

Kvantifiering av luftburna partiklar och damm i byggnader

Slutrapport för SBUF-projekt 11652

Feb 2008

Anders Gudmundsson

Mats Bohgard

Andreas Dahl

Aneta Wierzbicka

Avd f ergonomi och aerosolteknologi,
Lunds tekniska högskola

BAKGRUND

Under de senaste 20 åren har luftburna partiklars betydelse för hälsan allt mer uppmärksammas. En bidragande orsak till detta är att flera epidemiologiska studier har visat ett starkt samband mellan utomhusluftens partiklar och befolkningens sjuklighet/dödlighet (t. ex i hjärt- och kärlsjukdomar). Denna kunskap har lett till att det idag finns normer för hur höga halter av luftburna partiklar som kan accepteras i utomhusluften. Sedan årsskiftet 2004/2005 gäller i EU att årsmedelvärdet av masskoncentrationen av partiklar inte får överskrida $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Några normer eller riktlinjer finns inte för inomhusluftens partiklar. De studier som tidigare gjorts bygger i stort sett på resultat baserade på utomhusmätningar trots största delen av jordens befolkning befinner sig mer än 85% av tiden inomhus. Detta kan synas märkligt då vi dessutom vet dels att partikelhalten inomhus ofta är högre än i utomhusluften, dels att inomhusluftens partiklar också har en annan kemisk sammansättning och partikelstorleksfördelning än utomhuspartiklarna. Trots denna vetskap har det gjorts få studier på att karaktärisera inomhusluftens partiklar och hur de påverkar hälsan. Det är ur folkhälsoperspektiv mycket angeläget att få ökad kunskap om inomhusluftens partiklar (Bohgard, 2007).

En speciellt utsatt grupp är personer som på något sätt är överkänsliga. Det är allmänt accepterat att andelen överkänsliga har ökat stadigt de senaste decennierna och astma- och allergiförbundet redovisar att idag anser 40% av befolkningen mellan 16 och 84 år att de har allergiska besvär. Den ökade allergin och annan överkänslighet ställer ökade krav på den framtida inomhusmiljön. Oavsett om denna ökning är byggnadsrelaterad eller inte medför denna ökning av överkänslighet att kraven på morgondagens inomhusmiljö kommer att öka t ex lägre halter av partiklar inomhus och bättre skydd mot pollen utifrån och. Partiklar är nämligen bärare av allehanda ämnen som upptas av människan och en minskad partikelkoncentration eller borttagning av vissa partiklar från luften kan markant förbättra luftkvalitén.

Utvärdering av inomhusmiljöns luftkvalité studeras i dagsläget oftast/uteslutande med hjälp av olika typer av enkäter t ex Örebro-, Stockholms- och MIBB-enkäten, där brukarna får uttala sig om luftkvalitén. Detta blir alltså en helt subjektiv utvärdering. Den subjektiva upplevelsen av inomhusmiljön är viktig, men för att vi ska kunna utforma byggnader och teknik behövs också objektiva metoder. En orsak till bristen på objektiva mätresultat är att det idag inte finns enkla instrument för bedöma de besvärrelevanta partiklarna, men också på grund av det varken finns några normer eller gränsvärden att jämföra med eller beprövade sätt att utvärdera mätresultaten. Utan bra och praktiskt användbar mätteknik finns det inget underlag för att sätta gränsvärden och möjligheter att bedöma om objektiva kriterier är uppfyllda.

I inomhusluften finns det partiklar inom ett stort partikelstorleksområde, från några nm till ett tiotal μm . De mindre partiklarna ($<1 \mu\text{m}$) kallas för fina partiklar och består av partiklar som bildats från gas till partikel övergång (nukleeringsmoden, $<0.1 \mu\text{m}$ sk ultrafina partiklar) och av partiklar som bildats vid olika typer av förbränning (ackumuleringsmoden, $0.1-1 \mu\text{m}$). Större partiklar benämns grovfraktionen ($>1 \mu\text{m}$) och bildas vid olika typer av mekanisk nötning/slitage. Partikelhalterna kan variera från mycket låga halter $0.001\text{mg}/\text{m}^3$ till höga, över $1 \text{mg}/\text{m}^3$. Mätt som antalskoncentration är variationen från ca $1\ 000$ partiklar/ cm^3 till över $1\ 000\ 000$ partiklar/ cm^3 .

