

STØV OG RØYK I ARBEIDSMOSFÆRE

AV

JØRGEN JAHR

YRKESHYGIENISK INSTITUTT

HD 803

Revidert august 1981
og april 1987

Oslo, 17. JULI 1979

STØV OG RØYK I ARBEIDSMOSFÆRE

AV

JØRGEN JAHR

YRKESHYGIENISK INSTITUTT

HD 803

Revidert august 1981
og april 1987

Oslo, 17. JULI 1979

	Side
Fig. 10: 3-delt filterholder. (Mål ca. 1:1,25)	54
Fig. 11: Apparat for sammenpressing av filterholdere.	54
Fig. 12: Filterholdere med tape og nipler.	54
Fig. 13: Plassering av personlig prøve- takingsutstyr på operatør.	54
Fig. 14: Måling av pumpekapasitet.	55
Fig. 15: Måling av pumpekapasitet med større flowmeter.	55
Fig. 16: Utstyr for måling av sveise- røk inne i sveiseskjerm.	55
Tabeller	56
Tabell 1: Teoretisk tid forskjellige kuleformede partikler av kvarts og bly bruker på å synke 1 m i luft.	56
Tabell 2: Konsentrasjonangivelser for støv.	56
Tabell 3: Vekt-% som passerer gjennom forutskiller.	57
Tabell 4: Data for krystallmodifikasjoner SiO ₂ .	57
Bilag	
Bilag 1: Sedimenteringsmetode for støvprøver.	
Bilag 2: Aceton-Triacetin-Mounting Procedure.	
Bilag 3: Eksempel på disposisjon for en undersøkelse av arbeidsforhold.	

1. INNLEDNING

Hensikten med dette heftet er å gi en innføring i hvordan man kan måle og karakterisere partikulære luftforurensninger av faste stoffer, spesielt med tanke på å undersøke om arbeidsforholdene er akseptable. Hvilke metoder som eventuelt kan anvendes for å bedre forhold som ikke er tilfredsstillende m.h.t. luftforurensninger, er behandlet annetsted (se litt.ref.).

Det gis også en oversikt over aktuelle prøvetagnings- og analysemetoder, men ingen detaljerte forskrifter.

2. DEFINISJONER

AEROSOL: Luftbårne partikler av fast stoff eller væske (egentlig skulle begrepet omfatte partikler med så små dimensjoner at de ikke kan sees i et lys-mikroskop, d.v.s. mindre enn ca. 0,2 μm . I de senere år er man imidlertid, også internasjonalt, gått over til å bruke begrepet om alle luftbårne partikler som synker forholdsvis langsomt i luft).

STØV: Luftbårne, faste partikler oppstått ved mekanisk påvirkning av grovere fast stoff. Partikkelstørrelse oftest fra ca. 0,1 - 500 μm .

FIBER: Fast partikkel hvor forholdet lengde til tykkelse er større enn 3 til 1 (definisjonen er noe uheldig fordi en rekke krystaller kommer innenfor dette området. Sebastien og medarbeidere¹⁾ har vist at asbest i lungevev fra kreftpasienter har forholdet lengde til diameter mellom 10 og noe over 100. Antagelig burde fiber defineres som partikler med forholdet lengde til tykkelse over 5 til 1.).

RØYK: Luftbårne, faste partikler oppstått ved kondensasjon fra gassfase. Partikkelstørrelsen oftest mindre enn 1 μm , (f.eks. i metallurgisk røk), men kan ha betydelig større partikler. Opptrer ofte sammen med forskjellige gasser.

TÅKE: Luftbårne væskepartikler.

RESPIRABLE

PARTIKLER: Dette begrepet er ikke entydig definert. Vanligvis menes partikler av en slik størrelse og form at en større eller mindre del av dem kan komme helt ned i lungenes luftblærer (alveolene) og deponeres der. De tre mest alminnelig brukte definisjoner er gitt i teksten under pkt. 3, Støv.

GASS: Et stoff som hverken har uavhengig form eller volum, men som har tendens til å ekspandere ubegrenset.

DAMP: Gassfasen til et stoff som ved normal temperatur og normalt trykk også kan bestå som væske eller fast stoff.

3. STØV

3.1. Generelt om støv. Hvordan prøvetagning og analyse av støv skal utføres, avhenger i stor grad av hva som skjer med støvet når det tilføres kroppen og hvilken virkning det har.

Dette er nærmere omtalt under forelesningene om toksikologi og yrkeshygiene. Her gis derfor bare en kortfattet oversikt.

Skjematisk kan man inndelegge støvtypene som vist i fig. 1. Det er to hovedgrupper: støv som er løselig i kroppsvæskene og støv som er "uløselig". Det er viktig å være oppmerksom på at støv av et stoff som vanligvis betraktes som meget tungtløselig, kan løses ganske effektivt i kroppen f.eks. i lungene. Dette kan dels skyldes at partiklene er meget små, dels at kroppsvæskene inneholder stoffer som danner komplekser med de enkelte av støvets bestanddeler. Sure eller alkaliske kroppsvæsker vil dessuten kunne løse stoffer som er tungtløselige i rent vann.

Av støv som innåndes, regner man at bare partikler som er mindre enn $5/1000$ mm ($5 \mu\text{m}$) kan komme helt ned i lungenes luftblærer (alveolene). Men også en stor del av disse partiklene vil bli stoppet i luftveiene, enten fordi de slynges ut mot veggene p.g.a. sentri- fugalkraften, eller at de kommer i kontakt med veggene p.g.a. Brownske bevegelser.

Allerede nesen er et forholdsvis effektivt støv-filter og ca. 50% av partikler mindre enn $5 \mu\text{m}$ blir filtrert ut når man puster gjennom nesen. Se f.eks. Landahl og medarbeidere²⁾.

Fiberformede partikler som f.eks. asbest kan bare komme ned i lungealveolene hvis de er tynnere enn ca. $3 \mu\text{m}$, men til gjengjeld kan de være ganske lange, opptil $200 \mu\text{m}$ ($0,2$ mm), se f.eks. Timbrell³⁾.

Partikler som stanses i nesen, vil delvis fjernes når man "pusser nesen", resten transporteres til svelget av flimmerhår. Også partikler som stoppes i luftveiene transporteres til svelget av flimmerhårene i luftrørene. En ikke ubetydelig del av det støv som innåndes, havner således i fordøyelessystemet.

Støvpertikler som kommer helt ned i lungealve blir omsluttet av små celler (støvceller eller phagocyter). De fleste støvtyper blir transportert med disse ut av lungene, enten til luftveiene og derfra til svelget eller til lymfekarsystemet.

Overfor de fleste støvtyper har luftveiene således en meget effektiv selvrensende evne. Der finnes imidlertid enkelte støvtyper som ødelegger phagocytene, slik at de fine støvpertiklene som er kommet ned i lungealveolene blir liggende der i lengere tid og kan gi forskjellige sykdommer. Kwarts og asbest er de mest kjente av slike støvtyper. Ved for høy eksponering gir begge lungefibrose som gjør lungene mindre fleksible og dermed forårsaker større eller mindre grad av åndenød, avhengig av eksponeringsgraden og eksponeringstiden. Asbest kan dessuten gi lungekreft og mesotheliom (kreft i lungesekken eller bukhinnen).

Begge de to hovedgruppene "uløselig" støv og løselig støv kan bestå av organisk og/eller uorganisk materiale.

For støv som er uløselig eller ubetydelig løselig i kroppsvæskene spiller partikkelstørrelsen en stor rolle idet partikler som er større enn 5 μm eller med tykkelse mindre enn 3,5 μm for fiberformede partikler i de fleste tilfeller har liten eller ingen helsemessig betydning bortsett fra den generelle virkning som støv har på lungene.

For slike støvtyper er det derfor støvfraksjonene mindre enn 5 μm som har størst interesse. Denne "tommelfingerregelen" er ikke generelt gyldig idet noen tungtløselige metallforbindelser (av nikkel og

seksverdig krom spesielt) er kreftfremkallende, antagelig gjelder dette også partikler større enn 5 μm . Som nevnt ovenfor, kan også asbest fremkalle kreft. Trefiber har i noen tilfelle vist seg å kunne fremkalle kreft i nesens bihuler. Det gjelder spesielt støv fra en del eksotiske tresorter, men også noen europeiske som f.eks. bøk.

For støv som løses i kroppsvæskene spiller partikkelstørrelsen en betydelig mindre rolle fordi man må regne med at det meste av støvet som inhaleres blir tatt opp i kroppen, enten gjennom lungene eller i fordøyelsessystemet.

Støv kan, i likhet med gass og damp, bevege seg forbausende langt med luftstrømmer uten å bli særlig sterkt fortynnet. Således nevner Buckup⁴⁾ et eksempel på blyforgiftning som oppstod 75 meter fra en patentovn. Like i nærheten av denne var det 1 mg bly/ m^3 luft, på arbeidsstedet 75 meter borte ble det målt 0,35 mg/ m^3 som er $3\frac{1}{2}$ x den nåværende administrative norm.

Som eksempel på hvor langsomt støv synker i luft, er i tabell 1 beregnet den teoretiske tid kuleformede partikler av henholdsvis kvarts og bly bruker på å synke 1 meter ved forskjellige diametre på partiklene. Selv en blypartikkel med 10 μm diameter faller med en hastighet på under 0,04 meter/sek. som i allminnelighet er langt under den hastighet luften i et arbeidslokale beveger seg med. Partikler med uregelmessig form vil synke enda langsommere, særlig flate og fiberformede partikler.

Oppvirvling av støv kan være et problem på enkelte arbeidsplasser. Således har uhensiktsmessig rengjøring i en del tilfeller ført til høye eksponeringsnivåer.

Om det foreligger noen helserisiko ved å arbeide i en støvfylt atmosfære er som regel avhengig av en rekke faktorer hvorav en del er nevnt nedenfor.

Støvet konsentrasjon i innåndingssonen, både under spesielle arbeidsoperasjoner og i gjennomsnitt over arbeidsdagen.

Eksponeringstiden, som regel uttrykt i antall år, i spesielle tilfeller også eksponeringstiden pr. dag.

Graden av fysisk anstrengelse under arbeidet. Dette har betydning for hvor store luftmengder som innåndes og dermed for opptaket av luftforurensingene.

Hvilke enkeltstoffer støvet består av, disses kjemiske sammensetning og hvilken virkning de har på organismen hver for seg og i kombinasjon.

Partiklens form, størrelse og krystallmodifikasjon.

Mengdeforholdet mellom partikler som kan komme helt ned i lungealveolene og partikler som stanses i luftveiene.

Hvilke andre forurensninger som finnes i luften, gasser, syre- eller luttåke, oljetåke o.l.

Rent personlige forhold kan spille en rolle. Hvis man f.eks. ruller sigaretter med blystøv eller

fluoridholdig støv på fingrene vil en kunne få i seg betydelige mengder under røkingen, kanskje mer enn man får ved innånding av arbeidsluften. Hvis man spiser med forurensede fingre, kan man også få i seg betydelige mengder hvis det dreier seg om spesielt helsefarlige stoffer.

I enkelte tilfeller er det viktig å være oppmerksom på at man i luft ikke kan se partikler som er så små at de kan komme ned i lungene, hvis det ikke er en skarp lysstråle i rommet. Man kan f.eks. ha en helsefarlig konsentrasjon av asbeststøv i luften uten at man kan se det.

3.2. Målemetoder for støv.

Det er to hovedmetoder å angi støvkonsentrasjoner på: tallmessige, hvor konsentrasjonen angis i partikler pr. cm^3 luft (p/cm^3) og gravimetriske metoder hvor man angir vektmengde støv pr. volumenhets luft, mest alminnelig i mg pr. m^3 (mg/m^3). For hver av disse hovedgruppene finnes flere undergrupper, se tabell 2.

3.2.1. Gravimetriske metoder.

Den mest alminnelige brukte metode er oppsamling på membranfilter med "porediameter" $0,8 \mu\text{m}$ ved å suge et kjent luftvolum gjennom filteret.

Det finnes flere forskjellige typer membranfilter som kan brukes. Cellulose-acetatfiltre har meget høy oppsamlingseffektivitet, selv for partikler under $0,1 \mu\text{m}$. Vektstabiliteten er ikke spesielt god i det de lett tar opp fuktighet. Bestemmelse av

små mengder oppsamlet støv krever derfor meget omhyggelig behandling med tørking i eksikator (eventuelt varmeskap ved 80°C) i minst 2 timer før og etter prøvetagning. Det er nødvendig å ta med noen blindfiltre d.v.s. filtre som følger de øvrige, men ikke blir brukt til prøvetagning, for å korrigere for eventuell vektforandring. Filtrene har også lett for å bli elektrostatisk oppladet, dette kan man korrigere for ved å føre en liten α -strålekilde over filteret etter at det er lagt på veieskålen. Problemet med elektrostatisk oppladning kan unngås ved å kondisjonere filterne ved konstant relativ fuktighet på 50%, men dette kan føre til feil p.g.a. adsorpsjon av vann på det oppsamlede støv. Det har vært antydnet at man kan få elektrostatisk opplading av membranfilteret under prøvetagningen, hvilket skulle kunne føre til for lave verdier, spesielt ved høy sugehastighet igjennom filteret, se Air Sampling Workshop Bambury, October 1977, The Institute of Occupational Hygienists⁵⁾.

PVC-membranfilter tar antagelig opp mindre fuktighet enn celluloseacetatfilteret, men vi har foreløpig ingen erfaring med dem. Både sølvmembranfilter og glassfiberfilter er meget stabile overfor fuktighet og gir ikke noen elektrostatiske effekter av betydning. Glassfiberfiltrene har imidlertid lett for å miste fibre ved inn- og utmontering av filterholderne og dermed gi veiefeil. Ingen av disse filterene er egnet hvis man skulle ønske å se på støvet i mikroskop.

Nuclepore-filteret er en tett folie som man har laget hull med bestemt diameter i etter en spesiell metode. De fåes med forskjellige porestørrelser. Nucleporefiltrene har betydelig større trykkfall enn membranfiltrene og er derfor ikke så godt egnet til personlig prøvetagning. Oppsamlings-effektiviteten er også noe omdiskutert, men sann-

synligvis god nok. Filtertypen er spesielt egnet til elektronmikroskopering.

Valg av filter er også avhengig av den analyse man skal utføre på støvet senere. Dette må vurderes i hvert enkelt tilfelle. Foreløpig synes imidlertid celluloseacetatfiltrene å være mest generelt anvendelige.

