



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



Rapport

R77:1988

^R
**Bakterieavgivning från
luftfuktare**

**Ove Strindehag
Ingmar Josefsson**

INSTITUTET FÖR
BYGGDOKUMENTATION

Accnr ^{R/TL}

Plac Ser

Byggeforskningsrådet

R77:1988

BAKTERIEAVGIVNING FRÅN LUFTFUKTARE

Ove Strindehag
Ingmar Josefsson

VA NYTT

42 573

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
841292-5 från Statens råd för byggnadsforskning
till Fläkt Evaporator AB, Jönköping.

REFERAT

I denna rapport redovisas en undersökning av olika provmetoder för att bestämma bakterieavgivningen från luftfuktare av det slag som används i luftbehandlingssystem. Speciellt har undersökningen inriktats på att bestämma bakterieavgivningen från lufttvättare och fördunstare.

Bakterieavgivningen från de nämnda luftfuktarna har undersökts genom att tillsätta kända halter av bakterien *Pseudomonas aeruginosa* till fuktarvattnet. Bakteriehålden i den uppfuktade luften har härvid bestämts genom provtagning med Andersen-sampler, impinger (AGI-30) och cyklon-sampler. De mest tillförlitliga resultaten har erhållits då provtagningen skett med cyklon-sampler. Genom att tillsätta polystyrenpartiklar, med en diameter av 2 μm , till fuktarvattnet har även bakterieavgivningen från fuktarna simulerats.

Med ledning av de mätvärden som erhållits med cyklon-samlern har överföringsfaktorn, dvs förhållandet mellan bakteriehålden i den uppfuktade luften och bakteriehålden i fuktarvattnet, kunnat bestämmas. För lufttvättaren (som är försedd med dubbla droppavskiljare) har en överföringsfaktor av ca 10^{-7} erhållits. Motsvarande värde för fördunstaren uppgår till ca $5 \cdot 10^{-10}$ utan droppavskiljare. Dessa värden stämmer rätt väl med de värden på överföringsfaktorn för plastpartiklar som erhållits vid mätningar med en optisk partikelräknare. De prov som genomförts med en modifierad fördunstare visar att det är möjligt att sänka partikel- och bakterieavgivningen ytterligare genom enkla konstruktionsändringar.

I Bygghälsningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

Denna skrift är tryckt på miljövänligt, oblegt papper.

R77:1988

ISBN 91-540-4944-X
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

INNEHÅLL

SAMMANFATTNING	4
1 INLEDNING	7
2 PROVENS UPPLÄGGNING	9
2.1 Målsättning	9
2.2 Utvärdering av provmetoder	9
2.3 Val av provobjekt	10
2.3.1 Principer för fuktning av luft	10
2.3.2 Bakterieavgivning	11
2.3.3 Lufttvättare (dysfuktare)	12
2.3.4 Fördunstare (insatsfuktare)	13
2.4 Laboratorielokal	14
3 PROVUTRUSTNING	17
3.1 Provrigg för lufttvättare	17
3.2 Provrigg för fördunstare	19
3.3 Mätapparatur	21
3.3.1 Optisk partikelräknare	21
3.3.2 Membranfilter	21
3.3.3 Andersen-sampler	22
3.3.4 Impinger	23
3.3.5 Cyklon-sampler	24
4 PARTIKELMÄTNINGAR	25
4.1 Simulering av bakterieavgivning	25
4.2 Bakgrundshalt av partiklar	26
4.3 Prov med plastpartiklar	27
4.3.1 Mätningar med partikelräknare	27
4.3.2 Uppsamling på membranfilter	28
4.4 Överföringsfaktor	29
5 BAKTERIEMÄTNINGAR	31
5.1 Val av testbakterier	31
5.2 Bakteriehalter i fuktatvatten	31
5.3 Provtagning med Andersen-sampler	33
5.4 Provtagning med impinger	37
5.5 Provtagning med cyklon-sampler	39
5.6 Jämförelse mellan provmetoder	39
6 TIDIGARE UNDERSÖKNINGAR	43
6.1 Egna laboratorieprov	43
6.2 Rapporterade laboratorieprov	43
6.3 Rapporterade fältprov	44
7 SLUTSATSER	47
BILAGA 1 Fuktningsgrad	49
BILAGA 2 Data för lufttvättare KDQS	50
BILAGA 3 Data för fördunstare KDQA	51
BILAGA 4 Mätpunkternas placering	53
LITTERATUR	55

SAMMANFATTNING

Föreliggande undersökning har avsett att leda fram till provmetoder för att bestämma bakterieavgivningen från luftfuktare av det slag som används i luftbehandlingssystem. Speciellt har undersökningen inriktats på att med olika metoder bestämma bakterieavgivningen från två vanligen förekommande typer av luftfuktare, nämligen lufttvättare och fördunstare. Dessa båda typer av fuktare arbetar enligt helt olika principer och har mycket olika egenskaper med avseende på bakterieavgivningen.

I den provade lufttvättaren avges vattnet i droppform via dysor under högt tryck, medan vattnet i den provade fördunstaren avges genom avdunstning från våta kontaktblock. Eftersom vattnet avges i droppform i lufttvättaren överförs även en del av de partiklar och bakterier som finns i fuktarvattnet till den uppfuktade luften. Motsvarande överföring bör däremot vara mycket låg i luftfuktare av fördunstartyp.

Bakterieavgivningen från de nämnda luftfuktarna har undersökts genom att tillsätta kända halter av bakterien *Pseudomonas aeruginosa* till fuktarvattnet. Olika mätmetoder för att bestämma bakteriehalten i den uppfuktade luften har härvid jämförts. Provtagning har således skett såväl med Andersen-sampler, impinger (AGI-30) som med cyklon-sampler.

Genom att tillsätta sfäriska polystyrenpartiklar, med en diameter av 2 μm , till fuktarvattnet har även ett antal prov utförts med avsikt att simulera bakterieavgivningen från de båda luftfuktarna. Partikelhalten i den uppfuktade luften har vid dessa prov i regel bestämts med hjälp av en optisk partikelräknare, men vid några prov även genom uppsamling på membranfilter eller provtagning med cyklon-sampler. Den luft som tillförts fuktarna i samband med partikelmätningarna har renats mycket effektivt, i vissa fall med hjälp av mikrofilter.

Vid bakterieproven har de mest tillförlitliga mätresultaten erhållits då provtagningen skett med hjälp av cyklon-sampler. De bakteriehalter som uppmätts vid provtagning med impinger uppvisar relativt stor spridning och är i genomsnitt lägre än de halter som uppmätts vid provtagning med cyklon-sampler. Även de mätvärden som erhållits vid provtagning med Andersen-sampler uppvisar stor spridning.

De prov som genomförts i samband med att plastpartiklar tillförts fuktarvattnet har visat att partikelmätningarna lämpligen kan utföras med en optisk partikelräknare. Halten av plastpartiklar kan då snabbt bestämmas, förutsatt att bakgrundshalten av andra partiklar är låg. Om partiklarna uppsamlas på membranfilter och räknas i ljusmikroskop kan man tillåta högre bakgrundshalter, men metoden är mycket tidskrävande.

Med ledning av de bakteriehalter som uppmätts vid provtagning med cyklon-sampler har överföringsfaktorn, definierad som förhållandet mellan bakteriehalten i den uppfuktade luften och bakteriehalten i fuktarvattnet, kunnat bestämmas. För den provade lufttvättaren (som är försedd med dubbla droppavskiljare) har en överföringsfaktor av ca 10^{-7} erhållits vid en fuktningensgrad av omkring 90 %. Motsvarande värde för den provade fördunstaren uppgår till ca $5 \cdot 10^{-10}$ utan droppavskiljare. Dessa värden stämmer rätt väl överens med de värden på överföringsfaktorn för plastpartiklar som erhållits vid mätningarna med den optiska partikelräknaren.

Prov har även utförts med en modifierad fördunstare. Genom en mindre konstruktionsändring har avgivningen av partiklar och bakterier kraftigt kunnat reducerats utan att droppavskiljare behövt användas. Enligt provet med plastpartiklar är överföringsfaktorn för den modifierade fördunstaren mindre än ca $5 \cdot 10^{-12}$, vilket innebär att partikelavgivningen kan anses praktiskt taget försumbar.

Några jämförelser har också gjorts med publicerade resultat från tidigare genomförda undersökningar av luftfuktare. I allmänhet har låga bakteriehalter uppmätts i den uppfuktade luften vid dessa undersökningar, trots relativt höga bakteriehalter i fuktarvattnet. De fuktare av fördunstartyp som undersökts har oftast inte gett någon nämnvärd förhöjning av luftens bakteriehalt.

1 INLEDNING

I byggnader där den tillförda luften uppfuktas kan mikroorganismer i vissa fall ge upphov till hälsoproblem. Ofta sammanhänger detta med att mikroorganismer avges från de luftfuktare som ingår i luftbehandlings-systemet. Kondensvatten som ansamlats i tilluftskanalerna efter luftfuktarna kan också förorsaka tillväxt av mikroorganismer och ge förhöjda halter i inomhusluften.

De hälsoproblem som sätts i samband med luftfuktare orsakas i allmänhet av bakterier. Problemen uppträder oftast i form av feberreaktioner, som dessbättre är av kortvarig natur. Normalt leder besvären ifråga inte heller till framtida men. Sjukdomstillståndet brukar kallas måndagsfrossa eller luftfuktarfeber. Eftersom problemen har varit jämförelsevis ofta förekommande i tryckerier är tryckerifrossa också en vanlig benämning.

När bakteriavgivningen från luftfuktare orsakat hälsoproblem har detta i regel berott på att vattnet i fuktarna haft mycket hög bakteriehalt och att vattnet avgetts i droppform. Risken för spridning av bakterier är följaktligen starkt beroende av vilket slag av luftfuktare som används och under vilka betingelser som fuktaren arbetar. Om vattnet i en luftfuktare recirkuleras gynnar detta tillväxten av bakterier. En annan orsak till att bakterier snabbt tillväxer i fuktarvattnet kan vara att den luft som tillförs fuktaren innehåller höga halter av organiskt damm.

Föreliggande undersökning har avsett att leda fram till provmetoder för att bestämma bakterieavgivningen från luftfuktare av det slag som är vanliga i luftbehandlingssystem. Om man kan komma fram till enkla och tillförlitliga provmetoder underlättas valet av luftfuktare. Tillgång till lämpliga provmetoder gör det också möjligt att förbättra luftfuktarnas konstruktion med avseende på bakterieavgivningen.

Att jämföra olika metoder att mäta bakteriehalten i den uppfuktade luften har varit en viktig uppgift inom projektet. För- och nackdelarna hos dessa metoder har härvid utvärderats vid laboratorieprov med två olika typer av luftfuktare. Hur stor andel av bakterierna i fuktarvattnet som överförs till den uppfuktade luften har också undersökts i detta sammanhang. En motsvarande undersökning har även gjorts i de fall bakterieavgivningen från fuktarna simulerats genom att fasta partiklar doserats till fuktarvattnet.

Att utföra fältprov har inte ingått i projektets målsättning, men de erfarenheter som vunnits vid laboratorieproven är till viss del tillämpliga även vid fältprov i befintliga luftbehandlingssystem.

Arbetet inom projektet har fortlöpande följts av en i samråd med BFR tillsatt referensgrupp. Denna har bestått av:

- Docent Carl-Johan Göthe, Yrkesmedicinska kliniken, Södersjukhuset, Stockholm
- Tekn.lic. Eva Henningson, FOA, Avd. 4, Umeå
- Överläkare Karl-Erik Myrbäck, Hygiensektionen, Södersjukhuset, Stockholm
- Tekn.lic. Åke Möller, Cogito Consult AB, Ängelholm
- Laborator Lars Olander, Arbetsmiljöinstitutet, Solna

De bakteriemätningar som ingått i undersökningen har utförts av personal från FOA i Umeå och Södersjukhuset i Stockholm.

2 PROVENS UPPLÄGGNING

2.1 Målsättning

Forskningsprojektets huvudsakliga målsättning har varit att få fram lämpliga provmetoder som kan användas för att bestämma bakterieavgivningen från olika slag av luftfuktare. En viktig uppgift inom projektet har varit att jämföra olika metoder att mäta bakteriehalten i den uppfuktade luften. Att finna metoder att simulera bakterieavgivningen från luftfuktare har varit en annan viktig deluppgift.

Ett led i den angivna målsättningen har varit att försöka bestämma olika luftfuktarens överföringsfaktor, d.v.s. förhållandet mellan bakteriehalten i den uppfuktade luften och bakteriehalten i fuktarvattnet. Med kännedom om överföringsfaktorn för en viss typ av luftfuktare kan man genom relativt enkla vattenanalyser få en god uppfattning om de bakteriehalter som normalt kan förväntas i den uppfuktade luften.

Att komma fram till lämpliga testbakterier som kan användas för prov i laboratoriemiljö har också ingått i projektets målsättning. Genom att sätta till kända halter av en viss bakterie till fuktarvattnet, och sedan selektivt mäta halten av denna bakterie i den uppfuktade luften, är det möjligt att göra en jämförelsevis noggrann bestämning av bakterieavgivningen från olika typer av luftfuktare. Den valda bakterien bör härvid givetvis vara representativ för de bakterier som vanligen förekommer i luftfuktare.