I dagsläget finns det kommersiella instrument som kan mäta dessa partiklar, men flera olika typer av instrument måste användas för att kunna täcka hela partikelstorleks- och koncentrationsområdet. I tabell 1 redovisas vad som finns tillgängligt på dagens marknad.

Tabell 1. Sammanställning av olika mättekniker för att mäta luftburna partiklar.

	<0.1 µm	0.3 – 1 µm	> 1 µm	Tidsupp- lösning	Partikel- storleks- uppdelat	Pris instrument	Partikelegen- skap för detektering	Storhet som mäts	Kalib- rering	Analys- kostnad
Filter	N	J	J	> 8h	N*	< 2 000	Vikt	Mass	N	100 kr/filter
Foto- meter	N	J	J	< min	N*	> 20 000	Optisk	Mass	J	N
OPC	N	J	J	< min	3- 5 intervall	> 35 000	Optisk	Antal	J	N
CPC	J	J	N	< min	N**	> 70 000	Kondensation	Antal	N	N
Electro- meter	J	J	N	< min	N**	> 120 000	Elektrisk laddning	Antal	J	N

*genom provtagning av olika storlekar kan olika masskoncentrationer som PM1, PM2.5 eller PM10 erhållas.

**genom att avskilja olika partikelstorlekar kan högupplöst partikelstorleksfördelning erhållas, men priset ökar med en 100-200 000 kronor.

Filter: partiklarna samlas upp på ett filter och mängden mäts med en våg.

Fotometer: en ljuskälla (t ex fotodiod) lyser i en mätvolym och den totala mängden spritt ljus mäts och genom en kalibreringskurva erhålls masskoncentrationen.

OPC (optiskt partikelräknare): en ljuskälla (t ex fotodiod) fokuseras till en liten mätvolym och det spridda ljuset från enskilda partikel mäts och bestämmer partikelstorleken. Specifik kalibrering behövs för varje partikeltyp.

CPC (kondensationskärneräknare): partiklarna växer till (ca 5 µm) genom att en alkohol/vatten kondenseras på partiklarna och sedan räknas de med hjälp av en optisk räknare.

Elektrometer: partiklarna laddas och erhållen laddning mäts med en elektrometer. Utifrån teori beräknas antalskoncentration.

Filtermetoden är den enda metoden som är billig (< 3 000 kronor), men provtagningstiderna blir mycket långa, minst 8 timmar, och partiklar mindre än 0.1 µm har så liten massa att provtagningstider blir orimligt långa (vecka). Dessutom blir den kostnaden stor om ett stort antal mätningar ska göras eftersom varje filter kostar ca 100 kr att få uppvägt.

För att mäta partiklar mindre än 0.1 µm krävs en kondensationskärneräknare. De kostar minst 50 000 kronor. De har också begränsningar som högsta partikelkoncentration 10 000 partiklar/cm³ eller 100 000 partiklar/cm³ vilket man kan överstiga i inomhusmiljöer. Dessutom måste de flesta modeller regelbundet fyllas på med vätska (alkohol/vatten).

Det är först de senaste åren 5-10 åren som inomhusluftens partiklar har börjat studeras. Det har gjorts många internationella forskningsinsatser och studier med inomhusluftens partiklar i fokus, men bara ett fåtal i Sverige. Hittills har de varit av grundforskningskaraktär och de har inte haft ambitionen att användas för att bedöma partikelhalten utifrån ett användare- eller åtgärds perspektiv. Det har inte heller gjorts inventeringar/projekt med avsikten att identifiera möjliga partikelkällor i inomhusmiljön.

Sammanfattningsvis finns det ingen mätteknik av luftburna partiklar som kan användas för att rutinmässigt kunna mäta i inomhusmiljöer.

SYFTE

Projektets ursprungliga övergripande syftet var att:

utveckla praktiska och enkla bedömningsmetoder för luftkvalitén och användbara riktlinjer för hur man kan säkerställa god luftmiljö med avseende på luftburna partiklar.

Detta skulle specifikt uppnås genom att:

- i. utveckla enkel mätmetodik/mätutrustning för att bestämma partikel- och dammhalterna i en byggnad,
- ii. öka kunskapen om de partikelkällor som kan finnas i en byggnad,
- iii. utveckla metodik för att kunna identifiera partikelkällor som bidrar till dammproblem i en byggnad.

GENOMFÖRANDE

Projektet har haft fokus på de två första specifika målen. För att uppnå det **första målet** har referensgruppen ställt upp följande krav på ett partikelinstrument.

