med filter. Volumstrømmen for den siste type er vanligvis 2,5 l/min. Den oppsamlede aerosolmengde i løpet av et skift kan derfor også med denne metoden bli så liten at veiingen blir usikker. Det kan være tungvint å bestemme totalstøvkonsentrasjonen, fordi grovstøvet på platene må vaskes ut. Det beste utstyr for rutinemålinger av støv hvor det ikke er røyk tilstede, er kanskje en kalibrert horisontal-plateelutriator med fotooptisk måling av den respirable fraksjonen (se også 6.8).

6.5 FINSTØV

Finstøv (inklusive røyk) kan bestemmes ved sedimentering av en (eventuelt flere sammenslåtte) totalaerosolprøve(r), se Norsk standard NS 4857 (1981) og Jahr (1971). Finstøvet må være tilnærmet uløselig i sedimenteringsvæskene. Metoden er gjennomprøvet, har et standardavvik $s = \text{ca} \pm 2$ % relativ for kvartsfraksjonen $< 5 \mu\text{m ED}$, gir en relativt skarp adskilling av to aerosolfraksjoner og ble brukt i mange år. Man kan velge hvilken partikkelfraksjon man vil skille ut, ved å beregne sedimenteringstiden etter Stokes lov. Metoden er velegnet til å lage litt større mengder av partikkelfraksjoner innen bestemte størrelsesgrenser. Den er imidlertid mer arbeidskrevende enn bestemmelse av respirabel fraksjon.

6.6 FIBER

Administrative normer for mineralfiber angis i antall pr cm^3 og konsentrasjonen må derfor bestemmes ved telling av fibrene på/i prøven. Den hovedmetode som har vært brukt hittil er oppsamling på membranfilter av celluloseacetat og telling av fibrene i lysmikroskop (LM) med gjennomfallende lys og fasekontrast ved ca 500 x forstørrelse, etter at filteret er gjort gjennomsiktig med acetondamp. Til prøvetagning av fiber for telling i LM

må det brukes åpen filterholder for å få fibrene mest mulig jevnt fordelt over filteret. Dessuten bør man bruke et filter med rutenett for å lette innstillingen av mikroskopet.

For å få en passende konsentrasjon av fiber på filteret, kan man variere prøvetagningstiden. Høy konsentrasjon av andre aerosoltyper i luften kan gjøre tellingen vanskelig eller umulig: enten dekkes fibrene av andre partikler, eller man får for få fiber når prøvetagningstiden reduseres.

Både AIA (1979) og NIOSH (1977) har utarbeidet referansemetoder for bestemmelse av asbest i arbeidsatmosfære. Gonzales-Fernandez et al (1987) har sammenlignet dem og fant at NIOSH-metoden ga 3,4 ganger høyere resultater enn AIA's metode. De mente det var forskjellige monteringsmetoder som var årsaken. Resultatene stemmer ikke med undersøkelser utført av Robock og Teichert (1978) som fant at montering med "US-mixture" (antagelig menes NIOSH-metoden) ga ca. 25 % lavere resultater enn AIA's aceton-triacetin montering. AMY bruker en metode som ligger nær opp til AIA's, men med et filter med 37 mm Ø (som NIOSH) istedenfor 25. Ved internasjonale interlaboratoriekontroller arrangert av NIOSH har AMY's resultater blitt godkjent, og praktisk talt alle ligget på eller noe over gjennomsnittet for alle laboratoriene. Det synes å bekrefte Robock og Teichert's resultat.

For syntetiske mineralfiber har WHO (1985) angitt både en metode for LM og en for sveipeelektronmikroskopi (SEM). Metodene antas å kunne brukes også til måling av andre typer fibre, når de brukes sammen med den norske standard NS 4853 (1983) for telling av asbestfibre. For LM må man være oppmerksom på at fibrenes synbarhet er avhengig både av deres tykkelse og brytningsindeks.

De mest kritiske faktorer ved telling av fibre i LM er: mikroskopets kvalitet, innstillingen av det og operatørens syn. For samme prøve har forskjellige laboratorier funnet tildels sterkt avvikende resultater. Det er derfor nødvendig å standardisere både metoden og personen som teller. Til hjelp i dette arbeidet er det laget to typer test-objektglass. Den ene består av en serie på 8 stk. med hver sin partikkelstørrelse (latexkuler) fra 0,11 til 0,6 µm, se AIA (1979). Den andre typen er utviklet av Le Guen (1979) og har 7 felt med striper med bredde 0,25 til 1,1 µm. Regelmessig interlaboratoriekontroll er viktig for å få sikre analyser.

Schneider (1976) har angitt en optisk metode til å skille mellom forskjellige typer mineralfiber. SEM med energidispersiv røntgendiffraksjon er egnet til å analysere de enkelte fibre (og andre partikler) kvalitativt. Med transmisjonselektronmikroskopi (TEM) kan i tillegg utføres elektron-diffraksjon for ytterligere karakterisering av partiklene.

Schneider et al. (1985) fant at man ut fra konsentrasjonen av respirable fiber tallet i LM muligens kan beregne risikoindikatorene Stantons fibertall (antall med $0,2 < \varnothing < 3 \mu\text{m}$ og $L/\varnothing \geq 3$) og Potts fibertall som skal kunne antyde kreftrisikoen.

Fibereksponeeringen vil kunne vurderes ut fra totalaerosolmålinger (Schneider 1987, Breum et al. 1986). Schneider (1987) fant at for MMMF tilsvarte 1 respirabel fiber pr cm³ ca. 2,5 mg totalfiber.

For å bestemme sammenhengen mellom totalstøv og fiber på steder hvor det er betydelige mengder annet støv enn fiber tilstede, bør man ta flere sekvensprøver for fibertelling parallelt med én prøve av totalaerosol. Dette gjentas minst 5 ganger. En annen mulighet er å fordele (dispersere) hver totalaerosolprøve i en væske og telle fibrene i en delprøve av dispersjonen. Den siste metoden er den enkleste og best egnet med tanke på statis-

tisk bearbeiding av resultatene.

Analyse av asbest i lungevev i en interlaboratoriekontroll er beskrevet av Gylseth et al. (1985). Det var store variasjoner i resultatene.

Administrativ norm for trestøv er angitt i mg/m^3 og konsentrasjonen i luft bestemmes derfor gravimetrisk. Det forutsetter at det er lite annet støv tilstede.

6.7 TAKE

Ved måling av tåke må man sørge for at dampfasen også blir bestemt. Ved oppsamling på filter vil dampfasen helt eller delvis kunne passere gjennom filteret og dessuten kan man risikere å miste endel av tåken ved fordampning fra filtret i perioder uten tåke. Hvis man ikke ønsker å bestemme tåke- og dampfasen separat, kan begge måles ved absorpsjon, enten ved at luften suges gjennom en gassvaskeflaske eller en fast absorbent som også fanger opp dampfasen. For personlige målinger vil det siste være å foretrekke, men det finnes vaskeflasker som kan snus opp-ned uten at absorpsjonsvæsken renner ut, se Figur 15.

Alle absorbenter er ikke like effektive. Det kan være nødvendig å sette et filter foran absorbenten og/eller seriekoble to eller flere absorbenter, avhengig av om det er partikkel- og/eller dampfasen som er vanskelig å holde tilbake. Hvis tåken består av flere stoffer med forskjellig damptrykk, slik som f.eks. tjæretåke, kan man være interessert i å bestemme partiklene og dampen separat ved å seriekoble et filter og en absorbent. Héry et al. (1987) har beskrevet prøvetagningsmetoder for aktuelle syre-, base- og salttåker.

6.8 DIREKTEVISENDE INSTRUMENTER

Kuuisisto og Krantz (1983) har gitt en vurdering av endel direktevisende instrumenter. Disse må som regel brukes enten til måling av total eller respirabel aerosol. Det finnes flere prinsipielt forskjellige typer, hvorav de viktigste er nevnt nedenfor.

Felles for instrumentene er at de kan gi resultatene digitalt og umiddelbart etter målingen. De fleste kan samtidig registrere konsentrasjonene ved hjelp av datahukommelse slik at de kan hentes fram senere. Noen kan også registrere resultatene direkte på papir under målingene. De er bærbare, men ikke egnet til å henge på en person under arbeidet. Bare for de typer som samler opp aerosolen kan man utføre en kjemisk analyse av denne.

Instrumenter som måler sidespredningen av lys som passerer gjennom den aerosolholdige luft kan som regel bestemme den respirable fraksjon, se Breuer et al. (1973) og Breuer (1976). Bauer og Blome (1977) samt Tomb et al. (udatert) har funnet tilfredsstillende resultater med Breuer et al.'s instrument, forutsatt at det kalibreres for den bestemte aerosoltype som skal måles.

