

NILU OR : 67/86
REFERANSE: O-8223
DATO : OKTOBER 1986
ISBN 82-2747-746-7

**FRAKSJONERT PRØVETAKING AV
SVEVESTØV I LUFT.**

SAMMENLIGNING AV PRØVETAKERE, 1982

av

Steinar Larssen og Val Vitols

Utført på oppdrag fra Statens forurensningstilsyn



Norsk institutt for luftforskning

Postboks 130 - 2001 Lillestrøm

NILU OR : 67/86
REFERANSE: 0-8223
DATO : OKTOBER 1986
ISBN 82-2747-746-7

**FRAKSJONERT PRØVETAKING AV
SVEVESTØV I LUFT.**

SAMMENLIGNING AV PRØVETAKERE, 1982

av

Steinar Larssen og Val Vitols

Utført på oppdrag fra Statens forurensningstilsyn

NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING
POSTBOKS 130, 2001 LILLESTRØM
NORGE

SAMMENDRAG

NILU har på oppdrag fra Statens forurensningstilsyn utført en undersøkelse der ulike prøvetakere for måling av inhalerbare partikler (IP, partikkeldiameter $d < 15 \mu\text{m}^*$) ble sammenlignet. Også prøvetakernes evne til å skille partiklene i finfraksjon ($< 2.5 \mu\text{m}$ diameter) og grovfraksjon ($> 2.5 \mu\text{m}$ diameter) ble undersøkt. Målingene ble utført i perioden juli-oktober 1982.

Følgende prøvetakere ble sammenlignet:

- DICHO : Virtuell impaktor ("Dichotomous virtual impactor") modell Sierra (USA). Gir inhalerbar partikkel-konsentrasjon fordelt på finfraksjon og grovfraksjon.
- HIVOL-SSI : "High Volume" luftprøvetaker utstyrt med "size selective inlet" (USA). Gir inhalerbar partikkel-konsentrasjon.
- MHIVOL-SSI: Som HIVOL-SSI, modifisert ved å inkludere en separasjonsenhet (impaktor) for finfraksjon/grovfraksjon.
- 2F : To-filter-prøvetaker (to filtre i serie). Separerer partikkelprøven i finfraksjon og grovfraksjon.

Det ble benyttet to DICHO-prøvetakere, en HIVOL-SSI, en MHIVOL-SSI og en 2F-prøvetaker. Det ble kjørt 34 prøver ved hotell Viking i Oslo sentrum med alle prøvetakerne, og 9 prøver med to DICHO- og to HIVOL-SSI-prøvetakere på taket av NILUs bygning i Lillestrøm.

Det var god overensstemmelse mellom alle prøvetaker-typene når det gjelder inhalerbare partikler ($d < 15 \mu\text{m}$)**.

*I 1982 ble inhalerbare partikler definert som partikler med diameter mindre enn $15 \mu\text{m}$. Senere er definisjonen endret, slik at inhalerbare partikler i dag er partikler mindre enn $10 \mu\text{m}$.

**Etter denne undersøkelsen har NILU anskaffet mye luftinntak til DICHO og HVS-prøvetakerne som svarer til den reviderte definisjonen av inhalerbare partikler, kaldt PM_{10} . Parallell prøvetaking av PM_{10} med DICHO og HVS/SSI antyder at HVS/SSI gir en noe høyere PM_{10} -verdi enn DICHO-prøvetakeren, spesielt når det er større mengder store partikler i lufta. Forskjellen kan i gjennomsnitt dreie seg om 10%.

Når det gjelder fraksjonering av inhalerbare partikler i finfraksjon og grovfraksjon, var det ikke god overensstemmelse mellom DICHØ og MHIVOL-SSI. Hovedproblemet er at separasjonsenheten i MHIVOL-SSI ikke fungerer ideelt. Store partikler som i teorien skal avsettes i grovfraksjonen følger luftstrømmen ned i finfraksjonen.

Det var rimelig god overensstemmelse mellom DICHØ og 2F når det gjaldt separasjon i fin- og grovfraksjon.

Reproduserbarheten var god både for DICHØ- og HIVOL-SSI-metodene, med korrelasjonskoeffisienter bedre enn 0.98, regresjonskoeffisienter innenfor 0.98-1.03 og null-avvik bedre enn $0.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Reproduserbarheten for metodene omfatter både prøvetaking og vektanalyse.

Både DICHØ og HIVOL-SSI tilfredsstiller generelt sett de krav som i USA stilles til måling av inhalerbare partikler. Den foreliggende undersøkelsen viste også at de var likeverdige når det gjelder partikler $< 15 \mu\text{m}$, og at de kan benyttes om hverandre. HIVOL-SSI er billigere utstyrmessig, men en HIVOL-SSI-målestasjon krever mer tilsyn, idet filtre må skiftes manuelt.

Når det gjelder kjemisk analyse av partiklene, er det knyttet større begrensninger til HIVOL-SSI enn til DICHØ, på grunn av filtermaterialet som benyttes.

For å avgjøre om 2F-metoden er likeverdig med DICHØ og HIVOL-SSI for bestemmelse av inhalerbare partikler, er det nødvendig å undersøke reproduserbarheten av 2F-metoden med en forbedret 2F-prøvetaker i forhold til den som ble benyttet i denne undersøkelsen. For 2F-metoden vil det ikke være noen begrensninger i forhold til DICHØ, når det gjelder kjemisk analyse av partiklene.

Vi betrakter DICHØ-metoden som den beste når det gjelder separasjon av partiklene i finfraksjon og grovfraksjon. MHIVOL-SSI-metoden kan generelt ikke benyttes til slik separasjon, men i relativt rene områder, som f. eks. ved målestasjonen på NILU kan feilen bli liten, slik målingene her viste. 2F-metoden vil sannsynligvis være omtrent like god som DICHØ, når det

gjelder slik separasjon, men videre undersøkelser er nødvendig for å bekrefte dette.

Undersøkelsen inkluderte også:

- sammenligning av ulike typer filtermaterialer i de ulike prøvetakerne,
- undersøkelse av opptak av SO_2 i glassfiberfiltre,
- undersøkelse av effekten av fettbelegg på impaksjonssubstrater på impaktortrinnet i HIVOL-SSI, for å søke å forbedre avskillingsegenskapene.

Prosjektet ga forøvrig nyttige erfaringer når det gjelder praktisk bruk av prøvetakerne samt veiing av ulike typer filtermaterialer.

INNHOLD

	Side
SAMMENDRAG	3
1 INNLEDNING	9
2 DEFINISJON AV PARTIKKELFRAKSJONER	10
3 METODIKK	12
3.1 Prøvetakere	13
3.2 Analyser	16
4 MÅLEPROGRAM	19
5 RESULTATER OG DISKUSJON	20
5.1 Metodenes reproduserbarhet	20
5.2 Bestemmelse av inhalerbar partikkelfraksjon	22
5.3 Fraksjonering i fin og grov partikkelfraksjon	22
6 UNDERSØKELSER VEDRØRENDE FILTERMATERIALER	26
7 OPERASJONELLE ERFARINGER	28
8 KONKLUSJONER	29
9 REFERANSER	31

**FRAKSJONERT PRØVETAKING AV SVEVESTØV I LUFT.
SAMMENLIGNING AV PRØVETAKERE, 1982**

1 INNLEDNING

I 1982 ble NILU bedt av SFT å teste metoder og utstyr for måling av konsentrasjonen av svevestøv i luft. Metoden(e) skulle tillate oppsamling på filtre av inhalerbare partikler (IP), og fraksjonering av IP i finfraksjon ($<2.5 \mu\text{m}$ EAD*, tilnærmet lik respirabelt støv) og grovfraksjon ($>2.5 \mu\text{m}$ EAD), for gravimetrisk og videre kjemisk analyse.

Litteraturen vedrørende slike prøvetakere ble undersøkt i 1981 (Vitols, 1981). På grunnlag av denne gjennomgåelsen ble det anbefalt å foreta en utprøving og sammenligning i felt av de typer prøvetakere som ble ansett å være de mest aktuelle. De to prøvetaker-typer, tilgjengelig på markedet, som ble ansett å være best egnet var begge amerikanske: "high volume sampler" med "size selective inlet" (HIVOL-SSI) og "dichotomous virtual impactor" (DICHO). HIVOL-SSI måler bare inhalerbare partikler (IP). For å få en fraksjonering i fine og grove partikler, må prøvetakeren modifiseres (MHIVOL-SSI) ved å inkludere et fraksjonerings-trinn (impaktor).

Informasjonen om overensstemmelsen mellom HIVOL-SSI og DICHO er begrenset. Noen undersøkelser utført i felt er rapportert (Shaw et al., 1981; Watson et al., 1983), og også teoretisk utviklete estimater av prøvetakingseffektiviteten til prøvetakerne (Shaw et al., 1981, Orenstein, 1960). Det er imidlertid ikke rapportert feltundersøkelser av den foreslåtte MHIVOL-SSI og sammenligninger mellom denne og DICHO.

I løpet av sommeren og høsten 1982 ble en sammenligning av prøvetakerne utført. To prøvetakere av hver type ble kjørt parallelt på to ulike målesteder (ved hotell Viking i Oslo sentrum og på taket av NILUs bygning i Lillestrøm). Også en tredje type prøvetaker, to filter-prøvetaker (2F) ble inkludert i undersøkelsen.

* EAD - ekvivalent aerodynamisk diameter = diameter til en sfære med spesifikk tetthet 1 g/cm^3 som her samme fallhastighet i luft som den aktuelle partikkelen.

2 DEFINISJON AV PARTIKKELFRAKSJONER

Alle prøvetakerne anvendt i undersøkelsen klassifiserer partikler etter størrelse i hovedsak ved bruk av treghetsavbøynings(impaksjons)-prinsippet. Svevepartikler i luft kan ha mer eller mindre komplisert form, fra sfærer til staver og kjede-agglomerater. Når en snakker om partiklenes størrelse eller "diameter" i denne sammenheng, er det partiklenes aerodynamiske egenskaper i luftstrømmen gjennom prøvetakerne som har størst betydning. Prøvetakernes fraksjonerings-egenskaper beregnes teoretisk og kalibreres i laboratorier ved bruk av sfærer av materiale med en gitt spesifikk tetthet. Fraksjoneringstrinnets fraksjoneringsdiameter bestemmes ofte som "ekvivalent aerodynamisk diameter - EAD". Det er diameteren til en sfære med spesifikk tetthet 1g/cm^3 som har samme fallhastighet i luft som den aktuelle test-partikkel. Partikler som avsettes ved støt (impaksjon) på dette trinnet har en EAD større enn fraksjoneringsdiameteren, mens de som fortsetter videre har en mindre EAD. EAD er altså en ekvivalent diameter, og ikke nødvendigvis lik den en ville gi partikkelen, f.eks. sett i mikroskop. Når ordet partikkeldiameter benyttes i denne rapporten, menes alltid partikkelens EAD.

Impaktorer gir ikke ideell fraksjonering. Noen partikler større enn den teoretiske fraksjoneringsdiameter (EAD) slipper gjennom, mens noen som er mindre holdes igjen. Trinnet karakteriseres ved sin "cut-off"-diameter eller "50% cut-off"-diameter, som er diameteren på den partikkel som i laboratorieforsøk har 50% sjanse for å bli avsatt på trinnet, og 50% sjanse til å gå videre.

En annen ikke-ideell egenskap ved impaktorer er at partikler større enn fraksjoneringsdiameteren som avsettes, deretter kan rives med luftstrømmen videre til neste trinn i prøvetakeren. Engelske uttrykk for dette fenomen er "bounce-off" og "reentrainment". I praksis er problemet mest påtakelig for ikke-klebrige partikler av regulær form med EAD større enn 5-10 μm .

For fullstendighetens skyld nevnes at en alltid vil ha tap av partikler til indre vegger/flater i prøvetakeren og impaktoren. Veggtapets størrelse varierer fra type til type, avhengig av den indre utforming.

De størrelsesfraksjoner av partikler som er mest interessante i sammenheng med overvåking av luftforurensninger og potensiell helseskade, er respirable partikler (RP) og inhalerbare partikler (IP).

Respirable partikler (RP) ble først definert i 1959 på en konferanse om pneumokoniose ("støvlunge") i Johannesburg (Orenstein, 1960). RP ble definert som den partikkelfraksjon som kan trenge ned i de deler av lungene som ikke har rensemekanismer som fører støvet ut av lungene igjen. RP begrenses av avskillingsmekanismer i munn, nese, svelg og bronkier. RP ble i Johannesburg definert etter avskillingskarakteristikken til en bestemt luftinntakstype, elutriator, foreslått av British Medical Research Council (BRMC), se figur 1 (Lippmann, 1976). I 1986 framkom en modifisert definisjon av RP på The American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) i Los Alamos (Lippmann, 1976), basert på avskillingskarakteristikken til en definert luftinntakssyklus. Denne karakteristikken er også vist i figur 1. Kurvene har "50% cut-off"-diameter på henholdsvis 5.5 og 3.5 μm .

Studier av størrelsesfordelinger av partikler i atmosfæren har vist at en oftest har tre-modal fordeling som har sin forklaring i de virksomme mekanismer for generering, partikkelvekst og partikkelavsetning (Whitby og Sverdrup, 1980). Figur 2 viser fordelingen slik den typisk ser ut i en luftmasse som nylig har fått tilført partikler fra antropogene kilder. De tre fraksjonene kalles nukleær-modus, akkumulasjonsmodus og grovpartikkelmodus. De skiller seg fra hverandre dels i opprinnelse, dels i kjemisk sammensetning. Grovpartikkelmodusen består hovedsakelig av mekanisk genererte partikler (bakkestøv, veistøv, partikler fra andre mekaniske prosesser), mens nukleær-modusen består hovedsakelig av primærpartikler fra forbrenningsprosesser. Via atmosfæriske, kjemiske og fysiske prosesser i atmosfæren (kjemiske reaksjoner mellom gasser eller mellom partikler og gasser, koagulering, agglomerering) skjer en stadig "transport" av partikler fra nukleær- til akkumulasjonsmodusen. På denne måten vokser de fleste partikler til ca 1-2 μm , mens det er liten sannsynlighet for at de blir særlig større enn 2-3 μm . Det skjer svært liten utveksling mellom akkumulasjons- og grovpartikkelmodus. Nukleær-modusen er relativt kort-livet, og eksisterer bare nær forbrenningskilder. Langt borte fra forbrenningskilder har man normalt bare akkumulasjons- og grovpartikkelmodus.

Fra et atmosferekjemisk synspunkt er det derfor svært interessant i prøvetakingen å skille grovpartikkelmodus fra akkumulasjonsmodus. Dette gjøres best ved å skille ved en diameter på ca 2.5 μm . De prøvetakere som framstilles idag for prøvetaking av partikler i to fraksjoner skiller derfor partikler ved ca 2.5 EAD. Finfraksjonen ($<2.5 \mu\text{m}$) blir derved ikke helt overensstemmende med de tidligere konvensjoner vedrørende respirable partikler. Finfraksjonen vil likevel inneholde den største del (masse) av de respirable partikler.

Inhalerbare partikler (IP) er den partikkelfraksjon som ved pusting kommer inn i menneskets respirasjonssystem, dvs. de partikler som kommer inn i og belaster organismen som helhet. Begrepet IP ble introdusert i 1979 (Miller et al., 1979), og da definert som partikler i størrelsesområdet $\text{EAD} < 15 \mu\text{m}$. Det tilsvarende partikkelfraksjon som ved nese-pusting kommer inn i organismen. De seneste år har det pågått en diskusjon om å senke den øvre grensen til 10 μm . Dette er nå foreslått i USA (EPA, 1984).

I denne undersøkelsen ble følgende partikkelfraksjoner målt:

IP - Inhalerbar fraksjon:	EAD < 15 μm
GP - Grovfraksjon	: 2.5 < EAD < 15 μm
FP - Finfraksjon	: EAD < 2.5 μm

3 METODIKK

Konklusjonen på litteraturundersøkelsen i 1981 (Vitols, 1981) var at følgende prøvetakere for fraksjonert prøvetaking av svevepartikler i luft ble vurdert som mest aktuelle til bruk innen overvåkingsprogrammet:

1. To-fraksjons virtuell impaktor av amerikansk design ("Dichotomous virtual impactor" - DICH0).
2. "High-volume partikkelprøvetaker av standard amerikansk type utstyrt med luftinntak for inhalerbar partikkelfraksjon (HIVOL-SSI).

3. Som ovenfor, men modifisert (MHIVOL-SSI) med ett impaktortrinn for ytterligere fraksjonering av inhalerbar fraksjon i to fraksjoner svarende til prøvetaker type 1.

I tillegg ble det anbefalt å inkludere ytterligere en metode i undersøkelsen, to-filter-metoden (2F-metoden) som vanligvis består av to Nuclepore-filtre i serie. Filtrene har ulik porestørrelse, slik at partiklene deles i to fraksjoner. Metoden er enkel og billig i bruk, og den ble derfor anbefalt utprøvd parallelt med de øvrige.

