General Disclaimer

One or more of the Following Statements may affect this Document

- This document has been reproduced from the best copy furnished by the organizational source. It is being released in the interest of making available as much information as possible.

- This document may contain data, which exceeds the sheet parameters. It was furnished in this condition by the organizational source and is the best copy available.

- This document may contain tone-on-tone or color graphs, charts and/or pictures, which have been reproduced in black and white.

- This document is paginated as submitted by the original source.

- Portions of this document are not fully legible due to the historical nature of some of the material. However, it is the best reproduction available from the original submission.

Produced by the NASA Center for Aerospace Information (CASI)

RECEIVED BY
ESA - SDS
DATE: 1 FEB 1985
DOAF NO.
PROCESSED BY
NASA STI FACILITY
ESA - SDS AIAA

016863

FOA rapport
C40199 - B1
November 1984
ISSN 0347 - 2124

094602

PROVTAGARE FÖR MIKROBIOLOGISKA AEROSOLER

Eva H[illegible]
Ing[illegible]

FÖRSVARETS FORSKNINGSANSTALT
Huvudavdelning 4
901 82 UMEÅ

FOAs RAPPORTKATEGORIER

Rapporter avsedda för spridning utanför FOA utges i följande kategorier:

A-rapport. Huvudsakligen för totalförsvaret avsedd och tillrättalagd redovisning av ett, som regel avslutat, vetenskapligt arbete. Förekommer som öppen (A-) och hemlig (AH-) rapport.

B-rapport. (FOA Reprints). För vidare spridning avsedd redovisning av öppet vetenskapligt eller tekniskt-vetenskapligt originalarbete av allmänt intresse. Arbetet publiceras i tidskrift, som distribueras som särtryck under benämningen *"FOA Reprints"*. Förekommer som öppen (B-) rapport.

C-rapport. För spridning inom eller utom FOA. Redovisning av arbete t ex i form av delrapport, preliminärrapport eller metodikrapport. Förekommer som öppen redovisning av vetenskapligt eller tekniskt-vetenskapligt originalarbete av allmänt intresse. Förekommer som öppen (C-) och hemlig (CH-) rapport.

E-rapport. Redovisning av arbete föranlett av främst FOAs civila uppdragsforskning. Förekommer som öppen (E-) och hemlig (EH-) rapport. Uppgift om kategori E eller EH på skriftlig redovisning (rapport) av arbete skall regelmässigt anges i uppdragsavtal.

FOA-RAPPORTS STATUS

Författare svarar för rapportens innehåll, t ex för att angivna resultat är riktiga, för gjorda slutsatser och rekommendationer etc.

FOA svarar – genom att rapporten godkänts för utgivning som FOArapport – för att det redovisade arbetet utförts i överensstämmelse med "vetenskap och praxis" på området i fråga.

I förekommande fall tar FOA ställning till i rapporten gjorda bedömningar etc. Detta anges i så fall i särskild ordning, t ex i missiv.

REGISTRERING

FOA-rapport skall registreras enligt nedanstående exempel:

FOA-rapport
A1 -2345-M6(E4)
ISSN 0000-0000

där

A	är rapportkategorin
1	är utgivande havd/Ck (6=Ck)
2345	är löpnr (inom resp kategori och havd/Ck (6=Ck)
M6(E4)	är den(de) programdell(-ar) dit rapporten i första (andra) hand kan hänföras
ISSN nr	är en internationell numrering av seriella publikationer

FÖRSVARETS FORSKNINGSANSTALT
Huvudavdelning 4
901 82 Umeå

FOA RAPPORT
C 40199-B1
November 1984
ISSN 0347-2124

EFFEKTIVITETSTESTNING AV PROVTAGARE FÖR MIKROBIOLOGISKA AEROSOLER
- EN ÖVERSIKT -

Eva Henningson och Ingrid Fängmark

Sändlista: Fst, SjvS, FortF, FMV, FHS, MHS, SkyddS, Cfs, SoS, SNV, SVA, ASS, Byggforskningen, IVL, SML, SLU, KTH, CTH, LTH, SBL, ASF, K-konsult, VAV, Ast

Dokumentets utgivare
FÖRSVARETS FORSKNINGSANSTALT
Huvudavdelning 4
901 82 UMEÅ

Dokumentnamn och dokumentbeteckning
FOA RAPPORT C 40199-B1

Dokumentets datum
November 1984

Ärendebeteckning
B120

Projektnamn (ev förkortat)

Upphovsman(man)

Eva Henningson och Ingrid Fängmark

Uppdragsgivare

Dokumentets titel

EFFEKTIVITETSTESTNING AV PROVTAGARE FÖR MIKROBIOLOGISKA AEROSOLER - EN ÖVERSIKT

Huvudinnehåll

Luftburna mikroorganismer kan utgöra ett hälsoproblem i arbetsmiljöer. Halterna mikroorganismer i luft mäts idag med en mångfald olika provtagare med varierande effektivitet för insamling av partiklar av olika storlek. För att kunna jämföra mätningar från olika tillfällen utförda med olika apparater och korrekt bedöma exponeringsrisker krävs kännedom om provtagarens effektivitet.

I denna rapport har använda metoder för testning av effektivitet hos provtagare för mikrobiologiska aerosoler inventerats, sammanställts och värderats. Jämförelser görs med hur motsvarande tester utförts på provtagare för andra aerosoler.

Sammanställningen visar att provtagarna för mikrobiologiska aerosoler ofta testats ofullständigt och med mindre tillförlitliga metoder. Testning i statiska kammare och jämförande studier i olika utomhus- eller arbetsmiljöer är vanligt förekommande. I dessa testsystem är det svårt att erhålla konstanta testbetingelser och resultaten blir osäkra. En bättre metod, innebärande testning i vindtunnel, rekommenderas i rapporten.

Nyckelord

Aerosol provtagare, effektivitet, testmetoder, mikroorganism, bakterier

Klassifikation och/eller indextermer

Övriga bibliografiska uppgifter

Språk
Svenska

ISSN och nyckeltitel
0347-2124

ISBN

Mottagarens uppgifter

Omfång
40 s.

Pris
50:-

Sekretessuppgifter

Distributor (namn och adressuppgifter)
Rapportcentralen, FOA 4

Issuing organization

NATIONAL DEFENCE RESEARCH INSTITUTE
ABC Research Department
S-901 82 UMEÅ

Document name and doc ref. No.

FOA REPORT C 40199-B1

Date of issue

November 1984

Project No.

B120

Project name (abbreviated if necessary)

Author(s)

Eva Henningson and Ingrid Fängmark

Initiator, or sponsoring organization

Document title

EFFICIENCY TESTS OF SAMPLERS FOR MICROBIOLOGICAL AEROSOLS - A REVIEW

Abstract

Airborne microorganisms can cause health problems in the work environment. Currently, concentrations of airborne microorganisms are measured using a variety of samplers with different collection efficiencies for various particle sizes. To obtain comparable results from studies using different sampling devices in order to correctly estimate health hazards it is important to know the efficiency of the air samplers.

Methods reported in the literature for testing the efficiency of samplers for microbiological aerosols are surveyed, evaluated and tabulated in this report. Methods for testing other aerosol samplers are included for comparison.

It can be concluded from this review that samplers for microbiological aerosols have not been thoroughly tested using reliable methods. Tests have been conducted in static air chambers and in various outdoor and work environments. It is difficult to achieve stable and reproducible conditions in these test systems, however, and the results are therefore not reliable. Testing in a wind tunnel is recommended as a better method for determining collection efficiency.

Key words

Sampling efficiency, airborne microorganisms, aerosol sampler, bacteria, test methods

Innehåll

		sid
1	**Sammanfattning**	5
2	**Inledning**	6
3	**Beskrivning av använda begrepp och uttryck**	12
3.1	Aerosol	12
3.2	Aerosolgeneratorer	13
3.3	Provtagare för mikrobiologiska aerosoler	17
3.4	Testkammare	17
4	**Litteratururval**	19
5	**Resultat**	20
5.1	Testad apparatur	20
5.2	Aerosolgenerering och aerosoler	21
5.3	Testkammare	25
5.4	Utvärderingsmetod	26
5.5	Sammanställning	29
6	**Diskussion**	31
6.1	Provtagningsapparater	31
6.2	Testsystem	31
6.3	Utvärderingsmetod	33
7	**Slutsatser**	34
7.1	Testbehov	34
7.2	Rekommenderad testmetod	34
8	**Tack till medarbetare**	35
9	**Referenser**	36

1 Sammanfattning

Luftburna mikroorganismer kan utgöra ett hälsoproblem i arbetsmiljöer. Halterna mikroorganismer i luft mäts idag med en mångfald olika provtagare med varierande effektivitet för insamling av partiklar av olika storlek. För att kunna jämföra mätningar från olika tillfällen utförda med olika apparater och korrekt bedöma exponeringsrisker krävs kännedom om provtagarens effektivitet.

I denna rapport har använda metoder för testning av effektivitet hos provtagare för mikrobiologiska aerosoler inventerats, sammanställts och värderats. Jämförelser görs med hur motsvarande tester utförts på provtagare för andra aerosoler.