Safety in Mines Research Establishment i England har utviklet en horisontal plateelutriator (SIMSLIN, se Figur 16), hvor en laserstråle går gjennom den respirable fraksjonen. Det kan bæres i hånden. Den respirable fraksjonen samles opp på et filter og det er derfor mulig å kalibrere instrumentet direkte for den aktuelle støvtype. Volumstrømmen er bare 0.625 L/min, målingen må derfor foregå over ganske lang tid for å få en oppsamlet støvmengde som kan veies uten vanskelighet, hvis ikke støvkonsentrasjonen er høy. En prototyp er prøvet av Blacford og Harris (uda-

tert) i kullgruber og steinbrudd, men ikke sammenlignet med andre måle-metoder. Et eksempel på utskrift av resultater lagret i datahukommelsen er vist i Figur 17.

Armbruster (1987) har undersøkt Tyndallometer TM digital MK2 som tilnærmet måler respirabelt støv, uten forutskiller eller pumpe. Det forutsettes at luften beveger seg gjennom målekammeret ved den naturlige luftbevegelse, eller ved at instrumentet beveges. Det har datahukommelse. Resultatene var noe for høye for partikler mindre enn 1 μm . Røk vil (antagelig) forstyrre målingene for alle instrumenter basert på lysspredning. De bør kalibreres for den aktuelle støvtype.

Instrumenter som måler endring av en resonansfrekvens. Her fjernes først partikler større enn ca 5 μm . Finfraksjonen felles ut elektrostatisk på en piezoelektrisk mikrovækt med kvartskrystall. Denne oscillerer med en bestemt frekvens som imidlertid endres når det deponeres partikler på den. Endringen er omvendt proporsjonal med deponert masse som kan bestemmes ned til ca. 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Et bærbart piezoelektrisk instrument, TSI, er beskrevet av Sem og Tsurubayashi (1975). Det har en impaktor-forutskiller og er nærmere vurdert³ av Sem et al. (1977) som fant at mellom konsentrasjonene 0,05 til 6 mg/m^3 lå nesten alle resultatene innenfor $\pm 10\%$ av parallele filtermålinger, både for sveiserøyk, oljetåke, metallstøv, tobakksrøyk og en rekke andre støvtyper. Forutskilleren hadde en karakteristikk som gikk fra 100 til 0 % penetrasjon mellom ca. 2 og 5 μm (50 % ved 3,5 μm) og avvek dermed både fra ACGIH og BMRC-spesifikasjonene, men forfatterne antok at det ikke hadde noen særlig praktisk betydning. Kuusisto og Krantz (1983) fant høy korrelasjon ($r^2 = 0,996$) med syknonmetoden for konsentrasjoner mellom ca 0,3 og 8 mg respirabel kvarts i støvkammer, men med noe varierende resultater for andre støvtyper.

Absorpsjon av β -stråler brukes til måling av aerosol oppsamlet på filter (Lilienfeld 1970, Samini 1986) eller deponert på en vaselinbelagt plastfilm ved at en luftstråle med partiklene "skytes" ned mot filmen (Marple og Rubow 1978). Instrumentene kan måle den respirable fraksjon ved å forsynes med forutskiller. Absorpsjonen er nesten bare avhengig av deponert masse, ikke, eller bare i liten utstrekning, av aerosoltypen.

Lilienfeld et al. (1979) har utviklet et direktevisende instrument for måling av fiber. Det er basert på lysspredningen fra partikler etter at de fiberformede partiklene er gitt en bestemt orientering ved hjelp av et roterende elektrisk felt. Instrumentet kan innstilles til bare å telle fiber som overstiger en valgt lengde. Antall fiber pr cm^3 vises digitalt. Ved å variere telletiden fra 1 min og oppover, kan fiberkonsentrasjoner mellom ca 0,001 og 30 pr. cm^3 bestemmes. Det har vært stille om instrumentet de senere år, antagelig fordi det blir kostbart.

7 ADMINISTRATIVE NORMER

De administrative normer (AN) utgis av Direktoratet for arbeidstilsynet (1984b) og fås gratis fra Arbeidstilsynet. De revideres med mellomrom. Det er derfor viktig å forvise seg om at man har siste utgave. De angir vanligvis "-- høyest akseptable gjennomsnittskonsentrasjon over et 8-timers skift." Det er ikke angitt om "gjennomsnittt" betyr aritmetisk, geometrisk eller en annen form for middel. Logisk sett burde geometrisk middel brukes, fordi målingene har en lognormal fordeling.

For noen stoffer angis også "takverdier" som ikke må overskrides. Dette er

uheldig, fordi det i de fleste tilfelle bare er et spørsmål om å ta et tilstrekkelig antall prøver for å finne en overskridelse. Det kan medføre at noen vil ta så få prøver som mulig, slik at risikoen for dokumentert overskridelse blir minst mulig. I stedet for takverdi, kunne man angi at f.eks. 95-prosentilet ikke må overskride en bestemt verdi, se Jahr (1987). Det er ellers angitt i AN hvordan de skal brukes.

7.1 BEREGNING AV NORM FOR AEROSOLER MED FLERE KOMPONENTER

I AN er angitt en summasjonsformel for stoffer som har lik (additiv) virkning på organismen. For hvert stoff beregnes forholdet konsentrasjon dividert med AN. Summen av brøkene skal være mindre enn én. Det kan imidlertid være av interesse å beregne en "norm" for en blandingsaerosol når sammensetningen bare har små variasjoner over tid. Det kan gjøres både for totalaerosolen, den inspirable del og for respirabel fraksjon. Hvis den oppsamlede aerosol består av $k_1\%$ av komponent 1, $k_2\%$ av komponent 2, osv, med normer henholdsvis AN_1 , AN_2 ,, og virkningene av komponentene er additiv;, så blir normen for aerosolen

$$AN = \frac{100}{\frac{k_1}{AN_1} + \frac{k_2}{AN_2} + \frac{k_3}{AN_3} + \dots}$$

8 REDUKSJON AV EKSPONERINGEN

Prinsipielt skal eksponeringen av arbeidstakere holdes så lavt under AN som det er teknisk-økonomisk mulig. En oversikt over de viktigste metoder for reduksjon av eksponeringen ble gitt av Jahr (1967).

Hovedprinsippene for bedring av arbeidsforhold er: bedre ventilasjon, bruk av mindre farlige stoffer og metoder, samt bruk av åndedrettsvern. Det siste er en nødløsning som bare bør brukes i spesielle tilfelle og i begrensede perioder. For industriventilasjon er det viktigste prinsipp at arbeidstakerne skal oppholde seg i ren luft, mens utstyr ofte kan tåle en forurenset atmosfære. Det betyr at man må unngå "omrøringsventilasjon" med høy hastighet på innblåst luft. Resirkulering av luften i arbeidslokaler bør likeledes unngås, istedet kan varmevekslere uten direkte kontakt mellom avsugd og innblåst luft anbefales. De to luftstrømmer bør heller ikke passere samme flate i varmeveksleren. Forøvrig vises til lærebøker.

9 REFERANSER

ACGIH (1984): "Particle size-selective sampling in the workplace". Annals of the ACGIH 11, 21-100.

ACGIH (1986): "Threshold limit values and biological exposure indices for 1986-1987". ACGIH, 6500 Glenway Ave., Cincinnati, OH 45211-4438; 513/661-7881. (Revideres årlig).

AIA (1979): "Draft proposal: Reference method for the determination of airborne asbestos fibre concentrations at workplaces by light microscopy". Asbestos International Association, 68 Gloucester Place, London W1H 3HL.

Andersen AA (1966); "A sampler for respiratory health hazard assesment". Am Ind Hyg Ass J 27 160-165

Arbetarskyddsstyrelsen (1984): "Hygieniska gränsvärden". Liber Tryck, Stockholm. (Revideres med noen års mellomrom).

Arbetarskyddsverket (1987): "Principer och metoder för provtagning och analys av ämnen upptagna på listan över hygieniska gränsvärden". Arbete och Hälsa 1987:17, 1-93.

Armbruster L (1987): "A new generation of light-scattering instruments for respirable dust measurement". Ann occup Hyg 31, 135-145.

Bartley DL and Doemeny LJ (1986): " Critique of 1985 ACGIH report on size-selective sampling in the workplace". Am Ind Hyg Ass J 47, 443-447. Se også Ibid, side A-498 til A-500.