3.1 PRØVETAKERE

To-fraksjons virtuell impaktor (DICHO)

To-fraksjons virtuelle impaktorer (DICHO) er av amerikansk design (Loo et al., 1976). Begrepet virtuell impaksjon innebærer at partikkelimpaksjonen skjer ned gjennom et rør med en langsom vertikal luftstrøm i stedet for ned mot en plate som hele luftstrømmen avbøyes mot. Denne metoden benyttes til å dele svevepartiklene i to fraksjoner etter størrelse. Partikkelfraksjonene samles på to separate filtre.

DICHO-prøvetakerne benyttet her er av modell Sierra 245 Automatic Dichotomous Sampler. Luftinntaket som ble benyttet var såkalt TAMU*-inntak.

Figur 3 viser prinsippsskisser av henholdsvis DICHO-prøvetakeren og luftinntaket samt separasjonskarakteristikken for begge. Det foreligger nå forbedrete luftinntak-typer med partikkel-cut-off på 10 μm , som NILU har begynt å bruke. For en nærmere beskrivelse av disse henvises til (Vitols, 1981).

DICHO-prøvetakerne med det benyttede luftinntak separerer partiklene i følgende størrelsesfraksjonene FP og GP som definert på side 12.

* Texas A & M University.

DICHO-prøvetakerne kan kjøres med ulike typer filtermaterialer, avhengig av hvilke krav den etterfølgende analyse stiller. I denne undersøkelsen ble både filtre av teflon og glassfiber benyttet (se figur 6 for typebetegnelse).

Teflon egner seg best om elementsammensetningen av partiklene skal bestemmes. Teflon er også inert overfor gasser. Glassfiberfiltre er billigere, og godt egnet om en først og fremst er interessert i samlet vekt av partiklene. Et problem med glassfiberfiltre er imidlertid muligheten for opptak av gasser som SO_2 og HNO_3 , som kan gi kunstig tillegg til partikkelvekten. I praksis er det i Norge bare SO_2 som finnes i slike konsentrasjoner at det kan gi et merkbart tillegg.

"High-volume" prøvetaker med luftinntak for inhalerbar partikkelfraksjon (HIVOL-SSI)

Også "high-volume"-prøvetakeren (HV) er en amerikansk prøvetaker-type. Prøvetaker-typen er benyttet i en årrekke i USA for å bestemme konsentrasjonen av totalt svevestøv, "Total Suspended Particles" (TSP), slik den er definert i den nåværende luftkvalitetsstandard for TSP i USA (EPA, 1971). Etter at begrepet inhalerbare partikler ble introdusert i 1979, ble det konstruert et luftinntak ("Size Selective Inlet" - SSI) for HV-prøvetakeren som skilte ut partikler større enn $15 \mu\text{m}$ i diameter fra luftstrømmen som kommer inn i selve prøvetakeren (McFarland et al., 1980). Ulike typer av SSI er nå tilgjengelig. I HV-prøvetakeren kan det også monteres en impaktor med 1-5 trinn (Willeke, 1975), for å fraksjonere de inhalerbare partikler ytterligere.

I dette prosjektet ble følgende modeller benyttet:

- Sierra model 305 High Volume Air Sampler
- Sierra model 231-F Fine Particle Impactor Stage
- Sierra model 320 Size Selective Inlet

Figur 4 viser prinsippsskisser av utstyret, samt luftinntakets separasjons-karakteristikk.

HIVOL-SSI-prøvetakere av nevnte modell gir følgende partikkelfraksjoner:

Uten impaktor (HIVOL-SSI): IP

Med impaktor (MHIVOL-SSI): FP og GP

Også i HIVOL-SSI-prøvetakerne kan benyttes forskjellige typer filtermaterialer. I denne undersøkelsen ble i hovedsak glassfiberfiltre (Gelman) benyttet. Også papirfiberfiltre belagt med klebrig materiale (Apiezon L) ble testet som substrat for impaktortrinnet (se figur 6 for filtertypebetegnelser).

To-filter-metoden

To-filter-metoden (2F) benytter to filtre i serie for å dele partiklene i to fraksjoner (Heidam, 1981). Det første filtret er et Nuclepore (NP)-filter med stor porestørrelse (f.eks. 8 eller 12 μm) som holder igjen grovfraksjonen. Det siste filtret samler finfraksjonen og er et absoluttfilter, f.eks. et glassfiberfilter eller teflonfilter som benyttes i DICHØ-prøvetakeren, eller et NP-filter med liten porestørrelse (0.4 μm). NP-filtre er tynne membraner med sirkulære hull (porer) av gitt diameter. De fungerer derved som mikroimpaktorer. Figur 6 viser hvilke filtre som ble benyttet i 2F-metoden i de ulike deler av måleperioden.

Figur 5 viser prinsippskisse av 2F-filterhodet, en dobbel filterholder av type Nuclepore. Også separasjonskarakteristikk for ulike NP-filtre er vist (John et al., 1983).

2F-prøvetakeren som ble benyttet hadde ikke et luftinntak med definert cut-off diameter, slik som de to andre prøvetakerene. Inntaksrøret fungerer dog som en partikkelseparator som i vindstille vær har en cut-off på ca 50 μm . Denne cut-off diameteren vil bli vesentlig mindre med økende vindstyrke, men ved turbulente vindforhold vil cut-off-funksjonen til inntaksrøret være svært dårlig definert. Dette innebærer at den 2F-prøvetakeren som ble benyttet kan ventes å gi et rimelig bra mål for FP, mens den er dårligere egnet for GP og dermed for IP.

3.2 ANALYSER

Undersøkelsen ble begrenset til å bestemme samlet vekt(masse)-konsentrasjon av partikler på filterene, i $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dette innebærer bestemmelse av partikkelvekten på filterene og av luftmengden som har passert filterene.

Prosedyren for bestemmelse av vekten av partikler på filter var følgende:

- Rene filtre ble kondisjonert i minst 24 timer i et rom med tilnærmet konstant temperatur (20°C) og relativ fuktighet (45%). Filterene lå under kondisjoneringen enkeltvis horisontalt og åpent på rent underlag på benk.
- Filtervektene ble bestemt med følgende typer vekter:

Filtre	Periode	Vekt	Antall desimaler
DICHO-filtre og	27.7-10.8	Mettler H20T	5 desimaler på gram
To-F-filtre	18.9-23.10	Mettler M3	6 " " "
HV-filtre	6.7-23.10	Sartorius 2462	4 " " "

- Etter prøvetaking ble filterene kondisjonert på samme måte som før prøvetaking, og vekten av eksponerte filtre bestemt med samme vektutstyr.
- Filterene ble som regel veid 1-3 dager før prøvetakeren, og 1-3 dager etter prøvetakingen.
- Blindfiltre (ikke eksponerte filtre) ble veid sammen med prøvefilterene, før og etter "prøvetakingen", og benyttet som kontroller på vektens stabilitet.

Nøyaktigheten i vektbestemmelsen avgjøres i praksis av filterenes stabilitet på vekten. Denne er avhengig av fuktighetsforhold og luftstrømmer i rommet, og av filterenes statiske elektrisitet. For NP-filtre fra 2F-metoden ble den statiske elektrisitet begrenset ved bruk av en α -partikkel kilde (Staticmaster ionizing unit 2U500 fra Nuclear Products Company).

Når samme vektoperatør veier filtrene både før og etter prøvetaking, kan unøyaktigheten i veiingen begrenses. Veiing av samme filter flere ganger med noen dagers mellomrom ble foretatt på endel av filtrene. Det ga følgende estimat av nøyaktigheten av én veiing:

HV-filtre: ± 0.3 mg, tilsvarer $\pm 0.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for 24 timers-prøver.

DICHO-filter: + ca 2 μg , tilsvarer + 0.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for 24 timers-prøver.

Blindfiltrenes vektendring inkluderer denne type unøyaktighet, og også eventuell vektdrift (mekanisk og elektronisk). Blindfilteranalysene ga følgende resultater:

Filter-type	Vekt-type	Partikkel-fraksjon	Midlere vekt- endr., $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Maks Min vektendring $\mu\text{g}/\text{m}^3$		Antall filtre
HV-GF	Mekanisk	fin	+0.45	+0.5	+0.4	2
		grov	-0.50	-0.9	-0.3	4
DICHO-TF	Elektr.	fin og grov	+0.8	+1.5	-0.2	12
DICHO-TF	Mekanisk	fin og grov	+1.5	+5.5	-1.0	6
DICHO-GF	Mekanisk	fin og grov	+2.0	+5.0	-1.4	10

GF - glassfiber
TF - teflon

Vektendringen (middelverdi) av HV-filtrene og av DICHO-filtrene bestemt med den elektroniske mikrovekten var innenfor en grense som tilsvarer en partikkelkonsentrasjon på $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, og med akseptabelt liten spredning fra filter til filter.

DICHO-filtrene veid med mekanisk vekt fikk en større vektendring, og med større variasjon fra filter til filter. Vektendringen ble for enkelte filtre stor nok til å tilsvare ca $+5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Denne vektendring ble benyttet på DICHO-filtre fra måleperiode II (28.7-10.8.). DICHO-resultatene fra denne perioden har derved en større usikkerhet enn de øvrige resultater, men er likevel for de fleste prøver sannsynligvis begrenset til $0-4 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Luftvolumet som hver prøve representerer, måles for alle prøvetakeres vedkommende ved måling av luftstrøm (volum pr. tidsenhet) og av prøvetiden. Luftstrømsmålingen ble utført ved start og stopp av hver prøve. De to målingene var oftest svært like. Gjennomsnittet av de to målingene ble brukt som gjennomsnittlig luftstrøm gjennom hele prøvetiden (stort sett 24 timer, men noen av prøvene i helgene var 48 timer eller 72 timer). Dette vil være riktig, dersom en eventuell endring i luftstrøm fra start til stopp er jevnt fordelt over hele prøvetiden. Prøvetiden ble bestemt til nærmeste minutt. Dette tilsvarer en nøyaktighet på bedre enn $\pm 0.1\%$.

På DICHO-prøvetakerne måles luftstrømmen med innebygde flowmetre. Disse er kalibrert fra produsent. Prøvetakeren har innebygd luftstrømregulator, slik at luftstrømmen etter forutsetningen skal være konstant. Luftstrømreguleringen fungerte som den skulle. Luftvolummålingen på DICHO har en anslått til å være bedre enn $\pm 2\%$.

På HIVOL-SSU-prøvetakerne måles luftstrømmen ved hjelp av en kalibreringsenhet som monteres på prøvetakeren under kalibrering. Kalibreringsenheten er selv kalibrert mot en absolutt luftstrømstandard (Roots meter). Også HV-prøvetakerne har innebygd luftstrømregulator. Denne fungerte godt for de fleste prøver (se kap. 6). Når den fungerer, er nøyaktigheten på luftvolummålingen på HV-prøvetakerne også bedre enn anslagsvis $\pm 2\%$.

To-filter-prøvetakeren hadde en spesiell luftstrøm-regulator. Denne inneholder en "orifice" med avlesning av trykkfall på et "Magnehelic"-meter. Trykkfallet oversettes til luftvolumstrøm ved hjelp av en kalibreringskurve.

4 MÅLEPROGRAM

Oversikt over måleprogrammet er gitt i figur 6. Programmet ble delt i fire måleperioder.

I de tre første perioder (6 juli - 11 oktober) ble målingene foretatt på et lavt tak (takhøyde ca 5 meter) ved Hotell Viking i Oslo sentrum. Hovedkilden til svevepartikler i luft ved dette målestedet er biltrafikken, med sitt eksosutslipp og oppvirvling/løsriving av veistøv. Eksosutslippet gir partikler i hovedsak mindre enn 1 μm i diameter, mens veistøvet, som her forekommer i betydelig mengde, er partikler med diameter i området fra noen få μm til hundre μm .

I siste måleperiode foregikk målingene på taket av NILUs bygning i utkanten av Lillestrøm. Her er partikkelkonsentrasjonen vesentlig mindre enn ved Hotell Viking. Spesielt gjelder dette grovfraksjonen.

Figur 7 og 8 viser skisse av målestedene.

Måleperiode I - Hotell Viking, 6-27.7

Hensikten med målingene i denne perioden var å prøve ut ulike typer filtre på MHIVOL-SSI-prøvetakerne, for å komme fram til filtre på impaktortrinnet som kan redusere "reentrainment"-problemet. Filtrene som ble utprøvd var papirfiberfiltre og glassfiberfiltre av typene angitt i figur 6, belagt med et fettstoff (Apiezon L) i ulike mengder.

Måleperioder II (27.7-10.8) og III (17.9-11.10) - Hotell Viking

I disse periodene ble seks prøvetakere brukt, to DICH0, to HIVOL-SSI, en to-filter-prøvetaker og en SO_2 -prøvetaker. Periodene II og III er like med hensyn til utstyr, målested og hensikt, men er adskilt i tid.

I disse periodene sammenlignet en fraksjoneringsegenskapene til DICH0 med teflon-filtre, HIVOL-SSI med og uten impaktortrinn (ikke-belagte glassfiberfiltre) og to-filtermetoden. I tillegg ble brukt en DICH0 med

glassfiberfiltre, for å se om den skilte seg fra DICH0 med teflonfiltre. SO₂-prøvetakeren ble brukt for å kunne kontrollere et eventuelt opptak av SO₂ i glassfiberfiltre.

Måleperiode IV - NILU, 14-23.10

I denne perioden ble reproduserbarheten av DICH0 og HIVOL-SSI kontrollert. Begge DICH0 gikk med teflonfiltre, og begge HIVOL-SSI gikk med impaktortrinn og glassfiberfiltre.

5 RESULTATER OG DISKUSJON

Tabell 1 viser resultatene av analyser av IP, RP og GP, samt SO₂.

5.1 METODENES REPRODUSERBARHET

DICH0-metoden

I figur 9 er finfraksjonene fra de to DICH0-prøvetakerne plottet mot hverandre. Figuren viser svært god reproduserbarhet for prøvene fra måleperiode IV (NILU), da begge prøvetakerne gikk med teflonfiltre. Fra periodene II og III (Viking), da DICH0 1 gikk med teflon og DICH0 2 med glassfiber, var spredningen større. For måleperiode III (21 prøver) var reproduserbarheten god. For måleperiode II (10 prøver) lå imidlertid resultatene fra DICH0 2-prøvetakeren vesentlig lavere enn DICH0 1. Kun én av prøvene fra denne perioden (8-9.8) lå nær 1:1-linjen.

Arsaken til dette avviket mellom finfraksjonprøvene fra måleperiode II er ikke klar. En mulig forklaring kunne være at filtermaterialet spiller en rolle. En kunne da betrakte alle 31 prøvene fra Viking under ett, og si at DICH0 2-prøvene i middel lå høyere enn DICH0 1-prøvene, og at dette skyldtes metodeproblemer med glassfiberfiltre, f.eks. veieproblemer eller opptak av SO₂ i glassfiberfiltrene.

Figur 10 gjør imidlertid en slik forklaring mindre sannsynlig. Der er grovfraksjonen fra DICH0 1 og DICH0 2 plottet mot hverandre. Reproduserbarheten er god for hele prøvematerialet, og periode II (Viking) skiller seg ikke ut fra de øvrige.

Det er sannsynlig at avvikene mellom finfraksjonprøvene fra måleperiode II skyldtes til nå ikke identifiserte problemer med DICH0 2-prøvetakeren.

I figur II er inhalerbar fraksjon (summen av fin- og grovfraksjonene) for DICH0 1 og DICH0 2 plottet mot hverandre. De 10 tidligere nevnte prøver skiller seg også ut. Forøvrig er reproduserbarheten god.

I tabell 2 er gjengitt resultater av regresjonsanalyse på materialet. For grovfraksjonen er alle prøvene med, bortsett fra 7-8.8, som skilte seg spesielt ut. For finfraksjonen og inhalerbar fraksjon er prøvene fra måleperiode II er utelatt pga. problemene med DICH0 2.

HIVOL-SSI-metoden

I figur 12 er inhalerbar partikkelkonsentrasjon fra de to HIVOL-SSI-prøvetakerne plottet mot hverandre. Fin- og grovfraksjonen er lagt sammen, der prøvetakeren er kjørt med impaktortinn (MHIVOL-SSI).

Reproduserbarheten for denne metoden er god. (Prøven 7-8.10 skiller seg ut). Prøvene fra Viking og fra NILU skiller seg ikke fra hverandre. HIVOL-SSI 2 fra Viking-perioden, som gikk uten impaktortinn, skiller seg heller ikke ut.

I figur 13 er fin- og grovfraksjonene fra måleperiode IV plottet for seg. Spredningen rundt 1:1-linjene er liten. Ett punkt i grovfraksjonen (17-18.10) skiller seg ut. For denne prøven var luftvolumbestemmelsen for HIVOL-SSI 1 usikker.