Sammanställningen visar att provtagarna för mikrobiologiska aerosoler ofta testats ofullständigt och med mindre tillförlitliga metoder. Testning i statiska kammare och jämförande studier i olika utomhus- eller arbetsmiljöer är vanligt förekommande. I dessa testsystem är det svårt att erhålla konstanta testbetingelser och resultaten blir osäkra. En bättre metod, innebärande testning i vindtunnel, rekommenderas i rapporten.

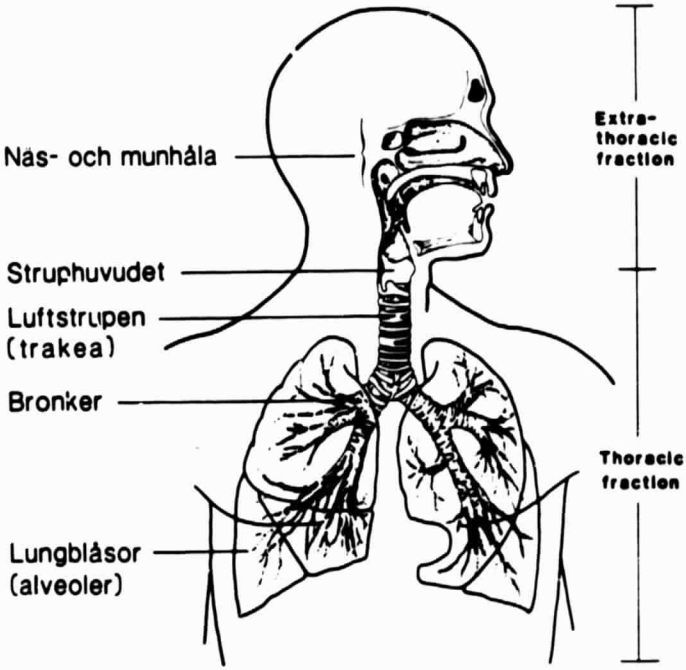
2 Inledning

Intresset för mätning av luftburna mikroorganismer i olika miljöer har ökat under de senaste åren då hälsoproblem i arbetsmiljöer och i bostäder visat sig ha samband med luftburna mikroorganismer. Det är också intressant att kartlägga koncentrationer av mikroorganismer i luft utomhus eftersom dessa halter ofta används som referensvärden (normala halter) i jämförelse med olika inomhus- och arbetsmiljöer. Oavsett vilken miljö man mäter i är det önskvärt att provtagningen sker på ett sådant sätt att olika felkällor minimeras och att jämförelser mellan olika provtagningstillfällen och mellan olika provtagningsapparater kan göras. Resultatet av en luftprovtagning av mikroorganismer kan nämligen variera beroende på apparatens uppsamlingsprincip, insamlingseffektiviteten för olika partikelstorlekar vid olika vindhastigheter och vindriktningar samt vilken analysmetodik som använts.

Stora partiklars tröghet och förhållandevis höga fallhastighet gör att de har svårt att följa luftströmmar och gör dem svåra att provta på ett representativt sätt. I stillastående luft är det bara partiklar <1 µm (A1) som följer provtagarens luftströmmar tillräckligt väl i alla situationer. För provtagning i stillastående luft finns kriterier utarbetade av Agarwal och Liu (A2). I praktiken har man dock sällan stillastående luft. Utomhus varierar vindriktning och vindhastighet samtidigt som det förekommer turbulens. I arbetsmiljön kan man inte heller anse att luften är helt stillastående p g a ventilation. Olika aktiviteter kan dessutom förorsaka turbulens och göra att stora partiklar virvlas upp. Därför är det svårt att i alla lägen provta med en lufthastighet som motsvarar den omgivande lufthastigheten (isokinetisk provtagning). Detta är ej heller nödvändigt (A3) om provtagningen sker på ett standardiserat sätt och inriktas på att samla in relevanta partikelstorleksfraktioner. För partikelprovtagare har man löst detta genom att konstruera föravskiljare (A4) som oberoende av vindriktning och vindhastighet ska överföra alla partikelstorlekar av intresse till provtagarens uppsamlingszon.

Provtagningsapparaterna för mikrobiologiska aerosoler har konstruerats med olika insugningshastigheter för att täcka olika provtagningsbehov. Detta kan ge olika effekter på vad som samlas in beroende på om provtagningen sker med en inloppshastighet över- eller understigande omgivande luftshastighet. I det första fallet erhålls, om inloppet är riktat mot vindriktningen, en underrepresentation av stora partiklar. Vid inloppshastigheter lägre än vindhastigheten är förhållandet det motsatta. Förutom utformningen av inloppet och inloppshastigheten har dess placering stor betydelse. Om inloppsvinkeln förändras med bara ett fåtal grader kan effektiviteten sjunka avsevärt för stora partiklar (A5). Det är också av betydelse om inloppet placeras horisontellt eller vertikalt i förhållande till vindriktningen (A6). Praktiskt kan detta lösas genom att använda inlopp av föravskiljartyp som beskrivs i (A4) och som provtar likformigt i alla riktningar. Inne i provtagaren kan förluster uppstå beroende på hur väggar och krökar är utformade och vilket material provtagaren är konstruerad av (väggförluster). En ytterligare faktor av betydelse vid insamling av mikroorganismer är om provtagningen i sig har en avdödande effekt. I luft befinner sig mikroorganismer i ett stresstillstånd pga de yttre miljöbetingelserna, vilket gör att de är känsliga för yttre påfrestningar. Ett skonsamt uppsamlingssätt är därför av vikt så att antalet levande mikroorganismer inte underskattas.

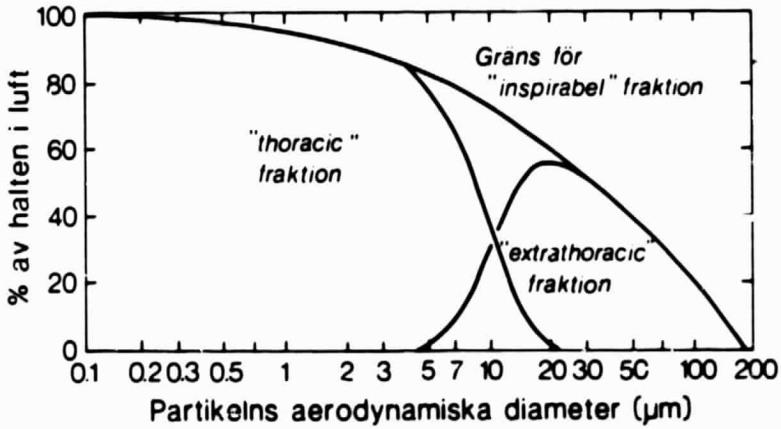
Den biologiska effekten av inandade partiklar beror på den regionala depositionen i lungor och luftvägar vilken, i sin tur, beror av partiklarnas storlek, figur 1. Vid yrkeshygieniska mätningar måste man kunna korrelera en sjukdom till en viss regional deposition, dvs en delfraktion av den inandade partikelstorleksfraktionen. En provtagare som används för detta ändamål måste därför samla in partiklar som är inandningsbara och kunna särskilja den eller de storleksfraktioner som är av betydelse.



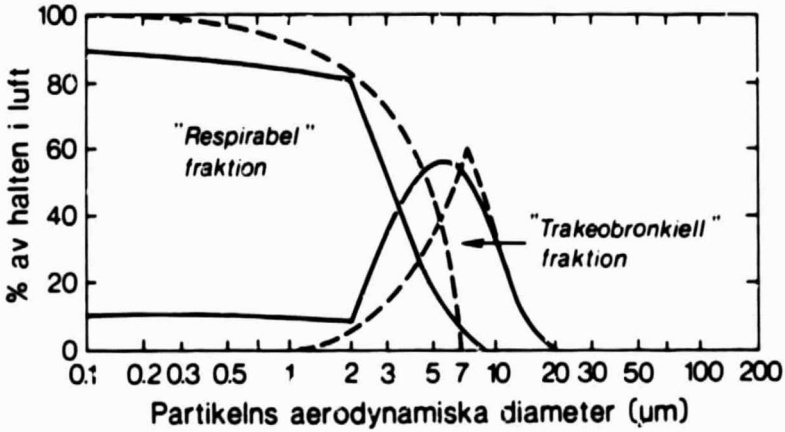
Figur 1. Luftvägarnas beståndsdelar och indelning i depositionsområden för aerosoler. Lippman M, Yeates D B, Albert R E. Deposition, retention and clearence of inhaled particles. Brit J Ind Med, 1980, 37, 337-362.