2.2 Utvärdering av provmetoder

För att kunna utvärdera olika provmetoder har experimentprogrammet inriktats på att bestämma bakterieavgivningen från två vanligen förekommande typer av luftfuktare. I och med att dessa arbetar enligt två helt olika principer, och har helt olika egenskaper med avseende på avgivningen av bakterier, ger en sådan jämförande undersökning underlag för en god bedömning av olika provmetoders för- och nackdelar. Det är i detta sammanhang givetvis önskvärt att de olika metoderna är användbara även för prov av fuktare med mycket låg bakterieavgivning.

Vid laboratorieproven med de båda luftfuktarna har bakterieavgivningen bestämts genom att till fuktarvattnet dosera kända halter av en testbakterie. Dessutom har bakterieavgivningen simulerats genom att tillsätta fasta partiklar till fuktarvattnet. Innan proven med testbakterier startades genomfördes också vissa förprov med två olika typer av bakterier för att utvärdera deras överlevnad i fuktarnas vattensystem.

Partikelhalten i luften efter fuktarna har bestämts med tre olika metoder, nämligen:

- mätning direkt i luftströmmen med hjälp av en optisk partikelräknare,
- uppsamling på membranfilter och analys i mikroskop,
- uppsamling med hjälp av cyklon-sampler, avskiljning av partiklarna från uppsamlingsvätskan på membranfilter och analys i mikroskop.

Under proven med testbakterier har fuktarvattnets bakteriehalt kontrollerats vid ett flertal tillfällen. Bakteriehållerna i de uppsamlade vattenproverna har bestämts kvantitativt genom milliporfiltrering och odling. Typning av bakteriefynd har utförts enligt sedvanliga laboratoriemetoder.

Bakteriehalterna i luften efter fuktarna har bestämts vid tillsats av testbakterier genom provtagning med hjälp av Andersen sampler, impinger (All Glass Impinger -30) och cyklon-sampler. I samtliga fall har prover tagits samtidigt med två av dessa provtagningsapparater. Luftproverna har härvid tagits i ett flertal mätpunkter med hjälp av sonder för isokinetisk provtagning.

Vid samtliga prov har de båda fuktarna arbetat med i stort sett samma fuktighetsgrad, d.v.s. i området 85-95 %. Fuktighetsgraden η_x definieras enligt:

$$\eta_x = \frac{x_2 - x_1}{x_{\max} - x_1},$$

där x_1 = vatteninnehållet i luften före fuktaren, x_2 = vatteninnehållet i luften efter fuktaren och x_{\max} = luftens vatteninnehåll vid mätning. Uppfuktningen av luften, $x_2 - x_1$, har vid proven vanligen uppgått till ca 2,5 g/kg torr luft. Ett exempel på luftens tillståndsförändring vid passage genom en fuktare ges i Bilaga 1.

2.3 Val av provobjekt

2.3.1 Principer för uppfuktning av luft

Ventilationsluftens vatteninnehåll kan ökas på ett flertal olika sätt. De vanligaste principerna för fuktning av luft i luftbehandlingsystem är:

- mekanisk sönderdelning av vatten,
- avdunstning av vatten från en våt kontaktyta,
- tillförsel av ånga.

I luftfuktare som tillför vattnet genom mekanisk sönderdelning är det vanligt att använda dysor eller munstycken som finfördelar vattnet under högt tryck till mycket små droppar. Denna finfördelning kan också ske i dysor där vatten och tryckluft blandas. Att finfördela vattnet med hjälp av en roterande skiva är en annan vanlig metod. Luftfuktare som avger vattnet i droppform kallas ofta aerosolfuktare. Om vattnet sönderdelas med hjälp av dysor är dysfuktare eller lufttvättare vanliga benämningar.

Luftfuktare som arbetar enligt principen avdunstning från våta ytor, s.k. fördunstare, är oftast försedda med en kontaktkropp, antingen i form av en fast struktur med stor yta (insats), eller i form av ett roterande filter. Kontaktkroppen i insatsfuktare bestrilas med vatten så att hela dess yta hålls våt. I fuktare med roterande filter väts detta i och med att filtret i sin lägsta punkt passerar en vattenbehållare.

Vid fuktning med ånga i luftbehandlingssystem genereras ångan vanligen i en elektriskt upphettad tryckbehållare. Ångan tillförs luftströmmen via fördelningsrör med ett stort antal utloppshål. Värmestavarna i tryckbehållaren monteras oftast så att de lätt kan tas ut för rengöring, eftersom kalkavlagring är ett besvärligt problem i denna typ av fuktare.

2.3.2 Bakterieavgivning

De ovan beskrivna luftfuktarna har mycket olika egenskaper vad beträffar bakterieavgivningen.

Luftfuktare som tillför vattnet genom mekanisk sönderdelning överför direkt de bakterier som finns i vattnet till ventilationsluften via de vattendroppar som avges. Om sådana fuktare arbetar med recirkulerande vatten, vilket ofta innebär höga bakteriehalter i vattnet, finns det risk för att bakteriehalterna i den uppfuktade luften blir oacceptabelt höga. Genom att förse fuktare av detta slag med droppavskiljare, eller avvattningsgaller, som avskiljer en stor del av vattendropparna, kan dock bakterieavgivningen kraftigt begränsas.

I luftfuktare där vattnet tillförs ventilationsluften genom avdunstning från en våt yta bör bakterieavgivningen från vattnet vara mycket liten, eller helt försumbar, beroende på fuktarens konstruktion. För att minska risken för droppmedryckning måste givetvis luft-hastigheten nära de fuktiga ytorna begränsas. Det är också viktigt att vattentillförseln till fuktare sker på sådant sätt att man undviker stänk och droppbildning.

Om luften fuktas genom tillförsel av ånga sker primärt ingen spridning av bakterier. Vid ångbefuktning är det dock speciellt viktigt att beakta risken för kondensutfällning i kanalsystemet efter fuktaren. En ansamling av kondensvatten i kanalsystemet kan annars sekundärt orsaka tillväxt och spridning av bakterier.

För utvärderingen av lämpliga provmetoder har som nämnts två luftfuktare med helt olika egenskaper vad beträffar bakterieavgivningen undersökts. Den ena är av typen lufttvättare, eller dysfuktare, och tillför vattnet i droppform, medan den andra är en fördunstare av typen insatsfuktare. Bakteriehalten i den uppfuktade luften från en lufttvättare bör i princip vara lätt att mäta om man tillsätter bakterier till fuktar-

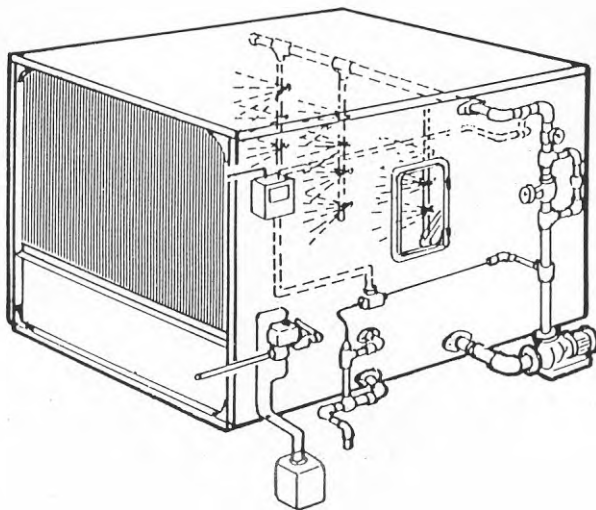
vattnet. Däremot kan bakteriehalten i luften från en fördunstare antas vara så låg att den ligger nära gränsen för vad som kan mätas, även vid mycket höga bakteriehalter i fukturvattnet.

Genom att undersöka bakterieavgivningen från lufttvättare och fördunstare täcker man således in såväl enkla som svåra mätfall. En utvärdering av olika provmetoder bör därför kunna begränsas till att enbart omfatta dessa båda fuktartyper. De undersökta fuktarna kommer nedan att närmare beskrivas.

2.3.3 Lufttvättare (dysfuktare)

Vid proven har en lufttvättare av typen KDQS (Fläkt Evaporator AB) använts. Denna lufttvättare är försedd med en dysbank med lågtrycksdysor av nylon och dubbla droppavskiljare av rostfritt stål, se figur 2.1. Lufttvättarens konstruktion och viktigaste data framgår också av Bilaga 2.

Nedre delen av lufttvättarens hölje bildar en bassäng varifrån vattnet till dysorna recirkuleras med hjälp av en pump som är placerad utanför höljet. För att förhindra igensättning av dysorna finns ett filter vid vattenintaget i bassängen. Vattenvolymen i fuktaren uppgår normalt till 110 l.



Figur 2.1. Lufttvättare av typ KDQS.

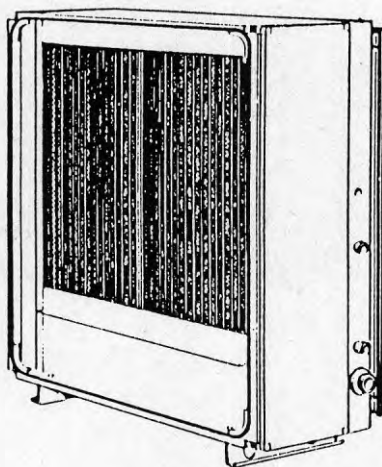
Undersökningen av bakterieavgivningen från lufttvättaren har skett vid ett luftflöde av $1,15 \text{ m}^3/\text{s}$, vilket motsvarar en lufthastighet av i medeltal $2,7 \text{ m/s}$ (räknat över lufttvättarens verksamma area = utloppsarean efter droppavskiljarna). Vid detta luftflöde har lufttvättaren en fuktighetsgrad av ca 90% . Luftens uppfuktning har vid de driftdata som gällt under proven uppgått till ca $2,5 \text{ g/kg}$ torr luft.

2.3.4 Fördunstare (insatsfuktare)

Den vid proven använda fördunstaren är av typen KDQA (Fläkt Evaporator AB). Vatten avdunstar i denna fuktare från våta, uppvärmda kontaktblock av korrugerad aluminiumplåt. Genom kemisk behandling har aluminiumplåten försetts med ett hygroskopiskt ytskikt, vilket möjliggör att kontaktblocken lätt kan hållas våta.

Kontaktblocken bestrilas via fördelarblock med vatten från en bassäng som är placerad i nederdelen av fördunstarens hölje. Påvattningsystemet är helt utfört i korrosionsbeständigt material, och cirkulationspumpens motor är ej i kontakt med bassängvattnet. Fördunstarens bassäng, som är snedställd för att förenkla rengöringen, är tillverkad av rostfri stålplåt. Vattenvolymen i bassängen uppgår till 20 l .

Fördunstarens utformning framgår av figur 2.2. Ytterligare detaljer visas i Bilaga 3, där även utformningen av kontaktblocken (typ PLUS-FILL) visas. Det bör observeras att den provade fördunstaren inte är försedd med droppavskiljare.



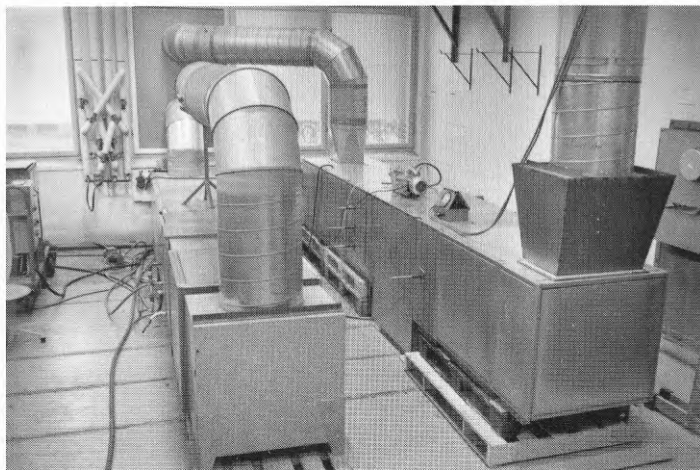
Figur 2.2. Fördunstare av typ KDQA.

Bakterieavgivningen från fördunstaren har undersökts vid ett luftflöde av $0,63 \text{ m}^3/\text{s}$, motsvarande en luft-hastighet av i medeltal $3,0 \text{ m/s}$ (räknat över fördunstarens verksamma area = utloppsarean efter kontaktblocken). Fördunstaren har vid detta luftflöde en fuktning-grad av ca 90 %. Vid de driftdata som gällt under proven har luftens uppfuktning uppgått till ca $2,5 \text{ g/kg}$ torr luft.

Fördunstaren KDQA har även provats i ett något modifierat utförande. Modifieringen innebär att kontaktblocken förlängts nedåt för att minska blockens avstånd till vattenytan i bassängen. Genom denna åtgärd tycks det vara möjligt att reducera bakterieavgivningen från fördunstaren högst betydligt, eller att praktiskt taget helt eliminera bakterieavgivningen.

2.4 Laboratorielokal

De jämförande proven av luftfuktare har genomförts vid Fläkt Evaporators laboratorium i Jönköping. I en större provhall vid detta laboratorium har två provriggar byggts upp, d.v.s. en för provning av lufttvättare och en för provning av fördunstare. Provriggarnas placering framgår av figur 2.3.



Figur 2.3. Provhall med provriggar för fördunstare och lufttvättare.

Provhallen tillförs uppvärmd och filtrerad uteluft via ett centralt luftbehandlingsaggregat med värmeåtervinning. Uteluften renas med hjälp av ett filter av klass G80. Den luft som tillförs luftfuktarna tas från provhallen, men filtreras ytterligare i separata filter i de båda provriggarna. Trots detta har variationerna hos lokalluftens partikelhalt varit en störkälla under vissa av de genomförda proven.