Til personlig prøvetagning brukes oftest bærbare pumper med oppladbare akkumulatorer, men stasjonære, nett-drevne pumper med større kapasitet kan også brukes på arbeidssteder hvor operatøren ikke beveger seg for langt av sted, ved å feste filteret til en lang slange. I begge tilfeller må filterholderen plasseres så nær operatørens ansikt som mulig. Oftest fester man filterholderen til skjortekraven under haken, med holderens åpning vendt på skrå og nedover. Hvor det brukes hjelm, kan det være fordelaktig å feste filterholderen til hjelmen, med åpningen på skrå nedover foran. Den må da plasseres slik at den ikke forstyrrer sikten for operatøren.

De bærbare pumpene er så små at de, uten å sjenerere operatøren, kan bæres i beltet eller i en lomme. Slangen fra pumpen til filteret bør festes til klærne med en klype (f.eks. en bukseseleklemme), slik at slangen ligger så tett inntil kroppen som mulig så man ikke risikerer at de hefter seg fast i noe.

Oppsamling av støv på filter kan også gjøres med "høy-volum støvprøvetagere" (HVS, engelsk: High Volume Samplers). Disse brukes som regel hvor det er vanskelig å få en tilstrekkelig stor prøve med vanlige pumper (f.eks. ved korttidsprøver på noen minutter) eller som et supplement til andre prøver

for å få mer støv å arbeide med. HVS har oftest en kapasitet mellom 300 og 1000 l/min og stort trykkfall. Det er derfor nødvendig å bruke store filtre som er armert. Målingen av det gjennomsugde luftvolum er vanskelig å få så nøyaktig som ønskelig.

HVS er nett-drevne og såvidt store og tunge (2 - 3 kg) at de ikke kan henges på operatøren.

For bestemmelse av totalstøv brukes som regel en av forannevnte filtermetoder, men noen av de metoder som er nevnt nedenfor for bestemmelse av respirabelt støv, kan også brukes, hvis man måler både den respirable og ikke-respirable del av støvet.

Måling av støv som kan komme helt ned til lungealveolene.

Støv mindre enn 5 μm kan bestemmes på flere måter. Toos⁶⁾ har beskrevet mikrosikting i væskefase med ultralyd hvor det fineste sikt hadde kvadratiske åpninger med nominelt 5 μm sider, målt åpning var 6,1 μm , fabrikanten anga 3 - 7 μm .

Metoden var (1965) neppe nøyaktig nok, men med mer moderne fremstillingsmetoder burde det være mulig å lage siktene tilstrekkelig nøyaktige.

Imidlertid er det ikke partiklenes absolute størrelse som er mest interessant i yrkeshygienisk sammenheng, men den aerodynamiske størrelse. En uregelmessig partikkel har mange dimensjoner. For å kunne angi størrelsen med ett tall, definerer man en "ekvivalent-diameter" som svarer til diameteren på en kule som synker like fort som partikkelen i et fludium (væske eller gass).

Ved sedimentering i luft skal ekvivalent-diameteren til en støvpartikkel angis som diameteren til en kule med tetthet 1 som synker like fort i luften. Dette kalles ofte partikkelens aerodynamiske diameter.

Ved sedimentering i væske defineres imidlertid partikkelens ekvivalentdiameter slik at partikkelen skal synke like raskt i væsken som en kule med samme tetthet som partikkelen har (altså ikke 1). Det er uheldig at man således får to forskjellige definisjoner, men i praksis brukes den siste bare for å bestemme den skarpt atskilte støvfraksjonen mindre enn 5 μm , mens den aerodynamiske diameter brukes til å definere respirabelt støv, se nedenfor. Sammenhengen mellom de to definisjonene er vist i figur 2 for kvarts.

Den enkleste sedimenteringsmetode for bestemmelse av støvfraksjonen med ekvivalent diameter mindre enn 5 μm synes fremdeles å være den som er beskrevet av Jahr⁷⁾. Norges Standardiseringsforbund har utgitt den som Norsk Standard nr. 4857. Metoden er primært beregnet for kvarts, men kan brukes for støv med annen tetthet ved å beregne den tilsvarende sedimenteringstid etter Stoke's lov. For blandingsstøv må man bruke tettheten til den komponent som har størst interesse. Av figur 2 ser man at en ekvivalent diameter på 5 μm for kvarts tilsvarer en aerodynamisk diameter på 8 μm .

Respirabelt støv.

I følge Hamilton og Walton⁸⁾ har British Medical Research Council (BMRC) definert den "respirable" del av en støvsky ut fra den frie fallhastighet av partiklene ved formelen

$$C/C_0 = 1 - f/f_c$$

Her er C og C_0 konsentrasjonene av partikler som har fallhastighet f henholdsvis i den respirable del og i hele støvskyen, mens f_0 er en konstant som er lik det dobbelte av fallhastigheten i luft til en partikkel med tetthet 1 og 5 μm diameter. Formelen er fremstilt grafisk i figur 3.

Fallhastigheten kan omregnes til partikkelstørrelse i mikrometer for kuler med tetthet 1. Den kurven som fremkommer da, er vist (sammen med ett par andre, se nedenfor) i figur 4 og ble godtatt på pneumokoniosekonferansen i Johannesburg i 1959⁹⁾. Denne kurven brukes de fleste steder i Europa og kalles BMRC - eller Johannesburger-kurven.

I følge Lippman og Harries¹⁰⁾ ble det på et møte i United States Atomic Energy Commission (AEC) i Los Alamos i 1961 vedtatt følgende definisjon: "Respirabelt støv er en del av inhalert støv som deponeres i de deler av lungene som ikke har cilia." (Cilia er det samme som flimmerhår). Definisjonen var beregnet for "uløselig" støv som holdes tilbake i lungene over lengre tid.

American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH)¹¹⁾ har en definisjon som avviker bare lite fra AEC's.

Den støvfraksjonen som skal slippe gjennom forutskilleren etter foranstående definisjoner er vist i tabell 3 og figur 3. I den siste er også vist den alminneligste angitte deponeringskurve for støv som kommer helt ned i alveolarområdet i lungene, se Brown og medarbeidere¹²⁾.

Det ser ut som det kan være et problem forbundet med AEC/ACGIH-kurvene ved at det kan være vanskelig å få en skarp atskillelse ("cut-off") for partikler i

omkring den angitte kapasitet. Variasjonene mellom syklontypene lå fra 20 - 60%. Nylonsyklonene ga lavest resultat. Det var også til dels betydelig avhengighet av sugehastigheten. Alle syklonene skulle følge AEC/ACGIH-kurvene.

Alle sykloners karakteristikk er avhengig av en nær konstant gjennomstrømningshastighet. Det fine støvet som slipper gjennom har lett for å tette filteret, hvorved gjennomstrømningen reduseres. Med personlige prøvetagere blir støvmengden på filteret ofte så liten at man også får veieproblemer. Med moderne analysemetoder kan man imidlertid som regel likevel bestemme konsentrasjonen av den eller de substanser som har interesse. Det gjelder spesielt kvarts.

Plateelutriatoren er utviklet av Dunmore og medarbeidere¹⁴⁾ og er en forutskiller hvor luften med konstant hastighet passerer en boks med horisontale (parallelle plater) med samme innbyrdes avstand. Her avsettes den "ikke-respirable" del av støvet ved sedimentering. Prinsippet er vist i figur 6. Enkelte plateelutriatorer kan brukes opptil 10 skift uten å tømmes, men i de fleste tilfeller er man interessert i å bestemme totalstøv og da må den tømmes for hver gang den er brukt. Den respirable del av støvet samles på et filter, eller bestemmes fotoelektrisk, eventuelt i kombinasjon med oppsamling på filter. Denne type forutskiller er bare egnet til stasjonær prøvetagning fordi platene må stå horisontalt. Til gjengjeld kan man da bruke en såpass kraftig pumpe at det er mulig å opprettholde en nær konstant luftgjennomstrømning over lengre tid. Hvis kapasiteten avtar, vil man få for lave resultater, fordi støvet får lengre tid til å sedimentere ut i plate-elutriatoren. (I motsetning til sykloner hvor

for lav gjennomstrømningshastighet gir for meget grovt støv og dermed for høye verdier for den respirable del når man regner med den virkelige gjennomstrømningshastighet).

Kaskadeimpaktorer er egnet til stasjonær prøve-
tagning og består oftest av 4 - 8 horisontale
platesett, plasert konsentrisk over hverandre.
Hvert sett består av en hullplate med et stort
antall like store, presisjonsborede hull og en tett
oppsamlingsplate like under, se figur 7. Settene
har avtagende hulldiameter regnet ovenfra og ned-
over, men antall hull er det samme i hver hullplate.
Luften suges inn øverst og ut nederst. P.g.a. høy
hastighet gjennom hullene, blir støv i luften
slynget mot hver oppsamlingsplate. Den delvis rens-
ede luften passerer så utenom den tette platen og
ned til neste hullplate hvor hastigheten gjennom hul-
lene er større og man derfor får samlet opp en fin-
ere støvfraksjon på oppsamlingsplaten. Man får
således forskjellige støvfraksjoner på oppsamlings-
platene og med avtagende partikkelstørrelse ovenfra
og nedover. Man får ingen helt skarp atskillelse,
slik at partikkelfraksjonene fra plate til plate
overlapper hverandre. Andersen¹⁵⁾ laget de første
typer beregnet på bestemmelse av respirabelt støv.
En type med høy kapasitet, roterende oppsamlings-
plater og filter til slutt er beskrevet av Carlson
og medarbeidere¹⁶⁾.

Kaskadeimpaktorer gir god informasjon om støvet idet
man får flere fraksjoner (som kan analyseres hver
for seg) innenfor det respirable området.

Det finnes en rekke instrumenter som kan måle og
angi støvkonsentrasjonen i luften direkte. De
fleste bygger på ett av nedenstående prinsipper.

Instrumenter som måler side-spredningen av lyset fra en lysstråle, som passerer gjennom den støvholdige luft. Seaney og Hodson¹⁷⁾ har beskrevet en type med forutskiller for bestemmelse av respirabelt støv. Apparatet tillater også oppsamling av finfraksjonen på et filter. Breuer¹⁸⁾ har beskrevet en annen type hvor også bare den respirable del av støvet registreres, men hvor alt støvet passerer en monokromatisk lysstråle (0,94 μm) og lys-spredningen måles under en vinkel på 70° . Resultater av målinger med dette instrumentet er angitt av Bauer og Blome¹⁹⁾, samt av Tomb og medarbeidere²⁰⁾. Begge rapporter tyder på at instrumentet er tilfredsstillende under forutsetning av at det kalibreres for den bestemte støvtype som skal måles. Det vil således være egnet som et rutineinstrument.

Instrumenter som måler forandringen i resonansfrekvensen til en piezoelektrisk kvarts-krystall. Her fjernes først partikler større enn ca. 10 μm i en forutskiller og det respirable støvet samles opp ved elektrostatisk utfelling på en piezoelektrisk mikrovekt bestående av en tynn kvartskrystall-skive. Krystallen bringes til å oscillere med en stabil resonansfrekvens i en elektrisk krets. Når masse deponeres på kvarts-skiven, reduseres resonansfrekvensen direkte proporsjonalt med massen av deponert materiale. Så lite stoff som 10^{-9}g (1 ng) skal kunne bestemmes.

Med apparater basert på måling av oppsamlet støv ved hjelp av β -stråling kan man også måle støvkonsentrasjonen direkte og enten få den skrevet ut eller avlese direkte digitalt. Her

størrelsesområdet 10 μm . Disse betyr vektmessig svært meget sammenlignet med f.eks. partikler med 2 μm aerodynamisk diameter. Måling med instrumenter som følger disse karakteristikene kan derfor bli noe mer usikre enn målinger utført med instrumenter som følger BMRC-kurven.

Det finnes mange metoder og instrumenter for å bestemme den respirable støvfraksjonen. Ved de fleste fjernes den ikke-respirable delen i en forutskiller, hvoretter luften suges gjennom et filter hvor den respirable delen samles opp.

Sykloner er den type forutskiller som brukes mest til personlig prøvetagning, men det finnes sykloner i mange størrelser, også for HVS og stasjonære pumper. Prinsippet for sykloner er vist i figur 5. Luften kommer inn tangensielt og settes i roterende bevegelse nedover i syklonen. Støvet slynges ut mot veggene og den grove fraksjonen samles i en kopp nederst. Før luften når så langt, begynner den å gå oppover igjen i en trangere hvirvel i midten av syklonen. Den respirable del av støvet følger denne lufthvirvelen og suges ut gjennom et rør plasert sentralt og høyt oppe i syklonen. Ved å suge luften gjennom et filter kan så den respirable fraksjonen samles opp.

En foreløpig undersøkelse som ble utført ved Yrkeshygienisk institutt (YHI) av 3 typer sykloner for personlig prøvetagning viste at en nylonsyklon med ACGIH-karakteristikk ga betydelig lavere verdier enn metallsykloner med BMRC-karakteristikk. Thompson og medarbeidere ¹³⁾ har sammenlignet 5 forskjellige sykloner med kapasitet fra 1,8 - 430 l luft pr. min. og deres avhengighet av luftgjennomstrømningen.

samles støvet enten på et filter eller etter impaktorprinsippet ved at en luftstråle "skytes" mot en plastfilm belagt med vaselin. β -strålekilden, som regel C^{14} er plassert over prøven og detektoren på undersiden. Signalene fra denne bearbeides i en liten innebygget datamaskin. Med β -stråleinstrumenter kan man som regel enten måle totalstøv, eller respirabelt støv ved å montere en forutskiller på innsugningssiden. Instrument basert på impaktorprinsippet bør vanligvis brukes med forutskiller.

Felles for disse instrumentene er at de er bærbare, men ikke egnet til å henges på en operatør. Derimot er de velegnet til å måle korttidseksponering i operatørens umiddelbare nærhet samt til å kontrollere støvkilder og støvets spredning i lokaler. Alle kan angi støvkonsentrasjonen direkte i mg/m^3 . Bare for de instrumenter som samler opp støvet kan man også få en analyse av dette.

3.2.2. Tallmessige metoder.

Ved disse metodene angis antall partikler pr. cm^3 luft som tilsvarer millioner partikler pr. m^3 . Inntil for ca. siden var det alminnelig å angi de aller fleste støvtypers konsentrasjon i antall partikler pr. volumenhet. Flere av metodene som midget impinger, thermal precipitator og andre er fremdeles i ganske utstrakt bruk i Amerika og enkelte andre steder, men vil sannsynligvis gå ut av bruk i løpet av relativt kort tid. For fiberformede partikler som f.eks. asbest, steinull, glassull og andre, angis konsentrasjonen i antall fiber pr. cm^3 , sjelden i mg/m^3 .

Det foregår for tiden et internasjonalt arbeide for å prøve å komme frem til veldefinerte metoder for bestemmelse av fiberkonsentrasjonen, spesielt for asbest.