I ett nyligen utarbetat förslag till provtagningsstandard har den internationella standardiseringsorganisationen (ISO) definierat en serie olika aerosolfraktioner efter biologisk effekt (A7), figur 1. Den del av den

totala aerosolen som kan nå luftvägarna benämns 'inspirabel'. Fraktionen som passerar struphuvudet, den s k 'thoracic' fraktionen kan antingen deponeras i luftstrupe och bronker, och benämns då 'trakeobronkiell' fraktion, eller i alveolerna 'respirabel' fraktion, figur 1. För var och en av dessa anger ISO hur stor andel av olika partikelstorlekar i omgivningsaerosolen som provtagaren ska samla in (figur 2a och 2b). Detta kan praktiskt åstadkommas genom att förse provtagaren med en föravskiljare som separerar bort större partiklar, än vad som anges av normen. Man kan därefter antingen samla upp hela återstoden eller dela upp den i två ytterligare fraktioner genom att låta luftströmmen passera ett impaktionssteg. Som exempel på sådana apparater kan nämnas tvåstegsprovtagare som via en föravskiljare avskiljer partiklar grövre än de som ingår i 'trakeo-bronkiell' fraktion. Via ett impaktorsteg samlas 'trakeo-bronkiell' fraktion. De partiklar som impaktorsteget inte kan fånga upp utgör då den 'respirabla' fraktionen och insamlas vanligtvis på ett filter. När endast den respirabla fraktionen är intressant används en föravskiljare, ofta cyklon, som separerar bort grövre partiklar så att endast 'respirabel' fraktion återstår och kan fångas upp på ett filter. Någon bra provtagare för hela den 'inspirabla' fraktionen finns inte idag.



Figur 2a. Provtagningsstandard för 'thoracic' och 'extrathoracic' fraktion.



Figur 2b. Provtagningsstandard för 'trakeo-bronkiell' och 'respirabel fraktion'. ACGIH ——— American Conference of Governmental Industrial Hygienists. BMRC ------ British Medical Research Council. Size definitions for particle sampling ISO TC 146, Am Ind Hyg J 42, A64-68, 1981.

Luftburna mikroorganismer kan förekomma som enstaka celler, i aggregat eller fästade på partiklar och förekommer i hela det 'inspirabla' storleksintervallet. ISO's provtagningsstandard bör därför även vara av betydelse vid provtagning av luftburna mikroorganismer.

En aerosolprovtagare bör testas med avseende på följande faktorer:

a) Inloppets förmåga att, vid olika vindhastigheter och vindriktningar, överföra alla partikelstorlekar av intresse till provtagarens avskiljningssteg. För detta används termen **insamlingseffektivitet.**

b) Avskiljningsstegets förmåga att ur luftströmmen från inloppet avskilja den partikelstorleksfraktion som avses. För detta används termen **avskiljningseffektivitet.**

c) **Väggförluster** i provtagaren, som gör att den storleksfraktion som avskiljts i avskiljningssteget inte samlas upp fullständigt. Detta beror på hur väggar och krökar är utformade samt materialval.

d) **Avdödning** av mikroorganismer vid insamling.

Tillsammans ger faktorerna a - d ett mått på provtagarens **totala effektivitet**

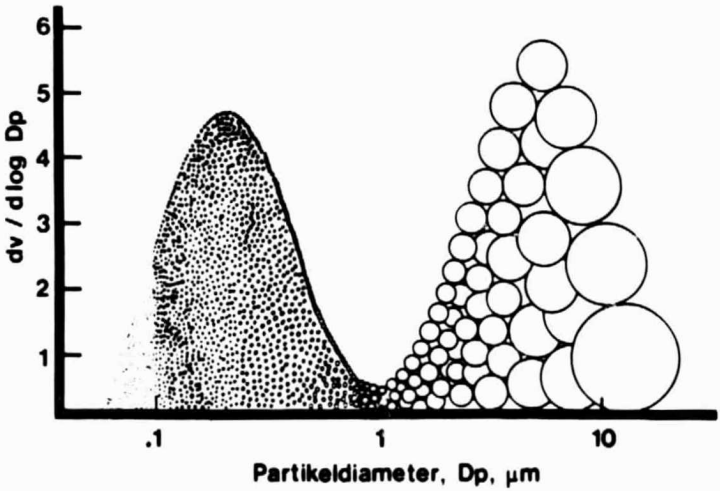
För att klarlägga vilka testmetoder som använts vid karaktärisering av provtagningsapparater för mikrobiologiska aerosoler och för att undersöka hur ett idealiskt testsystem ska vara uppbyggt har vi utfört en litteraturstudie.

3 Beskrivning av använda begrepp och uttryck

I detta stycke definieras och beskrivs sådant som kan vara av betydelse för förståelsen av den fortsatta texten.

3. Aerosol

Med en **aerosol** menas ett system bestående av mikroorganismer eller partiklar (fast ämne eller vätska) med en gas som bärare (oftast luft). Systemet måste vara stabilt en viss tid och detta villkor utesluter, för atmosfäriska aerosoler, partiklar större än några hundra mikrometer. Volyms- och massfördelningen för den atmosfäriska aerosolen som funktion av partikelstorleken uppvisar två maxima (bimodal) beroende på olika ursprung för aerosolen (A8), figur 3. De grova partiklarna härrör från mekaniska processer och massfördelningen för dessa har sitt maximum vid cirka 5 µm. De minsta partiklarna är luftföroreningar som uppkommit vid en förångnings- och kondensationsproces ex förbränning.



Figur 3. Volymsfördelningen (lika med massfördelning vid konstant densitet) för den atmosfäriska aerosolen.

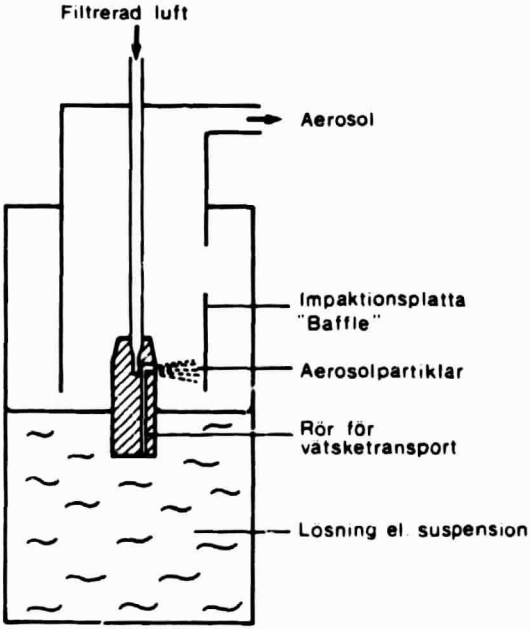
En aerosol kan antingen vara **polydispers** eller **monodispers.** En naturlig aerosol är polydispers, vilket innebär att den är sammansatt av flera olika partikelstorlekar. I en monodispers aerosol är i princip alla partiklar lika stora. Partikelstorleken hos de flesta aerosoler är lognormalfördelad, dvs beskriver en normalfördelningskurva om logaritmen för partikelstorleken används som X-axel. Bredden på kurvan beskrivs då av den geometriska standardavvikelsen (σ_g). Definitionsmässigt anser man en aerosol vara monodispers om σ_g understiger 1.2.

Den partikelstorlek som oftast används i aerosolsammanhang är den **aerodynamiska** som anger hur partiklar av olika form och densitet uppträder i luftströmmar. Den definieras som diametern hos den sfäriska partikel med densiteten $1 g/cm^3$ som har samma fallhastighet som partikeln i fråga.

3.2 Aerosolgeneratorer

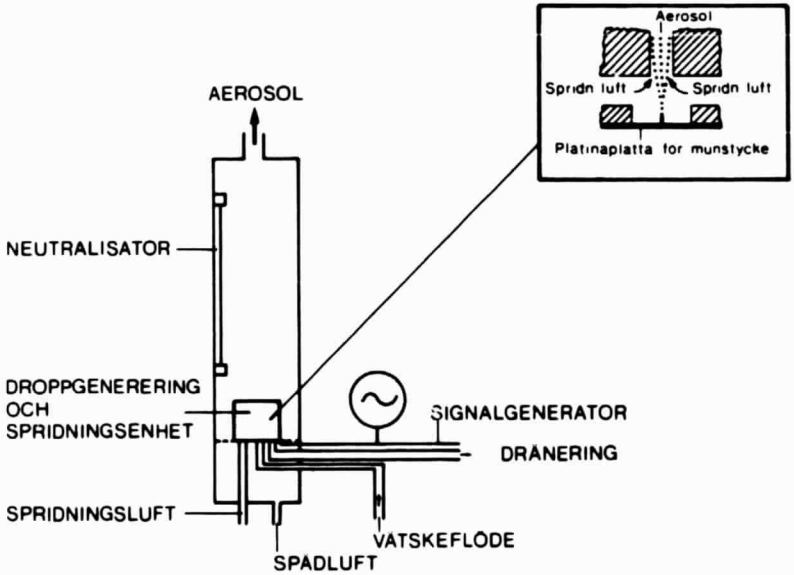
En **aerosolgenerator** används för att alstra aerosoler. Ett stort antal finns beskrivna i litteraturen och endast de vanligaste typerna har medtagits här. Generatorerna kan indelas i sådana som alstrar vätskedroppar och sådana som dispergerar pulver.