Luften i provhallen har en temperatur av ca 20 °C. Någon ytterligare värmning eller kylning av den luft som tillförs fuktarna har inte skett, vilket innebär att luftens uppfuktning kan ha varierat något under proven beroende på att uteluften haft olika fuktinnehåll. Denna variation kan dock anses ha försumbar inverkan på bakterieavgivningen från de undersökta fuktarna.

3 PROVTRUSTNING

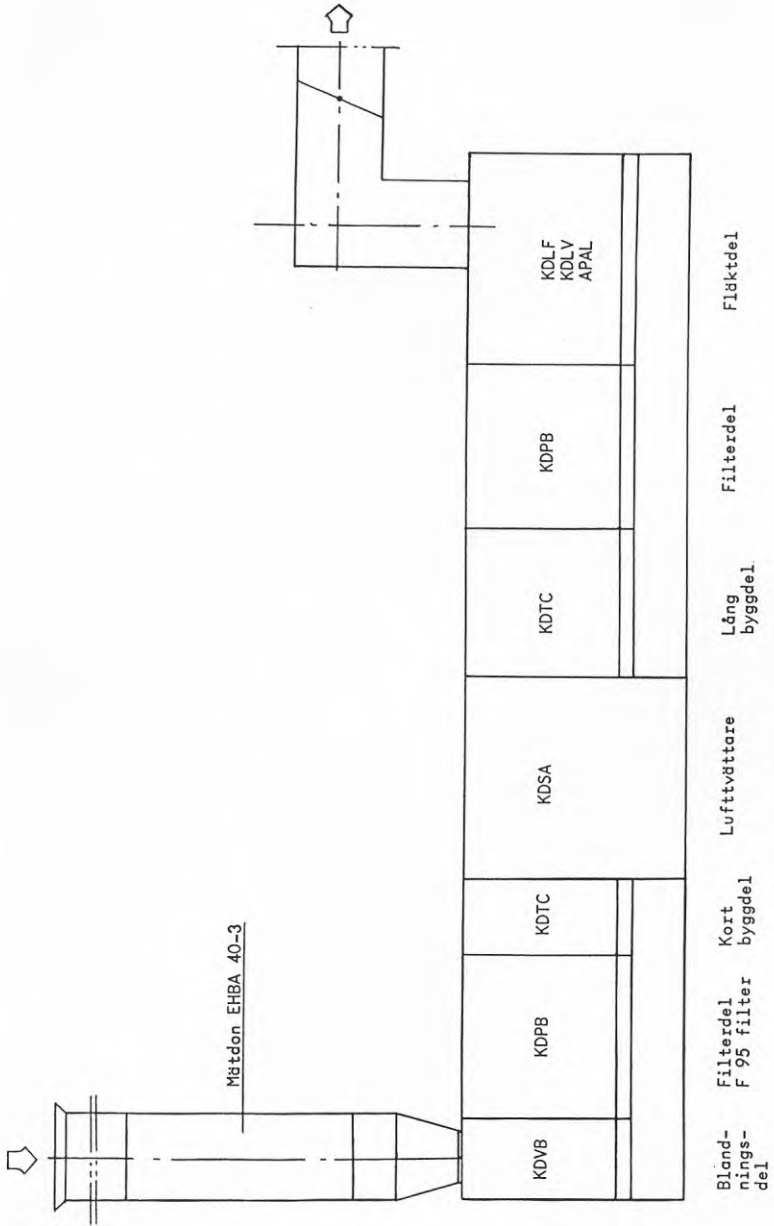
3.1 Provrigg för lufttvättare

För undersökning av bakterieavgivningen från lufttvättaren har en speciell provrigg byggts upp, se figur 3.1. Aggregatdelar av standardutförande, tillhörande luftbehandlingsaggregat KDA (Fläkt Evaporator AB), har i första hand använts. Lufttvättaren tillförs luft från provhallen via ett mätdon för bestämning av luftflödet, en blandningsdel och ett filter. Efter lufttvättaren finns två aggregatdelar där olika mätsonder kan placeras. Luften från provrighen förs ut ur byggnaden via en fläkt och ett reglerspjäll.

Det filter som är placerat före lufttvättaren är ett finfilter av klass F95. Genom att välja ett filter med hög avskiljningsgrad underlättas bakteriemätningarna betydligt, i och med att man avskiljer en stor del av de bakterier som finns i lokalluften. Även vid partikelmätningar som utförts i samband med dosering av fasta partiklar till vattnet i lufttvättaren har det visat sig vara nödvändigt att rena den tillförda luften mycket effektivt. Eftersom lufttrycket i provrighen är lägre än i lokalen i övrigt sker dock normalt ett visst inläckage av lokalluft. Detta medför att man inte kan uppnå verkligt låga bakterie- och partikelhalter, utan att stor omsorg läggs ned på tätning av de olika aggregatdelarna i provrighen.

Luftflödet genom provrighen mäts med hjälp av ett mätdon av typ EHBA (Fläkt Evaporator AB), varigenom flödet kontinuerligt kan övervakas. Lufthastigheten har bestämts i de punkter där provtagningssonder för bakterier och partiklar varit placerade (se Bilaga 4). Hastighetsvariationerna över lufttvättarens utlopp är relativt små (maximal avvikelse $\pm 6\%$), vilket sammanhänger med den hastighetsutjämnning som erhålls då luften passerar droppavskiljarna. I och med att hastighetsvariationerna är små kan isokinetisk provtagning approximativt uppnås utan att provtagningsflödet behöver varieras.

Vid mätningarna i provrighen har lufttvättaren normalt varit ansluten till kallvattennätet i provhallen så att en automatisk vattenpåfyllning kunnat ske för att kompensera för det vatten som åtgått för uppfuktning av luften. Däremot har ej någon kontinuerlig avtappning av vatten skett från lufttvättaren under proven, för att undvika en reducering av koncentrationen av de bakterier eller partiklar som doserats till fukturvattnet. Vid normal drift av lufttvättaren sker en sådan avtappning för att undvika alltför höga salthalter i vattnet.



Figur 3.1. Provrigg för luftvättare.

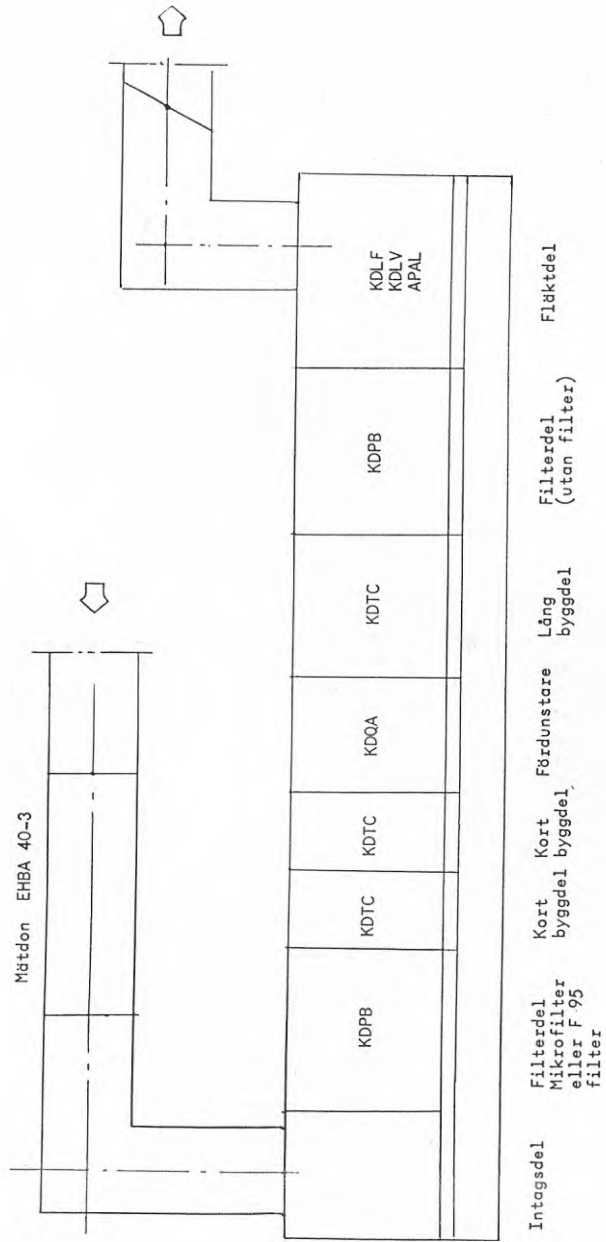
3.2 Provrigg för fördunstare

Bakterieavgivningen från fördunstaren har undersökts genom mätningar i en provrigg uppbyggd enligt figur 3.2. Även i detta fall har i första hand aggregatdelar tillhörande luftbehandlingsaggregat KDA använts. Luft från provhallen tillförs fördunstaren via ett mätdon för flödesbestämning, en blandningsdel och ett filter. Mätsonder för provtagning i den uppfuktade luften är placerade i en aggregatdel efter fördunstaren. Via en fläkt och ett reglerspjäll förs luften från provrighen ut ur byggnaden.

Vid proven av fördunstaren har två olika filter använts för att rena den tillförda luften. Ett finfilter av klass F95 har använts vid bakteriemätningarna, medan ett mikrofilter, typ Luwa Ultrafilter N-S-30 (Ultra-mare AB), använts vid vissa av proven med partiklar. I de fall mikrofiltret kommit till användning i samband med partikelmätningar har dessutom lufttrycket i provrighen hållits högre än lufttrycket i lokalen. Det har därigenom varit möjligt att begränsa partikelhalten i den luft som tillförs fördunstaren till mycket låga värden.

Luftflödet genom provrighen kan övervakas kontinuerligt med hjälp av ett mätdon av typ EHBA. Lufthastigheten vid utloppet till fördunstaren har bestämts i de punkter där provtagningssonder för partiklar och bakterier har varit placerade. Provtagning har skett både i ett mätsnitt centrerat med hänsyn till fördunstarens utlopp och i ett mätsnitt centrerat med hänsyn till luftkanalen efter fördunstaren. I båda dessa fall har lufthastigheterna bestämts i de nio aktuella provtagningspunkterna, se Bilaga 4. Variationerna i lufthastighet är lägst i det mätsnitt som är centrerat med hänsyn till fördunstarens utlopp, vilket sammanhänger med den hastighetsutjämning som sker över kontaktblocken.

Fördunstaren har vid mätningarna i provrighen varit ansluten till kallvattennätet i provhallen. Vattennivån i fördunstarens bassäng har således automatiskt kunnat hållas konstant med hjälp av en nivåregulator. Någon kontinuerlig avtappning av vatten från fördunstaren har däremot inte skett under de olika proven.



Figur 3.2. Provrigg för fördunstore.

3.3 Mätapparatur

3.3.1 Optisk partikelräknare

Halten av partiklar har vid olika mättillfällen bestämts i luften efter fuktarna, men också i den luft som tillförts fuktarna, d.v.s. efter filtret i respektive provrigg. Även partikelhalten i luften i provhallen har uppmätts vid dessa tillfällen. Flertalet av partikelmätningarna har utförts med hjälp av en optisk partikelräknare.

Den partikelräknare som använts är av fabrikat Royco, typ 245. Provtagningsflödet för denna partikelräknare är 28 l/min (1 kubikfot/min). Vid mätningar i provriggen har räknaren via plastslangar varit ansluten till mätsonder för isokinetisk provtagning.

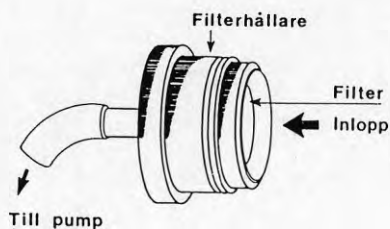
Med partikelräknaren ifråga kan antalet partiklar inom fyra storleksintervall räknas, nämligen 0,5-0,7, 0,7-1,4, 1,4-3 och 3-5 μm . Dessutom kan det totala antalet partiklar större än de angivna gränserna räknas. De mättider som kan väljas är 1 och 10 min.

3.3.2 Membranfilter

Uppsamling på membranfilter är en provtagningsmetod som kan användas både vid bestämning av partikelhalter och bakteriehalter i luft. Vid proven med luftfuktarna har metoden använts enbart vid mätning av partikelhalten i den uppfuktade luften i samband med att polystyrenpartiklar (med diametern 2 μm) doserats till fuktarvattnet. Membranfiltren har vid mätningarna varit monterade i en speciell hållare, se figur 3.3.

Det membranfilter som använts är ett polykarbonatfilter med diametern 25 mm. Porerna i membranfiltret har diametern 0,4 μm , varför polystyrenpartiklarna lätt kan avskiljas från luftströmmen. De polystyrenpartiklar som uppsamlats på membranfiltrets yta har räknats med hjälp av ljusmikroskop.

Luftflödet genom membranfiltren har vid proven uppgått till 12 l/min. Isokinetisk provtagning har uppnåtts genom att filterhållaren försetts med ett speciellt munstycke. Provtagningstiden har i de flesta fall varit 60 minuter.