Den hovedmetode som har vært brukt hittil er oppsamling av støvet på membranfilter og telling av fibre i lysmikroskop (LM) i gjennomfallende lys med fasekontrast etter at filteret er gjort gjennom-siktig, sannsynligvis vil den metoden som er beskrevet i bilag 1, bli standard.

Det brukes en totalforstørrelse på 450 - 500 x og et "Walton-becket graticule" i okularet, se fig. 8, for å kunne bestemme fibrenes lengde og tykkelse. Bare fiber lenger enn 5 μm og tynnere enn 3 μm telles.

For å få en passe konsentrasjon av fiber på filteret kan man variere prøvetagningstid, filterdiameter og sugeshastighet. Resultatet blir usikkert både hvis man har for mange eller for få fiber pr. flateenhet på filteret. For asbeststøvkonsentrasjoner omkring den administrative norm vil en prøvetagningstid mellom 15 og 30 minutter som regel gi et brukbart resultat når man bruker filter med 37 mm diameter og en sugeshastighet på 2 l pr. min.

De mest kritiske faktorer ved telling av fibre i lysmikroskop er: mikroskopets kvalitet, innstillingen av det og operatørens syn. Det har vært gjort tildels grove feil ved telling av fibre og selv mellom forskjellige eksperter på området er det betydelige forskjeller. Det er derfor nødvendig også å "standardisere" personene som skal telle fiber i mikroskop. Dette er nå i gang både nasjonalt og internasjonalt.

Til hjelp i dette arbeidet er det utviklet to typer test-objektglass. Den ene type som består av 8 stk. med hver sin partikkelstørrelse (latex-kuler) fra 0,11 til 0,6 μm , er utviklet av Teichert og Rocco²¹⁾. Den andre typen er utviklet av Le Guen²²⁾ og har syv felt med striper med bredde 0,25 til 1,1 (én bredde i hvert felt).

En referansemetode for bestemmelse av asbest i arbeidsatmosfæren ved hjelp av lysmikroskopi er utarbeidet av Asbestos International Association (AIA)²¹⁾.

Ved prøvetagning av fiber fra glassull, steinull o.l., kan man oftest bruke betydelig lenger prøvetagningstid fordi fiberkonsentrasjonen i luften er lav. Dette skyldes sannsynligvis at det som regel er få virkelig tynne fibre i disse produktene.

Også for fiber er det nå utviklet et direktevisende instrument basert på måling av lysspredningen fra støvpartikler etter at de fiberformede partiklene er gitt en bestemt orientering ved hjelp av et roterende elektrisk felt. Metoden er beskrevet av Lilienfeld og medarbeidere²³⁾. Prinsippet bygger på to trinn: (A) fibrene bringes til å rotere raskt i et roterende elektrisk høyintensitets felt, og (B) måler lysspredningseffekten forbundet med disse fibrene når de belyses av en monokromatisk og parallell lysstråle (laser), se figur 9. En forutsetning er at fibrene har en viss ledningsevne, men for fiber med dimensjoner i størrelsesorden 1 μm diameter og 10 μm lengde, kan man tolerere elektrisk motstand som vanligvis anses for meget høy. Instrumentet kan innstilles til å telle bare fiber som overstiger en valgt lengde. Antall fiber pr. cm^3 vises digitalt. Ved å variere telletiden fra 1 minutt og oppover kan man bestemme fiberkonsentrasjoner mellom 0,001 og ca. 30 pr. cm^3 .

Det er ventet at man i forholdsvis nær fremtid vil kunne få direktevisende instrumenter som kan måle både vanlig støv og fiber, eventuelt både med gravimetriske og tallmessige angivelser.

3.3. Prøvetagning.

Hvordan man legger opp prøvetagningen for å få såvidt mulig representative prøver, bestemme den enkelte operatørs eller gruppe av operatørs eksponering, undersøke spredning av forurensninger osv. er nærmere behandlet i heftet "Prøvetagningsstrategi, HD 804, YHI". Nedenfor er imidlertid oppsummert en del praktiske råd angående prøvetagningen.

Ved oppsamling av støv på filter, må disse kunne håndteres i et rom som såvidt mulig er fritt for luftforurensninger, iallfall for de typer som skal bestemmes. Til håndtering av filtre må det brukes pinsett med glatte gripeflater, f.eks. en frimerke-pinsett. Den må ikke ha skarpe kanter som kan skade filtrene.

I figur 10 er vist en tredelt filterholder av press-støpt plast. For vanlig prøvetagning er mellomringen strengt tatt ikke nødvendig, og prøvetagningen kan foregå med lokket påsatt. Husk å ta ut proppene som sitter i inntaks- og utsugsåpningen i henholdsvis lokk og bunn før prøvetagning og påse at filterholderen kobles til slangen den riktige veien, d.v.s at luften suges inn gjennom inntaket i lokket som antydnet på figuren. Etter at understøttelseskiven og membran-filteret er plasert i bunnstykket, pla-

seres mellomringen og dekselet over dette og det hele presses sammen, helst i et apparat som vist i figur 11 og med et trykk på ca. 1 kN (ca. 100 kp). Filterholderen skal da være tett og delene sitte godt sammen, men som en ekstra sikkerhet bør man sette på et ca. 20 mm bredt tekstillimbånd slik at det dekker begge skjøtene i den sammensatte filterholder, slik som vist i figur 12. Her er også vist spesielle nipler som kan skrues inn i filterholderåpningen (som ikke har gjenger). Nippelen har en o-ring som tetter mot åpningen i filterholderen og gjengene skjærer tilsvarende gjenger i plastholderen. Påse at nippelene ikke kommer skjevt ved førstegangs innskruing i filterholderen.

Etter bruk kan også såkalte "engangs-filterholdere" brukes omigjen etter omhyggelig vask (helst i ultralydbad). Påse at delene til hver filterholder holdes sammen, da de ikke alltid går om hverander.

Monteringen av personlig prøvetagningsutstyr på en person er vist i fotografiene i figur 13.

Før og etter prøvetagningen må pumpekapasiteten måles med filterholderen montert, f.eks. med flow-meter som vist i figurene 14 og 15. Det er viktig at flow-metrene er kalibrert, enten mot standard-gassur, eller ved et "såpeboble flow-meter". Når prøvetagningen er ferdig, skal pumpekapasiteten måles før pumpen stoppes. Hvis den har vært stoppet i mellomtiden, vil batteriet "ta seg opp" slik at man får for høye verdier.

Vanligvis blir luftvolumet beregnet ut fra middelverdien av pumpekapasiteten før og etter prøvetagningen, multiplisert med prøvetagningstiden. Forskjellen i pumpekapasitet før og etter prøve-

tagning bør helst ikke være mer enn ca. 10- 15%, spesielt ikke hvis støvkonsentrasjonen varierer betydelig over arbeidstiden.

Normalt vil man ikke regne om luftvolumet som er suget gjennom filteret til normal temperatur og trykk idet det er luftkonsentrasjonen under de rådende forhold man er interessert i. Et unntak kan være stasjonær prøvetagning med pumper som varmer luften før den passerer gjennom f.eks. et gassur. I så fall må man korrigere luftvolumet til den temperatur som er normal for arbeidsrommet.

3.4. Spesielle støvtyper.

Silisiumdioksyd, SiO_2 , forekommer i mange forskjellige former, både krystallinske og amorfe (at et stoff er amorft betyr at molekylene i stoffet ikke er så systematisk ordnet at en røntgenstråle avbøyes når den passerer gjennom stoffet).

Fra et yrkeshygienisk synspunkt er de krystallinske formene av størst betydning. Av disse er de viktigste α -kvarts som forekommer naturlig, tri-dymitt og kristobalitt. Omvandlingstemperaturene og tettheten er vist i tabell 4. Disse SiO_2 -formene har alle den egenskap at hvis man innånder for store mengder fint støv, gir de lungesykdommen silikose som ytrer seg ved tungpustethet fordi lungene mister sin fleksibilitet p.g.a. en slags arrdannelse i lungevevet, fibrose, hvorved lungene i større eller mindre grad mister evnen til å puste luft ut og inn. Sykdommene er dessuten en belastning for hjertet fordi dette må pumpe mer blod rundt til kroppen for å skaffe tilstrekkelig oksygen til de forskjellige organer. Ved "normal" eksponering for kvartsholdig støv tar det ofte 15 - 30 år før sykdommen kan påvises ved røntgenbilde av lungene. Sykdomsforløpet

kan imidlertid være langt raskere ved høy eksponering. I 1556 beskrev således Agricola lungesykdommer som skyldtes inhalering av visse støvsorter som grubearbeiderne i Karpatene var utsatt for. Deres levetid var så kort at konene hadde opptil 7 ektemenn.

Silikosen er mest kjent fra støperier, særlig stål- og jernstøperier, bergverk og keramisk industri. Svært mange bergarter inneholder større eller mindre mengder U -kvarts og man må derfor regne med at all boring, saging, knusing, sliping og andre støvende bearbeidingsmetoder av bergarter kan medføre risiko hvis man ikke har sørget for effektiv ventilasjon som fjerner støvet fra operatørens innåndingssone.

Det er antatt at høytemperaturmodifikasjonene tridymitt og kristobalitt medfører en større silikoserisiko enn U -kvarts. Den administrative norm for høytemperaturmodifikasjonene er derfor også satt lavere enn for U -kvarts, henholdsvis 0,1 og 0,2 mg/m³. For blandingsstøv brukes spesielle formler.

Asbest er en fellesbetegnelse for et betydelig antall silikater som kan inneholde jern, magnesium, kalsium, natrium og aluminium. Mineralene forekommer som regel i større eller mindre massive blokker, som imidlertid forholdsvis lett lar seg rive opp til stadig tynnere og tynnere fibre, og det er kanskje denne egenskapen som er mest karakteristisk for asbest. Noen internasjonal enighet om hvilke fiberformede mineraler som skal karakteriseres som asbest synes ikke å foreligge.

Man skiller mellom to hovedgrupper av asbest:

Serpentiner (serpent = slange) med fiber som er mer eller mindre krøllet og derfor egnet til å spinnest til ildfaste garn og tekstiler. Den viktigste asbesttype er krysotil, $Mg_3Si_2O_5(OH)_3$ som utgjør ca. 90 % av verdens totalproduksjon.

Amfiboler har rette fiber og er derfor ikke så egnet til å lage garn eller tekstiler av. Derimot er flere av dem kjemisk meget resistente, og brukes derfor i betydelig utstrekning til filtrering. De viktigste er amositt, $5\frac{1}{2} FeO \cdot 1\frac{1}{2} MgO \cdot 8 SiO_2 \cdot H_2O$ og krokidolitt ("blåasbest"), $Na_2O \cdot Fe_2O_3 \cdot 3 FeO \cdot H_2O$. Andre amfiboler som ikke forekommer så ofte er antofyllitt, tremolitt og aktinolit.

Asbestenes mange teknisk verdifulle egenskaper som god mekanisk styrke, bestandighet mot høye temperaturer, kjemisk bestandighet, gode varmeisolerende egenskaper, god hefteevne til en rekke uorganiske og organiske bindemidler samt spinnbarheten gjør at asbest er et meget viktig og i endel tilfeller nærmest uunnværlig materiale. Man forsøker nå å finne erstatninger for asbest p.g.a. dennes helsefarlige egenskaper. Før man erstatter asbest med noe annet må man imidlertid forvise seg om at erstatningsstoffet reduserer helsefaren under bruk. Dette er ikke alltid så sikkert. Man skal heller ikke glemme at asbest i f.eks. bremsebånd på biler, tog og maskiner med stor sannsynlighet redder mange menneskeliv hvert år. Et materiale som ikke gir like god kvalitet på bremsebånd vil kunne øke risikoen for ulykker.

Verdensforbruket av asbest var i 1913 ca. 138 tonn, i 1924 ca. 300 000 tonn, i 1964 ca. 3 000 000 tonn og i 1971 ca. 4 000 000 tonn. Etter at asbestenes

helsefarlige egenskaper er blitt alminnelig kjent, har forbruket sannsynligvis stagnert, og man må regne med at det vil bli redusert betydelig i tiden fremover, ikke minst p.g.a. offentlige restriksjoner. Det vises i den forbindelse til Statens arbeidstilsyn's verneregel nr. 5 1977, Asbest, bestillingsnummer 235 og veiledning til Arbeidsmiljøloven "Bruk av asbest i byggebransjen", april 1978, bestillingsnr. 235 b. Disse fåes gratis fra Statens arbeidstilsyn, Direktoratet²⁴). I "Asbest" er gitt en oversikt over bruk av asbest, hvilke arbeidsoperasjoner som kan medføre eksponeringsrisiko, yrkeshygieniske grenseverdier (nå kalt administrative normer), helsemessige skadevirkninger og verneregler.

Man har i mange år vært oppmerksom på at asbest kan gi en lungesykdom som ligner silikosen og kalles asbestose. Den administrative norm, som er på 2 asbestfibre pr. cm³ luft, er satt med tanke på å unngå asbestose. Først i de senere år er man for alvor blitt oppmerksom på at asbest også - ihvertfall for noen typers vedkommende - medfører kreftrisiko. Foreløpig har man ikke grunnlag for å sette noen administrativ norm med hensyn til risikoen for lungekreft eller mesoteliom (kreft i lungesekken), men den nåværende administrative norm ligger sannsynligvis på under 1/1000 av den asbesteksponering man hadde for en del år siden i gruver, bearbeiding og produksjon som omfattet asbest. Både lungekreft og mesoteliom utvikles langsomt, som regel først i løpet av 20 - 40 år. Det er derfor sannsynlig at de krefttilfeller man finner i dag henger sammen med en eksponering som har vært langt sterkere enn det man tillater nå. Det vises forøvrig til de forannevnte publikasjoner fra Statens arbeidstilsyn.

Trestøv kan forårsake en rekke sykdommer: allergi, forgiftning, infeksjon og kreft, avhengig av en lang rekke faktorer som tretype, voksested (samme treslag kan ha sterk varierende virkning avhengig av voksestedet) partikkelstørrelse og form, støvkonsentrasjonen og spesielt hvilke kjemiske substanser treet inneholder.

De allergiske sykdommene kan arte seg som kontakteksem på huden med utslett som kan bre seg videre utover kroppen, som allergiske luftveissykdommer i nese, bihuler og bronkier eller som allergiske øyesykdommer med sterk irritasjon. Disse sykdommene kan fåes etter ganske kort eksponeringstid eller først etter måneder til år. Det er også store individuelle forskjeller.

Støv fra enkelte eksotiske tresorter kan gi kreft i de øvre luftveier etter mange års eksponering, som regel mellom 30 og 50 år.