Vanligast bland vätskegeneratorerna är tryckluftsdrivna 'nebulizers'. De är ofta försedda med någon avskiljningsanordning för stora droppar så att de utgående dropparna blir ganska små, vanligtvis mellan 1 - 7 µm, och droppstorleksfördelningen smal. Data för de vanligaste av dessa finns i tabell 1. En ofta använd 'nebulizer' är Collison som visas i figur 4. I en 'nebulizer' kan vätskan bestå av en lösning av något ämne i en lättflyktig vätska eller en suspension av mono- eller polydispersa partiklar. Är vätskan en lösning återstår en partikel när lösningsmedlet avdunstat. Partikelns storlek bestäms av den ursprungliga droppstorleken och koncentrationen av ämnet i vätskan. I detta fall erhålls en partikel per droppe. Är vätskan däremot en dispersion av partiklar eller mikroorganismer måste man kunna beräkna den utspädning som krävs för att generera en partikel (mikroorganism) per droppe. Detta är möjligt om man känner 'nebulizerns' droppstorleksfördelning (A9).



Figur 4. Schematisk bild av Collison nebulizer. Generation of aerosols and facilities for exposure experiment. Ed.K Willeke, Ann Arbour Science 1980, 3-29.

Ett sätt att producera en monodispers aerosol är att använda en roterande aerosolgenerator där vätska tillförs till mitten av en roterande enhet. Exempel på en sådan är 'spinning disc' (A10). Med denna produceras normalt droppar inom storleksintervallet 20 - 100 µm. Med en aerosolgenerator av typ 'vibrating orifice' (A10), figur 5, kan monodispersa droppar alstras. I denna passerar vätskan ett smalt munstycke som vibreras med en piezoelektrisk givare så att vätskeströmmen bryts upp i likformiga droppar. Droppar i storleksintervallet 0.5 - 50 µm kan alstras med denna utrustning.



Figur 5. Schematisk bild av 'vibrating orifice' aerosolgenerator.

För att dispergera en aerosol torrt används ofta en aerosolgenerator baserad på fluidiserande bäddprincipen. I denna får en luftström passera en skakande bädd med pulver. Det finns även andra torra aerosolgeneratorer exempelvis Wright dust feeder (A10) som mekaniskt tillför partiklar till en luftström.

Tabell 1. Data för några vanliga 'nebulizers' vid olika arbetstryck (P). A = utgående aerosolkoncentraiton, W = avdunstning, Q = flöde, VMD = volymmediandiametern på utgående droppar.

Nebulizer	P (kPa)	A (µl/l)	W (µl/l)	Q (l/min)	VMD (µm)	σ_g
Dautrebande B-30	69	1.6	9.6	17.9	1.7	1.7
	138	2.3	8.6	25.4	1.4	1.7
	206	2.4	8.2	32.7	1.3	1.7
Lauterbach	69	3.9		(1.7)	3.8	2.0
	138	5.7	(12)	(2.4)	2.4	2.0
	206	5.9		(3.2)	2.4	(2.0)
Collison	138	7.7	12.7	7.1	(2.0)	(2.0)
(3 jet model)	172	6.7	12.6	8.2	2.0	2.0
	206	5.9	12.6	9.4		
	276	5.0	12.6	11.4		
DeVilbiss = 40	69	16	(10)	10.8	4.2	1.8
	103	15.5	8.6	13.5	3.5	1.8
	138	14	7.0	15.8	3.2	1.8
	206	12	7.2	20.5	2.8	1.8
Lovelace	103	27	(10)	1.3		
	138	40	10	1.5	5.8	1.8
	206	31	11	1.6	4.7	1.9
	276	21	9	2.0	3.1	2.2
	345	27	11	2.3	2.6	2.3
Retec X-70/N	138	56	20	5.0	5.1	2.0
	138	53	12	5.4	5.7	1.8
	206	54	11	7.4	3.6	2.0
	276	53	7	8.6	3.7	2.1
	345	49	9	10.1	3.2	2.2
DeVilbiss Ultrasonic	-	150	33	41	6.9	1.6

(Fine particles Ed. BYH Liu, Academic Press 1976.)

Samtliga beskrivna mekaniska metoder för aerosolgenerering ger upphov till elektrostatiskt positivt eller negativt laddade partiklar. För att erhålla rättvisande resultat bör aerosolen ges en neutral laddningsfördelning. Detta kan åstadkommas genom att aerosolen får komma i kontakt med luft som joniserats med radioaktivt preparat (A10).

3.3 Provtagare för mikrobiologiska aerosoler

Apparater för provtagning av mikroorganismer kan indelas efter uppsamlingsprincip: på agaryta, på filter eller i vätska. Uppsamling på agaryta används i Andersen-samplern, BIAP-samplern, FOA-slitsamplern och Reuter centrifugalsamplern (RCS). Vid uppsamling på filter används ofta en filterhållare med membranfilter. För uppsamlingen i vätska använder man olika typer av impingers eller cykloner där vätska tillförs kontinuerligt. Att samla upp mikroorganismer i vätska är fördelaktigt bland annat från analyssynpunkt eftersom man då kan utföra flera olika analyser på samma prov (totalantal, antal levande, odling av olika mikroorganismer).

Endast några få av de nämnda provtagningsapparaterna ger information om partikelstorleksfördelningen, till exempel multistage-liquid-impinger (MLI) och Andersen-samplern. En mer utförlig beskrivning av de olika provtagarna finns i mäthandböcker (B1,B2).

3.4 Testkammare

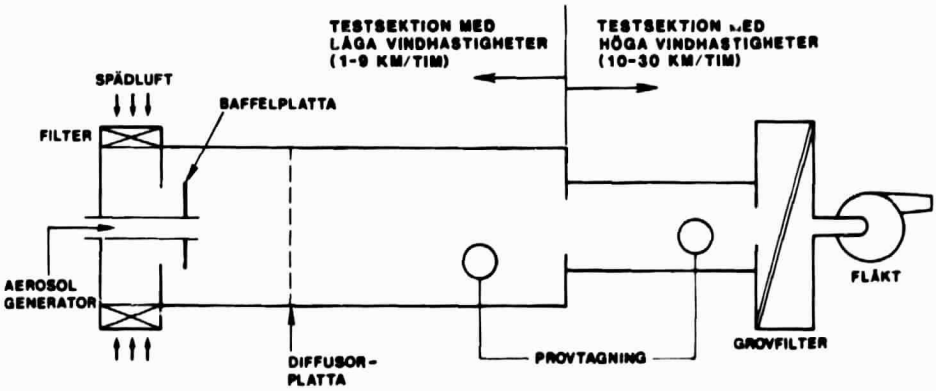
Det finns två olika huvudtyper av testkammare: statiska och dynamiska. I den **statiska** används en genererad aerosol innesluten i en statisk volym medan aerosolen i den **dynamiska** kammaren genereras kontinuerligt (B3).

Den statiska kammaren har ursprungligen använts av aerobiologer för att studera överlevnad av mikroorganismer i luft vid olika betingelser. Med denna kammare måste man korrigera för att aerosolen åldras och förändras

genom sedimentation och koagulation. Effekten av sedimentation kan man minska genom att ha omrörare i kammaren eller genom att använda en roterande trumma.

I dynamiska kammare använder man sig hela tiden av en färsk aerosol. I mikrobiologiska sammanhang började dynamiska kammare användas efter det att Henderson 1952 (B3) konstruerat en sådan för djurförsök. Han ville på detta sätt undvika att exponera sina djur för en åldrad aerosol. Då uppehållstiden för aerosolen i Hendersonkammaren är kort är dess användning för långtidsstudier begränsad.

En annan dynamisk kammare är vindtunneln, figur 6. Med denna kan olika vindhastigheter och turbulensnivåer simuleras.



Figur 6. Exempel på vindtunnel använd vid apparattestning. Liu BYH, Pui DYH. Aerosol sampling inlets and inhalable particles. Atmos Environ 15, 589-600, 1981.

4 Litteratururval

Litteratururvalet har skett genom sökning i databaserna Chemabs och Biosis med avseende på provtagningseffektivitet (sampling efficiency, collection efficiency, sampler characteristic, sampler evaluation) och kalibrering av provtagare (calibration/evaluation of sampler) och inlopp (inlet) till provtagare. Den har kompletterats med mikrobiologiska artiklar från FOA's referensbibliotek. Dessa artiklar är något äldre än de övriga. Totalt sett är dock mer än hälften av artiklarna yngre än 10 år och merparten av de artiklar som behandlar testning av provtagare för luftburna partiklar är från 80-talet. Den genomgångna litteraturen omfattar metoder för att testa både insamlingseffektivitet och avskiljningskarakträistik. Förutom laboratorietestning med artificiella aerosoler ingår jämförande provning med naturliga aerosoler i olika miljöer. Referenslistan har uppdelats i två delar: A-referenser som behandlar aerosolprovtagare allmänt och B-referenser omfattande provtagare för mikrobiologiska aerosoler.

5 Resultat

Den undersökta litteraturen har studerats med avseende på faktorer av betydelse vid uppbyggnad av ett testsystem: aerosolgenerering, typ av kammare (statisk eller dynamisk) och metoder för utvärdering. Redovisningen av testerna har delats upp efter typ av testaerosol (mikroorganismer eller partiklar).

5.1 Testad apparatur

Provtagarna har på olika sätt undersökts med avseende på uppsamlingsförmåga. Apparaterna redovisas i tabell 2. I de fall olika varianter av samma utrustning förekommer (ex Midget impinger, All glass impinger (AGI), capillary impinger m m) har de sammanförts under beteckningen impinger.