Tabell 3 gir resultater av regresjonsanalyse på parallelle prøver med to HIVOL-SSI-prøvetakere. Prøvene 7-8.10 og 17-18.10 er skilt ut fra analysen.

Fra det amerikanske IP-måleprogrammet (Watson et al., 1981) har en et estimat på reproduserbarheten for HIVOL-SSI. Dette viser at forskjellen mellom parallelle prøvetakere er <5% av den gjennomsnittlige masse-konsentrasjon.

5.2 BESTEMMELSE AV INHALERBAR PARTIKKELFRAKSJON

Inhalerbar partikkelkonsentrasjon bestemt med DICH0-metoden og HIVOL-SSI-metoden var for de fleste prøver nesten overensstemmende. I figur 14 er resultatene plottet. Punktene ligger nær 1:1-linjen over hele området (10-90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). På grunn av de tilsynelatende problemene med DICH0 2-prøvetakeren i periode II, har en brukt DICH0 1 som referanse, og plottet middelverdien av HIVOL 1 og HIVOL 2 mot denne.

Noen prøver skiller seg spesielt ut, nemlig 7-8.8 og 8-9.9 Også prøvene 7.-8.10 og 17-18.10 er, som nevnt tidligere, spesielle. Regresjonsanalysen for de øvrige punktene ga sammenheng og korrelasjon som vist i tabell 4.

5.3 FRAKSJONERING I FIN OG GROV PARTIKKELFRAKSJON

Sammenligning mellom MHIVOL-SSI og DICH0

Når prøvetakerne fraksjonerer inhalerbare partikler i finfraksjon (<2.5 μm), gir de ikke lenger samme resultat. I figurene 15 og 16 er finfraksjonene og grovfraksjonene fra de to prøvetakertyper plottet mot hverandre.

En ser imidlertid at HIVOL-SSI-metoden i middel gir en vesentlig større finfraksjon enn DICH0-metoden, og en tilsvarende mindre grovfraksjon. Spredningen i materialet er også stor.

Det er en interessant forskjell mellom prøvene fra hotell Viking og prøvene fra taket på NILU. For prøvene fra NILU var det meget god overensstemmelse for finfraksjonen. HIVOL-SSI ga imidlertid en noe mindre grovfraksjon enn DICH0. Tilsammen gir dette en noe mindre inhalerbar partikkelkonsentrasjon fra HIVOL-SSI enn fra DICH0. Dette går også fram av figur 14.

Dette kan forklares enten ved at SSI-inntaket har en mindre cut-off-diameter enn DICH0-inntaket, eller at tapet (avsetning) av grove partikler i SSI-inntaket er større enn i DICH0-inntaket.

Viking-prøvene ga et helt annet bilde, med vesentlig mindre grov-fraksjon og større finfraksjon for HIVOL-SSI enn for DICH0. I hovedsak skyldes dette sannsynligvis at impaktortrinnet i HIVOL-SSI-prøvetakeren, som skal skille ut partikler $>2.5 \mu\text{m}$, ikke holder igjen alle slike partikler som det skal, men slipper en del igjennom til finfraksjonen. Denne ikke-ideelle funksjon av konvensjonelle impaktortrinn er vel kjent ("reentrainment" og "bounce-off"). Graden av dette varierer med karakteren, mengden og størrelsen av de grove partikler. Fenomenet er mest utpreget på Viking-stasjonen, der konsentrasjonen av store partikler er høy (fra veistøv), mens det ikke er merkbart på taket på NILU, der grovfraksjonen er svært liten.

Viking-prøvene bekrefter ikke indikasjonen fra NILU-prøvene på lav prøvetakingseffektivitet eller tap av grovfraksjon i SSI-inntaket, siden inhalerbar fraksjon fra HIVOL-SSI og DICH0 i middel er like (figur 14). Et eventuelt tap i SSI-inntaket måtte i så fall oppveies av et tilsvarende tap i DICH0-inntaket som gjør seg gjeldende først når grovfraksjonen går over en viss grense.

Resultater av regresjonsanalyser på dette materialet er gitt i tabell 4.

Sammenligninger mellom HIVOL-SSI (ikke MHIVOL-SSI) og DICH0 har tidligere vært utført, både når det gjelder teoretisk beregnet og målt prøvetakingseffektivitet (2,4). Konklusjonen har vært at de to typer prøvetakere gir IP-verdier innenfor 5% avvik fra hverandre, under "typiske forhold". Overensstemmelsen blir dårligere ved lave og høye vindstyrker, og når svevestøvet inneholder store mengder grov-støv.

Sammenligning mellom 2F-metoden og DICH0

Det viste seg at det har stor betydning hvilke typer filtre som benyttes i 2F-metoden. Følgende typer ble benyttet:

Periode	Grovfraksjon	Finfraksjon
28.7-5.8	Nuclepore 12 μm	Glassfiber
5-10.8	Nuclepore 12 μm	Acropor 0.8 μm
17-26.9	Nuclepore 8 μm	Acropor 0.8 μm
26.9-11.10	Nuclepore 8 μm	Nuclepore 0.4 μm

Glassfiberfiltre egner seg ikke i Nuclepore-holderen. En del av filtermaterialet henger igjen på O-ringen i holderen etter prøvetaking. Filterets vekt etter prøvetaking vil derved ikke være korrekt.

Veiing av Acropor-filtre skaper også visse problemer. Årsaken er sannsynligvis at den statiske elektrisitet som bygger seg opp i den under prøvetaking, ikke lar seg fjerne helt. Vekten påvirkes derved, og ukorrekte vekter blir resultatet.

Resultatene av finfraksjonen fra 2F-metoden i perioden 28.7-26.9 utelates derfor fra den videre analyse.

Figur 17 viser sammenligning av GP fra 2F-metoden og DICH0 1. Alle prøver er inkludert, bortsett fra 26-27.9, 30.9-1.10 og 2-4.10, da luftvolum-bestemmelsen var usikker. Prøven 8-9.8 skiller seg ut. Forøvrig grupperer punktene seg langs 1:1-linjen, men spredningen er større enn mellom HIVOL-SSf og DICH0.

En ville vente en noe høyere GP-fraksjon for 2F-metoden enn for DICH0, fordi 2F-inntaket teoretisk har en større "cut-off" diameter. Det er sannsynligvis nok partikler med diameter større enn 20 μm tilstede, spesielt på Viking-stasjonen. Sammenligningen viser altså at den effektive "cut-off"-diameter for 2F-inntaket ikke synes å skille seg mye fra 15 μm .

En ville likeledes vente at punktene fra Nuclepore 12 μm -prøvene ville ligge lavere i figuren enn Nuclepore 8 μm -prøvene, fordi NP 12 μm har en større cut-off-diameter enn NP 8 μm . I praksis synes dette ikke å være av vesentlig betydning.

I figur 18 er FP-fraksjonene for DICH0 1 og 2F-prøvetakeren plottet for perioden 26.9-11.10. Det kan synes som 2F-metoden får for liten FP-fraksjon ved høye FP-konsentrasjoner. Disse 2F-prøvene har imidlertid ikke samtidig en for stor GP-fraksjon. Det synes derved ikke å være en effekt av fraksjoneringen. Sannsynligvis er det tilfeldige feil som gir punktene under 1:1-linjen ved høye FP-konsentrasjoner.

Siden GP fra 2F-metoden viser seg å være sammenlignbar med GP fra DICH0 bør summen FP + GP fra 2F-metoden også kunne være sammenlignbar med IP fra DICH0. I figur 19 er FP + GP = IP plottet for prøvetakerne 2F og DICH0 1, for perioden 26.9 - 11.10. Punktene er spredt langs 1:1-linjen, med spredning større enn mellom HIVOL-SSI og DICH0.

Resultatene fra sammenligningen mellom 2F-metoden og DICH0 synes å indikere at den enkle og billige 2F-metoden er brukbar til bestemmelse av RP- og IP-fraksjonene i svevestøv når NP.4-filtre benyttes for finfraksjonen. Spredningen mellom 2F og DICH0 er større enn mellom HIVOL-SSI og DICH0, men de få prøvene som er tatt synes å vise at korrelasjonen mellom metodene er brukbar.

Den relativt gode overensstemmelse mellom 2F- og DICH0-målingene kan være tilfeldig, idet det er flere kilder til usikkerhet i luftstrøm-bestemmelsen til 2F-prøvetakeren og derved også usikkerhet i fraksjoneringen mellom fine og grove partikler. Usikkerheten er for det meste knyttet til at luftinntaket som er brukt har en cut-off-diameter som er svært følsom for endringer i vindstyrken, slik at grovfraksjonens størrelse i noen grad er en funksjon av vindstyrken. For det andre kunne en ikke holde den samme luftstrøm i 2F-prøvetakeren for alle de fin-filter-typer som ble benyttet. Dette påvirker fraksjoneringen mellom fin- og grovfraksjon. For det tredje holdt ikke luftstrømregulatoren konstant luftstrøm. Luftstrømmen varierte (pulserte) en del rundt middelverdien. Dette påvirker også fraksjoneringen.

Nyere undersøkelser (John et al., 1983) har bekreftet tidligere indikasjoner på at oppsamlingseffektiviteten for partikler på Nuclepore-filter med store porer (8-12 μm) varierer med partikkeltype. Effektiviteten er mye lavere for faste partikler enn for væskeformige, og for faste partikler avtar den med økende lufthastighet gjennom filterflaten. Dette indikerer at slike

partikler i noen grad spretter av fra filterflaten ("bounce-off") og går igjennom filterporene som jo er større enn cut-off-diameteren for filteret. Fettbelagte filtre (f.eks. apiezon-fett) holder vesentlig bedre på partiklene. Lave lufthastigheter gjennom filterflaten reduserer også avsprettingen. Under 2F-målingene i dette prosjektet ble benyttet en høyere lufthastighet enn et som anbefales ifølge (John et al., 1983) (ca. 2 m/s).

Videre undersøkelser med forbedret utstyr (f.eks. inntak med definert cut-off, bedre luftstrøm-regulering, lavere lufthastighet) er nødvendig for å vurdere hvor brukbar 2F-metoden er for prøvetaking av inhalerbare partikler i to størrelses-fraksjoner.

6 UNDERSØKELSER VEDRØRENDE FILTERMATERIALER

OPPTAK AV SO₂ I GLASSFIBERFILTRE

Opptak av SO₂ i glassfiberfiltre har ofte vært beskrevet. I denne undersøkelsen var det av interesse å undersøke i hvilken grad dette skjer i de glassfiberfiltre som ble benyttet.

SO₂ ble målt parallelt med partikkelmålingene, og resultatene er vist i tabell 1. SO₂-konsentrasjonen var i middel 13 µg SO₂/m³, og varierte mellom 7.3 µg/m³ og 29.5 µg/m³ (døgnmiddelverdier).

Sulfatinnholdet på glassfiberfiltre og teflonfiltre fra DICHØ-prøvetakerne (finfraksjon, 20 prøver fra perioden 27.7-26.9) ble bestemt. Sulfatinnholdet på teflonfiltrene var i middel 5.6 µg SO₄/m³, og på glassfiberfiltrene 6.6 µg SO₄/m³. Samvariasjonen var god, og sulfatinnholdet på glassfiberfiltrene var alltid noe høyere enn på teflonfiltrene.

Dette innebærer et visst SO₂-opptak på glassfiberfiltrene, i middel ca 1 µg/m³ fra en SO₂-konsentrasjon på ca 20 µg/m³, regnet som SO₄. Dette opptaket tilsvarer i middel ca 2% av målt total partikkelkonsentrasjon i finfraksjonen.

Regresjonsanalysen mellom DICH0 1 og DICH0 2 (tabell 2) viste imidlertid at middelverdien av finfraksjon og inhalerbar fraksjon var noe høyere på DICH0 2 med glassfiberfilter. Andre effekter synes derved å maskere SO_2 -opptaket.

TEFLON- OG GASSFIBERFILTRE I DICH0-PRØVETAKEREN

DICH0-prøvetakeren ble kjørt med ulike filtermaterialer (teflon og glassfiber) i måleperiodene II og III i Oslo sentrum. Resultatene fra disse parallelle forsøkene ble vist i figurene 9-11. Uoverensstemmelsene mellom DICH0 1 og 2 i måleperiode II (10 prøver) kan skyldes de ulike filtermaterialer. Det er imidlertid lite sannsynlig siden overensstemmelsen var god i periode III (21 prøver), da de samme filtermaterialer ble brukt. Det er mulig at en del av spredningen i figurene 9-11 for de 21 prøvene fra periode fra periode III skyldes de ulike filtertyper. Korrelasjonen var imidlertid så god at teflon- og glassfiberfiltre i praksis kan anses likeverdige i DICH0-prøvetakeren, når det gjelder å bestemme total støvmengde i de to partikkelfraksjoner. En forutsetning for dette er imidlertid at SO_2 -konsentrasjonen ikke er så høy at man får merkbart opptak på glassfiberfiltret.

VIRKNINGEN AV FETTBELEGG PÅ IMPAKSJONS-SUBSTRATER

I måleperiode I ble det undersøkt om fettbelegg (Apiezon L) på papirfiberfiltre (Whatman 40) forbedret separasjons-karakteristikken og reduserte "reentrainment" og "bounce-off". Det ble kjørt i alt 18 prøver for dette formål med begge HV-prøvetakerne, én med fett på filtret og én uten. Det ble også prøvd to ulike konsentrasjoner av fett på filtrene.

Resultatene viste at effekten av fettbelegg på filtrene var i beste fall marginal.

I samme prøveserie ble glassfiberfilter sammenlignet med papirfiberfilter (10 prøver). Når det gjelder avskillingskarakteristikk synes de to filtrene likeverdige. Problemene med nøyaktig veiing av papirfiberfiltre er imidlertid store, på grunn av opptak av fuktighet.

7 OPERASJONELLE ERFARINGER

En rekke erfaringer med drift av måleutstyret ble vunnet gjennom dette prosjektet. I det følgende trekkes fram forhold som en ved senere gjennomføring av slike målinger bør være klar over.

- a) Glassfiberfiltre som brukes som impaksjonssubstrater i MHIVOL-SSI har en tendens til å miste fibre under prøvetakingen. Dette påvirker filtervekten og derved den vekt man ved veiing før/etter prøvetaking tillegger partikler. Det lar seg vanskelig gjøre å estimere størrelsen av tapet. Det er sannsynligvis oftest lite i forhold til vekten av partiklene som avsettes.
- b) Luftstrøm-regulatoren til en av HIVOL-SSI-prøvetakerne (model GMW-310) fungerte i noen tilfeller feil. I stedet for å holde luftstrømmen konstant ga den en varierende luftstrøm som svingte rundt middelverdien. Dette introduserer en begrenset feil i luftvolum-bestemmelsen.
- c) Kalibrering av luftstrømmen i HV-prøvetakere vanskeliggjøres under vindforhold med sterke vindkast. Under slike forhold bør toppen av prøvetakeren under kalibrering delvis dekkes over for å redusere vindkastene over toppen av kalibreringsenheten.
- d) I det indre av separasjons-enheten i DICH0-prøvetakerne bygget det seg opp partikkelavsetninger. Dette skjedde spesielt på de skarpe kantene av dysen for oppsamling av grov-partikkel-fraksjonen. Separasjonsenheten bør med jevne mellomrom demonteres og renses for avsatt støv.

8 KONKLUSJONER

Følgende prøvetakere er undersøkt:

DICHO - "Dichotomous Virtual Impactor"

HIVOL-SSI - Amerikansk "high-volume"-prøvetaker med "Size Selective Inlet"

MHIVOL-SSI- Som HIVOL-SSI, men modifisert med impaktor for separasjon av partikler $\leq 2.5 \mu\text{m}$.

2F - To-filter-metoden

Følgende konklusjoner kan trekkes:

- DICHO, HIVOL-SSI og MHIVOL-SSI er likeverdige når det gjelder måling av inhalerbar partikkelfraksjon (IP).
- 2F-metoden synes også å være likeverdig med DICHO for måling av IP. 2F-metoden bør imidlertid forbedres og undersøkes nærmere når det gjelder reproduserbarhet.
- Av de tre undersøkte prøvetakere betraktes DICHO som en referensemethode for fraksjonering av IP i finfraksjon ($< 2.5 \mu\text{m}$) og grovfraksjon ($2.5-15 \mu\text{m}$).
- HIVOL-SSI-metoden fungerer ikke tilfredsstillende når det gjelder fraksjonering i fin- og grovfraksjon. Problemet er sannsynligvis i hovedsak at større partikler ikke holdes tilbake på impaktortrinnet for grovfraksjon, men følger luftstrømmen ned i finfraksjonen.
- 2F-metoden synes å fungere akseptabelt når det gjelder fraksjonering i fin- og grovfraksjon. Et større datamateriale er imidlertid ønskelig for å stadfeste dette.