En annen type risiko kan komme fra tre som er behandlet, f.eks. med impregneringsvæsker som inneholder giftstoffer, f.eks. arsenforbindelser eller kreosot. Kverneland²⁵⁾ har i et notat gitt en oversikt over helsefare ved bearbeidelse av forskjellige tresorter.

Plaststøv kan i de fleste tilfeller betraktes som "inert", også om det inneholder glass- eller karbonfiber. Men det kan være helsefarlig om det inneholder f.eks. kvarts eller asbest.

3.5. Analysemetoder

NIOSH²⁶⁾ har utgitt 4 bind med analysemetoder for yrkeshygienisk bruk.

Mineralstøv kan i visse tilfeller analyseres direkte slik det foreligger på filteret ved en eller flere av følgende metoder: infrarødspektrofotometri (IR), røntgendiffraksjon (RD), studier i elektronmikroskop (EM), eventuelt utstyrt med energidispersiv røntgenbestemmelse av de fleste elementer, lysmikroskopi med forskjellige teknikker, elektrondiffraksjon og eventuelt differensial termoanalyse. Den siste krever vanligvis ganske store støvmengder, ca. 300 mg, men Weiss og medarbeidere²⁷⁾ har videreutviklet metoden slik at de kunne bestemme 1% kvarts i 2 mg støvprøver fra støperier. Metoden er betydelig avhengig av partikkelstørrelsen og er foreløpig lite brukt.

Infrarødspektrofotometri kan brukes til bestemmelse av en lang rekke mineraler, se f.eks. Tayler og medarbeidere²⁸⁾. Metoden brukes rutinemessig til bestemmelse av fri SiO₂ i støvprøver (både krystallinsk og amorf SiO₂) både av Statens arbeidstilsyn og YHI. Man kan bestemme ned til ca. 10 µg fri SiO₂ i en støvprøve. Metoden er lite avhengig av partikkelstørrelsen innenfor det respirable området, men gir for lave resultater for partikler som er noe vesentlig større. Dette er en fordel hvor man av en eller annen grunn er nødt til å analysere totalstøv idet man ved IR-analysen nesten bare finner den respirable del av den fri SiO₂. Hvis man bruker forutskiller og et filter som er gjennomskinnelig for IR, kan analysen gjøres direkte på filteret ved å sette dette inn i spektrofotometeret med en blindprøve ved siden av. Det er ellers mest alminnelig å blande støvet med KBr som så presses til IR-gjennomskinnelige tabletter.

En samling av de fleste rutinemetoder som brukes ved Teknisk avdeling, YHI, er samlet av Gylseth og medarbeidere²⁹⁾, herunder også IR-metoden.

Røntgendiffraktometri anvendt på støvprøver er beskrevet av Nicholson³⁰⁾ og av Edholm og Nicholson³¹⁾. I den siste er en spesiell mikroanalyse av krystallinsk SiO₂ beskrevet. Prøvene filtreres på Nucleporefilter, enten direkte fra luften med en forutskiller, eller fra en suspensjon av partikler mindre enn 5 µm. Nucleporefilteret plasseres ovenpå et vanlig sølvfilter, man beholder derved fordelene av å kunne bruke sølvlinjen som referanse. Det er viktig å være oppmerksom på at man ikke kan bestemme amorf SiO₂ med røntgen (det er derfor den kalles amorf). For amorf SiO₂ er man henvist til å bruke andre metoder, fortrinnsvis IR.

Det finnes en rekke stoffer som forstyrrer IR og RD-analysene, men i de fleste tilfeller er en av dem anvendelig, i noen tilfeller må man bruke begge metoder, f.eks. hvis det både er amorf og krystallinsk SiO₂ til stede i en prøve. RD er i betydelig grad avhengig av partikkelstørrelsen. Store partikler gir for høye verdier, mens små partikler gir for lave. Dette er det motsatte av hva man finner ved IR-analysen. Også av denne grunn er det fordelaktig å bruke begge metoder.

Silikater virker ofte forstyrende ved begge metodene, men ved å behandle prøven med fosforsyre går silikatene i oppløsning, mens den fri SiO₂ blir tilbake og kan filtreres fra. Tapene av fri SiO₂ er såvidt små at de ikke spiller noen praktisk rolle. Også andre stoffer som er løselig i fosforsyre blir fjernet samtidig. Elektronmikroskopi er nødvendig hvis man skal kunne studere nærmere partikler som er mindre enn ca. 0,5 µm. Ved bruk av sveipe-elektronmikroskop (scanning elektronmikroskop - SEM) kan man også studere overflaten av enkelte partikler. Metoden svarer til påfallende lys med vanlig mikroskopering. SEM har ikke fullt så god oppløsnings-

evne som et transmisjons-elektronmikroskop (TEM), men prepareringsteknikken er enklere. Ved TEM får man dessuten bare se konturene av partiklene. Når en partikkel bestråles med elektroner med tilstrekkelig høy energi, sender partiklene ut røntgenstråler. Både til SEM og TEM kan man få tilleggsutstyr slik at man på grunnlag av røntgenstrålingen kan bestemme hvilke elementer hver enkelt partikkel består av når elektronstrålen holdes fast mot partikkelen. Elementer fra og med atomnr. 11 (Na) og høyere kan bestemmes.

For flere av de teknikker som er nevnt foran er det ofte nyttig eller nødvendig å foraske prøvene. Dette kan gjøres ved lav temperatur, LTA, 90 - 120°C ved hjelp av oksygen i plasmatilstand. Prinsippet er at prøven plasseres på en glasskål i et vakuumkammer omsluttet av en spole tilknyttet en radiofrekvensgenerator. Oksygen slippes forsiktig inn ved ca. 13 Pa (0,1 mm Hg) hvorved det dannes meget reaktive oksygenatomer. Metoden er beskrevet av Gylseth³²). En kombinert anvendelse av LTA og SEM-EDR for bestemmelse av uorganiske fiber i humant lungevev er beskrevet av Gylseth og medarbeidere³³).

McCrone og Delly³⁴) har utgitt et partikkelatlas i 4 bind som er meget nyttig for identifisering av partikler både med lysmikroskopi, elektronmikroskopi og røntgen.

Elektrondiffraksjon er en metode som brukes på omtrent samme måte som røntgendiffraksjon. Enkrystaller kan identifiseres ned til en så liten mengde som 10^{-16} g. Prinsippet består i at elektronene av-

bøyes i atomgitteret og gir bestemte mønstre på en skjerm eller en fotografisk plate. Et pulver gir karakteristiske ringer på samme måte som for et pulver - røntgendiagram. Metoden er nærmere beskrevet av McCrone og Delly³⁴).

4. RØYK

Røyk består som nevnt under pkt. 2 av faste partikler oppstått ved kondensasjon fra dampfase, som regel fra meget høye temperaturer og ved forholdsvis brå avkjøling. Dette gjør at partiklene i alminnelighet er meget små, oftest mindre enn 1 μm .

De viktigste former for røyk i arbeidslivet er sveiserøyk og røyk fra metallurgiske ovner.

Med sveiserøyk menes i det følgende, foruten røyk fra sveising, også røyk som oppstår ved beslektede arbeider som skjæring med gassflamme eller laser, kullbuemeisling o.l. Det er et meget stort antall mennesker som utsettes for sveiserøyk, og det er derfor en luftforurensning som det er viktig å holde kontroll med selv om de helsemessige konsekvenser av sveiserøyk i de fleste tilfeller ikke er så store som f.eks. ved eksponering for kvarts eller asbeststøv.

En del spesielle sveiseoperasjoner kan imidlertid medføre risiko hvis man ikke sørger for å ta de nødvendige forholdsregler.

Det er utarbeidet norsk standard for merking av sveiseelektroder og for inndeling av disse i forskjellige klasser, alt ettersom hvor meget sveiserøyken må fortynnes med luft for å bringe konsentrasjonen ned på et akseptabelt nivå (nominelt hygienisk luftbehov, NHL). Foreløpig finnes disse standardene bare for dekkede elek-

troder beregnet på sveising av ulegert stål, men det er under utarbeidelse standarder som også vil dekke de øvrige elektrodetyper. Disse vil sannsynligvis foreligge i 1980.

Røyk måles best ved oppsamling på membranfilter og man kan bruke samme metoder som beskrevet ved prøvetagning av støv.

Forskrifter om luftforurensning ved buesveising vil sannsynligvis foreligge fra Statens arbeidstilsyn i løpet av 1980.

På de steder hvor det regelmessig foregår sveising eller hvor det kan forekomme spesielt helsefarlige stoffer i sveiserøyken, må man undersøke:

hvilke stoffer sveiserne er utsatt for
hvor sterk påvirkningen er
hvilke helsemessige konsekvenser eksponering kan ha
hvordan man skal kunne beskytte seg mot eksponeringen.

Foruten selve sveiserøyken, vil det ved mange sveiseoperasjoner dannes eller brukes gasser som kan medføre helse- eller ulykkesrisiko. Stråling er også ofte et problem.

Av generelle risikomomenter kan nevnes følgende:

Man må regne med at sveisearbeider i trange rom alltid kan medføre helserisiko, hvis man ikke har tilstrekkelig effektiv ventilasjon eller arbeideren er beskyttet ved tilførsel av ren trykkluft inne i sveiseskjermen eller i en trykkluftmaske. Det finnes flere eksempler på dødsfall under og etter sveisearbeid i trange rom.

Selve arbeidsstillingen kan ha stor betydning for eksponering. Den sterke, lokale oppvarmingen i sveisepunktet gir røyken en termisk oppdrift som gjør at den kan komme på innsiden av sveiseskjermen i ganske konsentrert form, hvis operatøren må bøye seg over arbeidstrykket.

Sveisearbeid på overflatebehandlet gods kan medføre større eller mindre risiko for forgiftning, avhengig av beleggets art og tykkelse. Blyforgiftning har f.eks. forekommet ved oppdeling av mønjet skrapjern med skjærebrenner. Kadmiert gods kan medføre fare for meget alvorlige forgiftninger og da man vanskelig kan se på et materiale om det er belagt med zink eller kadmium, må man være helt sikker på at det ikke er kadmium før man foretar sveiseoperasjoner på slikt gods.

Ved sveisearbeider på zinkbelagt gods, vil man kunne få metallfeber som er ytterst ubehagelig og ytrer seg omtrent som influensa, men går over igjen i løpet av under et døgn. Det er ikke påvist noen langtidsskader på grunn av zinkrøyk.

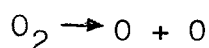
Av spesielle risikomomenter kan nevnes følgende:

Sveising på gods eller med elektroder som inneholder krom og/eller nikkel kan medføre en betydelig eksponering. Gylseth og medarbeidere³⁵⁾ har foretatt en undersøkelse av sveising og bearbeiding av rustfritt stål i en bedrift hvor man hadde bra avsug under arbeidsoperasjonene. Eksponeringen lå her under de administrative normer.

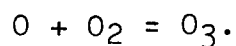
Kromholdige overflate-belegg vil gi en del seksverdige kromforbindelser i sveiserøyken, men som regel vil konsentrasjonen være forholdsvis lav. Den bør imidlertid kontrolleres p.g.a. disse forbindelsenes mulige kreftfremkallende egenskaper.

Kullbuemeisling eller stiftbrenning er en prosess hvor metallet smeltes ved hjelp av en kullelektrode og det smeltede metallet blåses bort med pressluft. Kullelektroden er omgitt av en kopperhylse som kan gi årsak til en forholdsvis høy eksponering. Sanderson³⁶⁾ fant 1 mg Cu/m³ som er 10 x den administrative norm. Ved arbeide i 1 time i et trangt rom ble det målt 4 mg Cu/m³, 0,23 mg Pb/m³, 3,3 mg Mn/m³ og 31,5 mg Fe₂O₃/m³. Dessuten ble det målt 100 ppm CO. Støyen ved kullbuemeisling er såvidt sterk at man må bruke hørselvern.

Dekkgass-sveising byr normalt ikke på store yrkeshygieniske problemer. Ved bruk av argon som dekk-gass vil man ved sveising på rustfritt stål, aluminium og spesielt på silisiumholdige aluminiumlegeringer kunne få en betydelig osondannelse på grunn av intens ultrafiolett stråling. På grunn av denne spaltes oksygenmolekyler i oksygenatomer:



Disse oksygenatomene er meget reaktive og forbinder seg med andre oksygenmolekyler til oson (O₃):



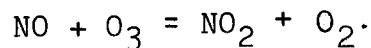
Oson dannes i luften omkring sveisestedet i inntil 1 meters avstand. Dette er det viktig å ta hensyn til når man skal lage avsug for slik sveising. I noen tilfeller synes den eneste brukbare løsning å være trykklufttilførsel inne i sveiserens maske.

Oson har en rekke skadelige virkninger. Ved høy konsentrasjon kan man få lungeødem (ansamling av væske i lungealveolene med derav følgende åndenød), som ofte kommer først noen timer etter eksponering. Man kan også få

lungeemfysem som er en ødeleggelse av lungealveolene, slik at disses totale overflate blir vesentlig redusert og mister en betydelig del av sin evne til å ta opp oksygen. Oson kan også gi strålingslignende skader med endret blodbilde. Det er således all grunn til å kontrollere osondannelsen ved disse sveiseprosessene.

En heldig egenskap ved oson er at den spaltes ganske raskt, spesielt hvis det er oksyderbare stoffer i luften. Noen meter fra sveistedet vil konsentrasjonen derfor i alminnelighet være betydelig redusert slik at det i et lokale sjelden vil være noen risiko for andre enn sveiseren selv. Også dette må imidlertid kontrolleres.

Man kan nå få kjøpt argon-dekkgass som er tilsatt små mengder nitrogenmonoksyd, NO. Denne gassen oksyderes lett av oson til nitrogendioksyd etter ligningen:



NO₂ er mindre giftig enn O₃, men gir i likhet med denne også lungeødem. De administrative normer er henholdsvis 5 og 0,1 ppm. De data leverandøren av en slik dekk-gass oppgir, tyder på at man får en gunstig virkning totalt sett.

Lu 37) har undersøkt osondannelsen på forskjellige materialer og under forskjellige sveisebetingelser. Selv sveising på bløtt stål med dekkede elektroder kan gi osonkonsentrasjoner i sveiserens innåndingssone over den administrative norm ved strømstyrke over ca. 450 A. MIG-sveising (strømtilførsel gjennom sveisetråden som føres automatisk inn i sveisemunnstykket) med argon-dekkgass ga ved 300 A sveisestrøm konsentrasjoner omkring den administrative norm ved sveising på bløtt stål, og godt over (3 - 5 x) for rustfritt stål, ren aluminium og aluminium med 5% magnesium. Forsøkene ble utført i et rom med bare naturlig ventilasjon.