De flesta uppsamlingsprinciper finns representerade bland de testade apparaterna och provtagningsflödena varierar från någon liter per minut upp till 1000 liter per minut. Flera artiklar behandlar testning och utveckling av inlopp till partikelprovtagare med hänsyn till de nya provtagningsnormerna. Någon sådan test av mikrobiologiska provtagare har inte påträffats.

Tabell 2. Sammanställning av apparatur som testats med genererad aerosol.

Provtagnings-apparat	Aerosol		Antal referenser
	Mikro-organismer	Partiklar	
Andersen sampler	B:5,11,30	A:6,12.13,14	8
Slitsamplers	B:5,15,17,18 24,15	-	6
Centrifugalprovtagare	B27	B4	2
Övriga impaktorer	B14	A:6,26,28,32	5
Hirst spore trap, Rotorod	-	A6	1
Filterprovtagare	B5	A:1,11,13,20 27,31,32	8
Tvåstegsprovare	-	A:13,21,24,25, 32,33,34	7
Impinger	B:5,10,12,16, 20,21,22,23	A6	9
Cykloner/Scrubbers	B:13,26,29	A:6,19,24,25, 28,35	9
Termisk utfällare	-	A22	1
Övriga	B:9,28	A30	3
Inlopp	-	A:3,4,15,26,27,29	7

5.2 Aerosolgenerering och aerosoler

I tabell 3 redovisas de aerosolgeneratorer som använts för att alstra testaerosoler. För att generera partiklar är vibrating orifice och spinning top eller spinning disc mest använda. Motsvarande för de mikrobiologiska aerosolerna är DeVilbiss och Collison 'nebulizers'.

Tabell 3. Exempel på aerosolgeneratorer som använts vid apparattestning.

Generator	Aerosol		Antal referenser
	Mikroorganismer	Partiklar	
Nebulizers			
Collison	B:5,26,27	A:33,34	5
Vaponefrin	B:17,18,19	A26	4
DeVilbiss	B:16,21,22,23	-	4
Chicago type	B:14,25	-	2
Wells type	B24	-	1
Ultraljud	-	A22	1
Penisol	-	A31	1
Atomizers			
Diverse atomizer	B15	A25	2
Övriga			
Vibrating orifice	-	A:3,4,13,14,15, 16,17,24,30,32, 33,34	12
Spinning top	B:10,11,13,27,29	A:6,11,21,23,35	10
Spinning disc	-	B:9,12	2
Sinclair-LaMer	-	A28	1
Fluidized bed	-	A19	1
Diverse	B12	A:25,27	3

Använda mikrobiologiska aerosoler framgår av tabell 4a och övriga aerosoler av tabell 4b. Vanliga testaerosoler är oljesyra eller dioktylftalat (DOP) med tillsats av något fluorescerande ämne. Mängden kan då analyseras med fluorimeter. Bland mikroorganismer är Serratia- och Bacillusarter mest förekommande. Vid aerosolstudier med mikroorganismer föredrar man bl a av arbetsmiljöskäl att använda de som är icke sjukdomsalstrande.

Tabell 4a. Mikroorganismer som använts vid apparattestning.

Mikrobiologiska aerosoler	Referens	Antal referenser
Aerobacter aerogenes	B:11,13	2
Bacillussporer	B:9,10,12,15,17,19,20, 21,22,26,27,28,29,30	14
Chromobacterium prodigiosum	B15	1
Escherichia coli	B:12,13,22,26	4
Yersinia pestis	B24	1
Pneumococus 1	B:4	1
Serratia indica	B25	1
Serratia marcescens	B:5,9,11,13,16,17,18, 19,20,21,22,23,30	13
Staphylococcus albus	B15	1
Staphylococcus epidermis	B5	1
Streptococcus c	B14	1
Streptococcus salivarus	B15	1
Streptococcus zooepidermicus	B24	1
Övriga sporer, pollen	A:1,20	2

Tabell 4b. Aerosoler som använts vid apparattestning.

Andra Aerosoler	Referens nummer	Antal referenser
Oljesyra + uranin/flourescein	A:3,13,14,15,17,30,32	7
DOP+uranin/ fluorescein	A:4,24	2
Uranin+ bakterier	B9	2
Övriga fluorescerande	A:6,20,21,B17	4
Stearinsyra	A28	1
DOP	A:11,25	2
Metylenblått	A:33,34	2
Övriga färgämnen	B:10,12,13	3
Järnoxid	A:23,35	2
Kopparsulfat	A:33,34	2
Flygaska, koldamm	A:19,27,29	3
Utomhusaerosol	A:12,18	2
Natriumklorid	A22	1
Bakterier + kaliumjodid	B27	1
Kiselsfärer (mono-dispersa)	A1	1
Polystyren Latex	A:26,31,B4	3

5.3 Testkammare

Tabell 5 visar olika testkammare och miljöer som använts vid apparatutvärdering. Ett vanligt sätt att testa provtagare för mikrobiologiska aerosoler är jämförande studier i utomhus- eller arbetsmiljöer där man i huvudsak testat apparater som samlar upp provet på en agaryta. Tester i laboratorium med genererad aerosol har oftast utförts i statiska kammare. Där har både uppsamling på agaryta och i vätska använts.

Tabell 5. Olika testsystem som använts vid apparattestning.

Testsystem	Aerosol		Antal referenser
	Mikroorganismer	Partiklar	
Miljötestning			
- med naturlig aerosol	B:6,7,29,31,32, 33,35,36,37,38	A:12,18	12
- med genererad aerosol	-	A:6,11	2
Statiska kammare			
- utan förkammare	B:5,9,11,14,15,17, 18,19,21,22,23,25, 26,27,28,29,30	A:24,25,29	20
- med förkammare	B:16,24	-	2
Dynamiska system			
Dynamiska kammare/ system	B:4,20	A:19,21,22,23,28	7
Vindtunnlar	B:10,12,13	A:1,3,4,13,14,15, 16,17,20,26,27,29, 30,31,32,33,34	20

Provtagare för aerosoler har oftast testats med partiklar i dynamiska system, speciellt vindtunnlar. Då man bara önskat studera avskiljningseffektivitet har dynamiska system anslutits direkt till provtagarens inlopp. Vid miljöstudier har man använt en väl definierad aerosol som genererats utomhus.

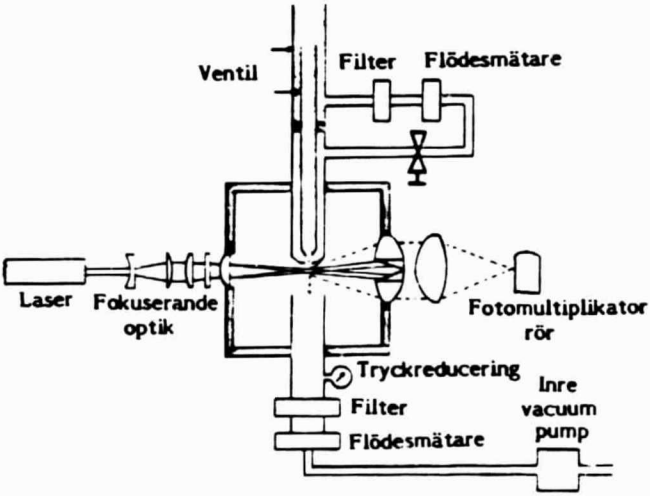
5.4 Utvärderingsmetod

Två typer av utvärderingsmetoder har använts: direktvisande, där aerosolens storleksfördelning före och efter provtagaren mäts direkt i luft, och icke direktvisande, som kräver att ett referensprov samlas upp med någon annan metod varefter mängden uppsamlad aerosol i referensprovet bestäms genom analys.

Väljer man en ospecifik aerosolgenerator som alstrar en polydispers aerosol krävs en bra direktvisande utvärderingsmetod som kan kvantifiera alla aktuella partikelstorlekar. Med detta förfarande kan man med ett försök bestämma en provtagares effektivitet för hela det intressanta storleksintervallet, dvs hela avskiljningskurvan erhålls. Exempel på apparatur för direktvisande utvärdering är partikelräknare baserade på ljusspridning (optisk partikelräknare) samt kombinerade med 'time of flight' spektrometri (Aerodynamic Particle Sizer, APS), figur 7. Med den senare erhålls aerosolens aerodynamiska storleksfördelning direkt. Optiska partikelräknare måste kalibreras med aktuell aerosol före omräkning till aerodynamisk diameter. De direktvisande metoderna har inte använts lika ofta som icke direktvisande.

Om man använder monodispersa aerosoler vid testning av provtagare är utvärderingssystemet ej så kritiskt som för polydispersa aerosoler. I detta fall tar man referensprover av aerosolen på filter med hjälp av en isokinetisk sond. Den mängd aerosol som provtagaren samlar in relateras till referensprovet och utgör effektiviteten. Vid testning med aerosoler av partiklar har man, som framgår av tabell 6a, oftast valt sådana icke direktvisande metoder. Mängden uppsamlad aerosol i proven har sedan analyserats med de metoder som presenteras i tabell 6b. Fluorescerande aerosoler har använts mest och den vanligaste analysmetoden är därför fluorimetri. För testning med monodispersa aerosoler med känd aerodynamisk diameter kan även optiska partikelräknare användas för utvärdering.