- Reproduserbarheten av DICH0- og HIVOL-SSI-metodene var god.
- DICH0-metoden er anvendbar i de aller fleste typer undersøkelser der partikkelkonsentrasjoner og partiklenes kjemiske sammensetning skal bestemmes. Unntak er ekstremt rene områder ($<1-2 \mu\text{g}/\text{m}^3$), der større luftvolum enn $24 \text{ m}^3/\text{døgn}$ er nødvendig for analysens nøyaktighet. Prøvetakeren er automatisk, har luftstrømregulering og behøver ikke daglig tilsyn. Glassfiberfiltre og teflonfiltre er i praksis likeverdige i prøvetakeren når det gjelder bestemmelse av partikkelvekt. Teflonfiltre bør benyttes dersom partiklenes kjemiske sammensetning skal bestemmes (multielementanalyse).
- HIVOL-SSI-metoden kan benyttes i de fleste undersøkelser der bare IP-fraksjonen skal bestemmes. Prøvetakeren har luftstrømregulering, men filterskift må gjøres manuelt. Det benyttes vanligvis filtre av glassfiber eller kvartsfiber i prøvetakeren. Det er begrensninger når det gjelder multielementanalyse av filtre av glassfiber og kvarts. Slike filtre egner seg ikke for nøytronaktiveringsanalyse og PIXE-analyse. Dette innebærer at filtrene ikke egner seg for analyse av bl.a. stoffene V, Si, Na og Cl.
- HIVOL-SSI-metoden er utstyrmessig billigere enn DICH0, men tilsynet blir ofte dyrere.
- Undersøkelsen indikerer at 2F-metoden vil kunne brukes som erstatning for DICH0-metoden dersom den utstyres med luftstrøm-regulering og luftinntak med definert øvre cut-off-diameter for partikler. 2F-metoden kan benyttes med Nuclepore eller teflon som finfilter, og det er derved ingen begrensninger i forhold til DICH0-metoden når det gjelder kjemisk analyse av partiklene. Reproduserbarheten av 2F-metoden bør undersøkes.

9 REFERANSER

Environmental Protection Agency (1971) National primary and secondary ambient air quality standards. Federal Register, 36, 8186, April 30, 1971.

Environmental Protection Agency (1984) National ambient air quality standards for particulate matter, and ambient air monitoring reference and equivalent methods; Proposed rules. Federal Register, 49, no. 55, March 20, 1984.

Heidam, N.Z. (1981) Reiew: aerosol fractionation by sequential filtration with Nuclepore filters. Atmos. Environ., 15, 891-904.

John, W., Hering, S., Reischl, G. and Sasaki, G. (1983) Characteristics of Nuclepore filtes with large pore size - II. filtration properties. Atmos. Environ., 17, 373-382.

Lippmann, M. (1976) Size-selective sampling for inhalation hazard evaluation. In: Fine particles. Aerosol generation, measurement, sampling and analysis. Ed. by B.Y.H. Liu. New York, Academic Press. S. 287-310.

Loo, B.W., Jaklevic, J.M. and Goulding, F.S. (1976) Dichotomous virtual impactors for large scale monitoring of airborne particulate matter. In: Fine Particles. Aerosol generation, measurement, sampling and analysis. Ed. by B.Y.H. Liu. New York, Academic Press. S. 312-350.

McFarland, A.R., Ortiz, C.A. and Rodes, C.E. (1980) The size selective inlet for the Hi-Vol sampler. College Station, TX, Texas A & M University. (Air Quality Laboratory Publication 3565/03/80/ARM.)

Miller, F.J., Gardner, D.E., Graham, J.A., Lee, R.E., Jr., Wilson, W.E. and Bachman, J.D. (1979) Size considerations for establishing a standard for inhalable particles. J. Air Poll. Contr. Ass., 29, 610-615.

Orenstein, A.J. (1960) Proceedings for the pneumoconiosis conference, Johannesburg 1959. London, Churchill.

Ranade, M.B. and Kashdan, E.R. (1979) Critical parameters for the federal reference method for the inhalable particulate standard. Final report. Research Triangle Park, NC. (Technical Directive 222, EPA Contract 68-02-2720).

Shaw, R.W., Stevens, R.K., Lewis, C.W. and Chance, J.H. (1981) Comparison of aerosol sampler inlets. 74th APCA Annual Meeting, Philadelphia, PA, June 21-26, 1981.

- Vitols, V. (1981) A literature survey of methods for fractionated suspended particulate matter measurement. Lillestrøm (NILU OR 46/81).
- Watson, J.G., Chow, J.C. and Shah, J.J. (1981) Analysis of measurements from the inhalable particulate matter sampling network. Research Triangle Park, NC. (EPA-450/4-81-035).
- Watson, J.G., Chow, J.C, Shah, J.J. and Pace, T.G. (1983) The effect of sampling inlets on the PM-10 and PM-15 to TSP concentration ratios. J. Air Poll. Contr. Ass., 33, 114-119.
- Whitby, K.T. and Sverdrup, G.M. (1980) California aerosols: Their physical and chemical characteristics. In: The character and origin of smog aerosols. Ed. by G.M. Hidy et al. New York, John Wiley.
- Willeke, K. (1975) Performance of the slotted impactor. Am. Ind. Hyg. Ass., 36, 683-691.

Tabell 1: Resultater av analyse av RP-, GP- og IP-fraksjoner, samt SO₂.

Date 1982	PARTICLE CONCENTRATION, $\mu\text{g}/\text{m}^3$												SO ₂ Conc. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	HI-VOL 1 GLASS FIBRE FILTERS			HI-VOL 2 GF FILTER	DICHO 1 TEFLON FILTERS			DICHO 2 GLASS FIBER FILTERS			2-FILTER METHOD			
	GP	FP	IP Calc.	IP	GP	FP	IP Calc.	GP	FP	IP Calc.	GP	FP		IP Calc.
27-28.7	12.7	24.6	37.3	36.7	20.8	9.3	30.1	24.0	22.6	46.6	-	-	-	4.3
28-29.7	17.8	28.9	46.7	43.4	33.3	17.5	50.8	32.7	22.9	55.6	29.3	0.5	29.8	11.1
29-30.7	17.8	24.1	41.9	39.4	31.4	9.0	40.4	29.3	20.6	49.9	31.3	16.2	47.5	10.3
30-02.8	16.0	28.3	44.3	41.8	25.3	16.2	41.5	27.4	19.6	47.0	35.7	11.0	46.7	10.0
02-03.8	17.1	51.0	68.1	66.6	42.7	27.4	70.4	43.8	33.9	77.7	47.1	13.3	60.4	14.0
03-04.8	21.7	54.9	76.6	75.2	47.9	22.9	70.8	50.4	34.4	84.8	57.9	10.8	68.7	12.6
04-05.8	25.8	54.8	80.6	80.5	59.1	23.7	82.8	57.4	31.4	88.8	64.0	41.9	105.9	14.1
05-06.8	24.4	48.7	73.1	72.0	45.7	28.3	74.0	45.6	37.2	82.8	43.0	39.3	82.3	13.5
06-07.8	13.3	39.7	53.0	49.2	-	-	-	34.3	24.3	58.6	20.9	27.0	47.9	11.2
07-08.8	17.9	50.3	68.2	63.3	27.1	25.7	52.8	35.0	42.9	77.9	27.0	48.5	75.5	22.9*
08-09.8	21.9	57.2	79.1	75.4	56.5	34.9	91.4	56.9	35.3	92.2	33.3	43.9	77.2	10.5
09-10.8	10.1	29.3	39.4	36.4	33.8	8.6	42.4	29.3	15.2	44.5	-	14.8	-	4.9
17-18.9	12.6	36.1	48.7	50.8	-	-	-	-	-	-	29.7	34.3	64.0	10.5
18-19.9	11.5	44.6	56.1	52.5	21.2	36.1	57.3	22.0	35.1	57.1	17.5	47.7	65.2	10.0
19-20.9	7.2	38.2	45.4	-	11.0	37.7	48.7	7.2	36.8	44.0	10.7	44.2	54.9	12.2
20-21.9	-	-	-	-	17.9	56.1	74.0	15.8	52.7	68.5	19.2	50.6	69.8	14.1
21-22.9	-	-	-	-	19.8	13.3	33.1	17.5	14.0	31.5	14.8	23.5	38.3	7.6
22-23.9	10.9	30.2	41.1	-	25.4	17.6	43.0	24.7	17.7	42.4	38.6	18.0	56.6	18.2
23-24.9	11.5	26.3	37.8	40.9	23.9	17.3	41.2	23.2	17.0	40.2	24.4	27.1	51.5	16.3
24-25.9	12.9	36.3	49.2	50.9	17.6	35.4	53.0	19.6	35.1	54.7	25.2	51.2	76.4	18.1
25-26.9	13.5	39.4	52.9	54.6	19.5	33.6	53.1	20.4	34.1	54.5	24.9	57.0	81.9	17.3
26-27.9	6.5	28.1	34.6	35.3	10.1	26.0	36.1	9.5	24.0	33.5	-	-	-	11.5
27-28.9	25.6	31.4	57.0	59.0	37.9	24.4	62.3	38.1	11.4	49.5	36.4	16.0	52.4	9.5
28-29.9	20.6	26.7	47.3	50.2	27.4	21.8	49.2	28.3	20.5	48.8	28.0	18.8	46.8	10.7
29-30.9	17.6	34.9	52.5	56.1	27.1	29.7	56.8	27.0	28.0	55.0	24.5	22.4	46.9	16.6
30.9-1.10	18.2	39.5	57.7	59.4	27.8	29.7	57.5	30.9	30.2	61.1	-	-	-	29.5
01-02.10	14.6	29.5	44.1	47.8	24.3	21.3	45.6	25.9	18.3	44.2	31.8	18.8	50.6	13.0
02-04.10	21.2	56.6	77.8	79.0	25.0	49.5	74.5	25.6	49.4	75.0	-	-	-	11.7
04-06.10	14.3	36.0	50.3	52.8	24.2	29.3	53.5	24.0	29.1	53.1	30.3	23.5	53.8	15.0
06-07.10	9.9	36.1	47.0	48.0	18.5	29.3	47.8	19.2	28.5	47.7	20.7	27.3	48.0	11.1
07-08.10	9.5	37.5	47.0	32.3	19.5	15.1	34.6	19.8	15.4	35.2	14.1	13.9	28.0	7.3
08-09.10	3.2	12.2	15.4	17.0	10.0	8.4	18.4	11.3	8.1	19.4	7.2	9.1	16.3	9.4
09-10.10	2.2	12.8	15.0	14.8	4.5	11.5	16.0	5.2	13.4	18.6	1.2	14.6	15.8	9.3
10-11.10	3.5	14.7	18.2	19.2	8.6	10.4	19.0	8.6	10.7	19.3	10.8	12.4	23.2	11.8

Tabell 1: forts.

Date 1982	HI-VOL 1 GF FILTERS			HI-VOL 2 GF FILTERS			DICHO 1 TEFLON FILTERS			DICHO 2 TEFLON FILTERS		
	GP	FP	IP Calc	GP	FP	IP Calc	GP	FP	IP Calc	GP	FP	IP Calc
	14-15.10	0.8	6.4	7.2	0.8	6.4	7.2	2.0	6.4	8.4	1.8	6.5
15-16.10	1.1	5.7	6.8	1.1	5.7	6.8	2.9	6.1	9.0	2.5	6.1	8.6
16-17.10	2.0	14.0	16.0	2.9	13.8	16.7	4.8	12.6	17.4	4.3	13.0	17.3
17-18.10	2.3- 2.5*	10.5- 11.8*	14.3- 12.8*	1.9	7.5	9.4	4.3	6.8	11.1	4.6	6.7	11.3
18-19.10	-	-	-	-	-	-	5.5	7.3	12.8	5.3	7.2	12.5
19-20.10	3.0	11.0	14.0	3.0	10.6	13.6	5.0	11.0	16.0	5.3	11.1	16.4
20-21.10	2.6	9.9	12.5	2.9	10.2	13.1	4.5	10.4	14.9	4.1	10.9	15.0
21-22.10	10.8	13.9	24.7	11.3	14.5	25.8	16.0	13.6	29.6	15.6	12.7	28.3
22-23.10	5.6	25.2	30.8	5.7	24.8	30.5	9.1	25.6	34.7	8.6	25.3	33.9

* Usikker luftvolumbestemmelse.

Tabell 2: Regresjonsanalyse på parallelle prøver med DICH0-prøvetakere.

Prøvetaker/ partikkelfraksjon	Middelverdi	Std.avvik	Regresjon $Y=aX+b$		Korr. koeff.	Ant. prøver
			a	b		
<u>Finfraksjon (RP)</u>						
DVI 2 (X)	20.0	12.6	1.010	0.6	0.981	30 ¹
DVI 1 (Y)	21.8	13.0				
<u>Grovfraksjon</u>						
DVI 2 (X)	21.8	15.0	0.986	0.4	0.995	39 ²
DVI 1 (Y)	21.8	14.9				
<u>Inhalerbare partikler (fin+grov)</u>						
DVI 2 (X)	36.8	19.0	1.029	-0.3	0.990	30 ³
DVI 1 (Y)	37.6	19.8				

1. Måleperiode III og IV (18.9-23.10)
2. Måleperiode II, III og IV (27.7-23.10), ekskl. 7-8.8.
3. Måleperiode III og IV (18.9-23.10).

Tabell 3: Regresjonsanalyse på parallelle prøver av IP med HIVOL-SSI-prøvetakere.

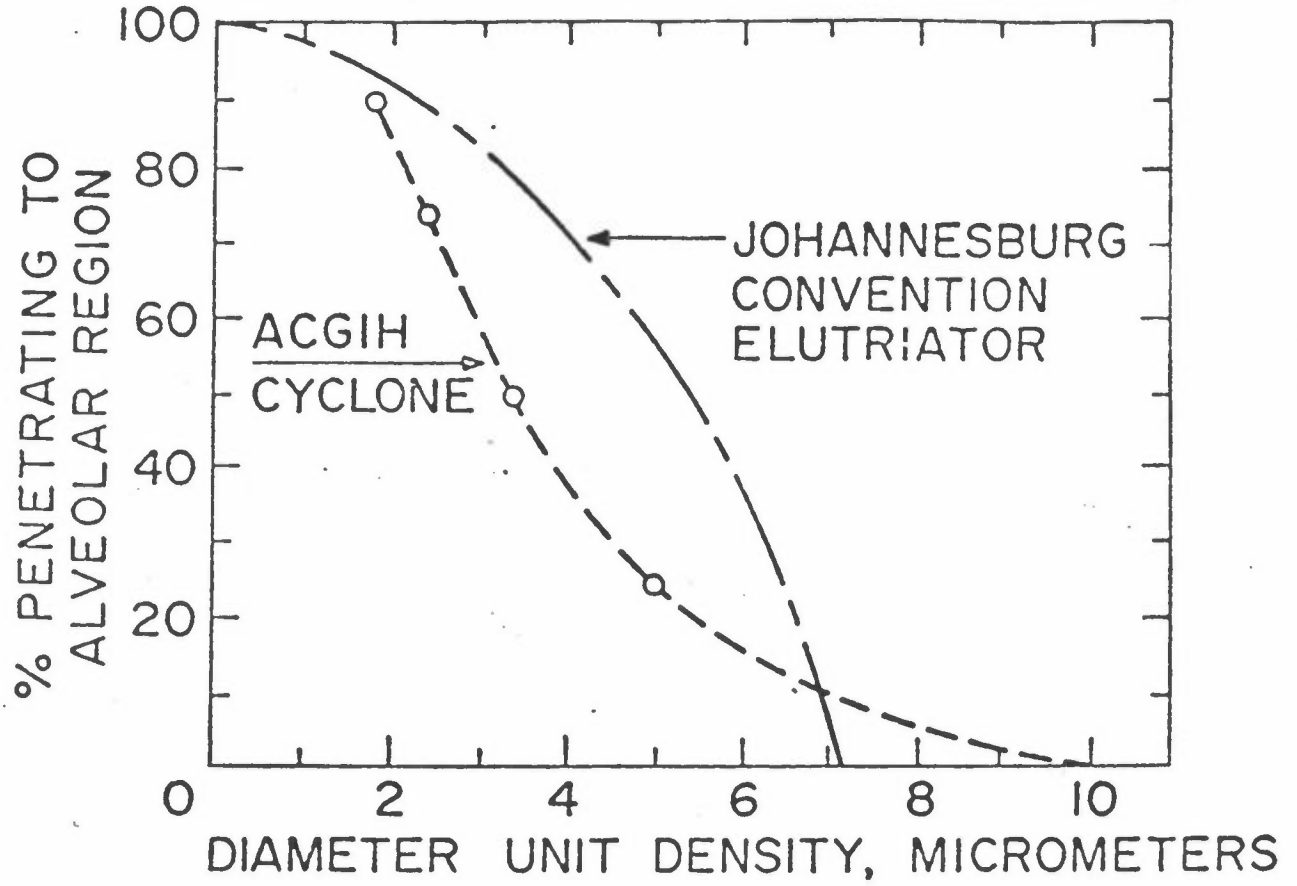
Prøvetaker/ partikkelfraksjon	Middelverdi	Std.avvik	Regresjon $Y=aX+b$		Korr. koeff.	Ant. prøver
			a	b		
<u>Inhalerbare partikler</u>						
HV 2 (X)	43.9	21.1	1.013	-0.6	0.994	36 ¹
HV 1 (Y)	43.9	21.5				