Ved gass-sveising og skjæring dannes betydelige mengder nitrøse gasser som vesentlig består av NO og NO₂. Den siste er langt den farligste og gir som tidligere nevnt lungeødem ved høye konsentrasjoner. Administrativ norm er 5 ppm som også er takverdi og ikke må overskrides selv kortvarig.

Et faremoment som ikke kan påpekes for ofte ved gass-sveising er overskudd av oksygen. Hvis luftens oksygeninnhold stiger bare noen få % over de naturlige 21% i luften, antennes porøse, organiske stoffer som klær og hår uhyre lett og brenner med eksplosiv hastighet. For en del år siden skjedde en dødsulykke hvor to sveisere bokstavelig talt ble brent nesten helt opp, fordi de inne i et trangt rom hadde brukt oksygen fra brenneren til å kjøle seg med. Klærne tok fyr og de fikk ikke stengt av oksygenstrømmen, med den følge at kroppens bløtdeler også begynte å brenne.

For å redusere muligheten for slike ulykker og også for å kunne oppdage lekkasjer kan man sette et illeluktende stoff til oksygenet. Foreløpig er denne metoden såvidt vites bare brukt i forbindelse med sentralgassanlegg hvor doseringsanlegget for luktstoffet har vist seg å bli inntjent i løpet av kort tid fordi man straks oppdager lekkasjer og derved sparer inn betydelig mengde oksygen.

Sølv-lodding eller slaglodding er en metode hvor lodde-tråden kan inneholde sølv, kopper, zink og kadmium, noen også nikkel og fosfor. Man har tidligere hatt en del tilfeller av kadmiumforgiftning, kanskje fordi man har hatt for høy temperatur på loddestedet, slik at det har dannet seg kadmiumoksydholdig røyk. Kadmiumoksydrøyk (beregnet som Cd) har en administrativ norm på 0,02 mg/m³ som også er takverdi. Cd er meget giftig. Langvarig eksponering gir nyreskader, mens høye, kortvarige ekspo-

neringer også kan gi lungeskader. Norsk-produsert sølv-lodde-tråd kan fåes uten kadmium, mens utenlandsk-produsert tråd ofte er kadmiumholdig.

Røyk i smelteverksindustri

Forholdene i de forskjellige verk varierer sterkt, avhengig av hva som produseres og hvilken ovnstype som brukes. Det har etterhvert lyktes å lage lukkede ovner til de fleste smelteprosesser, slik at røykproblemene stort sett finnes i eldre verk med åpne ovner, spesielt ferrosilisiumovnene ga tidligere ofte betydelig røykmengde i form av amorf SiO_2 . En rekke undersøkelser tyder på at denne røyktypen ikke har noen særlig silikosefremkallende egenskap. Glømme og Swensson³⁸⁾ undersøkte 860 arbeidere fra norske og svenske ferrosilisiumsverk og fant først 17 tilfeller hvor lungeforandringene svarte til silikose. Av disse var det bare 4 som hadde arbeidet i ovnshusatomosfæren. De hadde svake lungeforandringer og forfatterne konkluderer med at risikoen for støvlungesykdom på grunn av selve ovnshusatmosfæren er meget beskjeden. 10 pasienter som hadde arbeidet nokså kort tid i et lite ferrosilisiumsverk ble i 1937 antatt å ha silikose. Swensson og medarbeidere³⁹⁾ har fulgt opp disse pasientene og fant at hos mange hadde symptomene gått tilbake eller forsvunnet fullstendig og bare ett av tilfellene ble karakterisert som silikose.

Dyreeksperimentelle undersøkelser utført av Swensson⁴⁰ og ⁴¹⁾ tyder på at det er betydelig forskjell på reaksjonen i lungene for forskjellige typer amorf SiO_2 . Ferrosilisiumrøyk synes å ha liten virkning, mens f.eks. kieselgur som har vært oppvarmet til over 800° hadde en sterkt fibrosefremkallende egenskap.

Vitums og medarbeidere⁴²⁾ mente å ha påvist fibrose hos 11 av 40 arbeidere i et ferrosilisiumverk i USA. De oppgir imidlertid at det med røntgendiffraksjon ble påvist 6,7% "silica" på tørr vektbasis i lungevevet. Det har således vært betydelige mengder krystallinsk SiO₂ til stede som sannsynligvis forklarer de tilfeller som er funnet.

Fremstilling av ferro-mangan (FeMn) og silico-mangan (SiMn) kan gi betydelige røykmengder, hvis de fremstilles i åpne ovner. Manganforbindelser har en administrativ norm på 2,5 mg/m³, beregnet som Mn og denne kan være vanskelig å overholde der man arbeider med åpne ovner. Som regel er dette SiMn-ovner. Hos oss er det en forutsetning for fremstilling av FeMn at man også lager SiMn, fordi man ved den første mister en betydelig del av manganet til slaggen. Denne brukes så i SiMn-produksjonen hvorved man gjenvinner det meste. Nye SiMn-ovner er også lukket, slik at røykproblemet innenfor bedriften nærmest elimineres. Støvproblemer fra knusing etc. forekommer imidlertid fremdeles.

Ferrokrom (FeCr) fremstilles i kvaliteter med varierende karboninnhold, de fleste ved reduksjon med karbon i elektrisk smelteovn. For å fremstille nesten karbonfritt FeCr, må man imidlertid først fremstille silico-krom (SiCr) som brukes til å redusere krommalm med i åpne ovner. Arbeidstakerne eksponeres for både støv og røyk. Resultatene av undersøkelser som er gjort er noe vanskelig å vurdere, fordi man, da disse ble gjennomført, ikke klarte å skille mellom treverdige og seksverdige kromforbindelser i prøvene. Man må imidlertid regne med at det er noe seksverdig krom i røyken og at det derfor er viktig å holde eksponeringen så lav som mulig. Den ad-

ministrative norm for seksverdig krom beregnet som CrO_3 er $0,1 \text{ mg/m}^3$ eller ca. $0,05 \text{ mg/m}^3$ som Cr, mens den for krom og løselige to- og treverdige kromforbindelser er $0,5 \text{ mg/m}^3$ beregnet som Cr. Seksverdig krom regnes som kreftfremkallende ihvertfall for visse tungtløselige forbindelser.

Ferrovanadium fremstilles av vanadiumholdig malm i en nok-så komplisert tretrinnsprosess hvor det først fremstilles råjern som deretter blåses med oksygen hvorved man får en anriket slagg som etterpå reduseres med FeSi i to trinn hvor man i det siste får ferrovanadium. En undersøkelse utført av YHI tydet ikke på at vanadium i støv og røyk fra disse prosessene hadde noen spesiell helsemessig virkning, bortsett fra den mer generelle irritasjon p.g.a. støveksposering. Den administrative norm for V_2O_5 -røyk, beregnet som V er $0,05 \text{ mg pr. m}^3$ som også er en takverdi, mens den for V_2O_5 -støv er $0,5 \text{ mg/m}^3$.

4.1. Prøvetagning av røyk

Oppsamling på membranfilter med porestørrelse $0,8 \mu\text{m}$ har i de fleste tilfeller en tilstrekkelig oppsamlingseffektivitet. Hvor denne ikke er kjent på forhånd, bør man imidlertid undersøke den, f.eks. ved å bruke et $0,2 \mu\text{m}$ filter i serie etter $0,8 \mu\text{m}$ filteret. Ellers gjelder det samme som for støvmåling med filter.

Målemetoder basert på oppsamling i væske er ikke brukbare, fordi en stor del av røyken passerer gjennom selv de mest effektive impingere. Det samme gjelder impaktorapparater. Direktevisende instrumenter basert på lysspredning vil gi for høye resultater med mindre de er standardisert for den spesielle røyktypen. Derimot kan de brukes til relative

målinger, f.eks. for å studere røykens bevegelser i et rom eller undersøke effekten av ventilasjonstiltak.

Røykpartikler er ofte agglomerert, dette kan man undersøke i en prøve i mikroskop, fortrinnsvis et elektronmikroskop. Man må da sørge for at det ikke blir for mange partikler på filteret, slik at de ligger oppå hverandre.

Hvorvidt Nuclepore-filteret kan anvendes er noe usikkert. Sannsynligvis vil en del av røyken gå gjennom porene. Dette kan også undersøkes ved å seriekoble et 0,2 µm membranfilter etter Nucleporfilteret.

4.2. Analysemetoder for røyk

Man kan stort sett bruke de samme analysemetoder som for støv, men bortsett fra amorf SiO₂, er man i allminnelighet mest interessert i de metaller som forekommer i forskjellige forbindelser i røyken. For dette formål er atomabsorpsjon eller -emmisjon sannsynligvis de beste metoder. Filteret kan fjernes ved oksydasjon, enten i en "bombe" med en passende syreblanding (forsiktig hvis HF brukes!!), eller ved lavtemperaturoraskning. Se også NIOSH ²⁶).

5. VURDERING OG RAPPORTERING AV RESULTATER

Vurderingen kan være meget vanskelig og kreve spesiell yrkeshygienisk kompetanse. Oftest vil det foreligge to eller flere kjemiske komponenter samtidig i arbeidsatmosfæren. Disse kan enten virke uavhengig av hverandre, ha additiv virkning, eller forsterke virkningen av hverandre eller av en enkelt komponent. Noen stoffer kan også

reducere virkningen av andre. Enkelte stoffer har en synergistisk virkning på hverandre, det vil si at den samlede virkning er større enn summen av virkningene av de enkelte stoffer (det kalles også en potensierte virkning). Et eksempel på det siste er tobakksrøyking og asbesteksponering som hver for seg medfører en viss risiko for lungekreft (ihvertfall røyking), mens risikoen ved kombinasjon av røyking og asbesteksponering er langt større enn summen av risikoen for hver av dem. Også andre faktorer spiller av og til en rolle, f.eks. graden av fysisk anstrengelse, som spiller en rolle for hvor meget luft man puster inn i løpet av arbeidsdagen. Når det gjelder støv, er det mulig at man ved en høy pustefrekvens også får en bedre utskilling av støvet i luftrørene på grunn av den økte hastighet, dette kan, ihvertfall når det gjelder "uløselig støv", kompensere helt eller delvis for det økte luftvolum som pustes inn. For røyk vil denne effekten sannsynligvis være mindre utpreget, fordi partiklene er så små at sentrifugalkraftutskillelsen i luftveiene ikke lenger spiller noen vesentlig rolle. Dessuten vil de fleste typer røyk (unntatt amorf SiO_2) i stor utstrekning også gå i oppløsning i tarmkanalen, slik at det totale opptak sannsynligvis blir større ved økt pustefrekvens.

For en rent mekanisk vurdering kan man bruke de administrative normer utgitt av Direktoratet for Statens arbeidstilsyn. Her heter det bl.a. "Normen er satt ut fra tekniske, økonomiske og medisinske vurderinger. Selv om normene overholdes, er man derfor ikke sikret at helsemessige skader og ulemper ikke kan oppstå. Normene er anbefalinger og i seg selv ikke juridisk bindende. Normene blir først juridisk bindende når de forekommer i konkrete pålegg fra Arbeidstilsynet eller i forskrifter utgitt av Arbeidstilsynet." Hvordan normene bør brukes, er videre angitt slik: "Normene brukes i vurderinger av om det foreligger helsefarlige forhold. De må ikke oppfattes som skarpe grenser mellom ufarlige og farlige konsentrasjoner. Slike skarpe grenser finnes ikke. Det skyldes

bl.a. de biologiske forskjeller som finnes blant mennesker. To personer kan reagere forskjellig selv om de blir utsatt for den samme påvirkningen av et kjemisk stoff."

Normene er heller ikke statiske, de blir endret etterhvert som ny viten gjør det nødvendig. Man regner med å sende ut en ny liste hvert år⁴³⁾, her er også forklart summeformelen for stoffer som har en lik virkning på organismen.

Hensikten med å utføre yrkeshygieniske målinger er å søke å hindre at arbeidstakerne skal bli utsatt for helseskader på grunn av sitt yrke. Hva som er helseskade vil imidlertid også kunne være gjenstand for vurdering. Finnes man imidlertid konsentrasjoner av luftforurensninger som overskrider den administrative norm, må man søke å bedre forholdene. En generell oversikt over metoder for å hindre eller redusere luftforurensninger er angitt av Jahr⁴⁴⁾. Den rent praktiske planlegging av slike forbedringer bør utføres av spesialister.

Rapportering av resultater bør skje så raskt som mulig. Det vil ofte være hensiktsmessig å ha et bestemt mønster for slike rapporter og et eksempel på en større disposisjon er vist i bilag 2. For mindre undersøkelser kan skjemaet forenkles, men hovedtrekkene bør beholdes. Nedenfor er gitt en kommentar til de enkelte hovedavsnitt.

Innledningen bør inneholde opplysninger om hvorfor undersøkelsen er utført, hva som tidligere er gjort på samme arbeidssted og/eller i tilsvarende bedrifter samt hvilke undersøkelser rapporten omfatter. Mulig helse- risiko spesifiseres.

Sammendraget skal være kort, helst ikke over en maskinskrevet side for en større undersøkelse, og da delt opp i undergrupper som vist i bilag 3. For en mindre undersøkelse bør sammendraget høyst være på en halv side. Sammendraget skal gi en oversikt over de resultater som er oppnådd.

Konklusjonen skal inneholde de sikre slutninger man kan trekke ut fra undersøkelsen og trekke frem eventuelle forbedringer som bør gjøres.

Både den teknisk-hygieniske og den medisinske undersøkelse skal gi en så detaljert beskrivelse av de undersøkelser som er foretatt at en utenforstående med samme forutsetninger som de som har utført undersøkelsen skal kunne gjenta hele arbeidet uten å få signifikant forskjellige resultater, med mindre det i mellomtiden er inntrått forandringer som gir en rimelig forklaring på forskjellene. Detaljer som finnes i tilgjengelig litteratur, er det tilstrekkelig å henvise til. Dette kan gjøres på flere måter. Det mest alminnelig er å føre opp navnet på forfatteren med et nummer etter, f.eks. Buckup⁴⁾, hvor henvisningene er nummerert fortløpende ettersom de forekommer i teksten. I litteraturlisten blir da henvisningen nummerert i samme rekkefølge. Denne metoden vil som regel være den mest bekvemme for leseren, men ikke alltid. Den annen meget brukte metode er å angi forfatterens navn med årstallet i parentes etterpå. Litteraturlisten må da ordnes alfabetisk etter forfatterens navn, og hvis det er flere publikasjoner fra samme forfatter ordnes disse etter stigende årstall. Den siste metoden bør foretrekkes hvis det er svært mange litteraturhenvisninger. Det er også mulig å kombinere de to metoder ved både å føre opp litteraturreferanse alfabetisk, og samtidig gi dem fortløpende nummer i listen. Nummerrekken vil da ikke bli fortløpende i teksten i selve rapporten.