Bauer HD und Blome H (1977): "Ergebnisse vergleichender Staubmessungen mit dem Streulichtphotometer TM digital und dem MPG II". Staub-Reinhalt Luft 37, 217-220.

Beaulieu HJ, Fidino AV, Kim LBA and Buchan RM (1980): "A comparison of aerosol sampling techniques: 'open' versus 'closed-face' filter cassettes" Am Ind Hyg Assoc J 41, 758-765.

Bjørseth O, Dugstad Ø og Gylseth B (1983): "Forekomst av NaAlF₄ fibre ved aluminiumelektrolyse". HD 880/83, YHI, Oslo.

Blackford DB and Harris GW (udatert): "Field experience with Simslin II-a continously recording dust sampling instrument". Safety in Mines Research Establishment. (Stensil mottatt fra Solberg og Andersen A/S, Oslo).

Breslin JA and Stein RL (1975): "Efficiency of dust sampling inlets in calm air". Am Ind Hyg Ass J 26, 576-583.

Breuer H (1976): "Das neue Feinstaubstreulichtphotometer TM digital". Staub-Reinhalt Luft 36, 6-10

Breuer HJ, Gebhart J, Robock K und Teichert U (1973): "Fotoelektrisches Messgerät zur Bestimmung der Feinstaubkonzentration". Staub Reinhalt Luft 33, 182-185.

Breum NO, Host E and Schneider T (1986): "Evaluating occupational exposure to man-made mineral fibre dust by a screening test". Staub Reinhalt Luft 46, 276-283.

- Bruun R, Bye E og Olaisen S (1985): "Direkte analyse av kvarts på filter. 1. Infrarød spektrometri" HD 914/85, YHI, Oslo.
- Bye E, Eduard W, Gjønnnes J og Sørbrøden E: (1985): "Occurrence of airborne silicon carbide fibers during industrial production of silicon carbide". Scand J Work Environ Health 11, 111-115.
- Cossey JR and Vaughan (1987): "A higher-flow rate cyclone for determination of respirable dust". Ann Occup Hyg 31, 39-52.
- Doemeny LJ and Smith JP (1981), Am Ind Hyg Assoc J, 42, March, page A 22.
- Direktoratet for arbeidstilsynet (1984a): "Prøvetaking av forurensninger i arbeidsatmosfære". Bestillingsnr. 450. Direktoratet for Arbeidstilsynet, postboks 8103 Dep, 0032 Oslo 1.
- Direktoratet for arbeidstilsynet (1984b): "Administrative normer for forurensninger i arbeidsatmosfære". Bestillingsnr. 361. Ibid.
- Gardner MJ and Powell CA (1986): "Mortality of asbestos cement workers using almost exclusively chrysotile fiber". J Soc Occup Med 36, 124-126.
- Gerde P (1987): "Derför är asbest och rökning så farligt ihop". Arbetsmiljö 13, 6.
- Gerhardsson MR, Norell SE, Kiviranta HJ and Ahlbom A (1985): "Respiratory cancers in furniture workers". Brit J Ind Med 42, 403-405
- Goldsmith JR (1986): "Comparative epidemiology of men exposed to asbestos and man-made mineral fibers". Am J Ind Med 10, 543-552.
- Gonzales-Fernandez E, De la Osa PD and Martin FR (1987): "Comparison of AIA and NIOSH methods on asbestos fibre measurements in the work place". Am Occup Hyg 31, 363-373.
- Gustavsson P, Krantz S och Holmberg B (1987): "Kriteriedokument för grensvärden. Man-Made Mineral Fibres (MMMMF)". Arbete och Hälsa 1987:26.
- Gylseth B (1982): "Deponering i respirasjonsorgenene av inhalerte luftforurensninger - Kjemiske og fysiske aspekter". Prøveforelesning for den filosofiske doktorgrad ved Det med. fakultet, Universitetet i Oslo.
- Gylseth B, Churg A, Davis JMG, Johnson N, Morgan A, Mowé G, Rogers A and Roggli V (1985): "Analysis of asbestos fibers and asbestos bodies in tissue samples from human lung. An international interlaboratory trial". Scand J Work Environ Health 11, 107-110.
- Hamilton RC and Walton WH (1960) in "Inhaled Particles and Vapors" (Edited by Davies CN), p. 475. Pergamon press, Oxford.
- Head IWH and Wagg RM (1980): "A survey of occupational exposure to man-made mineral fibre dust". Ann. Occup. Hyg. 21, 1980, 235-258.
- Her Majesty's Factory Inspectorate (udatert): "Health: Dust in industry". Technical note 14, Department of Employment and Productivity, HM Factory Inspectorate, England.
- Héry M, Lamant V, Oury B et Peltier A (1987): "Méthodes de prélèvement d'aérosols d'acides, de bases et de sels". c.n.d. N° 129, 553-563.

Hessel PA, Sluis-Cremer GK and Hnizdo E (1986): "Case-control study of silicosis, silica exposure and lung cancer in white South African gold miners". Am J Ind Med 10, 57-62.

Heyder J (1982): "Alveolar deposition of inhaled particles in humans". Am Ind Hyg Assoc J 43, 864-866.

ISO-TC 146 (1983) Air Quality: "Particle size fraction definitions for health related sampling." Technical Report ISO/TR 7708-1983(E) ISO, New York.

Jacobson M and Tomb TF (1967): "Relationship between gravimetric respirable dust concentration and Midget impinger number concentration". Am Ind Hyg Assoc J 28, 554-556.

Jahr J (1967): "Tekniske tiltak for bekjempelse av luftforurensning på arbeidsplassen". Norske Sivilingeniørers forening, Oslo.

Jahr J (1970): "Ein neues Sedimentationsverfahren für Staubproben". Staub-Reinhalt. Luft 30, 465-468.

Jahr J (1973): "Proposed threshold limit values for dust containing free silica". Staub Reinhalt Luft in English 33, 86-90.

Jahr J (1974): "Dose-response basis for setting a quartz threshold limit value". Arch Environ Health 29, 338-340. Note: In formula (II), p 339, the factor k_j must be added after the parenthesis, and "µmols" should be µm on p 338 and 340.

Jahr J (1986): "Utfyllende beregninger og kommentar til en undersøkelse av Casellacykloner for bestemmelse av respirabelt kvarts- og silisiumkarbidstøv". HD 934/86, YHI.

Jahr J (1987): "Prøvetagningsstrategi og beregninger ved arbeidsmiljøundersøkelser" HD 972/87 FOU, YHI.

Jonasson H, Lindblad B, Henriksson M, Rogberg N og Wramner B (1977): "Mineralullsisolering - en arbeidsmiljøstudie". Rapport från Bygghälsan, Sverige.

Kjuus H, Skjærven R, Lien JT, Aamodt og Langaard S (1986): "Yrkeseksponeringens betydning for utvikling av lungekreft". Rapport 86.02, Yrkesmedisinsk avdeling, Telemark Sentralsjukehus, 3900 Porsgrunn.

Knight G and King B (1982): "Comparison of respirable dust specifications with recent lung data". Am Ind Hyg Ass J 43, 575-579.

Kuile W M ter (1985): "Personal samplers for measurement of the inspirable dust dust concentration: Development and comparative measurements". Publication no. P 85/046 TNO p.o. box 217, 2600 AE Delft.

Kuusisto P och Krantz S (1983): "Utvardering av direktvisande matinstrument för aerosoler" Arbete och Hals 1983:15.

Le Guen (1979), Occupational Medicine & Hygiene Labs, Edgeware Road, London NW 2 6LN. Referert av T. L. Ogden 18. - 20 juni 1979 på møte i Brussel holdt av Commission of the European Communities, Health and Safety Directorate.

Levy F (1985): "Trestøv - helseeffekter" HD 922/85, YHI, Oslo.