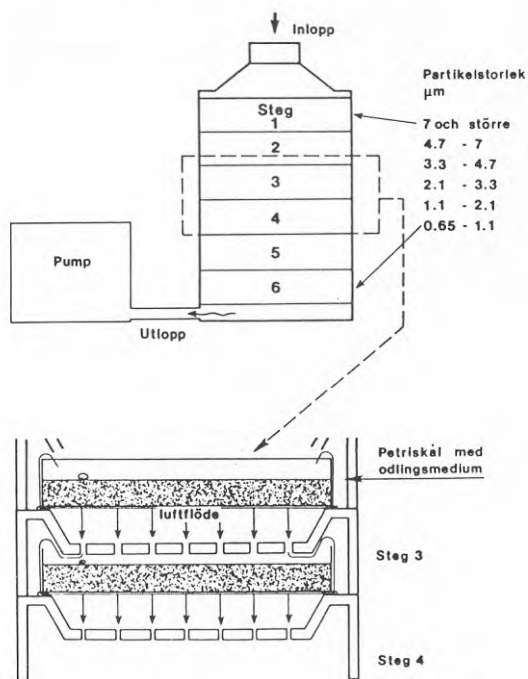
Figur 3.3. Hållare för membranfilter.

3.3.3 Andersen-sampler

En av de provtagningsapparater som använts vid bestämning av bakteriehalten i luften efter fuktarna är Andersen-samplern, (se figur 3.4). I denna apparat samlas bakterierna upp på ett fast odlingsmedium. Samtidigt sker en storleksuppdelning av partiklar och bakterier, se Henningson (1981).

Det odlingsmedium som använts vid bakteriemätningarna i samband med dosering av testbakterier är av typen CLED-agar, d.v.s. speciellt anpassat till den valda testbakterien *Pseudomonas aeruginosa*. Antalet kolonibildande enheter (cfu) har räknats efter odling 16 h vid 37 °C. På detta sätt har halten kolonibildande enheter selektivt kunnat bestämmas för den aktuella bakterien.

Provtagningsflödet har vid fuktarproven uppgått till 28 l/min, vilket är det normala flödet för en Andersen-sampler. Provtagnings tiden har i allmänhet uppgått till 30 eller 50 min. Endast två steg i provtagningsapparaten har utnyttjats för storleksuppdelning, nämligen stegen >5 µm och <5 µm.



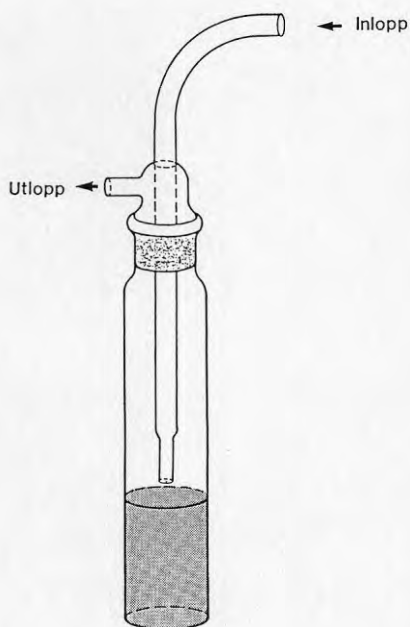
Figur 3.4. Andersen-sampler.

3.3.4 Impinger

En annan vanlig provtagningsapparat vid bakteriemätningar är impingern. Den vid fuktarproven använda impingern är av typen AGI-30 (All Glass Impinger, Ace Glass Inc.), se Henningson (1981). Luften får i impingern passera en uppsamlingsvätska där bakterierna avskiljs (figur 3.5).

Vid provtagning med hjälp av impingern har provtagningsflödet uppgått till ca 12 l/min. Provtagnings-tiden har i regel varit 30 eller 50 min. Fysiologisk koksaltlösning har använts som uppsamlingsvätska.

Bakteriehalten i uppsamlingsvätskan har bestämts genom odling på CLED-agar. De vid fuktarproven använda testbakterierna har på detta sätt kunnat räknats selektivt. Räkning har skett efter odling 16 h vid 37 °C.



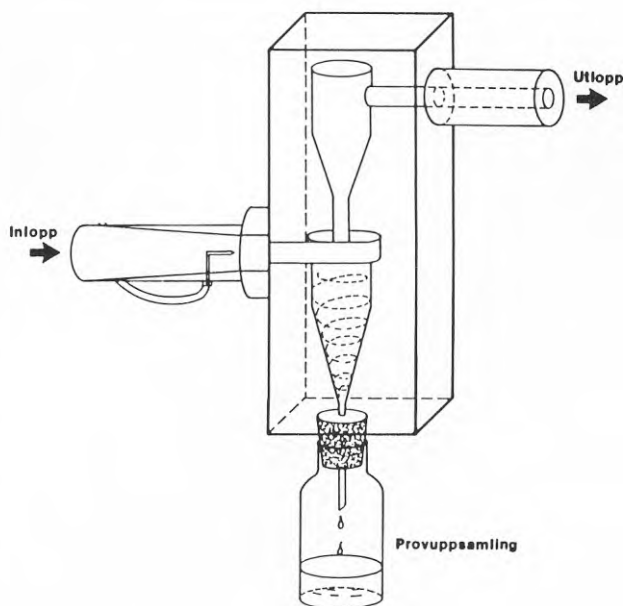
Figur 3.5. Impinger av typ AGI (All Glass Impinger).

3.3.5 Cyklon-samplers

I cyklon-samplern uppfångas luftburna partiklar och bakterier på en vätskefilm på cyklonens vägg (se figur 3.6). Den cyklon-sampler som kommit till användning vid fuktarproven är av en typ som vidareutvecklats vid FOA 4 i Umeå, se Henningson (1981). Provtagning med hjälp av cyklon-sampler har skett i samband med dosering av både bakterier och partiklar.

Provtagningsflödet i den cyklon-sampler som använts vid proven har uppgått till ca 75 l/min och flödet av uppsamlingsvätska till ca 1 ml/min. Uppsamlingsvätskan har bestått av destillerat vatten med tillsatser av Glycerol, hydroxymetylaminoetan och polyglykol P-2000. Provtagnings tiden har i de flesta fall uppgått till 30 eller 50 min.

När cyklon-samplern använts vid bestämning av halten polystyrenpartiklar har uppsamlingsvätskan filtrerats genom ett membranfilter med pordiametern $0,4 \mu\text{m}$. De uppsamlade partiklarna har sedan räknats i ljusmikroskop. Vid bakterieproven har uppsamlingsvätskan analyserats på det sätt som ovan beskrivits beträffande impingern, se avsnitt 3.3.4.



Figur 3.6. Cyklon-sampler.

4 PARTIKELMÄTNINGAR

4.1 Simulering av bakteriavgivning

Det antal bakterier som avges från en luftfuktare under en viss tid sammanhänger framför allt med hur mycket vatten som lämnar fuktaren i droppform under denna tid. Om man känner bakteriehalten i fuktarvattnet och den vattenmängd som per tidsenhet avges i droppform kan således bakteriehalten i den uppfuktade luften lätt beräknas. Att bestämma droppavgivningen från en luftfuktare är dock ett besvärligt mättekniskt problem.

I princip kan man genom tillsats av färgämnen till fuktarvattnet mäta droppavgivningen, t.ex. genom att samla upp dropparna på lämpligt filter och sedan bestämma storlek och antal med hjälp av mikroskop. En speciell svårighet i detta sammanhang är dock att vattendropparna snabbt förångas sedan de lämnat fuktaren. Exempelvis förångas en vattendroppe med diametern $1 \mu\text{m}$ på $1,7 \text{ ms}$ vid $20 \text{ }^\circ\text{C}$ och en relativ fuktighet av 50% , se Hinds (1982).

Ett annat sätt att mäta droppavgivningen från en luftfuktare är att tillsätta spårämnen till fuktarvattnet. Genom uppsamling, t.ex. med hjälp av impinger eller cyklon-sampler, och efterföljande analys av uppsamlingsvätskan kan man bestämma den totala mängd vatten som avges i droppform. Det ställs dock mycket höga krav på analysmetodens känslighet, eftersom det är nödvändigt att kunna mäta så låga halter som ned till några enstaka droppar per m^3 luft. Detta krav gäller dessutom för mycket små droppar, med en diameter av storleksordningen $1 \mu\text{m}$.

För att simulera bakteriavgivningen från de undersökta fuktarna har i stället fasta partiklar doserats till fuktarvattnet. De partiklar som valts (plastpartiklar med diametern $2 \mu\text{m}$) kan till storlek och densitet anses vara någorlunda väl representativa för de bakterier som är vanliga i luftfuktare. Det bör därför vara möjligt att genom tillsats av sådana partiklar till fuktarvattnet få en jämförelsevis god uppfattning om bakteriavgivningen från olika slag av luftfuktare. Slutliga prov måste ändock göras med de aktuella bakterierna, eftersom ytegenskaper och geometrisk form säkerligen påverkar avgivningen från vattnet, förutom bakteriernas storlek.

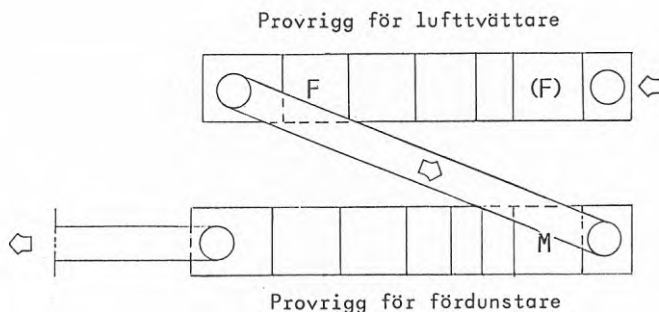
De plastpartiklar som använts vid flertalet av fuktarproven är av typ Dynospheres SS-022-R (Dyno Particles AS) och är tillverkade av polystyren med densiteten $1,05 \text{ g/cm}^3$. Diametern hos dessa sfäriska partiklar anges till $2,0 \pm 0,1 \mu\text{m}$. Partiklarna levereras i en lösning som innehåller $0,1 \text{ g}$ torrsbstans per ml.

4.2 Bakgrundshalt av partiklar

För att man skall kunna spåra de tillsatta plastpartiklarna i luftströmmen efter fuktarna måste halterna av andra partiklar vara låg. Om bakgrundshalten av partiklar kan hållas mycket låg förenklas provningsförfarandet väsentligt i och med att halten av de tillsatta partiklarna då kan mätas direkt i luftströmmen med hjälp av en optisk partikelräknare. Vid högre bakgrundshalter kan lämpligen plastpartiklarna samlas upp på membranfilter. Antalet plastpartiklar kan sedan selektivt räknas i ljusmikroskop, även vid närvaro av ett stort antal andra partiklar på filtret. Metoden är dock mycket tidskrävande.

Vid mätningarna i provriggarna filtreras den luft som tillförs luftfuktarna mycket noga, eftersom detta är en förutsättning för att bakgrundshalten av partiklar i luften efter fuktaren skall kunna hållas låg. Det är också viktigt att halten partikulära föroreningar i fuktarvattnet hålls låg. Dessa föroreningar tillförs ju luften med de droppar som avges från fuktarna. Om man använder en optisk partikelräknare för bestämning av partikelhalten kan även själva vattendropparna registreras som partiklar, såvida de inte hinner förångas innan de når räknarens mätkammare.

Ett finfilter av klass F95 har använts vid partikel-mätningarna i provriggen för lufttvättaren. Detta filter ger tillfredsställande rening av luften, eftersom bakgrundshalten efter lufttvättaren ändå till stor del bestäms av föroreningar i vattnet och eventuellt också av vattendroppar. Provrigger för fördunstaren har däremot försetts med ett mikrofilter i samband med partikelmätningarna. Dessutom förfiltreras luften först med hjälp av ett (eller i vissa fall två) F95-filter i lufttvättarens provrigg, se figur 4.1. Provrigger för fördunstaren arbetar då också med övertryck i förhållande till provhallen.



Figur 4.1. Provriggarnas koppling vid partikelmätningar i luftströmmen efter fördunstaren (M = mikrofilter, F = finfilter).

Medelvärudet av de bakgrundshalter av partiklar som uppmätts i luften efter fuktarna i de båda provriggar-
na framgår av tabell 4.1. Samtliga mätvärden hänför
sig till mätningar med en optisk partikelräknare
(Royco 245) inom storleksintervallet 1,4-3 μm . Mät-
punkternas placering framgår av Bilaga 4.

Tabell 4.1 Uppmätt bakgrundshalt av partiklar i storleksinter-
vallet 1,4-3 μm (enligt mätning med en optisk partikelräknare).

Typ av luftfuktare	Filter	Mätpunkt	Antal mätvärden	Partikel- halt i luft (partiklar/ m^3)
Lufttvättare KDQS (standard)	F95	A1 - A9	15	$5,61 \cdot 10^4$
Fördunstare KDQA (standard)	F95 och mikro- filter	B1 - B9	15	240
Fördunstare KDQA (modifierad)	F95 och mikro- filter	C1 - C9	69	70

Som framgår av tabell 4.1 är partikelhalterna i luften efter de undersökta fuktarna mycket olika. Redan dessa uppmätta bakgrundshalter ger en viss uppfattning om risken för spridning av fasta partiklar eller bakterier från respektive fuktare. För att möjliggöra direkta jämförelser måste dock även provriggen för lufttvättare förses med mikrofilter. Det bör även vara möjligt att ytterligare sänka bakgrundshalten i provriggen för fördunstare genom att förse mikrofiltret med ännu effektivare tätningar.