Diskusjonen gir forfatteren(e) anledning til å komme frem med mer usikre teorier og antagelser som kan trekkes på grunnlag av de undersøkelser som er gjort hvis disse har betydning for det videre arbeidet. Disse bør være av typen "for og imot" uten at det trekkes noen konklusjoner. Man bør nøye overveie om kapittelet diskusjon i det hele tatt skal være med. Det er egentlig bare berettiget i de tilfeller hvor resultatene ikke gir grunnlag for noen entydige svar på de spørsmål som ble stillet i innledningen. Diskusjonen vil da som regel ha til formål å legge frem for leseren alternative muligheter for hva som videre bør gjøres når man av en eller annen grunn ikke selv kan eller vil ta avgjørelsen om dette, eller det ikke gjøres nye undersøkelser innen en rimelig tid.

REFERANSER

- 1) P. Sebastien et al.: "The size of Asbestos fibres in respiratory tissue from some Mesothelioma cases in France. A TEM study.
Publisert på møte i EF-kommisjonen for helse og sikkerhet i Brüssel 18. - 20. juni 1979.
- 2) H.D. Landahl og T.N. Tracewell: "Penetration of Airborne Particulates Through the Human Nose II. The Nasal Passages."
J. Ind. Tox. 31, pp. 55 - 59, 1949.

Se også H.D. Landahl: "On the Removal of Airborne Droplets by the Human Respiratory Tract, II. The Nasal Passages."
- 3) Timbrell: Innlegg fra konferanse om biologisk virkning av asbest, 19. - 20. oktober, 1964.
Am. New York Acad. Sci., bind 132, I (1965), pp. 1 - 776.
Referert i Staub Reinhalt, Luft, 26, 1966, p. 543
- 4) H. Buckup: "Über Luftreinhaltung am Arbeitsplatz." Staub, 25, 1965, p. 437 - 440.
- 5) The Institute of Occupational Hygienists, Report No 1, Air Sampling Workshop Banbury October 1977, Edited by E. King, May 1979.
- 6) E. Ioos: "Mikrosiebung mit Ultraschall" Staub 25 (1965), p. 540 - 543.
- 7) J. Jahr: "A new Sedimentation Procedure for Dust Samples" Staub-Reinhalt. Luft in English, 30 (1970), p. 27 - 31. (I tysk utgave i Staub-Reinhalt. Luft 30 (1970) p. 465 - 468).
- 8) R.J. Hamilton og W.A. Walton: "The Selective Sampling of Respirable Dust"^{Jn} "Inhaled Particles and Vapors," p. 465, (Oxford, march 1960)
Pergamon Press. London (1961).

- 9) Proc. Pneum. Conf. Johannesburg (1959), ed. A.J. Orenstein, Churchill, London 1960.
- 10) M. Lippman og W.B. Harris: "Size-Selective samplers for Estimating "Respirable" Dust concentrations" Health Physics, (Pergamon Press 1962) 8, p.p. 155 - 163.
- 11) American Conference of Governmental Industrial Hygienists: "Threshold Limit Values of Airborne Contamnauts for 1970" (og senere).
1014 Broadway, Cincinnati. Ohio 45202.
- 12) J.H. Brown & Al: "Influence of Particle Size Upon the Retention of Particulate matter in the Human Lung" Am. J. Publ. Health, 40 (1950), p.p. 450 - 458.
- 13) E.M. Thompson et Al: "Comparison of a recommended respirable mass dust sampling device." Am. Ind. Hyg. Ass J., 38 (1977), p.p. 523 - 535.
- 14) J.H. Dunmore et Al: "An Instrument for the Sampling of Respirable Dust for Subsequent Gravimetric Assessment." J. Sci. Instrument 41 (1964), p.p. 669/672.
- 15) A.A. Andersen: "A Sampler for Respiratory Health Hazard Assessment," Ann. Ind. Hyg. Ass. J. 27 (1966), p.p. 160 - 165.
- 16) G.A. Carson og H. J. Paulus: "A High Volume Cascade Sieve Impactor." Ann. Ind. Hyg. Ass. J. 35 (1974), p.p. 262 - 268.
- 17) R.J. Seaney and P.H. Hodson: "A Continously Recording Aerosol Photometer for Monitoring Respirable Airborne Dust." (Department of Energy, Safety in Mines Research Establishment, Sheffield) Blir publ. i Ann. Occup. Hyg. (1979).

- 18) H. Breuer: "Das neue Feinstaubstreulichtphotometer TM digital". Staub-Reinhalt Luft 36 (1976) p. 6 - 10.
- 19) H.D. Bauer und H. Blome: "Ergebnisse verschiedenen Staubmessungen mit dem Streulichtphotometer TM digital und dem MPG II". Staub-Reinhalt Luft 37 (1977), p. 217 - 220.
- 20) T.F. Tomb et Al: "Laboratory evaluation of the Leitz Tyndallometer TM-Digital". Informational Report 1051 fra Mining Enforcement and Safety Administration, U.S. Dept. of The Interior.
- 21) Asbestos International Association: "Draft Proposal: "Reference Method for the determination of Asbestos Fibre Concentrations at Workplaces by Light Microscopy." June 1979, v. formannen i Dust Measurement Advisory Panel, K. Robock, Garlitzer Str. 1, D-4040 Neuss, Vest-Tyskland.
- 22) J. Le Guen, British Health and Safety Executive, Occupational Medicine & Hygiene Labs., 403 Edgware Road, London NW2 6LN. (Referert av T.L. Ogden 18. - 20. juni 1979 på møte i Brüssel holdt av Commission of the European Communities, Health and Safety Directorate).
- 23) P. Lilienfeld et Al: "Development of a prototype fibrous aerosol monitor." Ann. Ind. Hyg. Ass. J. 40 (1979) p.p. 270 - 282.
- 24) Statens Arbeidstilsyn, Direktoratet, Postboks 8103, Dep., Oslo 1, Tlf. 46 98 20. "Asbest" Verneregler Nr. 5 1977, Best.nr. 235 og "Bruk av asbest i byggebransjen", Best. nr. 235 b, april 1978.
- 25) A. Kverneland: "Helsefare ved bearbeidelse av forskjellige tresorter." 8 litt. henv. Notat 5/3-76, YHI.

- 26) D.G, Taylor: "NIOSH Manual of Analytical Methods," 2nd ed. 1977. U.S. Dept. of Health, Education and Welfare. Selges av Superintendent of Documents, U.S. Government, Printing Office, Washington, D.C. 20402.
- 27) B. Weiss et Al: "Quantitative Differential Thermal Analysis of Small Dust Samples containing Quarz". Am. Ind. Hyg. Ass. J. 34 (1973), p.p. 193 - 199.
- 28) D.G. Taylor: Infrared Spectra for Mineral Identification. Am. Ind. Hyg. Ass. J. (1970), p.p. 100 - 108.
- 29) B. Gylseth et Al: "Analyseprosedyrer - Preparasjonsteknikker ved YHI, Teknisk avdeling" HD 703/770216 (1977) Stensil, YHI. (Ny utgave kommer i 1979/80).
- 30) D.G. Nicholson: "Røntgenpulverdiffraktometri. Del 1. Innledning". (1978) Stensil, YHI.
- 31) G. Edholm og D.G. Nicholson: X-ray powder Diffractometry. part II. Microanalysis of crystalline silica."
- 32) B. Gylseth: "LTA-505 Prinsippanvendelse". HD 702/770215 (1977). Stensil, YHI.
- 33) B. Gylseth, E.M. Ophus og G.Mowé: "Determination of inorganic fiber density in human lung tissue by scanning electron microscopy after low temperature ashing". Scand. J. Work, Environ & Health 5 (1979) p.p. 151 - 157.
- 34) W.C. McCrone og J.G. Delly: "The Particle Atlas". 2. ed. (4 bind) Ann. Arbor Science Publishers Inc., 1973.
- 35) B. Gylseth et Al: "Helsemessige aspekter ved sveising og bearbeiding av rustfritt stål. En medisinsk-teknisk-/hygienisk undersøkelse av en del arbeidere ved Kværner Brug A/S, Egersund". Hd 752/201277 (1977), Stensil, YHI.

- 36) J.T. Sanderson: Hazards of the Arc-Air Gouging Process. Ann Occup. Hyg. 11 (1968), p.p. 123 - 133.
- 37) F.W. Lunau: "Ozone in Arc Welding" Ann. Occup. Hyg. 10 (1967) p.p. 175 - 188.
- 38) J. Glømme og Å. Swensson: "Risikoen for støvlungesykdommer i ferrosilisiumsmelteverk." Del I - IV. Stensil, YHI, Oslo og Karolinska Sjukhuset Stockholm, 1965 - 1966.
- 39) Å. Swensson et Al: "Pneumoconiosis in Ferrosilicum Workers - A Follow-up study". J. Occup. Med. 13 (1971), p.p. 427 - 432.
- 40) Å. Swensson: "Tissue reaction to different types of amorphous silica". Davies, Inhaled Particles and Vapors II, Pergamon Press, London, (1967)
- 41) Å. Swensson: "Experimentelle undersøkingar over den fibrinogenetiska effekten av amorf kieseldioxid, biprodukt vid framställning av aluminiumfluorid". Arbete och Hälsa 1979:22. 17 sider.
- 42) V.C. Vitums et Al: "Pulmonary Fibrosis from Amorphous Silica Dust, A Product of Silica Vapor". Arch. Environ, Health, March/April 1977, p.p. 62 - 68
- 43) Statens Arbeidstilsyn. Direktoratet, Postboks 8103, Dep., Oslo 1, Tlf. 46 98 20. "Administrative normer for forurensninger i arbeidsatmosfære". Best.nr. 361, 1978.
- 44) J. Jahr: "Tekniske tiltak for bekjempelse av luftforurensninger på arbeidsplassen" HD nr. 942. Stensil, YHI.

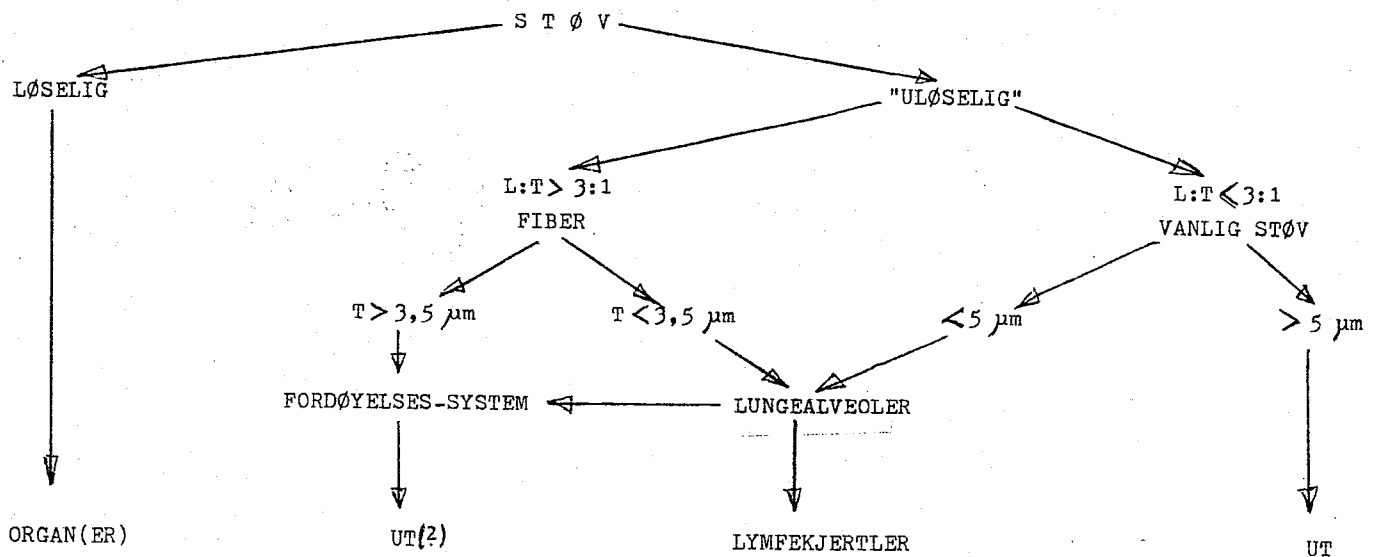


Fig. 1. Skjematisk inndeling av støv etter opptaks-/transportveier etter at det har passert nesen.

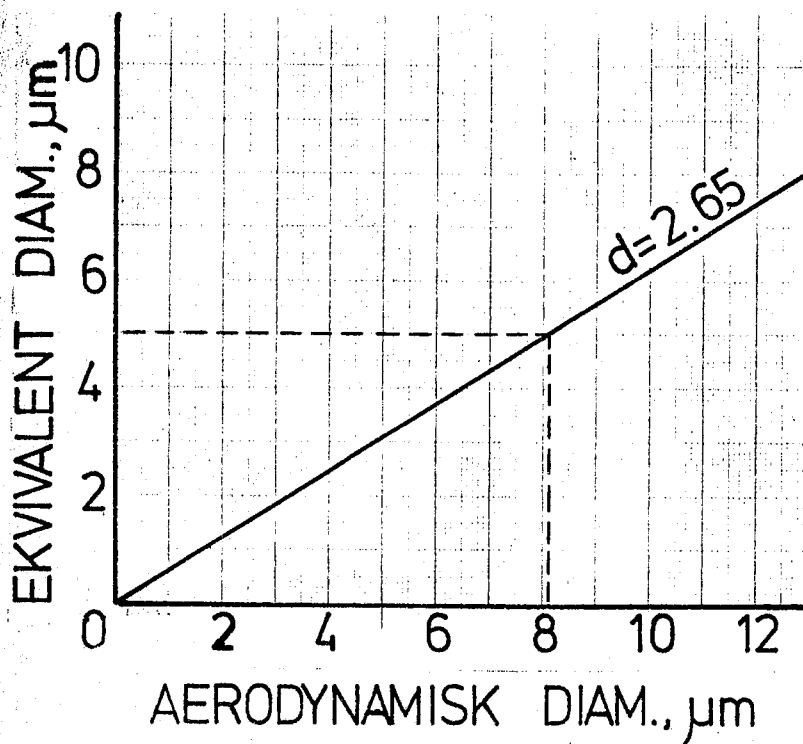


Fig. 2. Sammenheng mellom ekvivalent og aerodynamisk diameter for kvarts m. tetthet 2,65.