- Lidén G (1985): "Jämförelse av två typer på föravskiljare för provtagning av respirabelt damm". Arbete och Hälsa 1985:12.
- Lidén G and Kenny LC (1986): "The performance of personal cyclones for the sampling of respirable dust". Proc Second Natl Aerosol Conference, West Berlin 1986, Pergamon Press 1986.
- Lilienfeld P (1970): "Beta-absorption impactor aerosol mass monitor". Am Ind Hyg Ass J, 31, 722-729.
- Lilienfeld P, Elterman PB and Baron P (1979): "Development of a prototype fibrous aerosol monitor". Am. Ind. Hyg. Ass. J. 40, 270-283.
- Linch AL (1967) "The spill-proof microimpinger". Am Ind Hyg Ass J 28, 497-8.
- Lindblad B, Arnelius G, Hallin N og Jonasson H (1986): "Hantering av mineralull inom byggnadsbranschen". Rapport från Bygghälsan, Sverige.
- Malvik B og Bjørseth O (1981): "Oppsamlingseffektivitet til åpen/lukket filterholder for bruk ved personlige støveksponeringsmålinger". SINTEF RAPPORT STF A 81031, SINTEF, 7034 Trondheim - NTH.
- Marple VA and Rubow KL (1978): "An evaluation of the GCA respirable dust monitor 101-1". Am Ind Hyg Ass J, 39, 17-25.
- McDonald JC, Liddell FDK, Gibbs GW, Eysen GE and McDonald AD (1980): "Dust exposure and mortality in chrysotile mining, 1910-75". Brit J Ind Med 37, 11-24.
- NIOSH (1977): "NIOSH Manual of Analytical Methods". Vol. 1, 2nd Ed., 239-1 - 239-2. U.S. Government Printing Office, Washington D.C. 20402, USA.
- Nordal P-E (1984): "Fotoakustisk analyse av kvarts-støv". Laboratorium for anvendt optikk, postboks 303 Blindern, 0314 Oslo 3.
- NS 4857 (1981): "Sedimenteringsmetode for støvprøver". Norges Standardiseringsforbund, postboks 7020, Homansbyen, 0352 Oslo 3.
- NS 4853 (1983) "Tellekriterier for asbestfibre". Ibid.
- NS 4860 (1983): "Måling av totalkonsentrasjonen av støv og røyk i arbeidsatmosfære ved bruk av personbåret prøvetaker". Ibid. NB! Under 3.16 skal stå 4 kPa og tilsist under 5.2.2 skal stå 293,2 i telleren.
- Ogden TL and Birkett JL (1978): "An inhalable-dust sampler, for measuring the hazard from total airborne particulate" Ann. Occup. Hyg. 21, 41-50.
- Ogden TL, Birkett JL and Gibson H (1978): "Large-particle entry efficiencies of the MRE 113A gravimetric dust sampler". Ann Occup Hyg 21, 251-263.
- Pooley FD (1976): "An examination of the fibrous mineral content of asbestos lung tissue from the Canadian chrysotile mining industry". Environmental Research 12, 281-298.
- Robock K and Teichert U (1978): "Techniques, strategies and results of dust measurements in the asbestos industries". V th International Conference on Pneumoconiosis. International Labor Organization (ILO) meeting in Caracas, Venezuela 19.10 - 03.11. 1978.

Rüttner JR, Spycher MA and Stolkin I (1987): "Inorganic particulates in pneumoconiotic lungs of hard metal grinders". Brit J Ind Med 44, 657-660.

Samini B (1986): "Laboratory evaluation of RDM-201 respiratory dust monitor". Am Ind Hyg Ass J, 47, 354-359.

Schneider T (1976): "Optisk analyse af støvblandinger med hovedvægt på fibre opsamlet på membranfiltre". Tryksag nr 37.053-76.149, Statens Institut for Arbejdshygiejne, Hellerup, Danmark.

Schneider T (1978): "Mineraluld Støvføremkomst ved anvendelsen", Rapport nr. 1/1978. Arbejdstilsynet, Arbejds miljøinstituttet, Hellerup, København.

Schneider (1979): "Exposure to man-made mineral fibres in user industries in Scandinavia": Ann occup Hyg 22, 153-162

Schneider T (1987): "Mass concentration of airborne man-made mineral fibres". Ann Occup Hyg 31, 211-217.

Schneider T and Breum NO (1986): "Screening MMMF exposure by gravimetric dust measurement". International symposium man-made mineral fibres in the working environment, Copenhagen 28-29 october 1986, World Health Organization, Regional Office for Europe, Copenhagen.

Schneider T, Skotte J and Nissen P (1985): "Man-made mineral fiber size fractions and their interrelation". Scand J Work Environ Health 11, 117-122.

Sem JG and Tsurubayashi K (1975): "A new mass sensor for respirable dust measurement". Am Ind Hyg Ass J, 36, 791-800.

Sem JG, Tsurubayashi K and Homma K (1977): "Performance of the piezo-electric microbalance respirable aerosol sensor". Ibid. 38, 580-588.

Stahlhofen W, Gebhart J and Heyder J (1980): "Experimental determination of the regional deposition of aerosol particles in the human respiratory tract". Am Ind Hyg Ass J 41, 385-389.

Steenland K and Beaumont J (1986): "A proportionate mortality study of granite workers". Am J Ind Med 9, 189-201.

Symanski H: "Delayed onset of sandstone pneumoconiosis: A case report". Am J Ind Med 2, 101-102.

Toffolo D and Lockington JN (1981): "Direct infrared spectrophotometric analysis of free crystalline silica in respirable dust from a steel foundry". Am. Ind. Hyg. Ass. J. 8, 579-595.

Tomb TF, Treaftis HN and Thompson EM (udatert, ca 1977): "Laboratory evaluation of the Leitz Tyndallometer TM digital". Informational Report 1051, Mining Enforcement and Safety Administration, U.S. Dept. of the Interior.

Treaftis HN, Kasmar P, Suppers K, and Tomb TF (1986): "Comparison of particle size distribution data obtained with cascade impactor samplers and from Coulter Counter analysis of total dust samples" Am. Ind. Hyg. Ass. J. 47, 87-93.

Verma DK (1984): "Inhalable, total and respirable dust: Field study". Ann Occup Hyg 28, 163-172.

Vincent JH and Armbruster L (1981): "On the quantitative definition of airborne dust". *Ann Occup Hyg* 24, 245-248.

Vincent JH and Mark D (1987): "Comparison of criteria for defining inspirable aerosol and the development of appropriate samplers". *Am Ind Hyg Assoc J* 48, 454-457.

Voss R, Stenersen T, Oppedal BR and Boysen M (1985): "Sinonasal cancer and exposure to softwood". *Acta Oto-Laryngol* 99, 172-178.

Wergeland E, Langmark F, Gylseth B, Skaug V og Eriksen R (1986): "Grunnlagsdokument for fastsettelse av administrativ norm for syntetiske uorganiske fibre". Direktoratet for arbeidstilsynet, Oslo.

WHO (1982): "Biological effects of man-made mineral fibres". World Health Organization, Regional Office for Europe, International Agency for Research on Cancer, Copenhagen.

WHO (1984): "Evaluation of exposure to airborne particles in the work environment". WHO offset publ. no.80. World Health Organization, Geneva.

WHO (1985): "Reference methods for measuring airborne man-made mineral fibers". World Health Organization, Regional Office for Europe, Scherfigs vej 8, DK-2100, København Ø. 703/791108.

Wood JD and Birkett JL (1979): "External airflow effects on personal sampler". *Ann Occup Hyg* 22, 299-310.

10 TABELLER

Aerodynamisk diameter, μm	AEC (Los Alamos)	ACGIH	BMRC (Johannesburgh)
1,5	100		95,5
2	100	90	92
2,5	90	75	87,5
3,5	50	50	75,5
5	25	25	50
6			28
7,07			0
10	0	0	0

Tabell 1. Vekt-% av støvet som skal passere gjennom en forutskiller etter forskjellige kriterier.

Tabell 2

Ekvivalent partikkel-diameter	Teoretisk tid partiklen bruker på å synke én meter i luft.		
	μm	Kvarts	Bly
10		2 minutter	0,5 minutter
5		8 "	2 "
3		23 "	5 "
2		50 "	12 "
1		3,5 time	50 "

Tabell 2. Teoretisk synkehastighet i luft for kvarts- og blypartikler

Omvandling	Omvandlings-temperatur, $^{\circ}\text{C}$	Densitet (tetthet) ved 20°C , g/cm^3
α -kvarts \leftrightarrow β -kvarts	575	α -kvarts 2,65
β -kvarts \leftrightarrow tridymitt	870	tridymitt 2,27
Tridymitt \leftrightarrow kristobalitt	1470	kristobalitt 2,33
Amorf \rightarrow kristobalitt	ca. 700!!	
Kristobalitt \rightarrow smelte	1705	

Tabell 3. Data for noen aktuelle silika-modifikasjoner.

Asbesttype	% Fe	Spormetallinnhold, mg/kg:			
		Cr	Co	Mn	Ni
Krysotil* $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$	1,7- 3,1	340- 1390	50- 55	450- 720	870- 1360
Amositt ($Fe^{++}Mg$) $Si_8O_{22}(OH)_2$	Høyt	35	5	11800	100
Krokidolitt $Na_2Fe_3^{++}Fe_2^{+++}$ $Si_8O_{22}(OH)_2$	Høyt	20	0,4- 0,8	140- 240	100

Tabell 4. Kjemisk sammensetning av asbest.