1. Måleperiode II, III og IV (27.7-23.10) ekskl. 7-8.10 og 17-18.10.

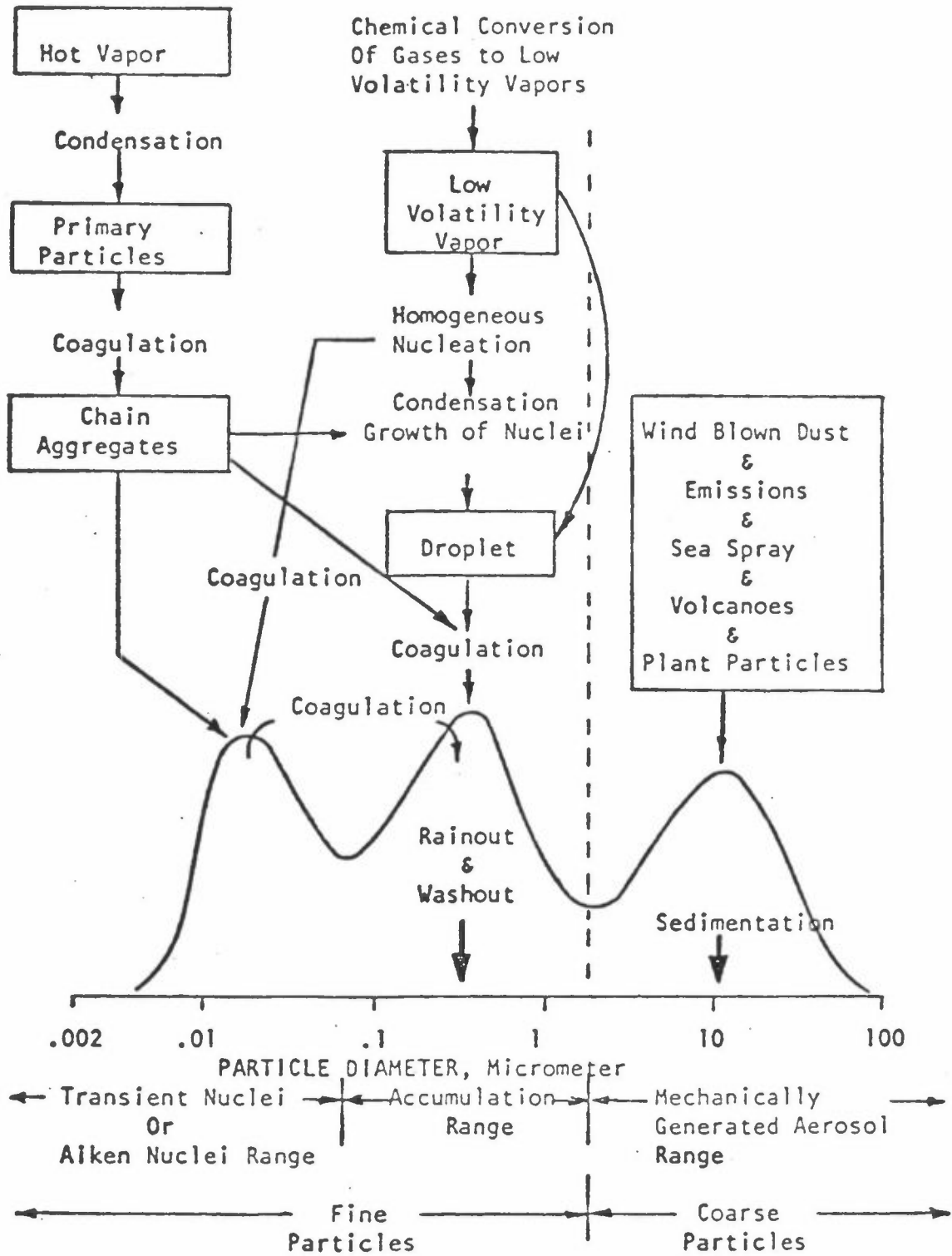
Tabell 4: Regresjonsanalyse på parallelle prøver med DICH0- og HIVOL-SSI-prøvetakere.

Prøvetaker/ partikkel- fraksjon	Middelverdi	Std.avvik	Regresjon $Y=aX+b$		Korr. koeff.	Ant. prøver
			a	b		
<u>Finfraksjon (RP)</u>						
DVI 1 (X)	21.1	10.7	1.058	7.2	0.793	34 ²
HV 1/2 ¹ (Y)	29.5	14.3				
<u>Grovfraksjon</u>						
DVI 1 (X)	22.0	14.1	0.478	1.7	0.907	34 ²
HV 1/2 ¹ (Y)	12.2	7.5				
<u>Inhalerbare partikler (fin+grov)</u>						
DVI 1 (X)	43.1	20.2	1.012	-1.7	0.992	34 ²
HV 1/2 ¹ (Y)	41.9	20.6				

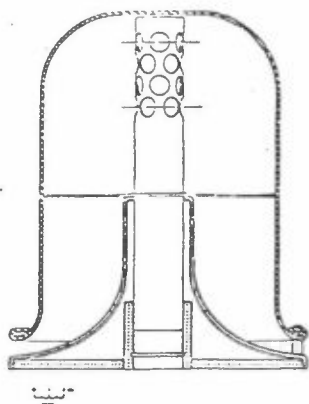
- I måleperiode II og III er HV-SSI 1 brukt
I måleperiode IV er tatt middel av HV-SSI 1 og 2
- Måleperiode II, III og IV (27.7-23.10) ekskl. 7-8.8, 8-9.9, 7-8.10.
og 17-18.10.



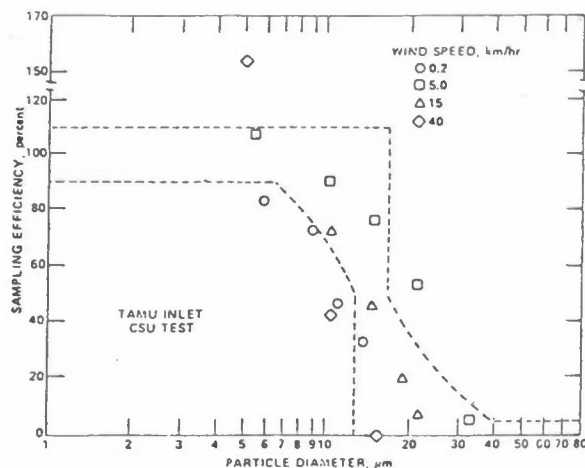
Figur 1: Konvensjoner for definisjon av respirable partikler.



Figur 2: Tre-modal størrelsesfordeling av partikler.

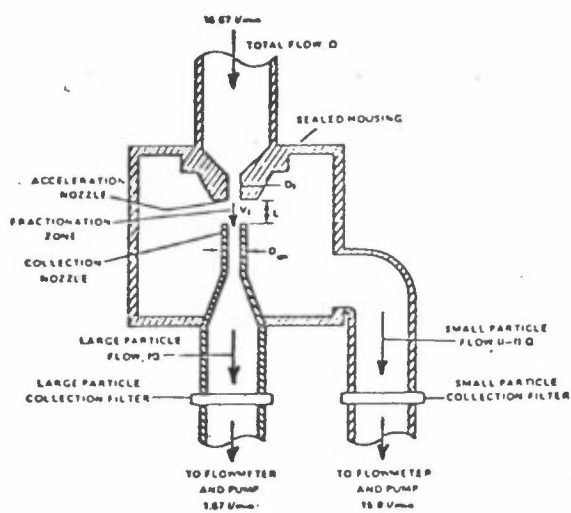


(a)

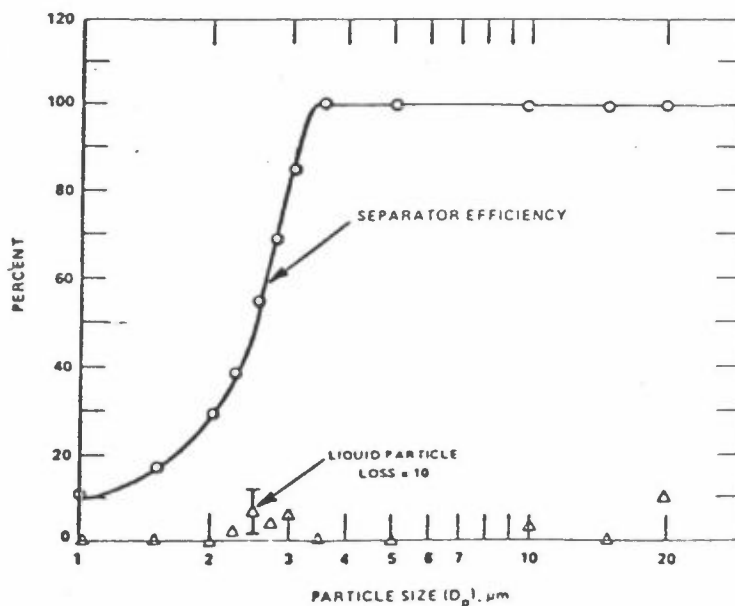


The dependence of particle transmission on wind speed for the TAMU inlet as measured at Colorado State University.

(b)



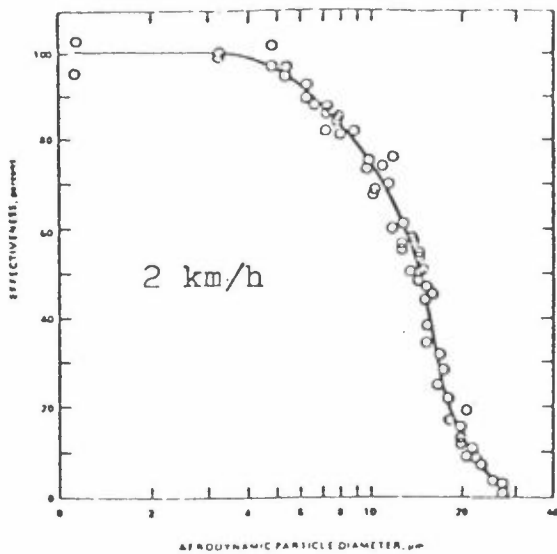
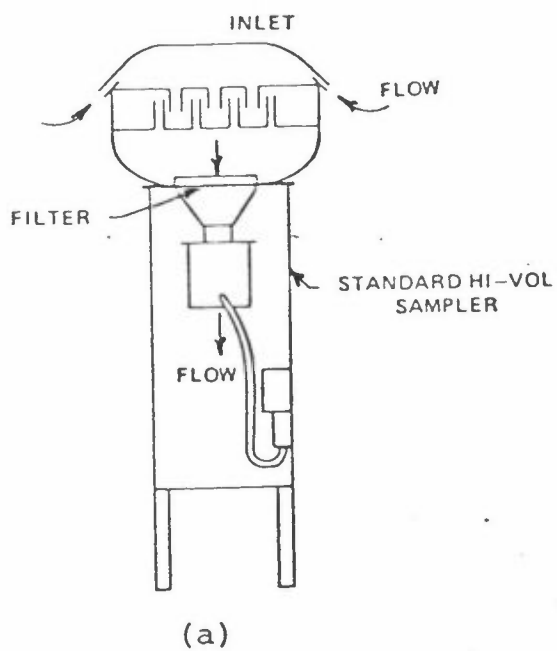
(c)



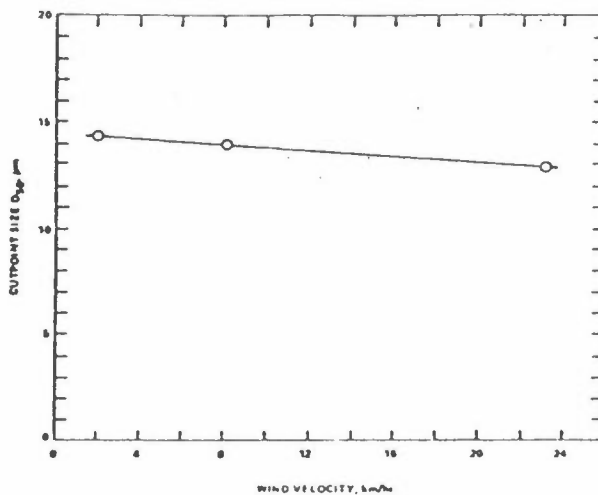
(d)

Figur 3: Prinsippskisser av DICHO-prøvetakeren og avskillelseskarakteristikker for luftinntak og for det indre separasjonstrinnet (virtuell impaktor).

- Skisse av luftinntak
- Luftinntakets avskillelseskarakteristikk
- Prinsippskisse av "virtuell impaktor"-enheten
- Impaktorens avskillelses- og taps-karakteristikk



(b)



(c)

Figur 4: Prinsippsskisser av HIVOL-SSI-prøvetakeren med avskillingskarakteristikker for luftinntaket og impaktortrinnet.
 a) Skisse av "high-volume" prøvetaker med luftinntak (SSI)
 b) og c) Luftinntakets avskillingskarakteristikk

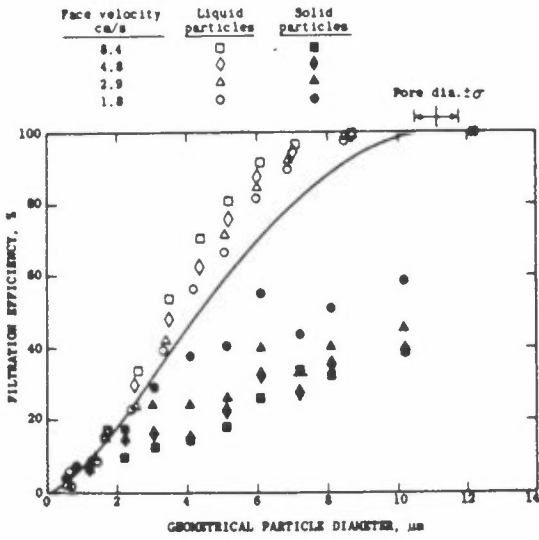
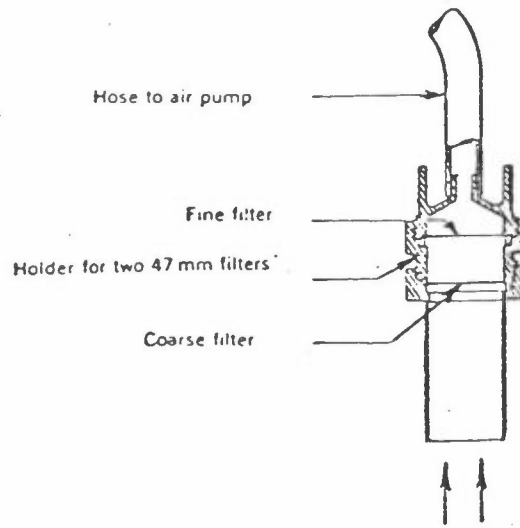


Fig. 4. Filtration efficiency vs particle diameter for liquid and solid particles at several flow rates through 12 μm Nuclepore filters from lot 51C7C20. The line is a theoretical calculation of particle filtration by interception only.

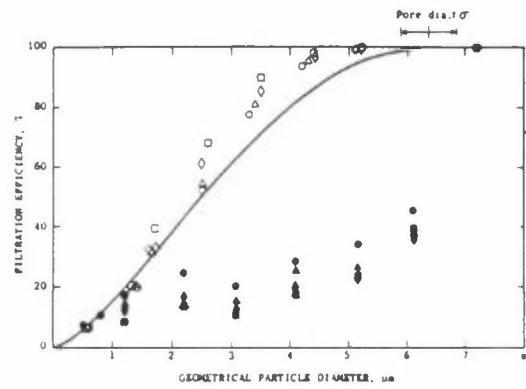


Fig. 6. Filtration efficiencies for 8 μm Nuclepore filters from lot 51D7B55. Data symbols and line are explained in Fig. 4.