4.3 Prov med plastpartiklar

4.3.1 Mätningar med partikelräknare

Ett stort antal partikelmätningar i luftströmmen från de olika fuktarna har utförts i samband med dosering av polystyrenpartiklar till fuktarvattnet. Mätningarna har genomförts med samma filterarrangemang och i samma mätpunkter som vid bakgrundsmätningarna, se avsnitt 4.2. Det antal partiklar som doserats till fuktarvattnet motsvarar partikelhalter i området 10^{12} - 10^{13} partiklar/ m^3 vatten.

Med den optiska partikelräknaren Royco 245 har partikelhalterna i storleksintervallet 1,4-3 μm uppmätts. Före tillsats av plastpartiklar till fuktarvattnet har ett flertal mätningar av bakgrundshalten inom samma storleksintervall utförts. I tabell 4.2 anges den ökning av partikelhalten som erhållits vid tillsats av plastpartiklarna.

Tabell 4.2 Uppmätt halt av partiklar i storleksintervallet 1,4-3 μm vid tillsats av plastpartiklar till fuktarvattnet (enligt mätning med en optisk partikelräknare).

Typ av luftfuktare	Partikel-tillsats per m^3 vatten	Mätpunkt	Antal mätvärden	Partikelhalt i luft ($\text{partiklar}/\text{m}^3$)*
Lufttvättare KDQS (standard)	$1,04 \cdot 10^{12}$	A1 - A9	15	$1,042 \cdot 10^5$
Fördunstare KDQA (standard)	$5,6 \cdot 10^{12}$	B1 - B9	78	540
Fördunstare KDQA (modifierad)	$5,6 \cdot 10^{12}$	C1 - C9	90	<30**

* Den angivna partikelhalten har reducerats med den vid samma mättillfälle uppmätta bakgrundshalten av partiklar.

** Lägsta mätbara partikelhalt vid proven.

Den partikelhalt som uppmätts i luften efter lufttvättaren uppgår som framgår av tabell 4.2 till ca 10^5 partiklar/ m^3 luft vid en partikelhalt i fuktarvattnet av ca 10^{12} partiklar/ m^3 . Vid ungefär 5 gånger högre partikelhalt i fuktarvattnet ger fördunstaren i standardutförande ett partikel tillskott av ca 500 partiklar/ m^3 luft. Partikelavgivningen från fördunstaren tycks således vara ca 1000 gånger lägre än från lufttvättaren.

Den modifierade fördunstaren provades vid en partikelhalt i fuktarvattnet av $5,6 \cdot 10^{12}$ partiklar/ m^3 . Trots denna höga partikelhalt i vattnet har partikelhalten i luften efter fuktaren inte kunnat bestämmas. Partikelhalten understiger i detta fall den lägsta halt som kunnat mätas vid proven, d.v.s. ca 30 partiklar/ m^3 luft. Genom modifieringen av fördunstaren förefaller partikelavgivningen således ha reducerats ca 20 gånger, eller helt eliminerats.

4.3.2 Uppsamling på membranfilter

Partikelhalten i luftströmmen efter fuktarna har även bestämts genom uppsamling på membranfilter (se avsnitt 3.3.2). Metoden har den fördelen att halten plastpartiklar kan bestämmas genom räkning i ljusmikroskop, trots en relativt hög halt av andra partiklar. Nackdelen med metoden är att den är avsevärt mer tidskrävande än en mätning med en optisk partikelräknare.

Vid provtagningen har plastpartiklarna i allmänhet uppsamlats på membranfiltret genom att detta placerats direkt i luftströmmen. I några fall har dock i stället en cyklon-sampler använts vid provtagningen. Uppsamlingsvätskan från cyklon-samlern har sedan filtrerats genom ett membranfilter.

De värden på partikelhalten som uppmätts framgår av tabell 4.3. Antalet uppsamlade partiklar är i flertalet fall mycket lågt, varför de angivna värdena är osäkra. Utom i ett fall är de värden som anges i denna tabell dessutom betydligt lägre än de halter som uppmätts med den optiska partikelräknaren vid motsvarande partikelhalter i vattnet.

Skälet till att de uppmätta halterna är lägre vid uppsamling på membranfilter kan vara att en del av partiklarna har lossnat från filtren vid hantering och transport. Speciellt de partiklar som uppsamlats på membranfiltren vid filtrering av uppsamlingsvätskan från cyklon-samplern tycks ha dålig vidhäftning. Det bör i detta sammanhang också observeras att uppsamlingen med hjälp av membranfilter och cyklon-sampler endast skett i en punkt i mätsnittet (A5 eller B5), medan mätningarna med den optiska partikelräknaren utförs i nio punkter.

Tabell 4.3 Uppmätt halt av plastpartiklar vid uppsamling på membranfilter (M) eller provtagning med cyklon-sampler (C).

Typ av luftfuktare	Mät-punkt	Partikel-tillsats per m ³ vatten	Prov-tagning	Partikelhalt i luft (partiklar/m ³)
Lufttvättare KDQS (standard)	A5	1,18 · 10 ¹²	M	1,33 · 10 ⁵
		2,01 · 10 ¹¹	M	4,2 · 10 ³
			C	970
Fördunstare KDQA (standard)	B5	1,11 · 10 ¹²	M	250*
			C	0**
Fördunstare KDQA (modifierad)	B5	5,6 · 10 ¹²	M	0**

* Medelvärde av mätningar på fyra filter. Värdet är dock osäkert på grund av det mycket låga antalet partiklar per ytenhet.

** Inga partiklar har upptäckts vid räkning i ljusmikroskop.

4.4 Överföringsfaktor

Med kännedom om partikelhalten i den uppfuktade luften och partikelhalten i fuktarvattnet kan man erhålla ett mått på partikelavgivningen från de provade fuktarna. Det är lämpligt att ange partikelavgivningen som en överföringsfaktor, d.v.s. som förhållandet mellan partikelhalten i luften och partikelhalten i vattnet. Härvid bör båda dessa partikelhalter anges för samma volymenhet, t.ex. som antalet partiklar per m³.

Vid bestämning av de olika fuktarnas överföringsfaktor för de vid proven använda partiklarna (sfäriska polystyrenpartiklar med diametern 2 µm) kan man lämpligen utgå från de resultat som framkom då partikelhalten

i den uppfuktade luften mättes med hjälp av den optiska partikelräknaren, se tabell 4.2. Med beteckningen f_p för denna överföringsfaktor erhålles för lufttvättaren i standardutförande

$$f_p = 1,042 \cdot 10^5 / 1,04 \cdot 10^{12} = 1,0 \cdot 10^{-7}.$$

Motsvarande överföringsfaktor för fördunstaren i standardutförande blir

$$f_p = 540 / 5,6 \cdot 10^{12} = 9,6 \cdot 10^{-11}.$$

Vid de genomförda proven med fördunstaren i modifierat utförande kunde endast en övre gräns för partikelavgivningen bestämmas. Överföringsfaktorn kan i detta fall skrivas

$$f_p < 30 / 5,6 \cdot 10^{12} = 5,4 \cdot 10^{-12}.$$

Det är sannolikt möjligt att avsevärt förbättra den använda provmetoden så att än lägre överföringsfaktorer kan bestämmas, men det är tveksamt om detta är av praktiskt intresse.

5 BAKTERIEMÄTNINGAR

5.1 Val av testbakterie

Ett lämpligt förfarande för att noggrant bestämma bakterieavgivningen från luftfuktare är att tillsätta en testbakterie till fuktarvattnet och sedan mäta halten av denna bakterie i den uppfuktade luften. Den bakterie som väljs för detta ändamål bör vara representativ, speciellt vad beträffar spridningsegenskaper, för de bakterier som normalt förekommer i en fuktarens vattensystem. Det är framför allt viktigt att testbakterien så långt möjligt efterliknar de bakterier som kan befaras ge upphov till hälsoproblem, om de avges i sådan omfattning att halterna i inomhusluften blir höga.

För att man skall kunna mäta låga bakteriehalter i luftströmmen från en fuktare med god noggrannhet måste provtagning ske under lång tid, ofta upp till ca 1 h. En bestämning av bakterieavgivningen från en fuktare, innefattande ett flertal mätserier, kan därför väntas pågå under åtskilliga timmar. Det är givetvis önskvärt att bakteriehalten i fuktarvattnet hålls konstant under hela provperioden, vilket innebär att bakterierna ej bör avdödas, eller tillväxa, i någon större omfattning under denna tid.

Testbakterier av typ Klebsiella har tidigare använts vid prov av luftfuktare vid Fläkt Evaporators laboratorium i Jönköping. Några prov med denna bakterie gjordes även i samband med föreliggande undersökning. Exempelvis undersöktes bakteriens överlevnad i en fuktarbassäng (typ KDQA) vid prov på Södersjukhuset i Stockholm. Bassängen var vid dessa prov fylld med vatten som avtappats direkt från kallvattennätet.

Proven med Klebsiella-bakterier visade dock att dessa ej hade tillfredsställande överlevnad i bassängvattnet. Liknande prov som utfördes med bakterien *Pseudomonas aeruginosa* gav däremot acceptabla resultat. Denna bakterie valdes därför som testbakterie vid de slutliga fuktarproven.

5.2 Bakteriehalter i fuktarvattnet

Ett flertal prov med den valda testbakterien, *Pseudomonas aeruginosa*, har genomförts vid Fläkt Evaporators laboratorium i Jönköping för att undersöka bakteriens överlevnad i fuktarnas vattensystem under olika driftförhållanden. Vid dessa undersökningar har 200 ml av en bakteriesuspension (som tidigare uppmätts vid Kliniskt bakteriologiska laboratoriet, Södersjukhuset, Stockholm) doserats till fuktarvattnet. De vattenprover som tagits i fuktarbassängerna har sedan sänts tillbaka till Södersjukhuset för analys.

Ett exempel på de resultat som erhållits vid förprov med testbakterier ges i tabell 5.1. Undersökningen har i detta fall utförts i fördunstarens vattensystem då denna inte varit i drift, vilket innebär att vattnet i bassängen ej recirkulerats och att lufttillförseln till fuktaren varit avstängd. Som framgår av tabellen har bakteriehalterna i bassängvattnet varit i det närmaste konstanta under provtiden. Det låga värde som erhållits vid provtagningen 5 min efter dosering sammanhänger sannolikt med att vattnet i bassängen ej blandats tillräckligt effektivt.

Tabell 5.1 Uppmätt halt av testbakterier i fördunstarens bassäng vid förprov (enligt analyser vid Kliniskt bakteriologiska laboratoriet, Södersjukhuset, Stockholm).

Provtagning	Bakteriehalt (antal/ml)
Före dosering	<10
5 min efter dosering	$7,2 \cdot 10^3$
1 h " "	$1,6 \cdot 10^4$
4 h " "	$1,7 \cdot 10^4$
24 h " "	$1,4 \cdot 10^4$

Genom tillsats av den valda testbakterien till fuktarvattnet har bakterieavgivningen från lufttvättaren och fördunstaren (i standardutförande) undersökts vid två mer omfattande provserier, Provserie 1 i maj 1986 och Provserie 2 i november 1986. Det antal bakterier som tillsatts motsvarar halter i området 10^5 - 10^6 bakterier/ml vatten. Vid dessa prov har ett flertal bestämningar av bakteriehalten i luftströmmen från fuktarna gjorts, se avsnitten 5.3, 5.4 och 5.5. Även bakteriehalten i fuktarvattnet har kontrollerats ett flertal gånger under proven.

De vattenprover som tagits under Provserie 1 och 2 har analyserats 2-3 dygn senare vid Södersjukhuset. I allmänhet har något lägre bakteriehalter erhållits vid dessa vattenanalyser än vad som kan förväntas med hänsyn till det antal bakterier som doserats. Om man utgår från att de angivna halterna i de tillsatta bakteriesuspensionerna är riktiga, skulle detta kunna förklaras av att det skett en viss avdödning av bakterier i vattenproverna under lagring och transport. Eftersom vattenproverna förvarats vid en temperatur av ca +7 °C under större delen av tiden mellan provtagning och analys, borde dock antalet viabla bakterier i stort sett hållits konstant.

För att undersöka en eventuell inverkan av lagring och transport har under Provserie 2 även några vattenprover analyserats direkt efter provtagning genom odling vid Fläkt Evaporators laboratorium. De värden på bakteriehalterna i fuktarvattnet som härvid erhållits är genomgående något högre än de värden som

framkom vid analyserna på Södersjukhuset. Eftersom analysmetoderna inte varit helt identiska vid de båda mätningarna är det ändå osäkert i vilken utsträckning bakteriehalterna i vattenproverna kan ha reducerats under lagring och transport. Vad som dock ytterligare stöder antagandet att lagring och transport kan ha haft en viss inverkan är att analyser som gjorts vid FOA4 i Umeå också uppvisar lägre bakteriehalter i de fall vattenproverna analyserats först 3-4 dagar efter provtagning.

Av de vattenanalyser som utförts under Provserie 1 och 2 framgår att bakteriehalterna minskar något under provtagningstiden (5 min-24 h). Speciellt i fördunstaren tycks halterna av viabla bakterier i vattnet avta efter några timmar. Det är därför viktigt att bestämningen av bakterieavgivningen till luften sker kort tid efter det att testbakterierna doserats till fuktarvattnet.