*Teknisk krysotil kan inneholde amfiboler.

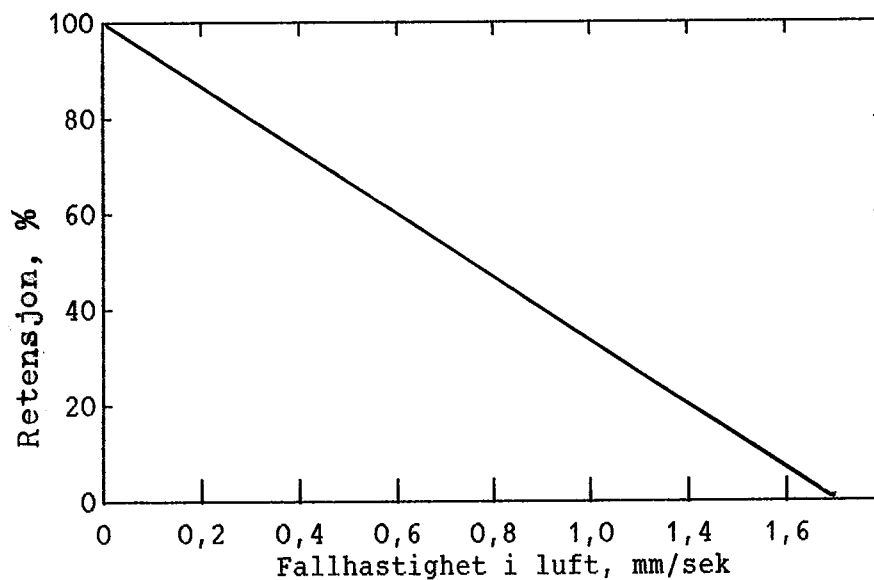
Fibertyp	Studie	Obs	Förv	SMR	95% ci
Glasull	IARC	17	12,4	138	80-220
	E-M	47	36,03	130	96-173
	Totalt	64	48,43	132	102-169
Stenull	IARC	12	6,5	185	95-323
	E-M	14	8,11	173	94-290
	Totalt	26	14,61	178	116-261
Totalt		90	63,04	143	115-175

Tabell 5. Dose-respons for SUF-lungekreft etter 30 års latenstid.
Gustavsson et al. (1987).

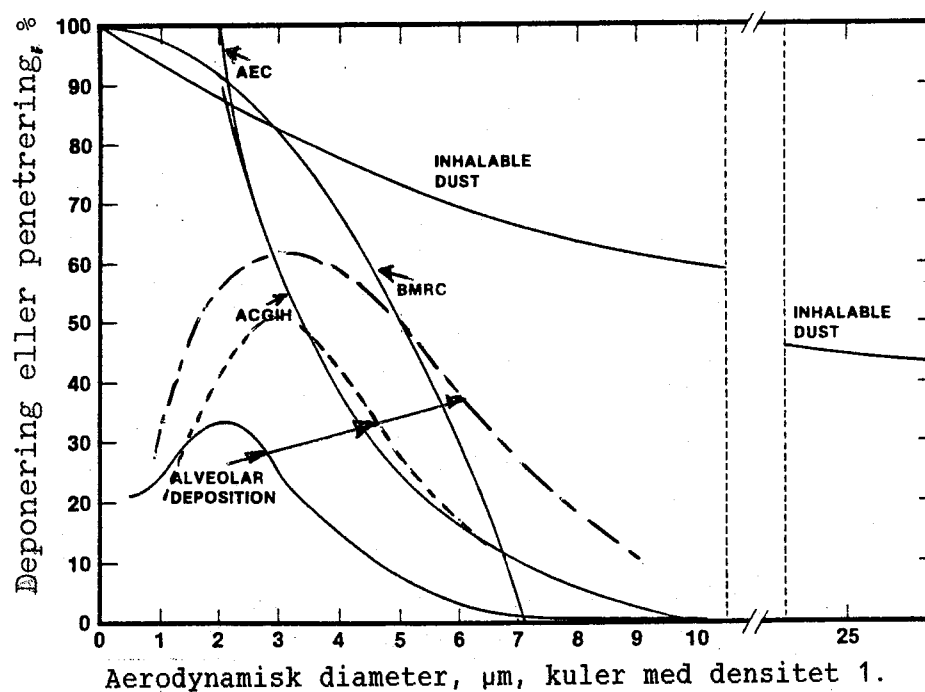
Form, metode	Sted	Steinull	Glassull
Matter	LOFT	0,2-1,5	0,3-3,5
---"---	TYPEHUS	0,04-0,1	
Rullefilt	LOFT		0 -0,04
---"---, løs	LOFT	0,5 -21	
Sprøyting	STÅL	0,16-2,6	

Tabell 6. Eksponering ved isolering med mineralull, range, f/cm^3 .