Vid testning av provtagare med mikrobiologiska aerosoler är det bara den icke direktvisande metoden som ger ett mått på avdödning. I de fall referensprover samlats har Andersen samplern ibland använts som referens, men oftast har någon annan mindre välkaraktäriserad apparat utnyttjats, tabell 6a. Analysmetod för mikroorganismer har nästan uteslutande varit odling ('viable count'), dvs bestämning av antalet levande mikroorganismer.



Figur 7. Schematisk bild av 'APS aerodynamic particle sizer'

Tabell 6a. Utvärderingsmetoder - Uttag av referensprov

Referensprovtagning	Test system	Referens	Antal referenser
Mikrobiologiska aerosoler			
Andersen-sampler	A	B:5,6,7,11,28	5
Slitsamplers	A	B:18,27,29,31 32,35,36,37,38	9
All glass impinger	A	B:13,17,19,21 22,26,29,30	8
Andra aerosoler			
Isokinetiska filter--provtagare	V	A:1,3,4,13,14 15,17,21,27, 30,32,34	12
Optiska partikelräknare	V	A:4,16,26,31	4
APS Aerodynamic particle sizer	V	A33	1

V = vindtunnel

A = Statiska system eller miljö (med naturlig aerosol)

Tabell 6b. Analysmetoder för prov uttagna med isokinetiska filterprovtagare.

Analysmetod	Referens	Antal referenser
Fluorimeter	A:3,4,13,14,15,17,30,32	8
Radioaktivitet	A1	1
Spektrofotometri	A34	1
Vägning	A27	1

5.5 Sammanställning

En översikt över vilka tester som utförts på provtagare för mikrobiologiska aerosoler finns i tabellerna 7 och 8. De miljöer som använts för testning av respektive apparat samt vilken referens som använts presenteras i tabell 7. Tester med genererad aerosol i kammare är sammanställda i tabell 8. I denna tabell anges om partikel-eller mikroorganismaerosol använts samt om insamlings- och/eller avskiljningseffektivitet testats. Vid test i vindtunnel anges också om testen utförts med olika vindhastigheter.

Tabell 7. Sammanställning av apparater testade i olika miljöer med naturlig respektive genererad aerosol.

Apparat	Referens provtagare	Miljö	Referens
Naturlig aerosol			
Andersen sampler	Low volume sampler	Utomhus	A12
Andersen sampler 1 steg	Andersen sampler	Utomhus	B7
BIAP sampler	Casella MK2 slitsampler	Operationssal	B36
RCS	Mattson-Garvin, Slit to agar air sampler	Mikrobiol. laboratorium	B37
RCS	Slit to agar sampler	Div lokaler	B38
Microbial single stage air sampler	Andersen sampler	Slakteri	B31
Membranfilter	Reyniers slitsampler	Lab mm	B32
Sedimentationsplattor filter, Andersensampler	-	Djurhus	B33
Cyklon sampler	Andersen sampler	Utomhus	B6
Large volume liquid scrubber	ACI	Utomhus	B29
Elektrostatisk luft-provtagare för bakterier	Bourdillon slitsampler	Utomhus	B35
Genererad aerosol			
Andersensampler, Impaktor, Filter, Pre-impinger, MLI, Cyklon sampler Rotorod, Hirst spore trap	Isokinetisk sond	Utomhus	A6

Tabell 8. Sammanställning av apparattester och testsystem med genererade aerosoler av mikroorganismer (mo) och partiklar (p).

Testad apparat	Referens-apparat	Aero-sol mo	Aero-sol p	Av-skilj-ning	Vägg-för-lust	Test av in-lopp	Vind-test	Vind-tunnel	Annat dyna-miskt system	Refe-renser
Andersen	AGI-3	x	x	-	x	-	-	-	-	B30
Modifierad Andersen	Andersen sampler	x	x	x	x	x	-	-	-	B11
Bourdillon slitsampler	Wells centrifug	x	-	-	x	-	x	-	-	B15
Slitsampler	Sieve type sampler	x	-	-	-	-	-	-	-	B25
Slitsampler		x	-	-	-	-	-	-	-	B24
Slitsampler filter impinger	Andersen sampler "	x	-	-	-	-	-	-	-	B5
Slit incubator sampler	slitsampler	x	-	-	-	-	-	-	-	B18
RCS	Bourdillon slitsampler	x	x	x	-	-	-	-	-	B27
RCS		-	x	x	-	-	-	-	x	B4
Single stage impactor	Kaskad impaktor + preimpinger	x	x	-	x	x	-	-	-	B9
Agar drum sampler	Andersen	x	-	-	-	-	-	-	-	B28
5 kaskade impaktor	Folin bubbler	x	-	-	-	-	-	-	-	B14
Impingers	Porton impinger	x	-	-	-	-	-	-	x	B20
Impingers	AGI	x	-	-	-	-	-	-	-	B21, 22,23
Preimpinger	Casella kaskad impaktor	x	x	x	x	x	x	x	-	B10
Critical orifice liquid impinger		x	-	-	-	-	-	-	-	B16
Multistage liquid impinger		x	x	x	-	x	x	x	-	B12
Cyklon	Litton large volume sampler kaskad impaktor	x	-	-	x	-	-	-	-	B26
Large volume liquid scrubber	Cotton sampler AGI	x	-	-	-	-	-	-	-	B29
Modified large volume sampler	AGI 30	x	x	x	-	x	x	x	-	B13
Multislit large volume air sampler	AGI-30	x	-	-	-	-	-	-	-	B17
Electrostatic precipitator LVAS	AGI-30	x	-	-	-	-	-	-	-	B19

6 Diskussion

6.1 Provtagningsapparater

Provtagningsapparaterna för mikrobiologiska aerosoler använder olika principer för uppsamling av aerosolen. Endast vissa apparater ger en storleksfördelning (punkt 3.3).

Den mest intressanta faktorn ur hälsosynpunkt är antalet luftburna mikroorganismer med partikelstorlek motsvarande 'thoracic' fraktion. Detta innebär att det är viktigt att både känna till storleken på de partiklar som bär mikroorganismerna i luft samt antalet mikroorganismer. Provtagare som samlar på agaryta ger resultatet i antal kolonibildande enheter. När flera luftburna mikroorganismer är fästade på samma partikel, eller när de förekommer som aggregat ger varje partikel (aggregat) upphov till en koloni på agarytan, 'cfu = colony forming unit'. Detta kan innebära en underskattning av totala antalet i luft. Vid uppsamling i vätska däremot separeras partikeln och mikroorganismerna varför denna uppsamlingsprincip borde ge ett mer rättvisande mått på totala antalet. Det bästa sättet att provta för att undersöka hälsoeffekter borde då vara att använda en provtagare som är försedd med föravskiljare och som samlar provet i vätska. Partikelstorleken på de kolonibildande enheterna, aggregat eller partiklar som bär mikroorganismer, kan lämpligen bestämmas med en Andersen-sampler.

6.2 Testsystem

Provtagningsapparaterna för mikrobiologiska aerosoler har, som framgått av den tidigare texten, testats i utomhus- och arbetsmiljöer eller i statiska kammare. Test i fält är enkelt att utföra genom att man använder befintlig aerosol. Eftersom aerosolen är okänd och varken konstant eller homogen är metoden olämplig för karaktärisering av apparatur. Dessutom varierar partikelstorleksfördelningen och sammansättningen på mikroorganismfloran bl a på grund av aktivitet och ventilation. Provtagaren bör karaktäriseras i ett definierat aerosolsystem. Därefter är det viktigt att studera totala insamlingseffektiviteten hos olika apparater med en naturlig aerosol i fält.

I statiska kammare arbetar man med en genererad aerosol till skillnad mot testningar i miljö. Resultaten kan vara svårtolkade p g a att det är svårt att få en jämn aerosolfördelning. Partikelstorlekar och halter varierar även med tiden. Aerosolen är stillastående och det saknas möjlighet att testa olika vindhastigheters inverkan på apparatens insamlingsförmåga.

Med dynamiska system är det lättare att hålla aerosolens storleksfördelning konstant eftersom man arbetar med en aerosol som genereras kontinuerligt. Det är även lättare att tillse att aerosolen är homogen. I en vindtunnel kan både insamlings- och avskiljningseffektivitet testas med olika vindhastigheter, vindriktningar och turbulensnivåer. Systemet är dock mer komplicerat att bygga upp och använda än ett statiskt.

Ett fåtal apparater har testats både i miljö och i aerosolsystem. Ett exempel är Reuter centrifugal sampler där aerosolen samlas på fast odlingsmedium. Denna apparat har testats i två olika miljöer, tabell 7. I båda fallen har den jämförts med slitsamplers och har visat signifikant högre insamlingsförmåga än referensapparaten. I ett dynamiskt testsystem där avskiljningsförmågan (B4) bestämts har man funnit att partiklar av storlek 1 µm passerar provtagaren. I artikeln rekommenderas att apparaten ej bör väljas vid kvantitativa mätningar av mikrobiologiska aerosoler. Man kan således erhålla motstridiga uppgifter beroende vilken testmetod som använts.