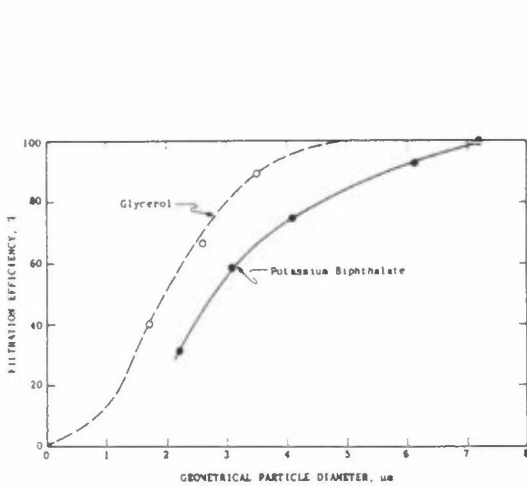


Fig. 11. Filtration efficiencies at 8.4 cm s⁻¹ face velocity for liquid (open circles) and solid particles (solid circles) through 8 μm grease-coated filters from lot 51D7B36. The solid line is an eye-fitted curve; the dashed line is an eye fit to the liquid particle data for uncoated filters from lot 51D7B55 (Fig. 6).

	Liquid particles	Solid particles
Unloaded filter	○	●
Loaded filter	△	▲

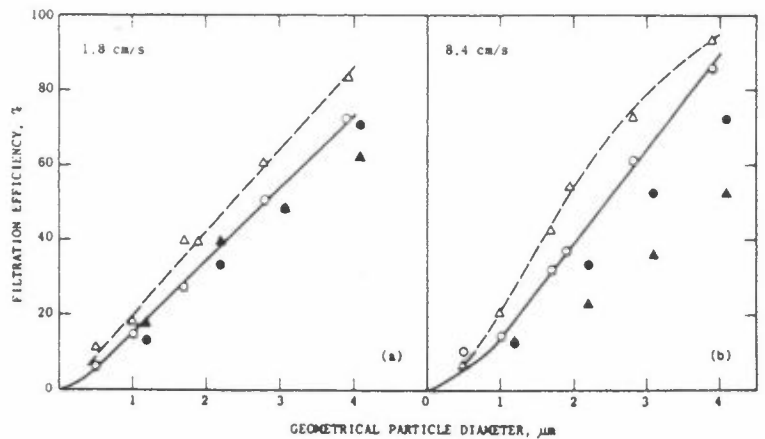


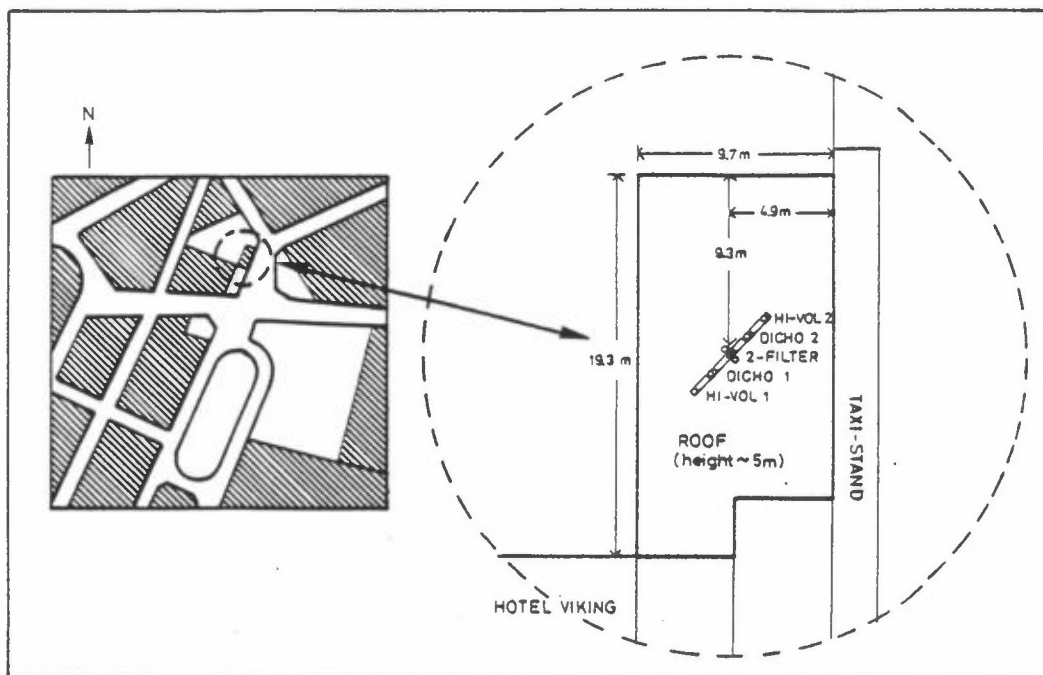
Fig. 14. Filtration efficiencies of 8 μm grease-coated filters from lot 51D7B83 before and after loading with 17 μg cm⁻² of ambient particulate matter. The face velocities were (a) 1.8 cm s⁻¹ and (b) 8.4 cm s⁻¹.

Figur 5: Prinsippskisse av 2F-filterhodet med avskillingskarakteristikker for ulike typer Nuclepore-filtre.

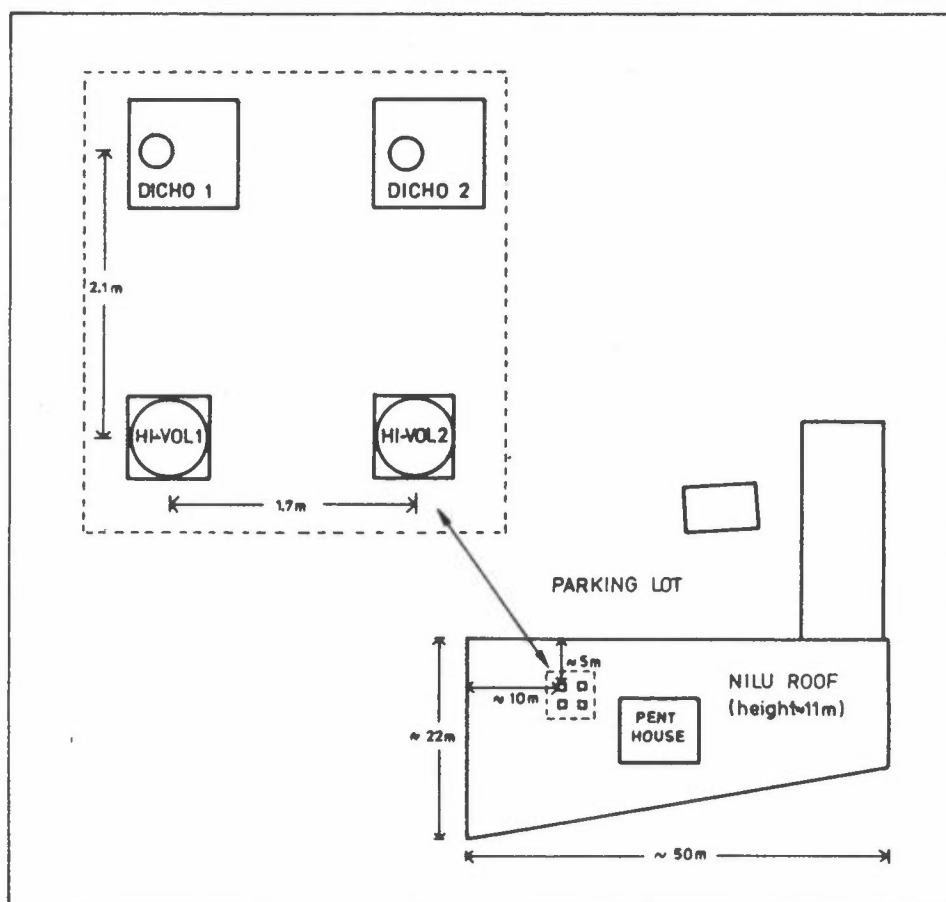
MÅLE - PERIODE PRØVETAKER	JULI		AUGUST		SEPTEMBER		OKTOBER	
	I	II			III		IV	
DVI 1		27 TF 10			17 TF		11 14 TF 23	
DVI 2		GF			GF		TF	
HV-SSI 1	6 PFA/GF GFA	GF			GF		GF	
HV-SSI 2	GF GF GF				GF		GF	
TO-FILTER		N12/GF 5 N12/AF			N8/AF 26N8/NO.4			
SO ₂								
MÅLESTED	Hotell Viking, Oslo sentrum						NILU	

- TF - teflonfiltre, type Sierra C-240-T2 for begge fraksjoner
- GF - glassfiberfiltre, type Whatman GF/C " " "
- PFA/GF - ApiezonL-belagte papirfiltre, type Whatman 40 ashless på impaktortrinnet (grovfraksjon), glassfiber, type Gelman A på bunntinnet (finfraksjon)
- GFA - ApiezonL-belagte glassfiberfiltre, type Sierra C230 GF på impaktortrinnet (grovfraksjon), glassfiber type Gelman A på bunntinnet (finfraksjon)
- N12/GF - Nuclepore-filtre (Apiezon-belagt, porestørrelse 12 μ , for grovfraksjonen, glassfiber type Whatman GF/C for finfraksjonen)
- N12/AF - som over, men membranfilter (nylonforsterket acryl polymer, type Gelman Acropor AN800) porestørrelse 0.8 μ m for finfraksjon
- N8/AF - som over, men porestørrelse 8 μ m i stedet for 12 μ m for grovfraksjon
- N8/N.4 - nuclepore-filter (Apiezonbelagt), porestørrelse 8 μ m for grovfraksjon
nuclepore-filter, porestørrelse 0.4 μ m for finfraksjon

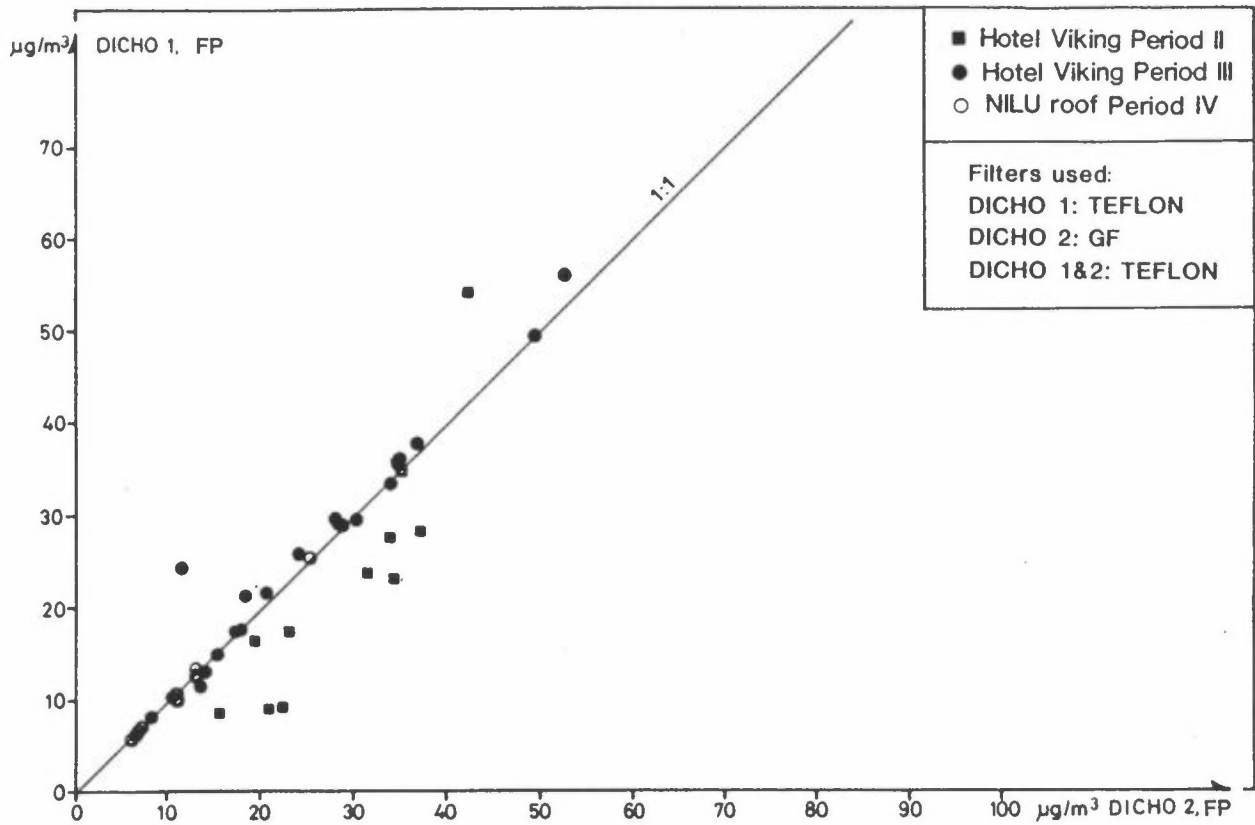
Figur 6: Oversikt over måleprogrammet.



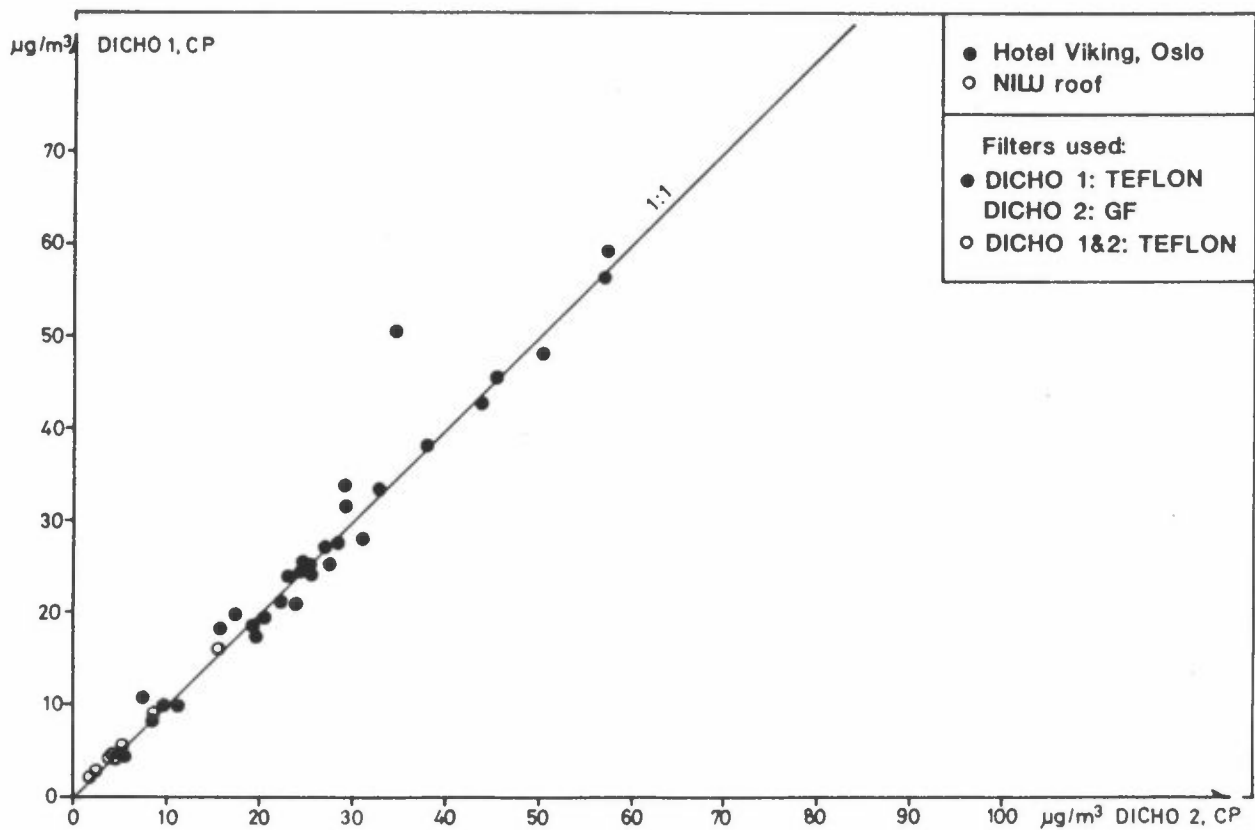
Figur 7: Skisse av målestedet ved hotell Viking, Oslo sentrum.