1. Billigt så att det kan användas rutinmässigt i ett stort antal.
2. Robust, enkelt och inget underhåll så det kan användas rutinmässigt av vem som helst.
3. Ska kunna mäta inomhusluftens fina och grova partiklar var för sig.
4. Tidsupplösningen ska vara mindre än 10 minuter, så att tillfälligt höga partikelkoncentrationer ska kunna registreras.
5. Mätvärdena för en lång mätperiod (typ veckor) ska kunna sparas.

Experimentella studier av olika typer av partikelsensorer har genomförts. Detta arbete har lett fram till ett laboratorieexemplar av ett partikelinstrument för användning i inomhusmiljöer.

För att uppnå det **andra målet** har partikelmätningar med traditionella partikeltinstrument genomförts i flera olika inomhusmiljöer som t ex villa, lägenhet, restaurang, mataffär och kontor. Resultaten från dessa mätningar har bidragit till ökad kunskap om de partikelkällor som kan finnas i inomhusmiljöer samt hur starka de kan vara.

Det **tredje delmålet** har uppfyllts i den studie vi genomförde av några villor där det förekom höga halter av damm. I den studien utvecklades metodik för att identifiera partikelkällor i bostäder.

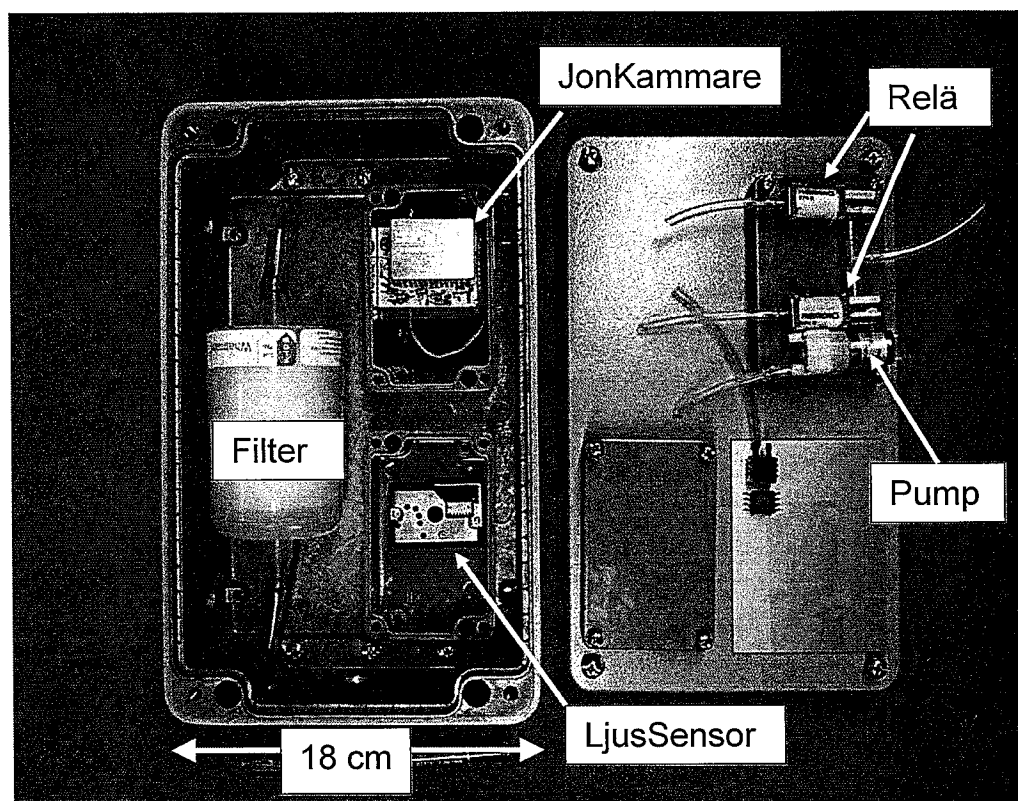
RESULTAT

Utveckling av partikelinstrument

I bakgrunden redovisas varför dagens olika partikelinstrument av luftburna partiklar inte uppfyller projektets krav. För att kunna utveckla en billig partikelmätare har vi undersökt hur partiklars förmåga att laddas elektriskt kan användas för att utveckla en billig partikelräknare.