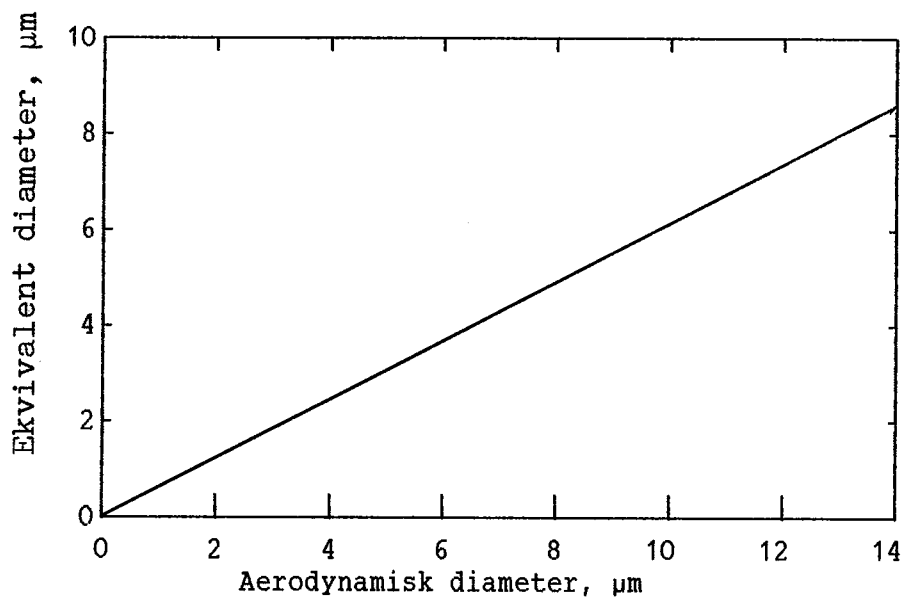
11 FIGURER



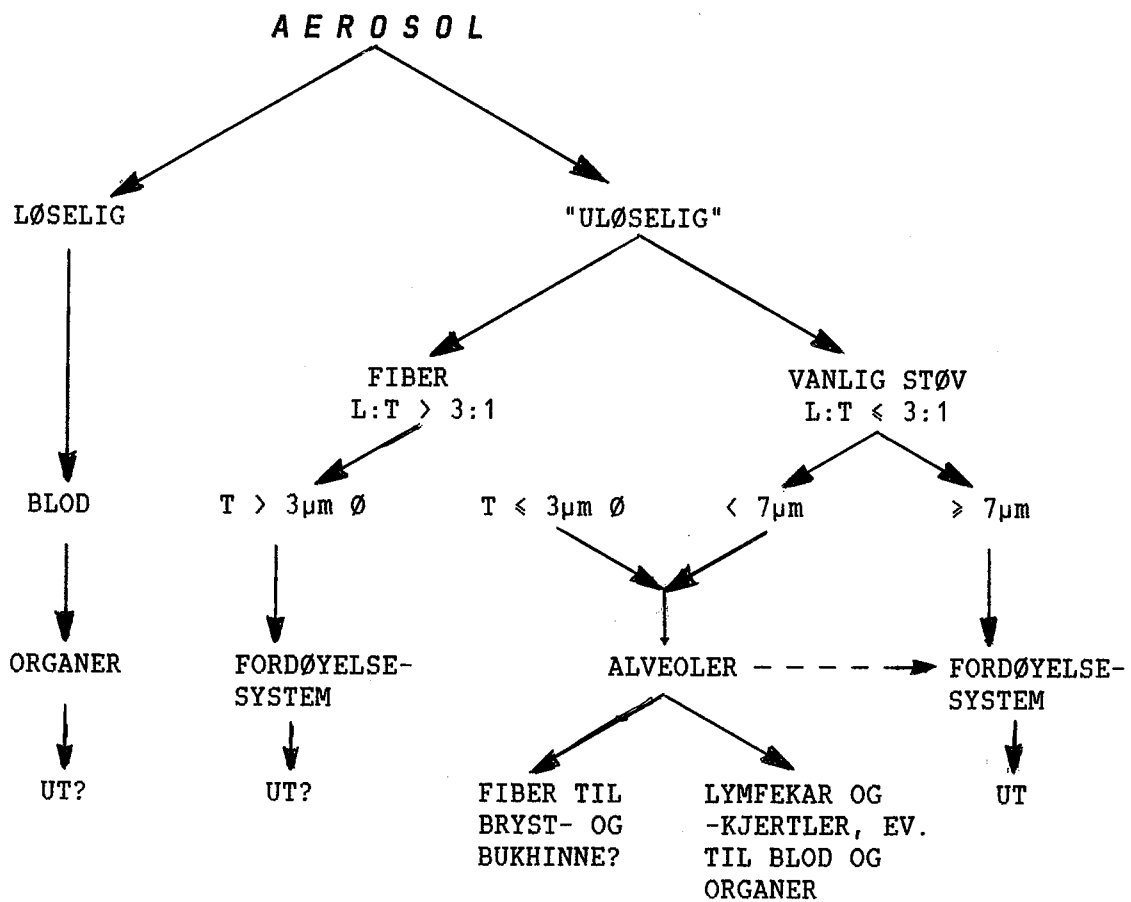
Figur 1. BMRC's krav til retensjon i forutskiller, Bloor and Dinsdale (1966)



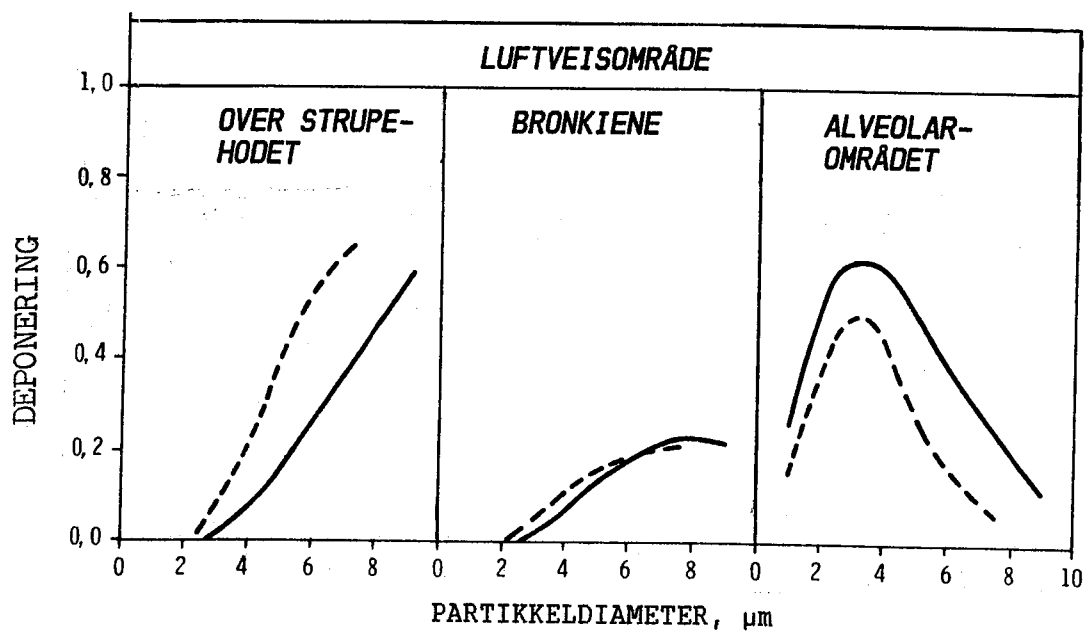
Figur 2. BMRC's, ACGIH's og AEC's definisjoner av respirabelt støv, sammenlignet med deponeringen i alveolarområdet — Verma (1984). Munnpustere: ---- 750 cm³/s i 2 s, ——— 250 cm³/s i 4 s, Stahlhofen et al. (1980)



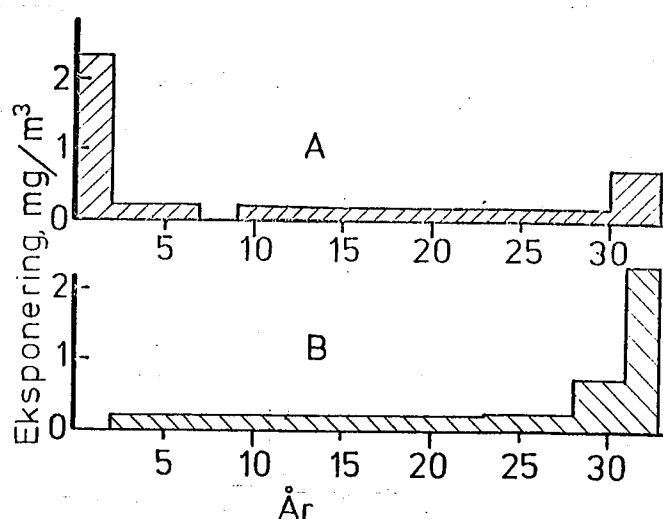
Figur 3. Sammenheng mellom ED og AED for kvarts ($d=2,65 \text{ g/cm}^3$)



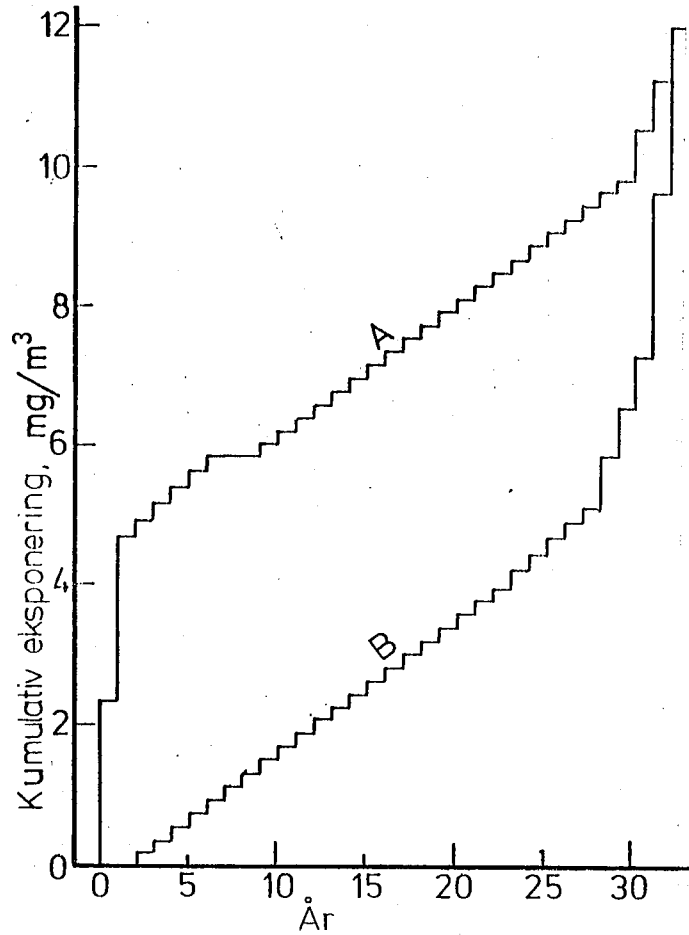
Figur 4. Skjematiske inndeling av aerosoler etter hvordan de fordeler seg i kroppen. L = lengde, T = tykkelse, \emptyset = diameter.