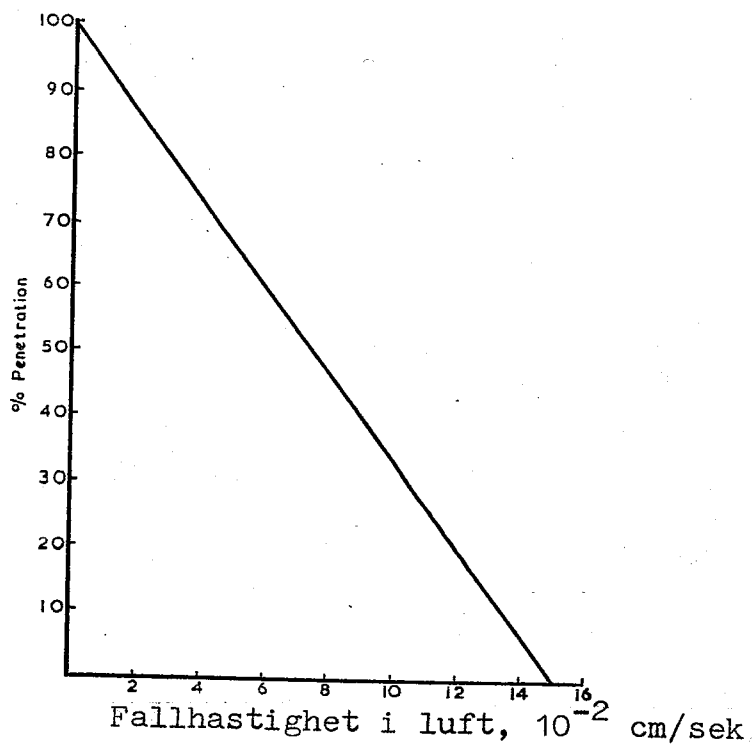


Fig. 3. EMRC's krav til forutskillere

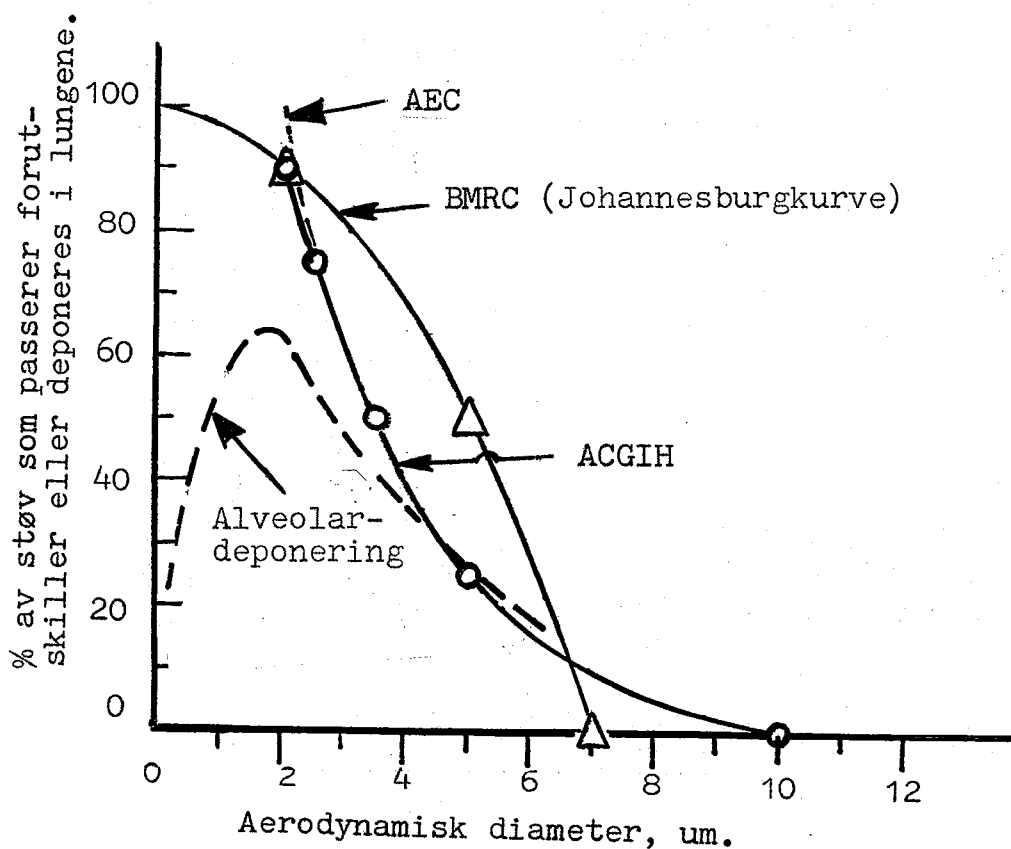
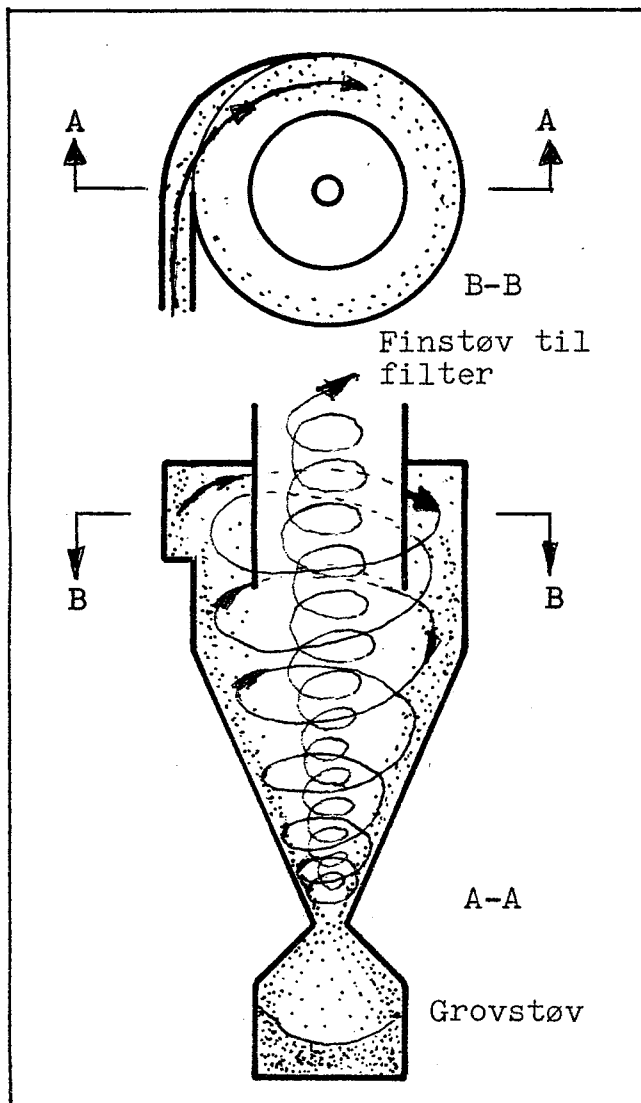


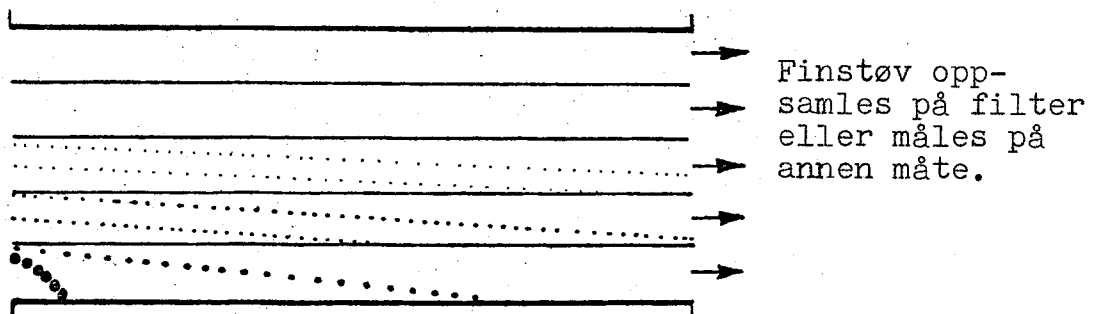
Fig. 4. Kurver som viser forskjellige kriterier for forutskillere m.h.t. "respirabelt" støv. Til sammenligning er vist en omtrentlig deponeringskurve for støv i alveolarområdet.



Horizontalsnitt

Vertikalsnitt

Figur 5. Prinsipp for syklon.



Figur 6. Prinsipp for plateelutriator

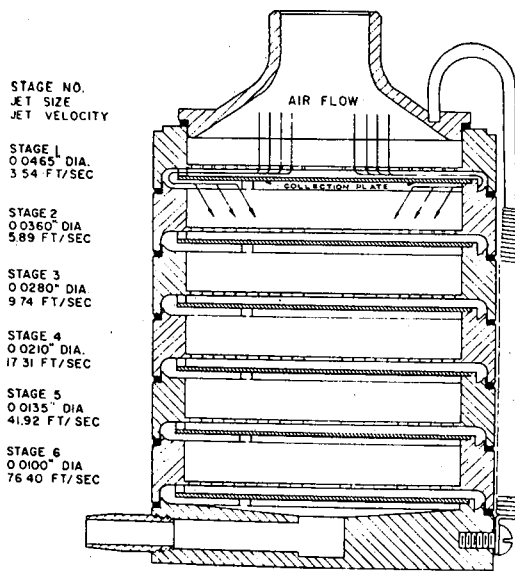


Fig. 7. Kaskadeimpaktor
(Andersen sampler)

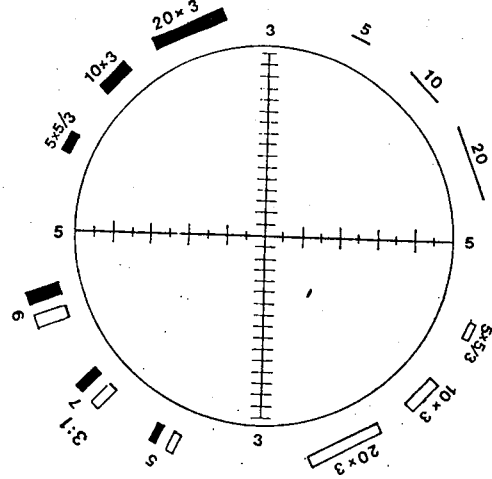


Fig. 8. Walton - Becket
okkularinnsats

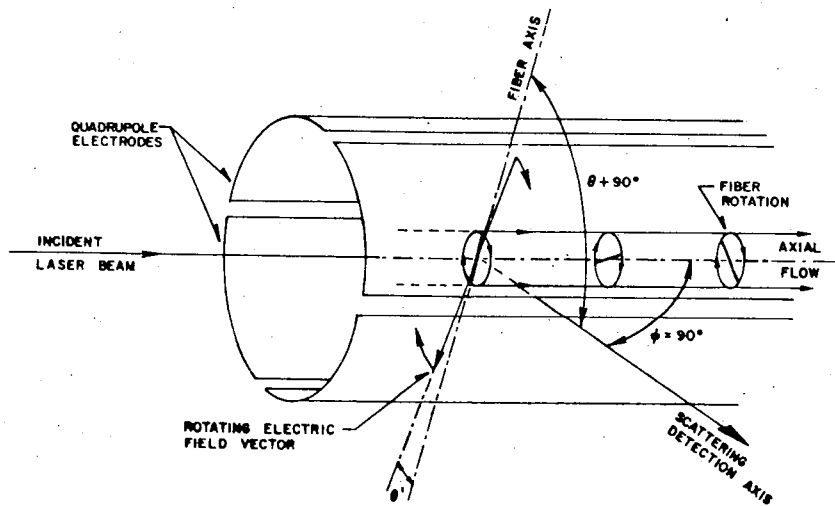


Fig. 9. Prinsipp for direkte bestemmelse av fiber.

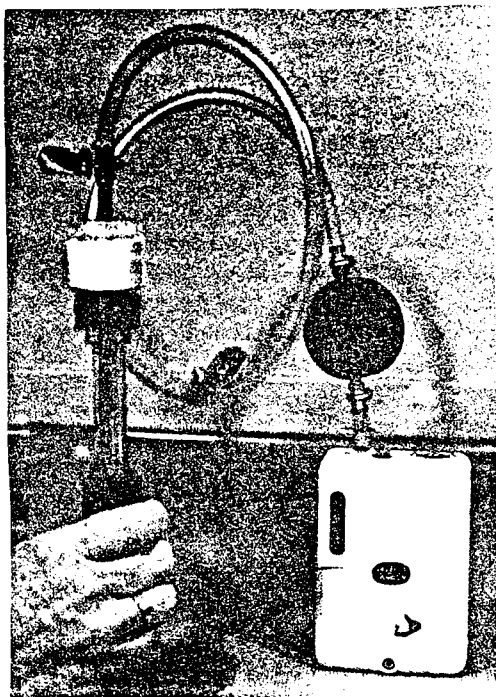


Fig. 14. Måling av pumpekapsitet.

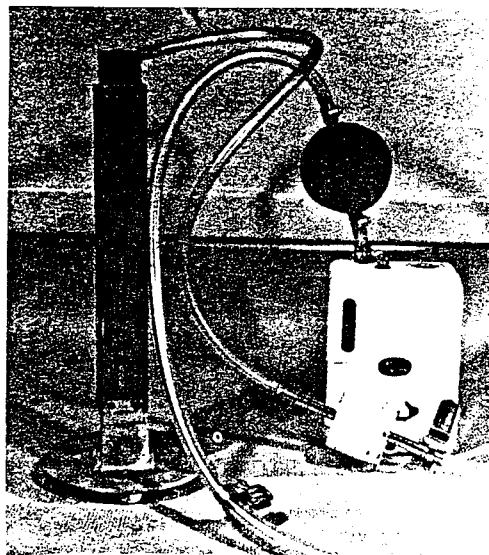


Fig. 15. Måling av pumpekapsitet med større flowmeter.