Ett laboratorieexemplar (Labex), se figur 1, för mätning av inomhusluftens partiklar har utvecklats. Labex består av två olika sensorer, som är känsliga för luftburna partiklar. Båda sensorerna är enkla och billiga. Den ena sensorn (JonKammare), för mätning av partiklar $<0.3 \mu\text{m}$, består av detektorn från en vanlig bostadsbrandvarnare. Den andra sensorn (LjusSensor), för partiklar ($> 1 \mu\text{m}$), består av en kommersiell partikelsensor baserad på partiklars förmåga att sprida ljus. I båda fallen är sensorerna konstruerade för att registrera rök, det vill säga partikelhalter som är extremt mycket högre än vad som

normalt finns i inomhusmiljöer. Det finns vetenskapliga studier där man använt sig av dessa sensorer, men då har sensorerna använts i miljöer där partikelhalterna är minst 20-50 ggr högre än vad som kan förväntas i inomhusmiljöer och partiklar mindre än 0.1 μm har inte studerats. Vi har ökat sensorernas känslighet (mer än 10-100 gånger) genom förbättrad elektronik och signalbehandling samt ny teknik för att reducera drift och öka signal-brus förhållandet.



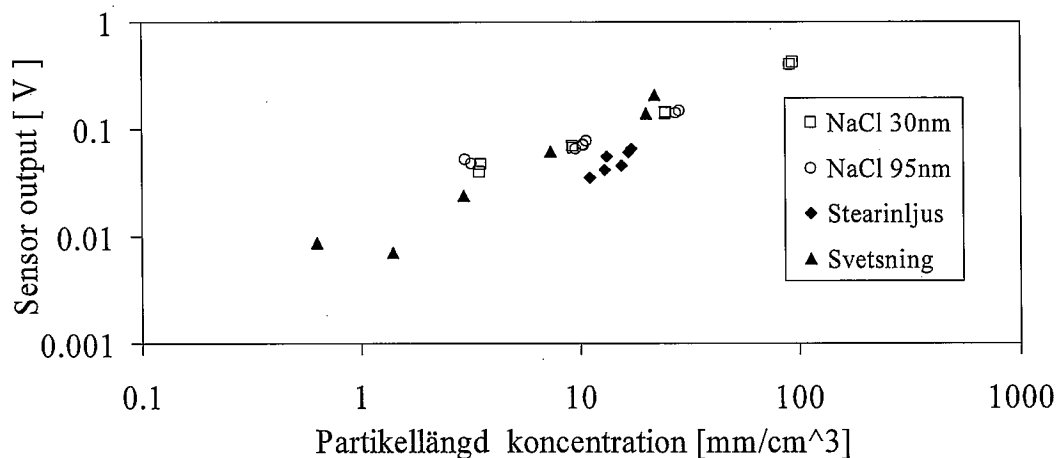
Figur 1. Prototypen för det nyutvecklade partikelinstrumentet.

JonKammaren

Detektorn i en vanlig brandvarnare består av ett radioaktivt preparat placerat i en mätcell, (JonKammaren), som luften passerar. Strålningen från preparatet medför att joner skapas och en ström uppstår mellan två metallplattor i mätcellen. Med ökande partikelhalt fastnar jonerna på partiklarna istället och en minskad ström mellan metallplattorna erhålls, vilket i sin tur medför reducerad elektrisk potential mellan plattorna. Noggranna studier av ett flertal detektor från kommersiellt tillgängliga bostadsbrandvarnare visade att största problemet med att öka känsligheten är dels signal-brus förhållandet orsakat av ostabil jonkoncentration i jonkammaren, dels drift av signalen på grund av påverkan från framförallt av relativ luftfuktighet men även lufttemperatur och lufttryck. Dessa problem har reducerats betydligt genom att låta den provtagna luften växelvis passera ett partikelfilter eller inte, se figur 1.

Vi kommer dessutom utforma sensorerna så att JonKammaren endast är känslig för de minsta partiklarna ($<0.3 \mu\text{m}$) och LjusSensorn för större ($> 1 \mu\text{m}$). Tidigare användare har inte haft full kontroll över detta. Detta betyder att vi med större säkerhet kan särskilja hur stor förekomsten har varit av fina respektive stora partiklar.