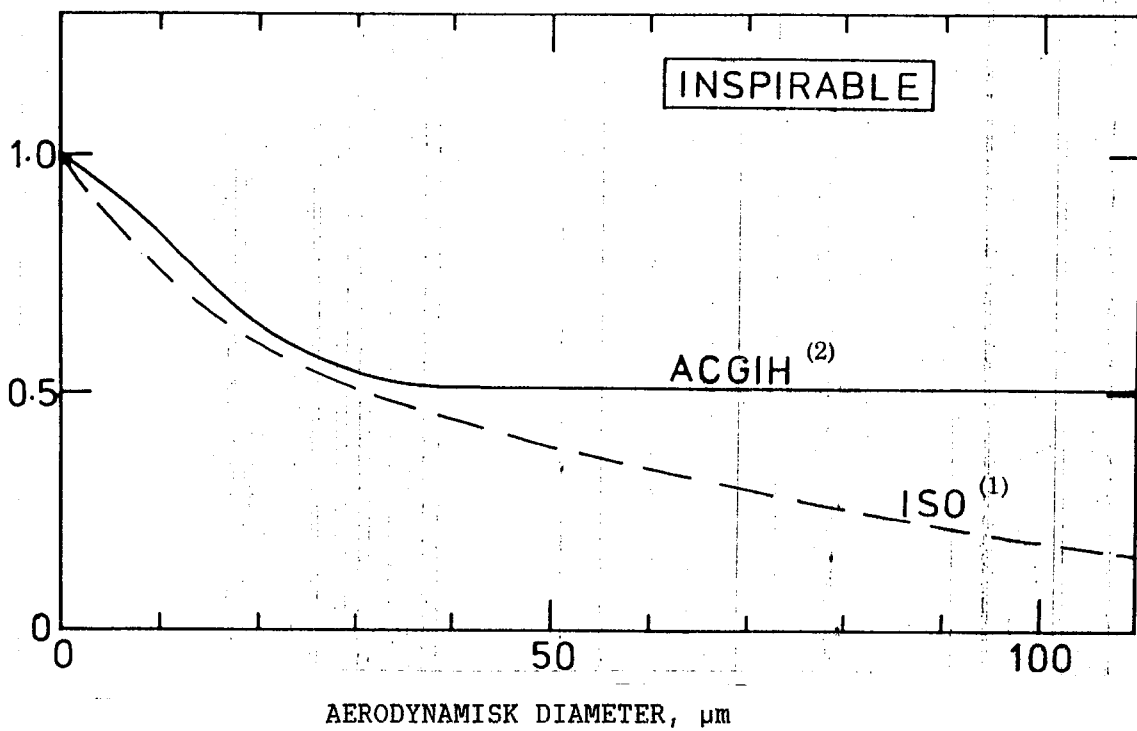
Figur 5. Deponering av monodisperse partikler med densitet 1 i luftveiene til munnpustere. ---- 750 cm³/sek i 2 sek
 — 250 cm³/sek i 4 sek (Heyder 1982).



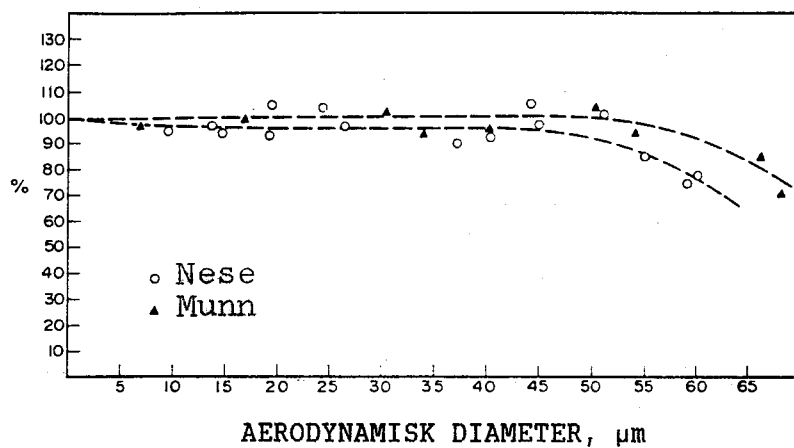
Figur 6. Doser (skravert) etter formelen $\int(K_i \cdot Y_i)$ hvor K_i er konsentrasjonen i året Y_i . Dosene i A og B er like store, men effekten kan bli meget forskjellige (Jahr 1974).



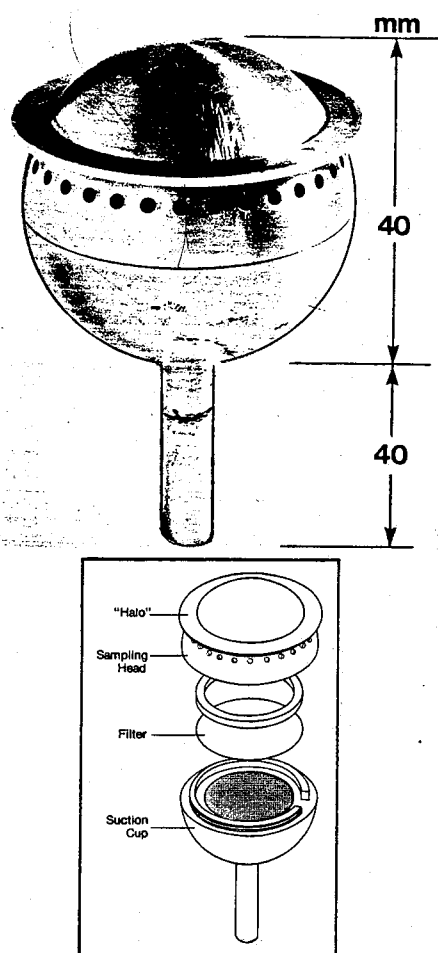
Figur 7. Livstidsdose (arealene under hver av kurvene A og B) etter formelen $\sum (Y - Y_j + 1) \cdot K_j$, hvor Y er det siste året og Y_j er året med konsentrasjon K_j (Jahr 1974).



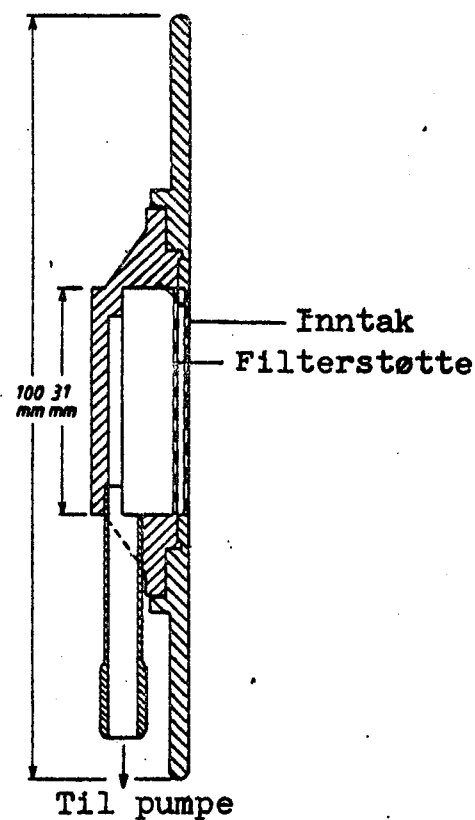
Figur 8. Inspirabilitet av støv som funksjon av partikkelstørrelsen, definert av ISO og ACGIH (Vincent and Mark 1987)



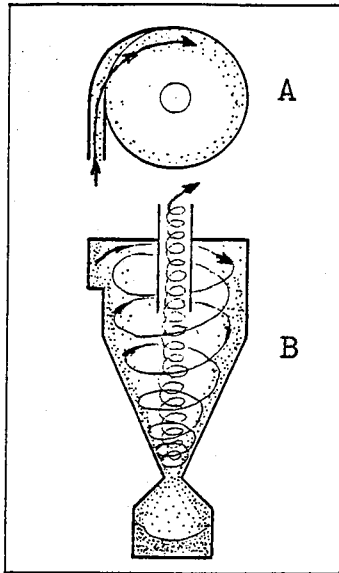
Figur 9. Oppsamlingseffektivitet for nese og munn ved pusting av 25 L/min i 1 m/sek motvind (Wood and Birkett 1979).



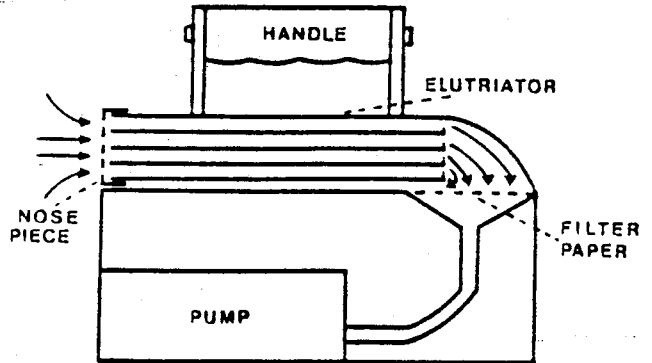
Figur 10. ORB prøvetager for inspirable partikler (Ogden og Birkett 1978, Verma 1984)



Figur 11. Badge PAS personlig prøvetager for inspirable partikler (Kuile 1985).