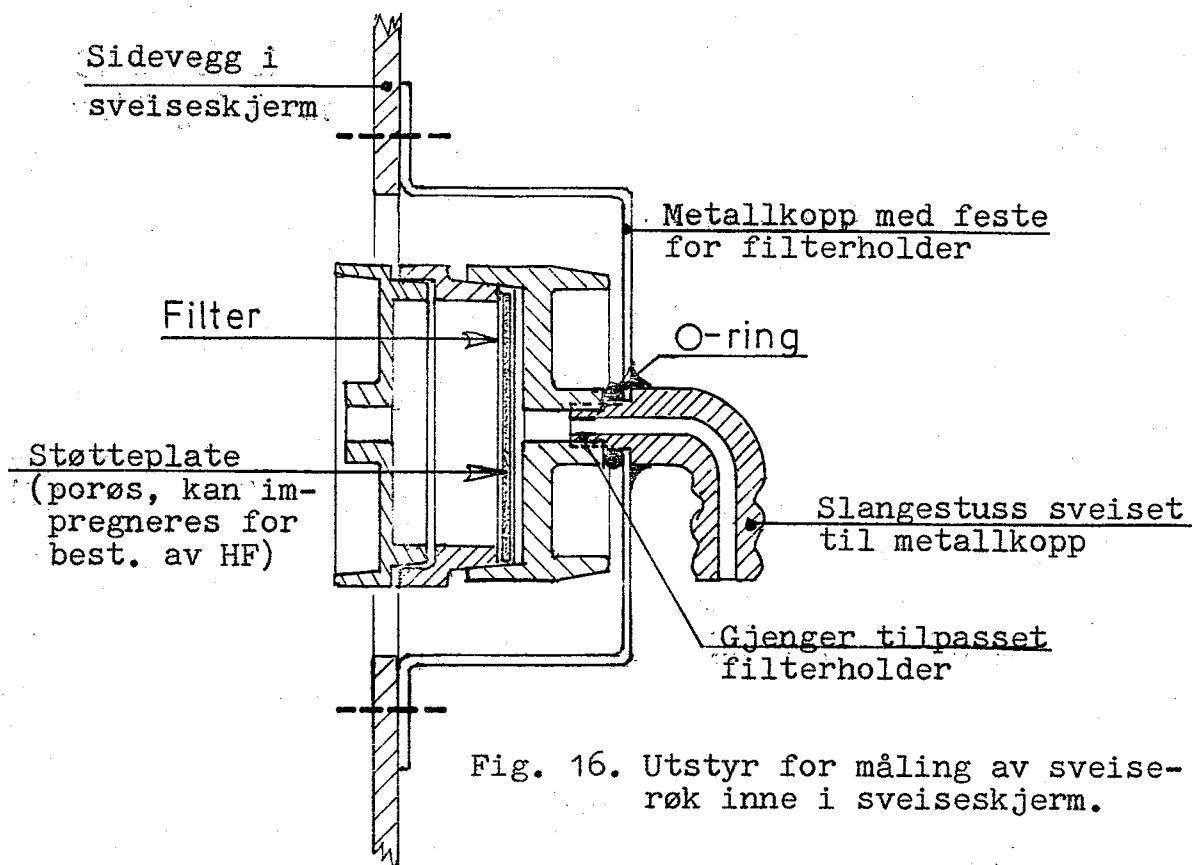


Fig. 16. Utstyr for måling av sveiserøk inne i sveiseskjerm.

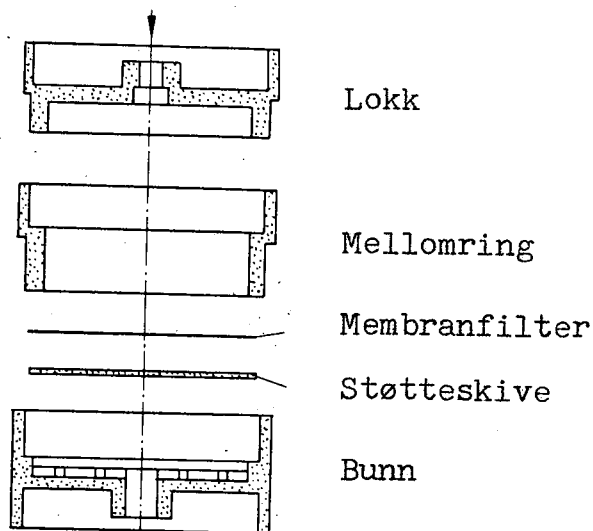


Fig. 10. 3-delt filterholder.
(Mål ca. 1:1,25)

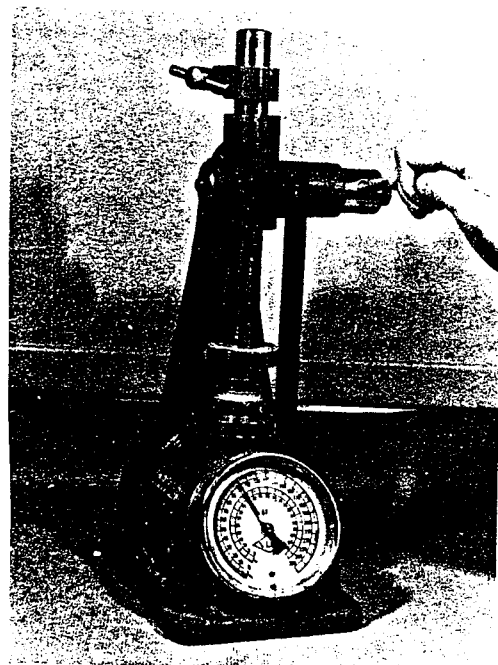


Fig. 11. Apparat for sammenpressing av filterholdere.

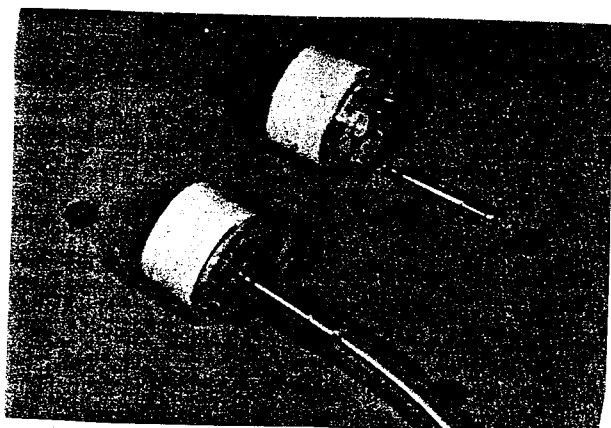


Fig. 12. Filterholdere med tape og nippler.



Fig. 13. Plasering av personlig prøvetagningsutstyr på operatør.

TABELLER

Tabell 1

Ekvivalent partikkelstørrelse	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 timer	50 "
0,1	14 døgn	3 1/3 døgn

Tabell 1. Teoretisk synkehastighet for kvarts- og blypartikler

Tabell 2

	Vektkonsentrasjon ₃ mg/m ³	Partikkeltall pr. kubikksentimeter p/cm ³
Totalstøv	+	Brukt tidligere
Støv < 5 μm	+	-----"
Respirabelt støv	+	-----"
Fiber		+

Tabell 2. Konsentrasjonsangivelser for støv. + = brukes.

Tabell 3

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

Tabell 3. Vekt-% av støvet som skal passere gjennom en forutskiller etter forskjellige angivelser.

Tabell 4

Modifikasjon	Omvandlings-temperatur, C ⁰	Densitet (tetthet) ved 20 C ⁰ , g/cm ³
α -kvarts	575	2,65
Tridymitt	870	2,27
Kristobalitt	1470	2,33

Tabell 4. Data for noen aktuelle silika - modifikasjoner.

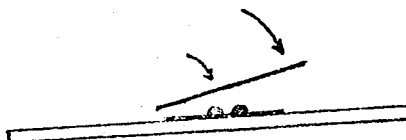
Acetone-Triacetin-Mounting Procedure

WARNING

Acetone mounting should be carried out only in a fume hood or fume cupboard. On no occasion should it be used in the vicinity of an open flame.

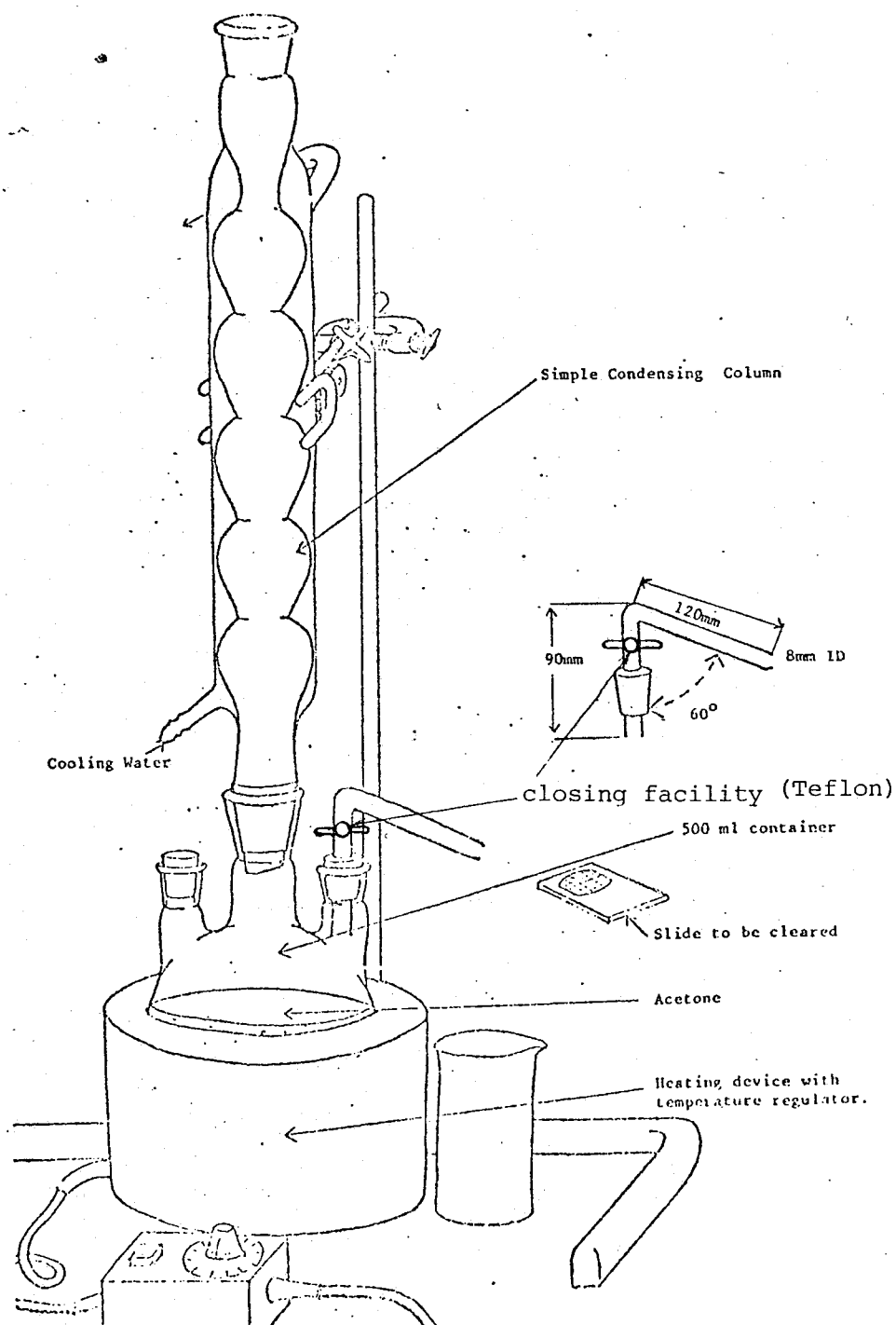
- A hot plate, or waterbath, or heating mantle, complete with energy regulator, or even an infant's bottle warmer can be used to heat the acetone. An effective method is an infra-red lamp. The lamp can be moved closer to, or further from the flask so that the acetone can be boiled gently.
- As illustrated in the diagram below, it is advisable to use a simple condensing column to ensure that a bare minimum of acetone vapour escapes.
When not in use, the acetone vapour outlet should be ~~plunged~~ ^{stopped}. JJ
- Heat the acetone to boiling and wait until a moderate quantity of acetone vapour is emerging from the outlet.
- Place the filter dust side up on a clean microscope slide at room temperature - electrostatic forces usually keep the filter on the slide.
- Ensuring that no liquid acetone drops on the filter (by wiping the outlet periodically with a tissue), with clean forceps hold the slide directly in the acetone vapour stream approximately 15 to 25 mm from the outlet for 3 to 5 seconds. At the same time move the filter slowly across the outlet to ensure even coverage until the filter is transparent. Too little vapour will fail to render the filter transparent, while too much vapour (especially drops of liquid acetone) will destroy the filter by dissolving it or shrinking it beyond use. The slide must not be rewarmed, as the acetone vapour must condense on the slide for correct clearing.
- Using a hypodermic syringe with a 22 gauge needle, place one to three drops of glycerol triacetate (Triacetin) on the acetone cleared filter. To avoid the development of a "skin" over the Triacetin, immediately lower at an angle (see diagram below) a clean coverslip onto the Triacetin. The coverslip should not be pressed onto the membrane.

x) non-fibrous JJ



Too much Triacetine (as indicated by excess liquid emerging from the edges of the coverslip) can cause the outside edge of the filter eventually to disintegrate to some degree. Insufficient Triacetin will result in uneven clearing of the granularity left from the acetone vapour clearing. Further, the refractive index of the mounted sample will not be suitable for optimum visibility of very fine Chrysotile fibres.

- Heating the cleared filter to approximately 50 ° C for fifteen minutes accelerates the clearing process and enables analysis to proceed almost immediately. Otherwise it is necessary to delay counting for up to twenty-four hours until the entire filter has dissolved under the action of the Triacetin. The finished product will be stable, will not disintegrate, nor be subject to particle migration.
- It is desirable to paint nail polish, or similar lacquer around the edge of the coverslip if the slide is to be kept indefinitely.



Eksempel på disposisjon for en undersøkelse
av arbeidsforhold.

I INNLEDNING

II SAMMENDRAG

- A. Den teknisk-hygieniske undersøkelse
- B. Den medisinske undersøkelse
- C. Sammenheng mellom den teknisk-hygieniske og medisinske undersøkelse.

III KONKLUSJON

IV TEKNISK-HYGIENISK UNDERSØKELSE

- A. Innledning
- B. Beskrivelse av produksjonslokaler, utstyr og prosesser
- C. Beskrivelse av arbeidsoperasjoner
- D. Prøvetagning og analysemetoder med angivelse av presisjon og nøyaktighet
- E. Beregninger
- F. Administrative normer
- G. Resultater

- 1. Langtidsprøver i innåndingssonen
- 2. Korttidsprøver tatt i innåndingssonen under spesielle arbeidsoperasjoner
- 3. Prøver av den generelle arbeidsatmosfære
- 4. Gauss-fordeling for prøvene

V MEDISINSK UNDERSØKELSE

A. Innledning

B. Opplegg

C. Karakteristikk av de undersøkte grupper

D. Resultater

VI DISKUSJON

VII LITTERATUR

VIII TABELLER

IX FIGURER

X BILAG