Ett annat exempel är Andersen-samplern som är testad både i miljö och i vindtunnel. I en miljö (B5) finner man högre uppsamlingsförmåga hos Andersen än all-glass-impingern medan man i en annan miljö finner det motsatta förhållandet (B6). I en tredje (A12) finner man god överensstämmelse mellan Andersen-samplern och en 'low volume' provtagare, försedd med cyklonföravskiljare. Jämförelse mellan provtagning med stående Andersen-sampler och liggande mot vindriktningen (A6,B7) visar på högre insamlingseffektivitet med det senare arrangemanget. Impaktorn är också testad i vindtunnel (A13,A14) och man har funnit att insamlingseffektiviteten är reducerad redan för partiklar omkring 5 µm storlek. Detta beror i huvudsak på väggförluster i de översta stegen och

kan reduceras om dessa modifieras. Genom att förse impaktorn med en föravskiljare (all-weather-sampling-inlet) blir provtagningseffektiviteten, inom vissa gränser, oberoende av vindhastighet, vindriktning och turbulensnivå (A14).

6.3 Utvärderingsmetod

Vilken analysmetod som kan användas beror på vilken typ av aerosol som genereras. En ospecifik genereringsmetod (polydispers aerosol) kräver en direktvisande analysmetod som ger en storleksfördelning som resultat. Används en specifik genereringsmetod (monodispers aerosol) kan ett ospecifikt analyssystem användas (punkt 5.4). Den direktvisande metoden är att föredra då den i ett försök ger hela avskiljningskurvan så att alla punkter på kurvan kan hänföras till exakt samma betingelser, vilket minimerar försökssprídningen. Metoden är också snabbare än den icke-direktvisande eftersom flera partikelstorlekar kan testas samtidigt. Eftersom resultatet bör uttryckas i aerosolens aerodynamiska diameter är den snabbaste av de direkta mätmetoderna baserad på APS. Att den hittills inte använts i så hög grad vid apparattestning kan bero på den höga investeringskostnaden samt att den är ganska ny på marknaden.

Vid de mikrobiologiska testerna har oftast en, inte alltid välkaraktäriserad, provtagare använts som referens. Som analysmetod har man oftast valt 'viable count', dvs odling och räkning av kolonier (levande mikroorganismer). Detta kan ge missvisande resultat eftersom de olika apparaterna samlar in organismerna olika skonsamt och en avdödning kan tolkas som oförmåga att samla in aerosolen. I dessa fall bör både totala antalet och antalet levande bestämmas för att både få ett värde på insamlad aerosol och på avdödningsgraden vid insamling. I en del fall har man använt sig av Bacillus sporer som spårorganismer för att dessa inte avdödas lika lätt som den växande testorganismen. Beroende på att storlek och form på sporen inte alltid är lika som hos testorganismen (B8) kan de ha olika aerodynamiska egenskaper.

7 Slutsatser

7.1 Testbehov

Endast några få provtagare för mikrobiologiska aerosoler som Andersen-samplern, multi-stage-liquid-impingern och vissa impingers är någorlunda väl undersökta.

Andersen-samplerns avskiljningskarakteristik har undersökts av Flesch et al (A36). Wedding, McFarland och Cermak (A13) har undersökt total effektivitet och väggförluster i vindtunnel (A13) med vindhastigheter mellan 1.5 - 4.6 m/s. Preimpingern har testats i vindtunnel av May (B10) där total insamlingseffektivitet har bestämts vid olika vindhastigheter, 0.9 - 6.7 m/s, liksom avskiljningseffektivitet och väggförluster. May (B12) har också studerat multi-stage-liquid-impingern med avseende på avskiljningseffektivitet. Den totala insamlingseffektiviteten har också bestämts i vindtunnel vid olika vindhastigheter, 0.9 - 6.7 m/s. Large volume sampler har testats i vindtunnel med bakterier vid enbart en vindhastighet av White et al (B13).

För övriga provtagare finns ett behov att testa insamlings- och avskiljningseffektivitet i ett väldefinierat testsystem samtidigt som man också bestämmer avdödning av mikroorganismer vid insamling. Ett försummat område är att systematiskt testa inloppets förmåga att samla in olika partikelstorlekar med varierande vindhastigheter, vindriktningar och turbulensnivåer. En naturlig följd av sådana tester är att anpassa provtagarna till internationell provtagningsstandard.

7.2 Rekommenderad testmetod

Testkammare. Som framgår av punkt 3.4 och 6.2 är en vindtunnel att föredra, eftersom man då har möjlighet att fullständigt karaktärisera provtagaren. Vindtunneln bör vara utförd i sådant material att rengöring och desinfektion underlättas.

Aerosol. Man bör inledningsvis testa provtagarna med andra aerosoler än mikrobiologiska. Det är emellertid viktigt att också testerna utförs med mikroorganismer samt mikroorganismer tillsammans med partiklar eftersom:

- partiklars och mikroorganismers aerodynamiska egenskaper kan skilja sig åt,
- det är viktigt att efterlikna de naturliga aerosolerna i olika miljöer,
- mikroorganismers överlevnad beror på hur provinsamlingen sker,
- partiklars och mikroorganismers laddning och benägenhet att fastna på ytor kan skilja sig åt.
- olika vätskors uppsamlingseffektivitet kan testas. Lämpliga mikroorganismer för dessa studier är exempelvis bakterier och virus.

Utvärdering. För utvärderingen är en direktvisande metod bäst beroende på att den ger möjlighet att testa många provtagare under rimlig tid. Metoden har också, som tidigare påpekats, högre säkerhet än de icke-direktvisande.

Vid bestämning av andelen överlevande mikroorganismer i insamlat prov väljs 'viable count' tillsammans med bestämning av totala antalet t ex i mikroskop.

8 Tack till medarbetare

För värdefulla synpunkter tackar vi Mats Ahlberg och Roger Roffey. Elisabet Johansson har assisterat med utformningen av figurer. Omslagsbilden har tagits av Lenore Johansson i elektronmikroskop.

9 Referenser

A. Aerosolprovtagare allmänt:

A1 Pattenden N J, Wiffen R D, The particle size dependence of the collection efficiency of an environmental aerosol sampler, Atmos Environ 11, 677-681, 1977.

A2 Agarwal J K, Lieu B Y H, A criterion for accurate aerosol sampling in calm air, Am Ind Hyg J, 41, 191-197, 1980.

A3 Wedding J B, Ambient aerosol sampling, History, present thinking and a proposed inlet for inhalable particles, Environ Sci Techn, 16, 3, 154-161, 1982.

A4 Liu B Y H, Pui D Y H, Aerosol sampling inlets and inhalable particles, Atmos Environ, 15, 589-600, 1981.

A5 Tufto P Å, Willeke K, Sampling efficiency of particulate sampling inlets, Presenterat vid 'Aerosols in Science, Medicine and Technology', Duisburg, 1981.

A6 May K R, Pomeroy N P, Hibbs S, Sampling techniques for large windborne particles, J Aerosol Sci, 7, 53-62, 1976.

A7 Size definitions for particle sampling, ISO TC 146, Am Ind Hyg J, 42, A64-68, 1981.

A8 'Airborne Particles', University Park Press 1979.

A9 'Fine particles', sid 60-110, Editor B Y H Liu, Academic Press 1976.

A10 'Generation of aerosols and facilities for exposure experiment', sid 3-29, Editor K Willeke, Ann Arbour Science, 1980.

A11 Hofschreuder P, Vrins E, van Boxel J, Sampling efficiency of aerosol samplers for large windborne particles - a preliminary report, J Aerosol Sci, 14, 65-68, 1983.

A12 Mizohata A, Mamuro T, Comparison of the collection efficiency of a low volume air sampler and an Andersen air sampler, Annual Report of the Radiation Center of Osaka Prefecture, 18, 1-7, 1977.

A13 Wedding J B, McFarland A R, Cermak J E, Large particle collection characteristics of ambient aerosol samplers, Environ Sci Technol, 11, 387-390, 1977.

A14 McFarland A R, Wedding J B, Cermak J E, Wind tunnel evaluation of a modified Andersen impactor and an all weather sampler inlet, Atmos Environ, 11, 535-539, 1977.

A15 McFarland A R, Ortiz C A, A 10 µm cutpoint ambient aerosol sampling inlet, Atmos Environ, 16, 12, 2959-2965, 1982.

A16 Tufto P Å, Willeke K, Dynamic evaluation of aerosol sampling inlets, Environ Sci Technol, 16, 9, 607-609, 1982.

A17 Wedding J B, Welgand M A, Carney T C, A 10 µm cutpoint inlet for the dichotomous sampler, Environ Sci Technol, 16, 9, 602-606, 1982.

A18 Shaw Jr R W, Stevens R K, Lewis C W, Chance J H, Comparison of aerosol sampler inlets, Aerosol Sci Techn, 2, 53-67, 1983.

A19 Parker R, Jain R, Calvert S, Drehmel D, Abbott J, Particle collection in cyclones at high temperatures and high pressure, Environ Sci Technol, 15, 4, 451-458, 1981.

A20 Raynor G S, Variation in entrance efficiency of a filter sampler with air speed, flow rate, angle and particle size, Am Ind Hyg Ass J, 31, 294-300, 1970.