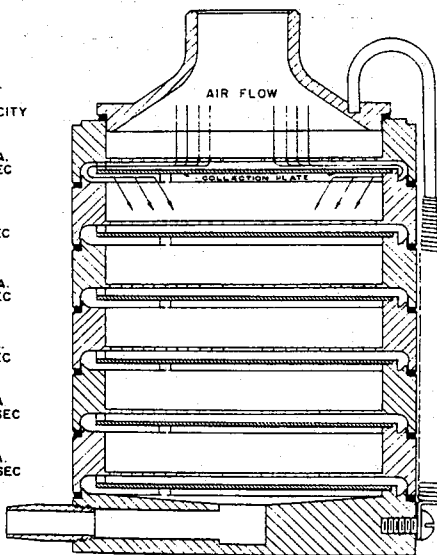


Figur 12. Prinsipp for syklon
A sett ovenfra, B sett forfra.

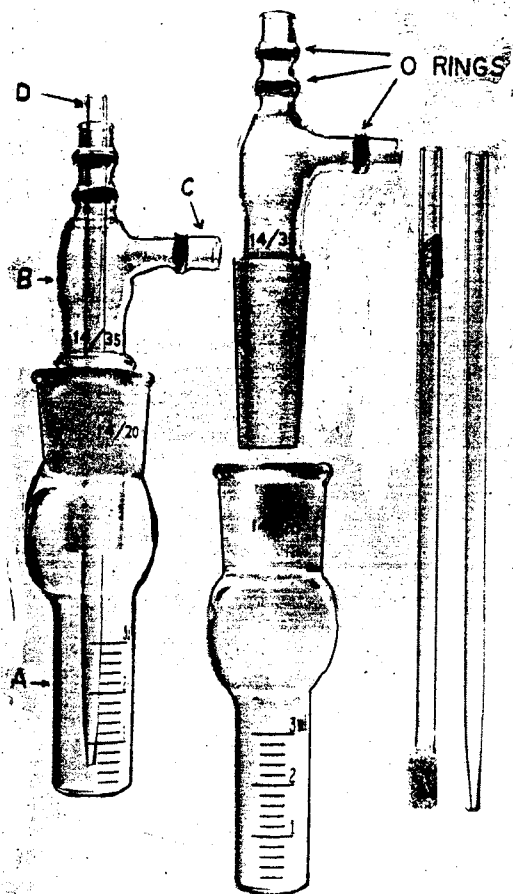


Figur 13. MRE plateelutriator.

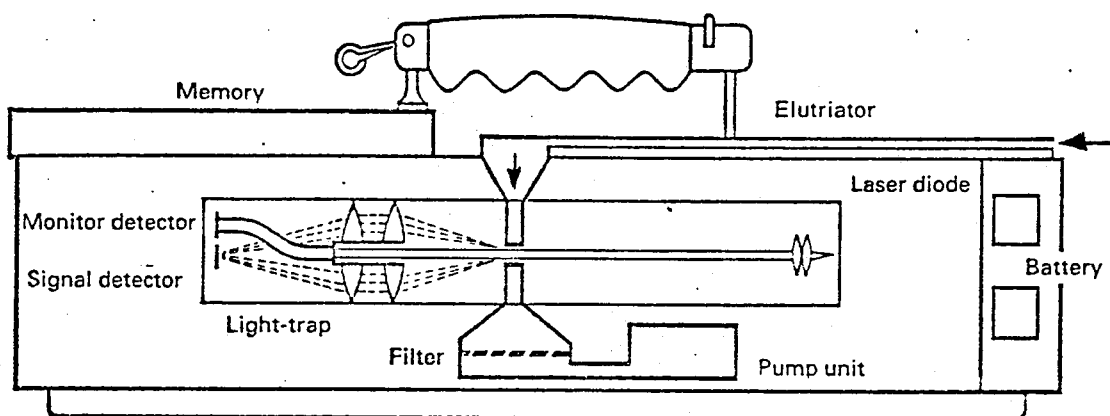
STAGE NO.	JET SIZE	JET VELOCITY
STAGE 1	0.0465" DIA.	3.54 FT/SEC
STAGE 2	0.0360" DIA.	5.89 FT/SEC
STAGE 3	0.0280" DIA.	9.74 FT/SEC
STAGE 4	0.0210" DIA.	17.31 FT/SEC
STAGE 5	0.0135" DIA.	41.92 FT/SEC
STAGE 6	0.0100" DIA.	76.40 FT/SEC



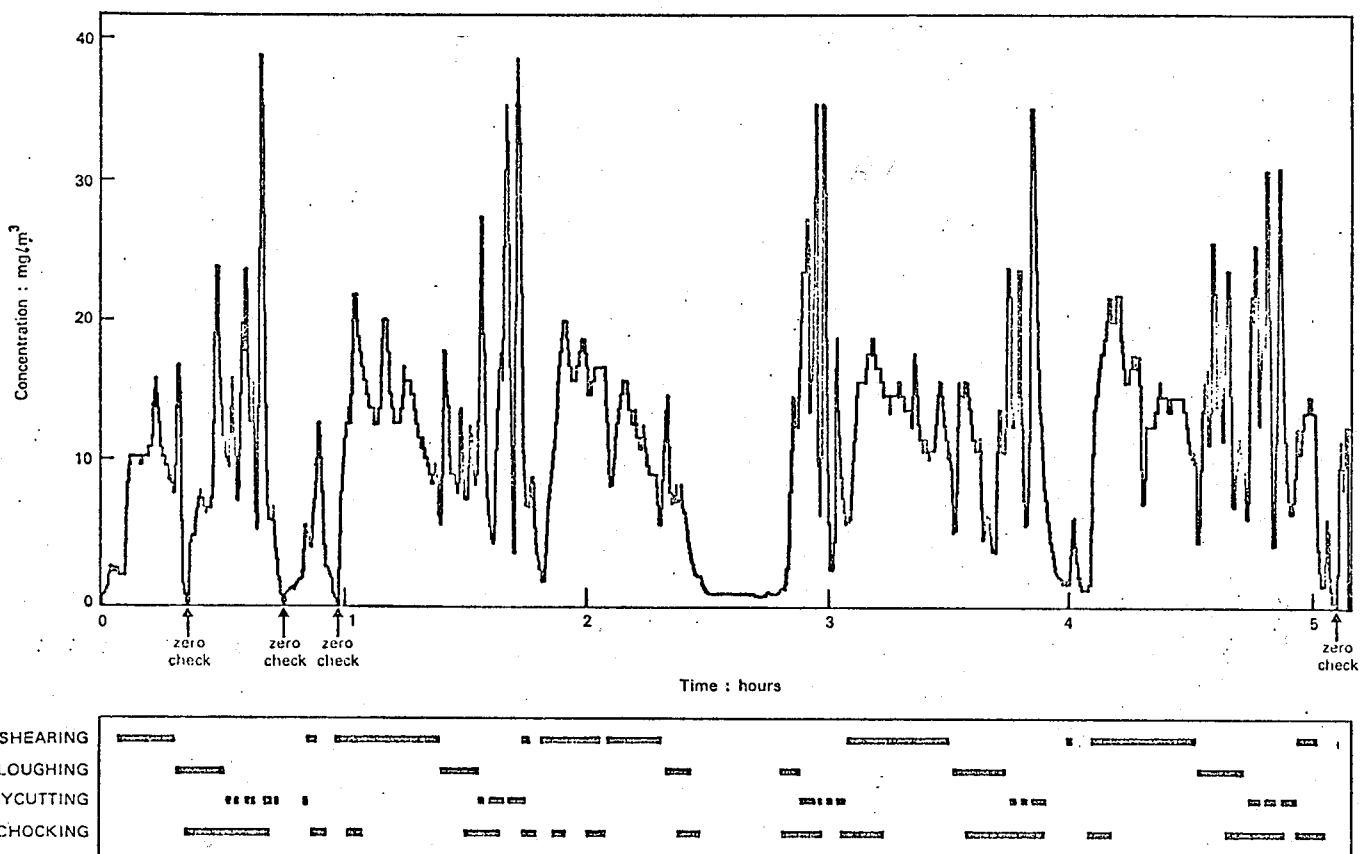
Figur 14. Kaskadeimpaktor
(Andersen 1966).



Figur 15. Lekkasjefri gass-
vaskeflaske (Linch 1967).



Figur 16. SIMSLIN II SMRE plateelutriator med digitalavlesning og registrering av måleresultater (Blackford and Harris, udatert).



Figur 17. Registrering av støv med SIMSLIN II SMRE (Blackford and Harris, udatert).