5.3 Provtagning med Andersen-samplers

Under de båda provserierna med testbakterier har ett flertal prover tagits i luftströmmen efter fuktarna med hjälp av Andersen-sampler (se avsnitt 3.3.3). Provtagningsstiden har härvid i regel uppgått till 30 eller 50 min, och provtagningen har vanligen startats ca 10 min efter tillsats av bakterier. Parallellt med provtagningen med Andersen-sampler har i flertalet fall prover även tagits med impinger eller cyklonsampler.

Proverna med Andersen-sampler har tagits i mätpunkterna A3 och A7 i provriggen för lufttvättare och i mätpunkterna B3 och B7 i provriggen för fördunstare, alltså i några av de mätpunkter där även partikelmätningar skett, se Bilaga 4. Andersen-samplern har vid proven använts för storleksuppdelning, $<5 \mu\text{m}$ respektive $>5 \mu\text{m}$. I och med att uppsamlingen skett på CLED-substrat har antalet testbakterier kunnat räknats selektivt. Det bör observeras att provtagningstiden för Andersen-samplern anpassats till de övriga provtagningsapparaterna, vilket lett till överbelastning i vissa fall.

De uppmätta halterna av testbakterier i luftströmmen efter lufttvättaren framgår av tabell 5.2 (cfu = kolonibildande enheter). De båda provserierna har i stort sett gett samstämmiga resultat. Mätvärdenas spridning är dock mycket stor för Provserie 1. Vidare är resultatet av uppdelningen på två storleksområden, $<5 \mu\text{m}$ och $>5 \mu\text{m}$, svårtolkade. Med ledning av de resultat som erhöles vid proven med plastpartiklar kan emellertid några viktiga jämförelser göras.

Om man utgår från att den överföringsfaktor som bestämts genom dosering av plastpartiklar, se avsnitt 4.4, även gäller för testbakterierna kan bakteriehalterna i luften, C_b , lätt uppskattas. Enligt mätningarna

med den optiska partikelräknaren är lufttvättarens överföringsfaktor för plastpartiklar = $1,0 \cdot 10^{-7}$. För exempelvis Provserie 2 blir då bakteriehalten i luften $C_b = 1,0 \cdot 10^{-7} \cdot 1,2 \cdot 10^5 \cdot 10^6 = 1,2 \cdot 10^4$ bakterier/ m^3 .

Detta förefaller vara ett rimligt värde på bakteriehalten i luften vid jämförelse med de mätvärden som presenteras i tabell 5.2. Det bör härvid observeras att de båda kolumnerna i tabellen för olika storlekar, $<5 \mu m$ och $>5 \mu m$, skall adderas vid jämförelsen. Vidare anges de halter som uppmätts med Andersen-samlern i cfu/m^3 , vilket innebär att antalet bakterier per m^3 luft kan vara betydligt större.

Halterna av testbakterier i luftströmmen från fördunstaren har också bestämts med hjälp av Andersen-samlern. De under Provserie 1 och 2 erhållna resultaten framgår av tabell 5.3. Även i detta fall har de båda provserierna gett rätt väl överensstämmande mätvärden, men spridningen inom respektive provserie är mycket stor.

Vid proven med plastpartiklar erhöles enligt avsnitt 4.4 en överföringsfaktor av $1,0 \cdot 10^{-10}$ för fördunstaren i standardutförande. Om denna överföringsfaktor antas gälla även för testbakterierna blir bakteriehalten i luften under Provserie 1:

$$C_b = 1,0 \cdot 10^{-10} \cdot 9 \cdot 10^5 \cdot 10^6 = 90 \text{ bakterier}/m^3.$$

På motsvarande sätt finner man att bakteriehalten i luften bör vara ca 110 bakterier/ m^3 under Provserie 2. Båda dessa bakteriehalter förefaller rimliga med hänsyn till de mätvärden som anges i tabell 5.3. Mätvärdenas spridning är dock så stor att en noggrann jämförelse ej kan göras.

Tabell 5.2 Uppmätt halt av testbakterier i luftströmmen efter lufttvättaren KDQS vid provtagning med Andersen-sampler.

Prov-serie	Bakterietill-sats per ml vatten	Provtagning*		Bakteriehalt i luft, (cfu/m ³)		
		Start (min)	Stopp	Mätpunkt A3 <5 µm	Mätpunkt A3 >5 µm	Mätpunkt A7 >5 µm
1	2,4 · 10 ⁵	10	40	>3 · 10 ³	>3 · 10 ³	>3 · 10 ³
		130	160	1	6	1
		190	250	>1 · 10 ³	>1 · 10 ³	>1 · 10 ³
2	1,2 · 10 ⁵	10	40	>3 · 10 ³	7 · 10 ²	>3 · 10 ³
		40	60	>5 · 10 ³	2 · 10 ³	>5 · 10 ³
		130	180	>2 · 10 ³	3 · 10 ²	>2 · 10 ³
		190	240	>2 · 10 ³	2 · 10 ²	>2 · 10 ³

* Tid efter dosering av bakterier.

Tabell 5.3 Uppmätt halt av testbakterier i luftströmmen efter fördunstaran KDQA (i standardutförande) vid provtagning med Andersen-sampler.

Prov-serie	Bakterietill-sats per ml vatten	Provtagning*		Bakteriehalt i luft (cfu/m ³)		
		Start (min)	Stopp	Mätpunkt B3	Mätpunkt B7	Mätpunkt B7
				<5 µm	>5 µm	>5 µm
1	0,9·10 ⁶	10	40	5·10 ²	6	1·10 ²
		160	190	20	0	97
		250	265	7	1	99
						3·10 ³
2	1,1·10 ⁶	10	60	9·10 ²	18	9,5·10 ²
		130	180	4	2,4·10 ²	9
		190	240	3,5·10 ²	3	1,3·10 ²
						93

* Tid efter dosering av bakterier.

5.4 Provtagning med impinger

Vid några tillfällen under Provserie 1 och 2 har prover tagits i luftströmmen från fuktarna med hjälp av en impinger av typ AG1-30 (se avsnitt 3.3.4). Provtagningen har då skett parallellt med att prover tagits med Andersen-sampler eller cyklon-sampler. I provriggen för lufttvättare har prover med impinger tagits i mätpunkterna A1 och A9, se Bilaga 4, medan motsvarande provtagning i provriggen för fördunstare har skett i mätpunkterna B1 och B9. Provtagningstiden har i regel uppgått till 30-50 min, och provtagningen har vanligen startats ca 10 min efter tillsats av bakterier.

De uppmätta halterna av testbakterier framgår av tabell 5.4 för både lufttvättaren och fördunstaren. Mätvärdenas spridning är relativt stor under båda provserierna. Dessutom är bakteriehalterna i luftströmmen efter lufttvättaren lägre än väntat med hänsyn till mätresultaten vid partikelmätningarna. Bakteriehalterna är även lägre än de halter som uppmätts vid provtagning med cyklon-sampler då halter i området $1-2 \cdot 10^4$ bakterier/ m^3 erhöles (se avsnitt 5.5). Vid provtagningen med impinger har i genomsnitt en bakteriehalt av endast $1,3 \cdot 10^3$ bakterier/ m^3 uppmätts under Provserie 1 och $3,3 \cdot 10^3$ bakterier/ m^3 under Provserie 2.

Även de uppmätta bakteriehalterna i luftströmmen från fördunstaren är vid provtagning med impinger lägre än vad som kan väntas med hänsyn till de värden som erhållits med hjälp av cyklon-sampler. Den förväntade bakteriehalten uppgår till ca 500 bakterier/ m^3 under båda provserierna. Frånsett ett mätvärde har vid provtagning med impinger endast halter i området 20-310 bakterier/ m^3 uppmätts.

I samband med provtagningen med impinger har, liksom vid provtagningen med cyklon-sampler, även totalantalet mikroorganismer (viabla och icke viabla) räknats. Relativt höga halter har härvid erhållits. Eftersom de totala halterna inte ökat när fuktarna varit i drift, har de erhållna resultaten inte närmare kunnat analyserats.

Tabell 5.4 Uppmätt halt av testbakterier i den uppfuktade luften vid provtagning med impinger.

Typ av luftfuktare	Provserie	Bakterie- tillsats per ml vatten	Provtagnings*		Bakteriehalt i luft (antal/m ³)	
			Start	Stopp (min)	Mätpunkt A1/B1	Mätpunkt A9/B9
Lufttvättare KDQS (standard)	1	$2,4 \cdot 10^5$	10	40	$1,4 \cdot 10^3$	$3,7 \cdot 10^3$
			70	130	$1,1 \cdot 10^3$	-
			190	250	85	$2,4 \cdot 10^2$
	2	$1,2 \cdot 10^5$	10	60	$8,7 \cdot 10^3$	$9,8 \cdot 10^2$
			70	120	$4,7 \cdot 10^2$	-
			190	240	$4,4 \cdot 10^2$	$1,8 \cdot 10^3$
Fördunstare KDQA (standard)	1	$0,9 \cdot 10^6$	10	40	48	$2,6 \cdot 10^3$
			70	100	94	-
			250	265	26	80
	2	$1,1 \cdot 10^6$	10	60	$3,0 \cdot 10^2$	63
			70	120	$3,1 \cdot 10^2$	-
			190	240	$2,5 \cdot 10^2$	41

* Tid efter dosering av bakterier.

5.5 Provtagning med cyklon-samplers

Under de båda provserierna med testbakterier har vid några tillfällen prover även tagits med hjälp av cyklon-sampler (se avsnitt 3.3.5). I provriggen för lufttvättare har provtagningen skett i mätpunkt A5 och i provriggen för fördunstare i mätpunkt B5, d.v.s. i centrum av respektive mätsnitt (se Bilaga 4). Provtagningstiden har uppgått till 30, 50 eller 60 min. Av tabell 5.5 framgår de uppmätta halterna av testbakterier vid proven med lufttvättare och fördunstare. I denna tabell har även överföringsfaktorn för testbakterier, f_b , angivits med ledning av de erhållna mätresultaten. För exempelvis lufttvättaren, Provserie 1, har överföringsfaktorn framräknats enligt

$$f_b = 2,0 \cdot 10^4 / (2,4 \cdot 10^5 \cdot 10^6) = 0,8 \cdot 10^{-7}.$$

Det kan vara av intresse att jämföra de överföringsfaktorer för bakterier som anges i tabell 5.5 med de överföringsfaktorer som erhöles vid proven med plastpartiklar (se avsnitt 4.4). Enligt tabell 5.5 är överföringsfaktorn för bakterier i genomsnitt $1,3 \cdot 10^{-7}$ i lufttvättaren och $5,7 \cdot 10^{-10}$ i fördunstaren, medan proven med plastpartiklar gav överföringsfaktorn $1,0 \cdot 10^{-7}$ i lufttvättaren och $1,0 \cdot 10^{-10}$ i fördunstaren. För lufttvättaren har således en rätt god överensstämmelse mellan de båda provmetoderna erhållits. Till en del kan de olika resultaten för fördunstaren möjligen förklaras av att provtagningen med cyklon-samplern skett endast i en punkt (i mätsnittets centrum), medan partikelmätningarna utförts i nio mätpunkter.

5.6 Jämförelse mellan provmetoder

De olika provtagningsmetoder som kommit till användning vid bestämning av bakteriehalterna i den uppfuktade luften från de båda fuktarna, d.v.s. provtagning med Andersen-sampler, impinger och cyklon-sampler, har i stort sett gett samstämmiga resultat. Överensstämmelsen med de resultat som erhöles vid simulering av bakterieavgivningen genom tillsats av plastpartiklar till fuktarvattnet, och mätning av partikelhalten i luften med hjälp av en optisk partikelräknare, kan också anses tillfredsställande. Mätresultatens spridning är dock mycket olika för de tre provtagningsmetoderna.

Vid provtagning med Andersen-sampler gav de båda genomförda provserierna (Provserie 1 och 2) rätt väl överensstämmande resultat. De bakteriehalter som uppmäts förefaller också rimliga med hänsyn till resultatet av partikelmätningarna. Mätvärdenas spridning är dock mycket stor, speciellt inom den ena provserien. En noggrann bestämning av bakterieavgivningen från fuktarna kan därför ej göras med ledning av de resultat som erhöles vid provtagning med Andersen-sampler.

Tabell 5.5 Uppmätt halt av testbakterier i den uppfuktade luften vid provtagning med cyklon-sampler.

Typ av luftfuktare	Mätpunkt	Provserie	Bakterie- tillsars per ml vatten	Provtagnings* (min)		Bakteriehalt i luft (antal/m ³)	Överförings- faktor för testbakterier
				Start	Stopp		
Lufttvättare KDQS (standard)	A5	1	$2,4 \cdot 10^5$	70	130	$2,0 \cdot 10^4$	$0,8 \cdot 10^{-7}$
		2	$1,2 \cdot 10^5$	70 130	120 180	$2,0 \cdot 10^4$ $1,7 \cdot 10^4$	$1,7 \cdot 10^{-7}$ $1,4 \cdot 10^{-7}$
Fördunstare KDQA (standard)	B5	1	$0,9 \cdot 10^6$	40 70	70 100	$3,9 \cdot 10^2$ $4,8 \cdot 10^2$	$4,3 \cdot 10^{-10}$ $5,3 \cdot 10^{-10}$
				70 130	120 180	$6,1 \cdot 10^2$ $8,6 \cdot 10^2$	$5,5 \cdot 10^{-10}$ $7,8 \cdot 10^{-10}$

* Tid efter dosering av bakterier.