A21 Ettinger H J, Partridge J E, Royer G W, Calibration of two stage air samplers, Am Ind Hyg J, 5, 537-545, 1970.

A22 Yamada Y, A New method for the determination of collection efficiency of an aerosol sampler by electron microscopy, Atmos Environ, 17, 2, 369-372, 1983.

A23 Salzman B E, Hochstrasser J M, Design and performance of miniature cyclones for respirable aerosol sampling, Environ Sci Technol, 17, 7, 418-424, 1977.

A24 Forney L J, Ravenhall D G, Lee S S, Experimental and theoretical study of a twodimensional virtual impactor, Environ Sci Technol, 16, 8, 492-497, 1982.

A25 Vaughan N P, Personlig kommunikation.

A26 Stern S C, Zeller H W, Schekman A I, Collection efficiency of jet impactors at reduced pressures, I & E C Fundamentals, 1, 4, 273-277, 1962.

A27 Dupoux J, Charuau J, Effects of wind velocity, rate of suction and particle density and size on the collection efficiency of a dust sampling system, Presenterad vid 12 th Atmos Pollut Proc Int Colloq, 1976.

A28 Formignani M, Melandri C, Taroni C, Prodi V, De Zaiacomo T, Lombardi C C, A calibration apparatus for aerosol samplers, Technical Report CNEN - RT/PROT(82)4.

A29 Bowman J D, Smith J P, Performance expectations for dust sampling, Ann Am Conf Gov Ind Hyg, 1, 291-301, 1981.

A30 McFarland A R, Ortiz C A, Rodes C E, Windtunnel evaluation of the Brittish smoke shade sampler, Atmos Environ, 16, 2, 325-328, 1982.

A31 Stafford R G, Ettinger H J, Filter efficiency as a function of particle size and velocity, Atmos Environ, 6, 353-362, 1972.

A32 McFarland, Ortiz C A, Rodes C E, Characteristics of aerosol samplers used in ambient air monitoring, Presenterat vid 86th National Meeting American Institute of Chemical Engineers.

A33 Hansson H-C, Outdoor environmental studies using particle induced X-ray emission analysis, Akademisk avhandling vid LTH 1983.

A34 Bogard M, Particle induced X-ray emission analysis and complementary techniques for examination of aerosols in the environment of industrial workers, Akademisk avhandling vid LTH, 1983.

A35 Lippman M, Kydonieus A, A multistage aerosol sampler for extended sampling intervals, Am Ind Hyg Ass J, 31, 6, 730-737. 1970.

A36 Flesch J P, Norris C H, Nugent Jr A E, Calibrating particulate air samplers with monodisperse aerosols: applications to the Andersen cascade impactor, Am Ind Hyg Ass J, 6, 507-516, 1967.

B. Provtagare för mikrobiologiska aerosoler:

B1 Henningson E, Sammanställning av apparatur och metodik för provtagning och analys av luftburna mikroorganismer, FOA rapport C 40131-B1, mars 1981.

B2 Blomqvist G, Bovalius Å, Bucht B, Häggström B och Möller Å L, Provtagning av mikroorganismer i luft, Arbete och Hälsa 1983:4.

B3 An introduction to experimental aerobiology Wiley Interscience, NY 1969, Editors Dimmick R L, Akers A B.

B4 Macher J M and First M W Reuter Centrifugal air sampler: Measurement of effective airflow rate and collection efficiency, Appl Environ Microbiol, 45, 6, 1960-1962, 1983.

B5 Lundholm I M, Comparison of methods for quantitative determinations of airborne bacteria and evaluation of total viable counts, Appl Env microbiol, 44, 1, 179-183, 1982.

B6 Henningson E, Roffey R, and Bovallius Å, A comparative study of apparatus for sampling airborne microorganisms, Grana, 20, 155-159, 1980.

B7 Solomon W R, A simplified application of the Andersen sampler to study airborne fungus particles, J Allergy, 45, [illegible]-13, 1970.

B8 Bergey's manual of determinative bacteriology, Ed Holt J G, 1977.

B9 Malligo J E and Idoine L S, Singlestage impaction device for particle sizing biological aerosols, Appl microbiol, 12, 1, 32-36, 1964.

B10 May K R and Druett H A, The preimpinger a selective aerosol sampler, Br J Industr Med, 10, 142-151, 1953.

B11 May K R, Calibration of a modified Andersen bacterial aerosol sampler, Appl microbiol, 12, 1, 37-43, 1964.

B12 May K R, Multistage liquid impinger, Bact rev, 30, 3, 559-570, 1966.

B13 White L A, Hadley D J, Davids D E, and Naylor R, Improved largevolume sampler for the collection of bacterial cells from aerosol, Appl microbiol, 29, 3, 335-339, 1975.

B14 Sonkin L S, Application of the cascade impactor to studies of bacterial aerosols, Am J Hyg, 51, 319-342, 1950.

B15 Bourdillon R B, Lidwell O M and Thomas J C, A slit sampler for collecting and counting airborne bacteria, J Hyg, 41, 1, 97-224, 1942.

B16 Cown W B, Kethley T W and Fincher E L, The critical orifice liquid impinger as a sampler for bacterial aerosols, Appl microbiol, 5, 119-124, 1957.

B17 Buchanan L M, Decker H M, Frisque D E, Phillips C R and Dahlgren C M, Novel multislit largevolume air sampler, Appl Microbiol, 16, 8, 1120-1125, 1968.

B18 Decker H M, Kuehne R W, Buchanan L M, and Porter R, Design and evaluation of a slitincubator sampler, Appl microbiol, 6, 398-400, 1958.

B19 Decker H M, Buchanan L M, Frisque D E, Filler M E, Dahlgren C M, Advances in largevolume air sampling, Con: Contr Mag 1969 august.

B20 May K R and Harper G J, The efficiency of various liquid impinger samplers in bacterial aerosols, Brit J Industr Med, 14, 287-297, 1957.

B21 Tyler M E and Shipe E L, Bacterial aerosol samplers, I Development and evaluation of the all glass impinger, Appl Microbiol, 7, 337-349, 1959.

B22 Shipe E L,Tyler M E and Chapman D N, Bacterial aerosol samplers, II Development and evaluation of the Shipe sampler, Appl Microbiol, 7, 349-354, 1959.

B23 Tyler M E, Shipe E L and Painter R B, Bacterial aerosol samplers, III Comparison of biological and physical effects in liquid impinger samplers, Appl Microbiol, 7, 355-362, 1959.

B24 Goldberg L J and Shechmeister I L, Studies on experimental epidemiology of respiratory infections, V Evaluation of factors related to slit sampling of airborne bacteria, J inf Dis, 88, 243-247, 1959.

B25 Decker H M and Wilson M E, A slit sampler for collecting airborne microorganisms, Appl Microbiol, 267-269, 1954.

B26 Errington F P and Powell E O, A cyclone separator for aerosol sampling in the field, J Hyg Camb, 67, 387-399, 1969.

B27 Clark S, Lach V, and Lidwell O M, The performence of the biotest RCS centrifugal air sampler, J Hosp Inf, 2, 181-186, 1981.

B28 Andersen A A and Andersen M R, A monitor for airborne bacteria, Appl microbiol, 10, 181-184, 1962.

B29 Buchanan L M, Harstad J B, Phillips J C, Lafferty E, Dahlgren C M and Decker H M, Simple liquid scrubber for large volume air sampling, Appl Microbiol, 23, 6, 1140-1144, 1972.

B30 Andersen A A, New sampler for the collection, sizing and enumeration of viable airborne particles, J Bact, 76, 471-484, 1958.

B31 Kotula A W, Guilfoyle J R, Emswiler B S and Pierson M D, Comparison of single and multiple stage sieve samplers for airborne microorganisms, J Food Prot, 41, 6, 447-449, 1978.

B32 Fields N D, Oxborrow G S, Puleo J R and Herring C M, Evaluation of membrane filter field monitors for microbiological air sampling, Appl Microbiol, 27, 3, 517-520, 1974.

B33 Johnston J R, Butchart A M, and Kgamphe S J, A comparison of sampling methods for airborne bacteria, Env Res, 16, 279-284, 1978.

B34 Pady S M and Kapica L, Fungi in airmasses over Montreal during 1950 and 1951, Can J Bot, 1, 34, 1-15, 1956.

B35 Tjade O H and Gabor I, Evaluation of airborne operating room bacteria with a BIAP slitsampler, J Hyg Camb, 84, 37-40, 1980.

B36 Placencia A M, Peeler J T, Oxborrow G S, and Danielson J W, Comparison of bacterial recovery by Reuter Centrifugal Air Sampler and slit-to-agar sampler, Appl Environ Microbiol, 44, 2, 512-513, 1982.

B37 Delmore R P,Jr, Corosa P A, Piscia P and Thompson W N, Evaluation of the microbiological sampling efficiency of a centrifugal airsampling device, Dev Ind Microbiol, 22, 617-626, 1981.

OMSLAG	Foto Lenore Johansson	
Framsida:	Flygaska och bakterier	x 12 500
Baksida:	svamp	x 3 400
	alg	x 6 800
	jäst	x 15 000