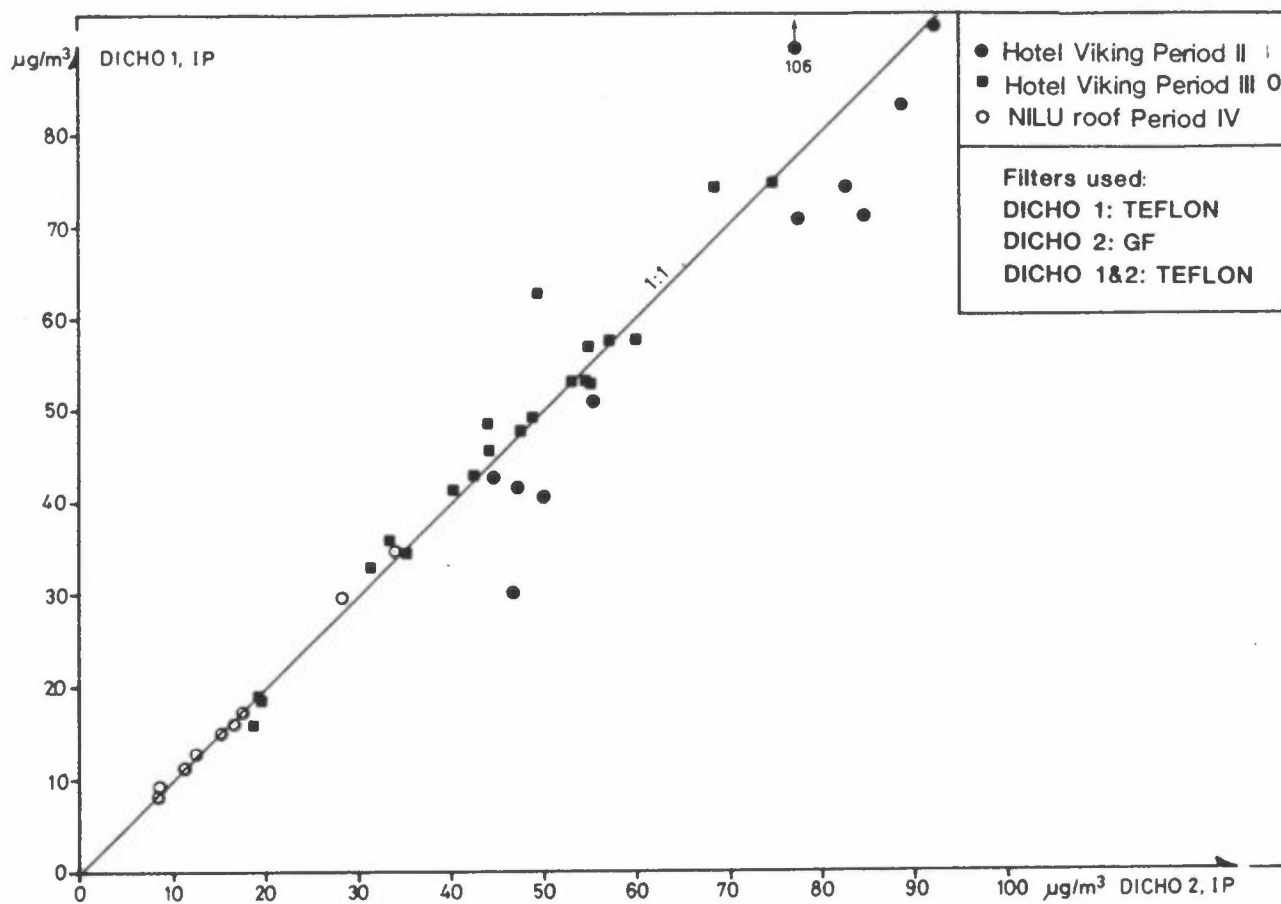
Figur 8: Skisse av målestedet på taket av NILUs bygning.



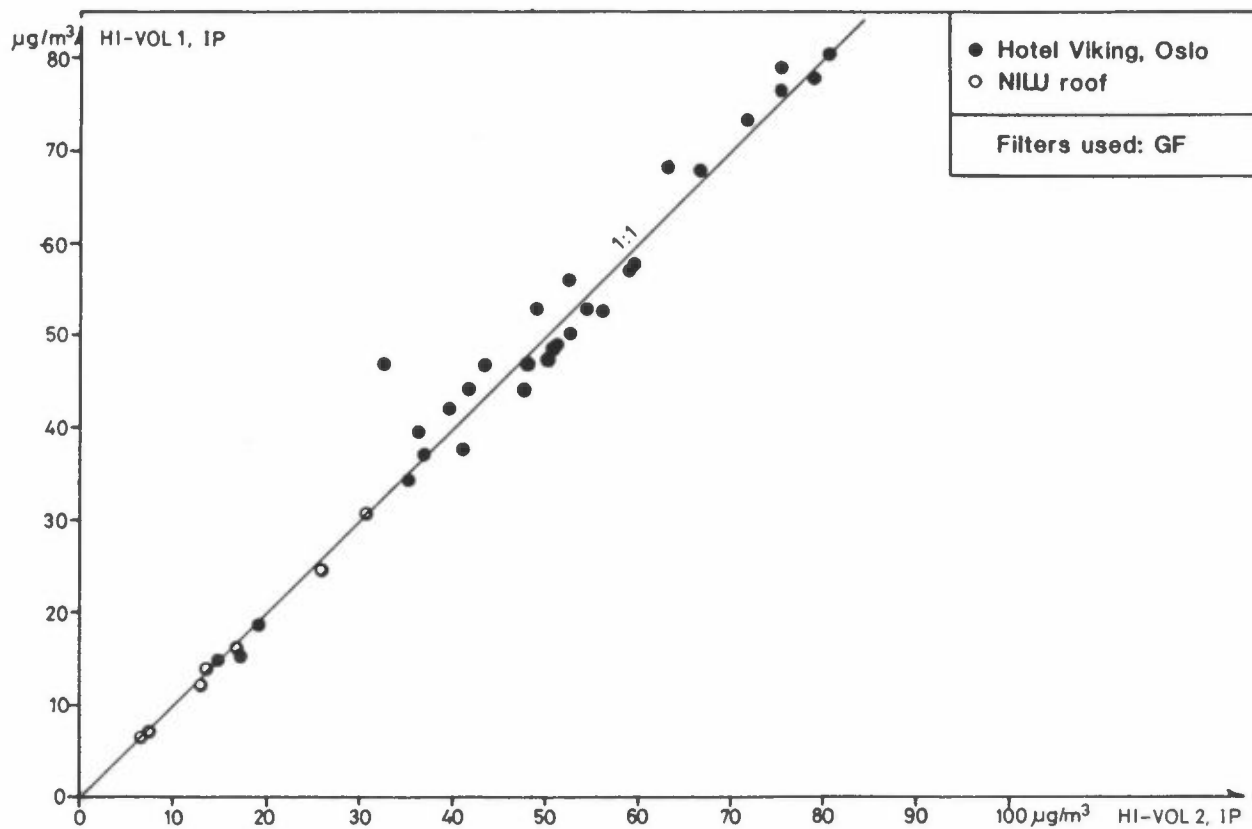
Figur 9: Sammenligning av RP-fraksjonen fra DICH0 1 og 2.



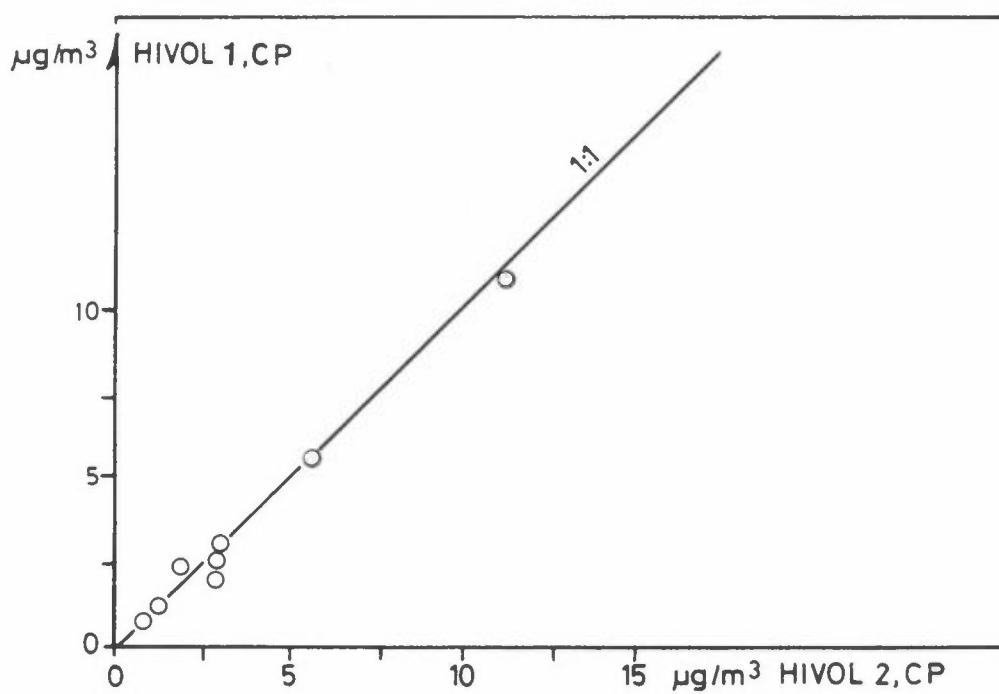
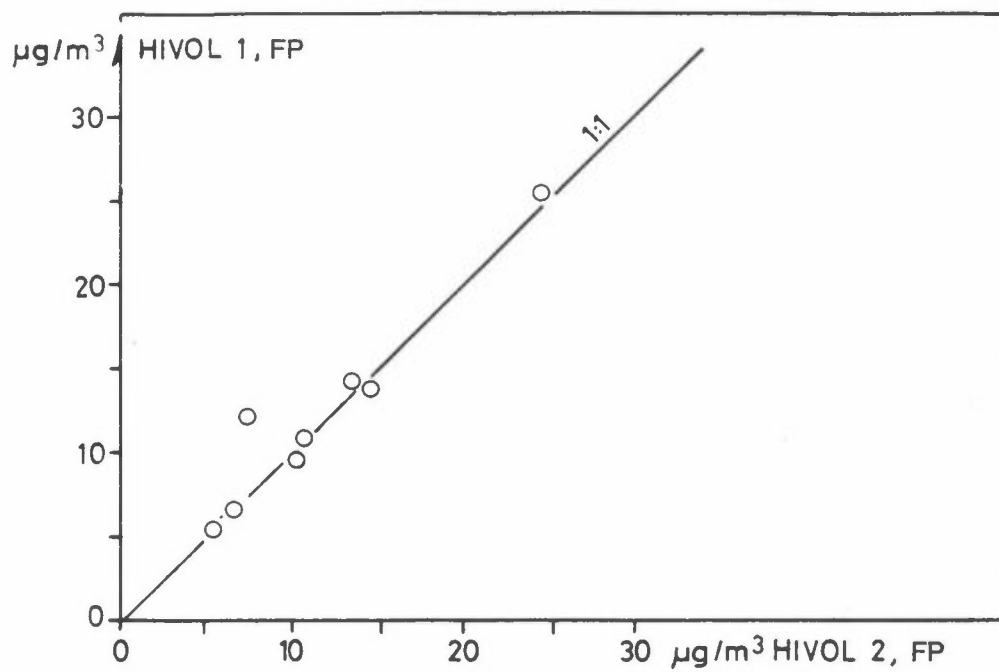
Figur 10: Sammenligning av GP-fraksjonen fra DICH0 1 og 2.



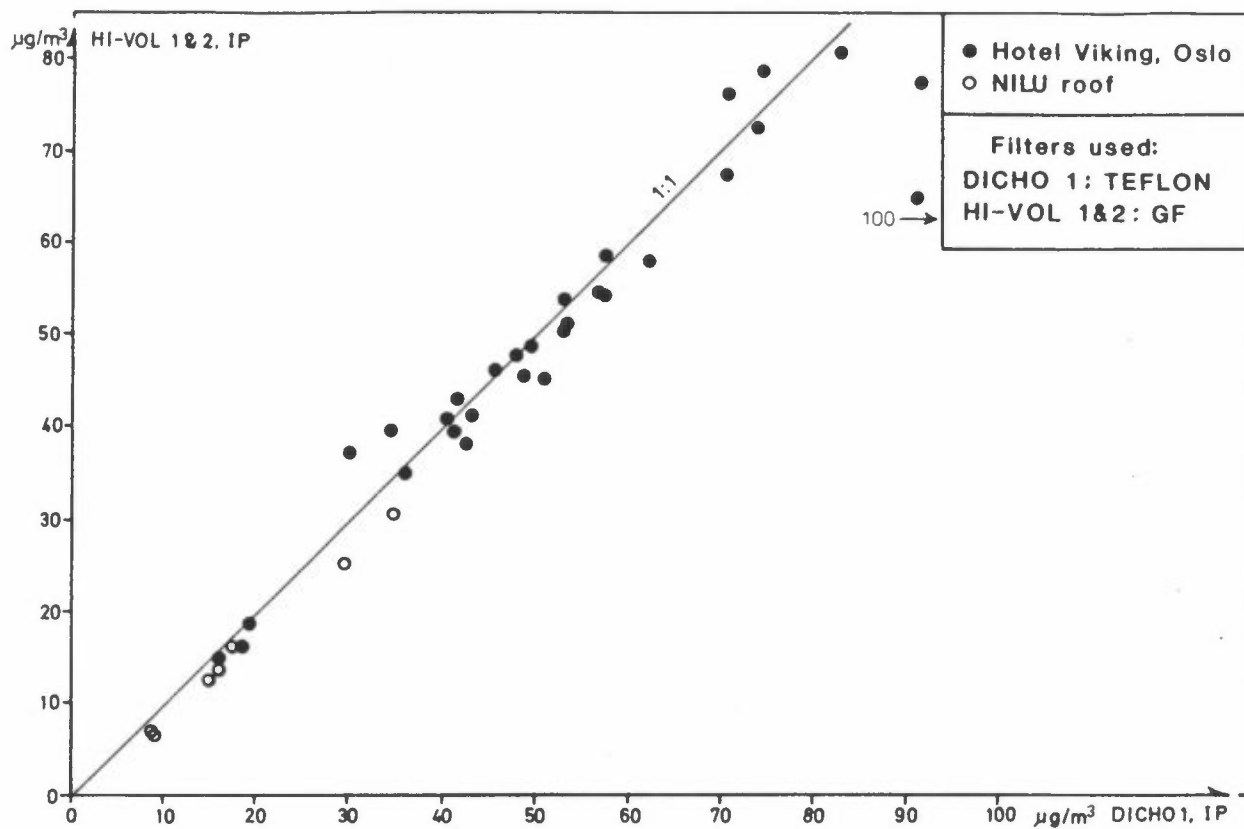
Figur 11: Sammenligning av IP-fraksjonen fra DICH0 1 og 2.



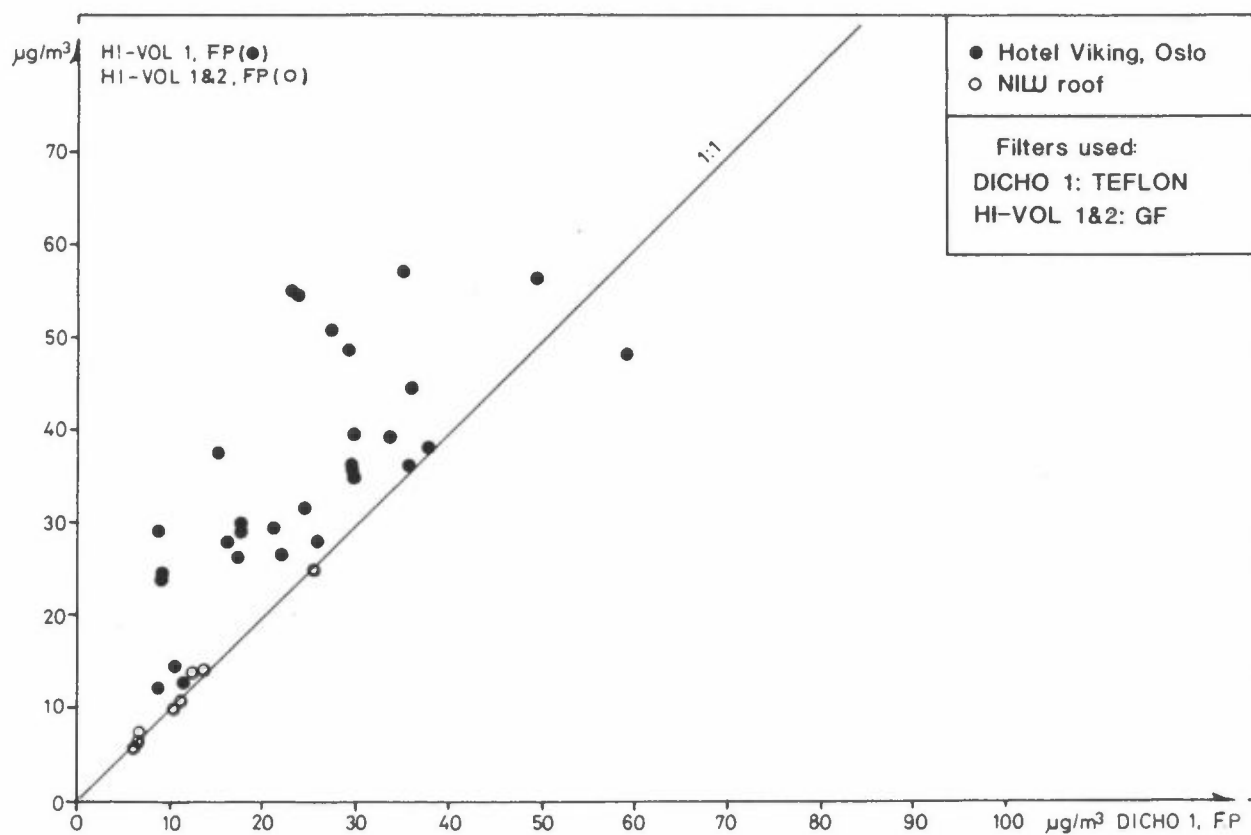
Figur 12: Sammenligning av IP fra HIVOL-SSI 1 og 2.