Även de mätvärden som erhöles vid provtagning med impinger uppvisar stor spridning. I allmänhet är också de uppmätta bakteriehalterna lägre än de halter som uppmätts vid provtagning med cyklon-sampler. En uppskattning av överföringsfaktorn för de båda fuktarna ger för lufttvättaren $f_{b1} \approx 0,17 \cdot 10^{-7}$ och för fördunstaren $f_{b2} \approx 1,2 \cdot 10^{-10}$ (bortsett från ett mätvärde som är ca 10 gånger högre än medelvärdet av de övriga).

Båda dessa överföringsfaktorer är lägre än vad som erhållits vid provtagning med cyklon-sampler. Förhållandet mellan överföringsfaktorerna för de båda fuktarna överensstämmer dock något bättre. Resultaten vid provtagning med impinger ger

$$f_{b1}/f_{b2} \approx 0,17 \cdot 10^{-7} / 1,2 \cdot 10^{-10} = 1,4 \cdot 10^2,$$

medan mätresultaten vid provtagning med cyklon-sampler ger

$$f_{b1}/f_{b2} = 1,3 \cdot 10^{-7} / 5,7 \cdot 10^{-10} = 2,3 \cdot 10^2.$$

I motsats till övriga provtagningsmetoder har provtagningen med cyklon-sampler gett mätvärden med acceptabel spridning. Den uppmätta överföringsfaktorn för lufttvättaren, $1,3 \cdot 10^{-7}$, överensstämmer också rätt väl med resultaten från partikelmätningarna. För fördunstaren är däremot den erhållna överföringsfaktorn, $5,7 \cdot 10^{-10}$, betydligt högre än det värde som uppmätts vid tillsats av partiklar till fuktarvattnet.

6 TIDIGARE UNDERSÖKNINGAR

6.1 Egna laboratorieprov

Som ovan nämnts genomfördes vid Fläkt Evaporators laboratorium ett antal inledande bakterieprov med luftfuktare innan föreliggande undersökning startades. Även vid dessa prov tillsattes testbakterier till fuktarvattnet för att möjliggöra en kvantitativ bestämning av bakterieavgivningen. De luftfuktare som undersöktes var en för proven speciellt uppbyggd lufttvättare och en fördunstare i standardutförande av typ KDQA.

Vid de inledande proven användes bakterier av typ Klebsiella som testbakterie. Denna bakterie valdes eftersom den kan antas ha lämpliga egenskaper i den aktuella miljön och dessutom lätt kan spåras i närvaro av andra bakterier. Klebsiella-bakterier kan även anses acceptabla ur arbetshygienisk synvinkel, både vid laboratorieprov och fältprov.

Den provtagningsmetod som kom till användning vid de inledande proven med Klebsiella-bakterier innebar att bakterierna i den uppfuktade luften samlades upp på ett finfilter, varefter bakterierna överfördes till agarplattor genom avstrykning av finfiltret. Metoden ifråga visade sig emellertid inte ge tillfredsställande noggrannhet, trots att ett relativt stort antal prov genomfördes. En bidragande orsak till att undersökningen gav svårtolkade resultat tycks vara att bakteriehalterna i fuktarvattnet varierat allt för mycket under provtagnings tiden.

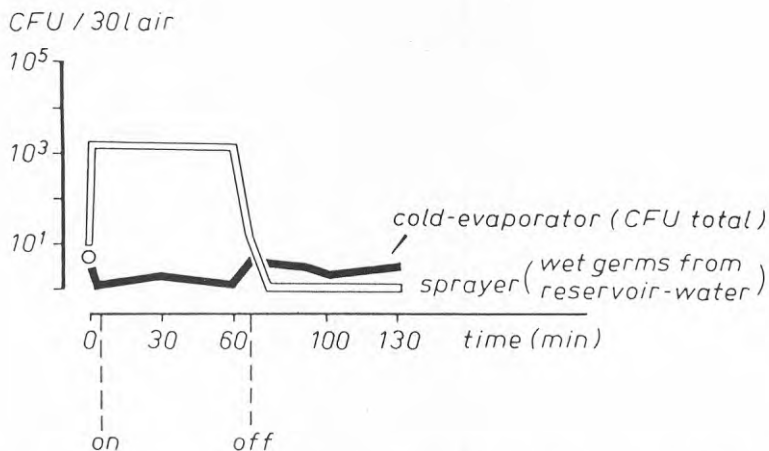
Även om de inledande proven inte ledde fram till mätresultat som medgav en bestämning av bakterieavgivningen från de undersökta fuktarna, t.ex. i form av överföringsfaktorer, påvisade dock dessa prov att stora skillnader föreligger beträffande bakterieavgivningen från lufttvättare och fördunstare. Vidare indikerade de inledande proven att man genom enkla konstruktionsändringar kunde minska bakterieavgivningen från den undersökta fördunstaren. Dessa erfarenheter utnyttjades vid modifieringen av den fördunstare som användes vid proven med plastpartiklar, se kapitel 4.

6.2 Rapporterade laboratorieprov

Få undersökningresultat från laboratorieprov med luftfuktare har rapporterats. I detta sammanhang skall endast en sådan undersökning närmare diskuteras, se Völksch et al (1987). Vid undersökningen ifråga har bakterieavgivningen från små aerosolfuktare, fördunstare och ångfuktare jämförts. Även inverkan av bakteriedödande tillsatser till fuktarvattnet har studerats.

Av speciellt intresse är de bakterieprov som genomförts med aerosolfuktaren och fördunstaren. Bakteriehållten i luften har vid dessa prov uppmätts med hjälp av slit-sampler med blodagar och Sabouraud-agar som substrat. Mätningarna har skett på ett avstånd av 1 m från fuktarna, och fuktarna har arbetat utan tillsatser i vattnet.

De vid bakteriemätningarna erhållna resultaten visas i figur 6.1. Som framgår av denna figur har bakteriehållten i luften ökat kraftigt då aerosolfuktaren (sprayer) startats. Då fördunstaren (cold-evaporator) varit i drift har däremot en mindre sänkning av den totala bakteriehållten i luften erhållits. Att bakteriehållten i luften minskat något i detta fall beror sannolikt på att luften i viss mån renas från partiklar och bakterier då den passerar genom fördunstaren.



Figur 6.1. Bakteriehållten i luften på avståndet 1 m från en aerosolfuktare och en fördunstare, enligt Völksch et al (1987).

6.3 Rapporterade fältprov

Inomhusluftens halt av bakterier i byggnader med olika slag av luftfuktare har undersökts i samband med ett antal större forskningsprojekt, men mätresultat föreligger också från enstaka byggnader där hälsoproblem uppkommit. Tre exempel på mer omfattande undersökningar skall här nämnas. Samtliga dessa undersökningar har genomförts i de nordiska länderna och rapporterats under de senaste åren.

Inom ramen för ett stort finskt projekt om inomhusklimatets kvalitet som nyligen genomförts har även halterna av bakterier och svampsporer i luftbehandlingsanläggningar studerats, se Rakennuksen sisäilmaston laatu ja ilmanvaihdon tarve (1986). Ett resultat av

allmänt intresse i detta sammanhang är att förhöjda halter av bakterier och sporer ej kunnat påvisas i byggnader med luftbefuktning, jämför även Pitkänen et al (1985). Vidare framhålls i slutrapporten om detta projekt, att tilluften oftast är renare än rums-luften och att de viktigaste bakteriekällorna finns inne i rummen. (Sporer tillförs däremot i första hand via uteluften.)

Även bakterieavgivningen från fördunstare har undersökts i samband med det finska inomhusklimatprojektet. Man har härvid inte funnit att denna typ av fuktare gett någon nämnvärd förhöjning av luftens bakteriehalt, trots att halterna i fuktarevattnet varit höga. Förklaringen antas enligt den nämnda slutrapporten vara att fasta ämnen inte avges från fördunstarens ytor till luften.

De resultat som redovisats från det finska forskningsprojektet är i god överensstämmelse med en tidigare svensk undersökning som genomförts av K-Konsults arbetsmiljöavdelning med stöd från Arbetarskyddsfonden, se Luftbefuktningens anläggningar (1983). Luftens bakteriehalt i arbetslokaler med befuktning, bl.a. tryckerier, har i detta fall bestämts med hjälp av cyklonsamplers och Biap-samplers. Även bakteriehalterna i luftfuktarnas vattensystem har uppmätts.

Bakterieavgivningen från flera typer av luftfuktare har undersökts inom ramen för det nämnda ASF-projektet. I allmänhet har låga bakteriehalter uppmätts i luften från de olika fuktarna, trots höga halter i fuktarevattnet. Några av de slutsatser som har kunnat dras av undersökningen framgår av sidan 27 i slutrapporten:

"Mikroorganismhalterna i luften från de undersökta befuktningens anläggningarna är låga. Analyserna av vattnet visar höga bakteriehalter men dessa tycks bara spridas i liten omfattning till luften.

De uppmätta halterna ligger mycket lägre än vad man kan finna i utomhusluft i ett storstadsområde, där totalhalter upp till några tusen bakterier/m³ kan förekomma.

Som jämförelse kan nämnas att mätningar i reningsverk har visat att vid mycket höga koncentrationer av bakterier i vattnet ($\sim 10^8$ bakt/m³) blir bakteriekoncentrationen i luft ~ 50.000 bakt/m³."

I detta sammanhang skall också en dansk fältundersökning nämnas. Undersökningen ifråga har genomförts i sammanlagt 19 olika lokaler inom den grafiska industrin enligt en rapport från Arbejdsmiljøfondet, se Hansen (1982). De fuktare som använts vid dessa industrier är lokalt placerade aerosolfuktare. Av de redovisade resultaten från undersökningen framgår bl.a. att halterna av mikroorganismer i fuktarevattnet kan bli betydande när lokalluften innehåller höga halter av organiskt damm, vilket oftast är fallet inom den grafiska industrin.

7 SLUTSATSER

Den genomförda laboratorieundersökningen har visat att man med lämpligt valda provmetoder relativt noggrant kan bestämma bakterieavgivningen från olika slag av luftfuktare. Provmeterierna ifråga kan komma till användning vid jämförelser mellan luftfuktare, men också vid undersökningar av hur den konstruktiva utformningen påverkar bakterieavgivningen. Erfarenheterna från laboratorieproven kan även till en del utnyttjas i samband med fältprov.

Genom tillsats av kända halter av en viss bakterie, eller kända halter av plastpartiklar, till fuktarvattnet kan man enligt den genomförda undersökningen bestämma överföringsfaktorn för en luftfuktare. Det tycks också vara möjligt att uppnå rätt god överensstämmelse mellan de värden på överföringsfaktorn som erhålls vid tillsats av testbakterier och de som erhålls vid tillsats av sfäriska plastpartiklar. Ytterligare prov måste dock göras för att utröna hur generell denna överensstämmelse är under olika driftbetingelser.

Vid mätning av bakteriehalterna i luftströmmen från fuktarna har de mest entydiga resultaten erhållits då provtagningen skett med hjälp av cyklon-sampler. Proven med lufttvättaren har dessutom gett en jämförelsevis god överensstämmelse mellan överföringsfaktorerna för testbakterier och plastpartiklar i de fall bakteriehalterna bestämts genom provtagning med cyklon-sampler. Även ur praktisk synvinkel förefaller provtagning med cyklon-sampler vara en lämplig metod vid bakteriemätningar i luftbehandlingsystem.

Av de båda övriga provtagningsmetoder som kommit till användning vid bakteriemätningarna i luften från fuktarna, d.v.s. provtagning med hjälp av Andersen-sampler och impinger, har provtagningen med impinger gett mätvärden med lägst spridning. De uppmätta bakteriehalterna med denna metod är dock i genomsnitt betydligt lägre än de halter som erhållits vid provtagning med cyklon-sampler. Mätresultaten vid provtagning med Andersen-sampler är svårtolkade på grund av den stora spridningen, men motsäger dock inte de resultat som erhållits vid provtagning med de båda andra provtagningsapparaterna.

I samband med att bakterieavgivningen simulerades genom tillsats av plastpartiklar till fuktarvattnet har olika metoder att bestämma partikelhalten i luftströmmen från fuktarna kunnat jämföras, nämligen mätning med optisk partikelräknare, uppsamling på membranfilter direkt i luftströmmen och provtagning med cyklon-sampler följt av uppsamling på membranfilter. Härvid tycks de mest tillförlitliga mätresultaten ha erhållits vid mätning av partikelhalten med hjälp av den optiska partikelräknaren. Denna metod är också jämförelsevis snabb, men den förutsätter att man renar den luft som tillförs fuktarna mycket effektivt.

Med hänsyn till de uppmätta bakteriehalterna vid provtagning med cyklon-sampler har överföringsfaktorn för den provade lufttvättaren beräknats till ca 10^{-7} . På motsvarande sätt har en överföringsfaktor av ca $5 \cdot 10^{-10}$ erhållits för den provade fördunstaren i standardutförande. De prov som genomförts med en modifierad fördunstare visar att partikel- och bakterieavgivningen från en fördunstare i standardutförande kan sänkas högst betydligt genom enkla konstruktionsändringar. Det tycks således vara möjligt att uppnå en överföringsfaktor som understiger den mätgräns som gällt vid den genomförda undersökningen, vilken vid proven med plastpartiklar uppgått till ca $5 \cdot 10^{-12}$.