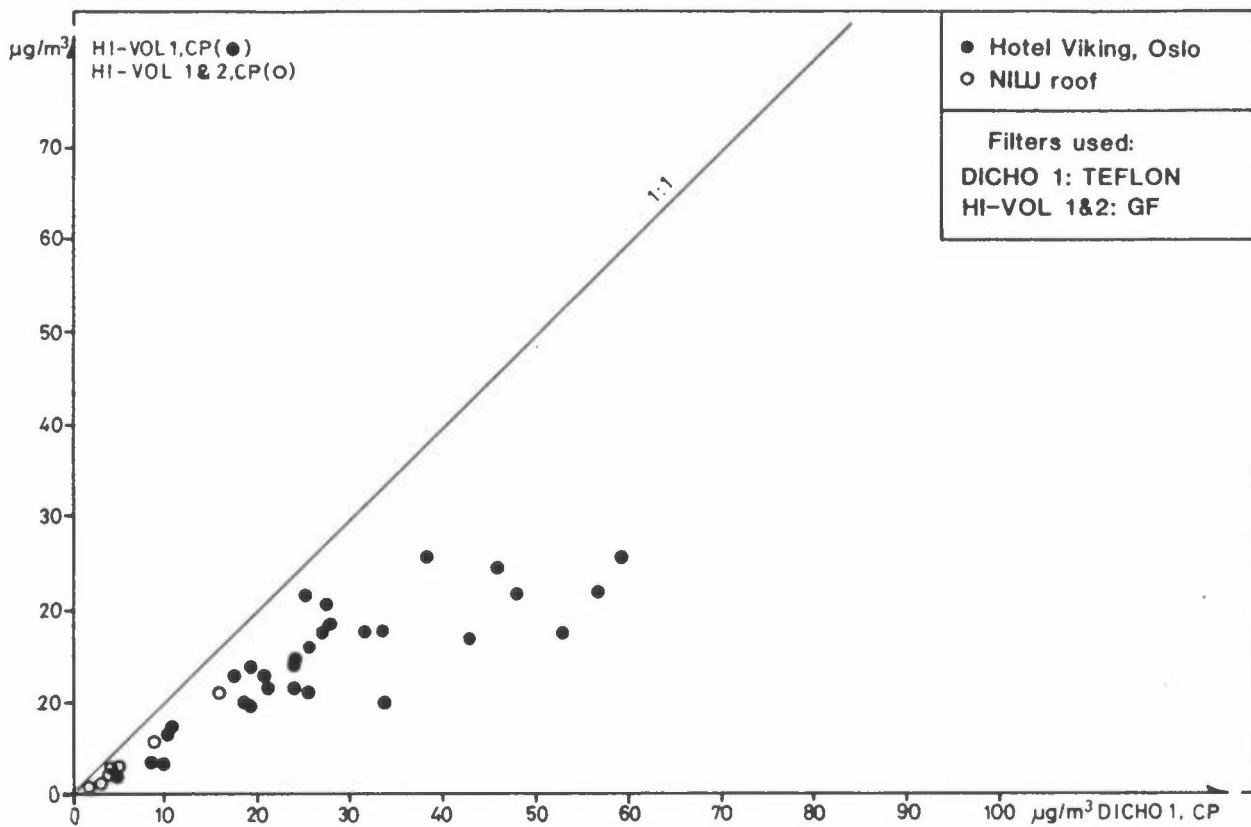
Figur 13: Sammenligning av RP og GP fra HIVOL-SSI.



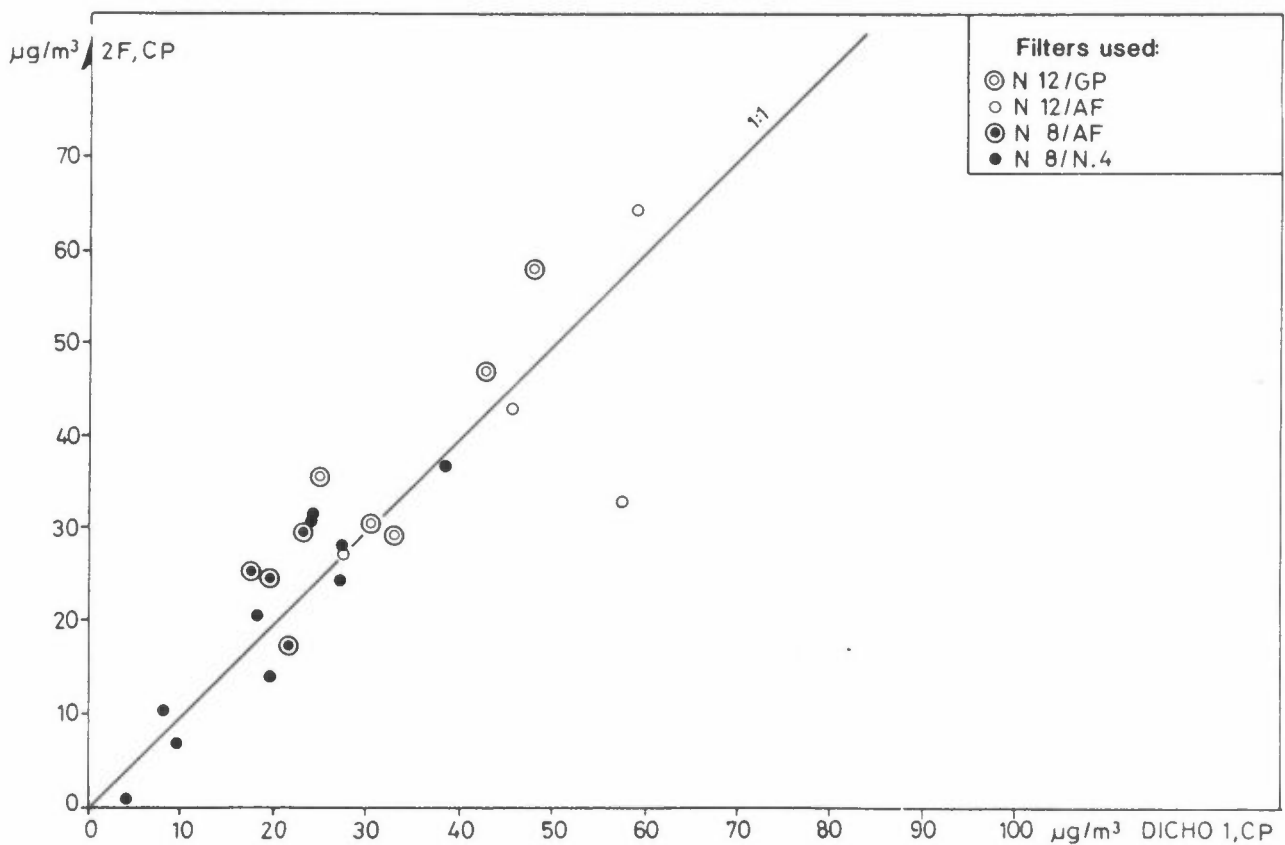
Figur 14: Sammenligning av IP fra DICH0 og HVI-SSI.



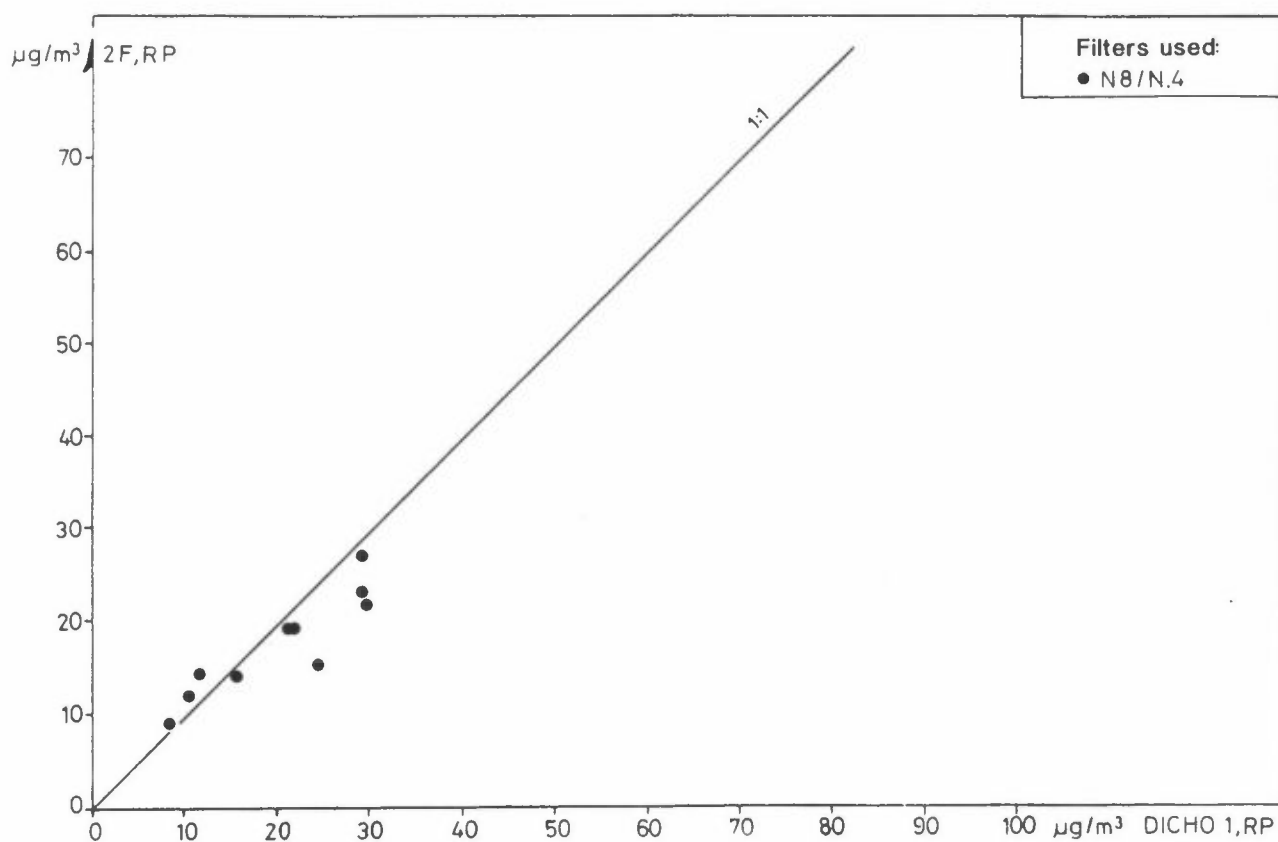
Figur 15: Sammenligning av RP fra DICH0 og HIVOL-SSI.



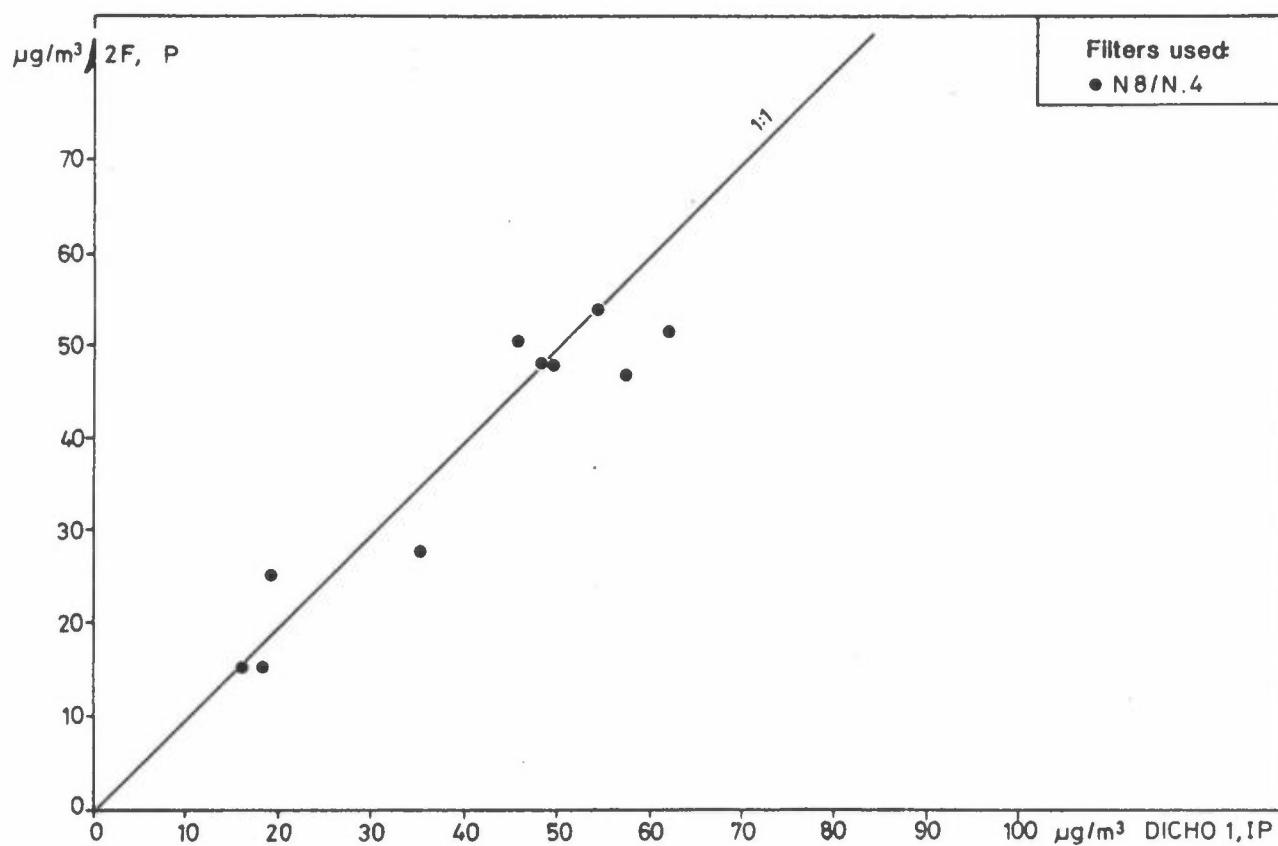
Figur 16: Sammenligning av GP fra DICH0 og HIVOL-SSI.



Figur 17: Sammenligning av GP fra DICH0 og 2F-metoden.



Figur 18: Sammenligning av RP fra DICH0 og 2F-metoden.



Figur 19: Sammenligning av IP fra DICH0 og 2F-metoden.

NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING (NILU)
 NORWEGIAN INSTITUTE FOR AIR RESEARCH
 POSTBOKS 130, 2001 LILLESTRØM (ELVEGT. 52), NORGE

RAPPORTTYPE Oppdragsrapport	RAPPORTNR. OR 67/86	ISBN-82-7247-746-7	
DATO Oktober 1986	ANSV. SIGN.	ANT. SIDER 49	PRIS Kr 30,-
TITTEL Fraksjonert prøvetaking av svevestøv i luft. Sammenligning av prøvetakere, 1982.		PROSJEKTLEDER St. Larssen	
		NILU PROSJEKT NR. O-8223	
FORFATTER(E) Steinar Larssen Val Vitols		TILGJENGELIGHET A	
		OPPDRAUGSGIVERS REF.	
OPPDRAUGSGIVER (NAVN OG ADRESSE) Statens forurensningstilsyn Postboks 8100, Dep 0032 OSLO 1			
3 STIKKORD (à maks. 20 anslag) Luftforurensning Inhalerbare partikler Målemetoder			
REFERAT (maks. 300 anslag, 7 linjer) Tre typer prøvetakere for inhalerbare partikler ($d < 15 \mu\text{m}$) ble sammenlignet ved målestasjoner i Oslo og Lillestrøm i perioden juli-oktober 1982. Prøvetakerne var: "Dichotomous virtual impactor", "High volume sampler w/size selective inlet" og to-filter-metoden.			

TITLE Fractionating sampling of inhalable particles in air. Comparison between samplers, 1982.
ABSTRACT (max. 300 characters, 7 lines) Three different samplers for inhalable particles ($d < 15\mu\text{m}$) were compared at sampling stations in Oslo and Lillestrøm during the period July-October 1983. The samplers were: "Dichotomous virtual impactor", "High volume sampler w/size selective inlet" and the two-filter method.

* Kategorier: Apen - kan bestilles fra NILU A
 Må bestilles gjennom oppdragsgiver B
 Kan ikke utleveres C