Att bakterieavgivningen från luftfuktare av fördunstartyp är låg, eller praktiskt taget försumbar, har även framgått av tidigare undersökningar, se bl.a. Pitkänen et al (1985) och Völksch et al (1987). Detta är också i överensstämmelse med de goda drifterfarenheter som föreligger sedan lång tid tillbaka beträffande fördunstare av typ KDQA eller liknande. Fördunstarens fördelar ur bakteriologisk synvinkel förefaller dock sällan ha uppmärksammats vid valet av luftfuktare.

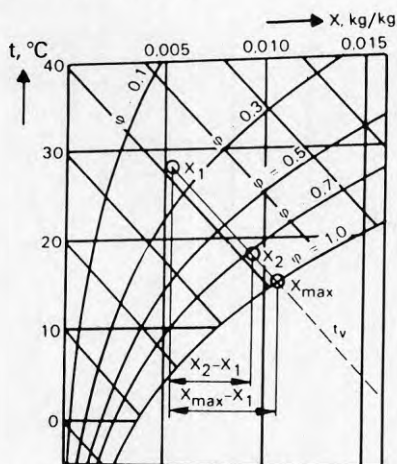
BILAGA 1. Fuktningsgrad.

I mollierdiagrammet enligt figur B1:1 visas ett exempel på hur luftens tillstånd förändras vid passage genom en luftfuktare. Diagrammet gäller vid fuktning med cirkulerande vatten som har samma temperatur som luftens våta temperatur. Med god noggrannhet kan diagrammet även anses gälla för fuktare med cirkulerande vatten som är anslutna till vattennät där vattnets temperatur är några grader lägre än luftens våta temperatur.

Luften har i det valda exemplet först värmts till en temperatur av 28 °C vid konstant vatteninnehåll ($x_1 = 0,0053$ kg/kg torr luft). Vid uppfuktningen avkyls luften, varvid tillståndsförändringen genom fuktaren sker utefter linjen för våt temperatur. Vatteninnehållet ökar då till $x_2 = 0,0096$ kg/kg torr luft, samtidigt som den torra temperaturen sjunker till 18 °C. Vid mättning uppgår luftens vatteninnehåll i detta fall till 0,0107 kg/kg torr luft.

Fuktningsgraden, se avsnitt 2.2, kan med angivna värden på luftens vatteninnehåll skrivas

$$\eta_x = \frac{0,0096 - 0,0053}{0,0107 - 0,0053} \cdot 100 = 80 \%$$



Figur B1:1. Exempel på luftens tillståndsförändring vid passage genom en luftfuktare.

Beteckningar

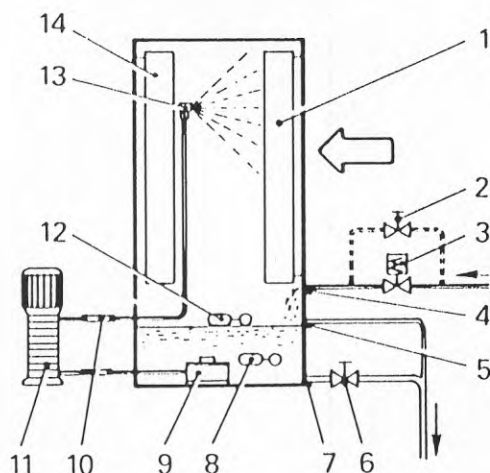
- x_1 = vatteninnehållet i luften före fuktaren
- x_2 = vatteninnehållet i luften efter fuktaren
- x_{max} = luftens vatteninnehåll vid mättning
- φ = relativ fuktighet
- t = torra termometers temperatur
- t_v = våta termometers temperatur

BILAGA 2. Data för lufttvättare KDQS.

Lufttvättare KDQS tillverkas i sju storlekar för luftflöden i området 0,4-6,7 m³/s. Två olika fuktningsgrader kan väljas, 50 % eller 90 %. För den vid proven använda storleken av lufttvättaren (KDQS-02) gäller följande data:

Luftflöde	= 0,6 - 1,2 m ³ /s
Tryckfall	= 50 - 150 Pa
Pumpeffekt	= 0,75 kW
Antal dysor	= 14 stycken
Dysornas håldiameter	= 3 mm

Lufttvättarens konstruktion framgår av figur B2:1.



Figur B2:1. Lufttvättare KDQS.

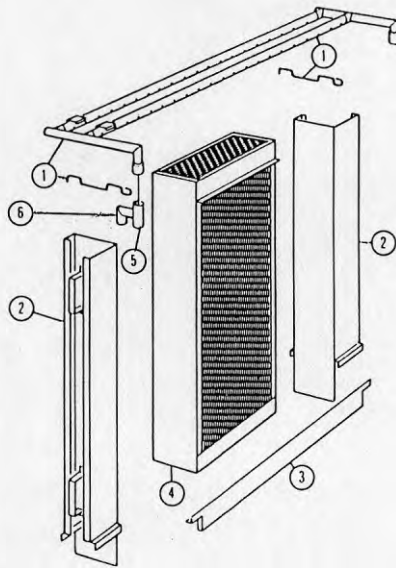
1. Inloppsgaller
2. Avstängningsventil
3. Magnetventil för vattenflöde
4. Röranslutning
5. Överströmningsutlopp
6. Avstängningsventil
7. Röranslutning för vattenutlopp
8. Flottörregulator
9. Filter
10. Flexibla slangar
11. Pump
12. Flottörventil
13. Dysbank
14. Droppavskiljare

BILAGA 3. Data för fördunstare KDQA.

Fördunstaren KDQA tillverkas i sex storlekar för luftflöden i området 0,4-6,0 m³/s. Den finns i två utföranden, för fuktighetsgrader upp till 60 %, eller upp till 90 %. Vid proven användes en fördunstare av storlek 2 (KDQA-02-01), vilken har följande data:

Luftflöde	= 0,4 - 0,9 m ³ /s
Tryckfall	= 55 - 120 Pa
Vattenflöde	= 10 l/min
Pumpeffekt	= 0,14 kW

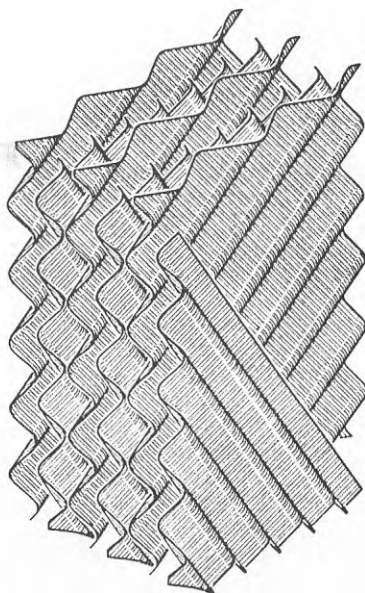
Fördunstarens konstruktion framgår av figur B3:1.



Figur B3:1. Fördunstare KDQA.

1. Strilrör med upphängningsbyglar
2. Skärmdel för luftavtätning
3. Stödskena
4. Rostfri kassett med fuktarblock och fördelarblock
5. Tillloppsledning från pump
6. Vattenavtappning

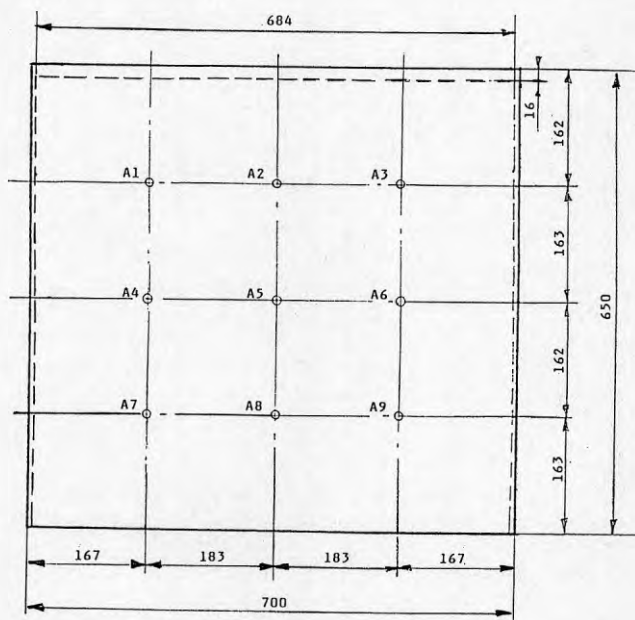
Fördunstaren är försedd med kontaktblock av typ PLUS-FILL. Dessa är tillverkade av korrugerad aluminiumplåt, vilken är försedd med ett hygroskopiskt ytskikt av aluminiumoxid. Blocken är obrännbara och klarar jämförelsevis höga lufthastigheter utan vattenmedryckning. Kontaktblockens djup = 100 eller 200 mm för fuktighetsgraden 60 respektive 90 %. Utformningen av kontaktblocken framgår av figur B3:2.



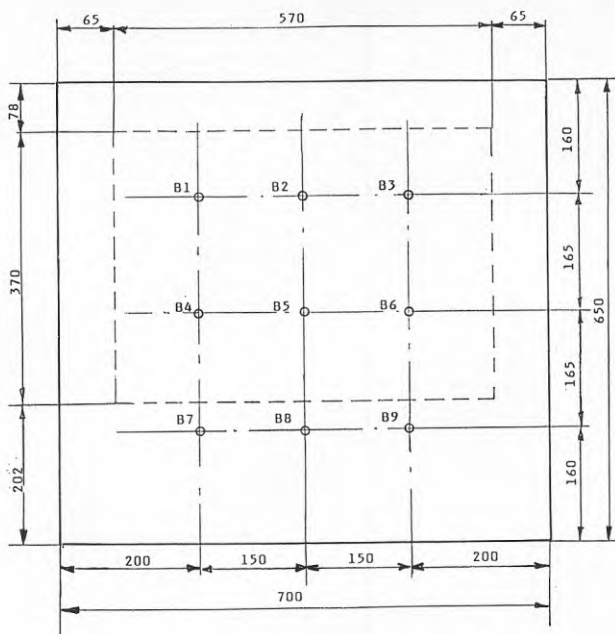
Figur B3:2. Kontaktblock av typ PLUS-FILL.

BILAGA 4. Mätpunkternas placering.

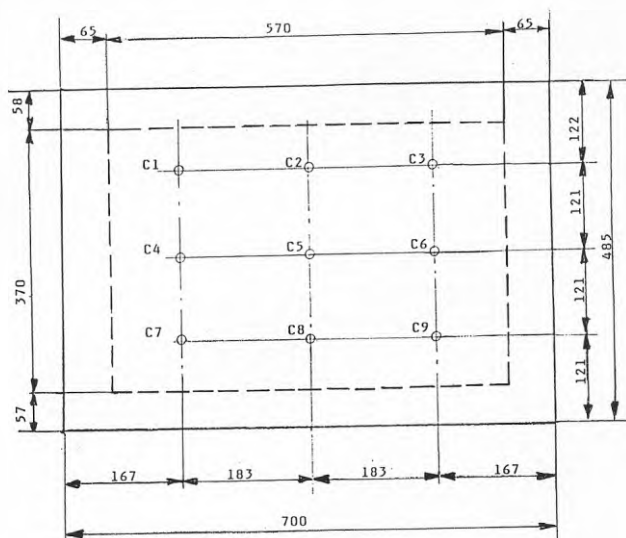
Vid proven med lufttvättare och fördunstare har mätningar skett i nio punkter i de olika mätsnitten, se figur B4:1, B4:2 och B4:3.



Figur B4:1. Mätpunkternas placering vid prov med lufttvättare KDQS (mätsnitt A). Den streckade linjen anger lufttvättarens utlopp. Avståndet mellan mätsnittet och lufttvättarens utlopp = 230 mm.



Figur 4:2. Mätpunkternas placering vid prov med fördunstore KDQA (mätsnitt B). Den streckade linjen anger fördunstarens utlopp. Avståndet mellan mätsnittet och fördunstarens utlopp = 380 mm.



Figur B4:3. Mätpunkternas placering vid prov med den modifierade fördunstaren (mätsnitt C). Den streckade linjen anger fördunstarens utlopp. Avståndet mellan mätsnittet och fördunstarens utlopp = 380 mm.

LITTERATUR

Hinds, WC, 1982, Aerosol Technology. (John Wiley & Sons, Inc.) New York.

Hansen, Ib, 1982, Mikrobiel forurening af befugtningsanlaeg. (Arbejds miljøfondet.) Köpenhamn.

Henningson, E, 1981, Sammanställning av apparatur och metodik för provtagning och analys av luftburna mikroorganismer. (Försvarets Forskningsanstalt.) Umeå.

Pitkänen, E, Pellikka, M, Jantunen, M & Kallio-koski, P, 1985, Bioaerosols at office buildings. (34 Nordiska yrkeshygieniska mötet, 1-3 okt. 1985, Tammerfors.)

Völksch, G, Horn, H & Günther, A, 1987, Investigations on individual indoor humidification. (The 4th Int. Conf. on Indoor Air Quality and Climate, 17-21 Aug. 1987, Berlin.)

Luftbefuktningsanläggningar, 1983. (K-Konsult, ASF-projekt 82-0016.) Stockholm.

Rakennuksen sisäilmaston laatu ja ilmanvaihdon tarve, 1986. (Handels- och industriministeriet, rapport D:104.) Helsingfors.

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 841292-5
från Statens råd för byggnadsforskning till Fläkt
Evaporator AB, Jönköping.**

R77: 1988

ISBN 91-540-4944-X

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6708077

**Abonnemangsgrupp:
W. Installationer**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm**

Cirka pris: 36 kr exkl moms