I kontrollerade försök har Labex testats tillsammans med avancerade partikelinstrument. Speciellt fokus har legat på JonKammaren för fina partiklar då det ansågs vara mest innovativt. Det finns ett konferensbidrag inskickat till en vetenskaplig konferens för inomhusluft (Dahl et al, 2008), som beskriver JonKammaren. Figur 2 visar hur utslaget, en elektrisk potential mätt i volt, från JonKammaren ändras då olika partikelstorlekar vid olika koncentrationer passerar JonKammaren. Utslaget är proportionellt mot partikelstorlek gånger partikelkoncentration, vilket benämns partikellängd-koncentration. Dessa studier har utförts i en experimentkammare med volymen 20 m^3 och en luftomsättning per timme. Ett stearinljus har brunnit och partikelkoncentrationen har mätts samtidigt med JonKammaren och avancerade partikelinstrument. Studierna visar att JonKammaren är så känslig att den t ex kan detektera 100 nm partiklar vid en koncentration på ca $5\,000 \text{ partiklar/cm}^3$. Sammanfattningsvis visar våra studier att JonKammaren kan detektera när olika partikelkällor i inomhusmiljö avger partiklar, som är mindre än $1 \mu\text{m}$ och ner till en ca $0.03 \mu\text{m}$.



Figur 2. Grafen visar utslaget från JonKammaren, sensor output, för olika typer av partiklar.

LjusSensorn

LjusSensorn för grova partiklar är en traditionell partikelmätare kallad fotometer, som det finns många kommersiella modeller av. Det finns många studier som visar hur de fungerar och vilka detektionsgränser de har. För en kostnad kring 20-35 000 kronor kan man få en fotometer som mäter halter ner till ca $10 \mu\text{g/m}^3$ för partiklar större än $0.3 \mu\text{m}$. Det är mest frågan om vilken prestanda man vill ha i förhållande till priset. För närvarande testar vi en sensor (från Sharp), som kostar 150 kronor. Inledande tester visar att det är möjligt att mäta partikelhalter lägre än vad tillverkaren uppger med bättre kringutrustning och signalbehandling. Tillverkaren uppger 0.1 mg/m^3 , men vi har mätt nivåer kring 0.05 mg/m^3 . Vi avser att ytterligare förbättra prestandan så att vi kan mäta ner till åtminstone

0.01 mg/ m³. Denna nivå motsvarar ungefär den halten som vi har på utomhusluften i avsaknad av närbelägna partikelkällor.

Sammanfattning

Labex uppfyller de uppställda kraven (enligt listan ovan) på följande sätt:

1. Material- och tillverkningskostnaden för en enhet beräknas till ca 3 00 kronor.
2. Enheten behöver bara anslutas till vägguttaget för att börja mäta.
3. Det finns två sensorer i den. En som mäter partiklar i intervallet 0.01 till 0.3 µm. En annan som mäter partiklar mellan 1 till ca 10 µm.
4. Tidsupplösningen beräknas vara kring 3 till 10 minuter, vilket betyder att aktiviteter/moment som bildar partiklar kan registreras.

Det finns en färdig design och konstruktionsritning för att tillverka ett färdigt mätinstrument så att den kan testas i olika inomhusmiljöer. I denna design ingår en processer för att styra mätinstrumentet och logga mätvärdena. Det sista kravet på loggning av mätdata är alltså också uppfyllt. Kostnaden för material- och tillverkningskostnad beräknas vara 3 000 kr per enhet. Storleken på enheten blir ca 15 x 20 cm och en höjd på knappt 10 cm.

Det har också gjorts en design där de båda partikelsensorerna kan integreras tillsammans med andra sensorer för temperatur, relativ luftfuktighet samt koldioxid. Allt som allt ryms sensorerna med tillhörande elektronik i en box med dimensionerna 15 x 20 cm och en höjd på 10 cm. Detta gör att vi har ett instrument som kan mäta många parametrar/faktorer som kan användas för att göra flera olika typer av bedömningar av inomhusluftens kvalitet. Den totala kostnaden för vårt mer avancerade mätinstrument (material- och tillverkningskostnad) kommer att vara runt 8 000 kr.

Partikelmätningar i olika inomhusmiljöer

Partikelmätningar med ett stort antal olika instrument har under projektets gång utförts i flera olika typer av inomhusmiljöer: stormarknad, restaurang, skolor (2 st), lägenhet och kontor. Studierna är accepterade för publikation på vetenskapliga konferenser (Wierzbicka et al, 2008a, 2008b) och manus för publikation i vetenskaplig tidskrift har skickats in (Wierzbicka et al, 2008c). Denna artikel är en del av en doktorsavhandling, som en doktorand vid avdelningen kommer att försvara/presentera den 25 april i år, 2008 (Wierzbicka 2008d). Partikelmätningarna i kontor finns publicerade i universitetsrapport (Gudmundsson et al, 2007).

Nedan följer några resultat:

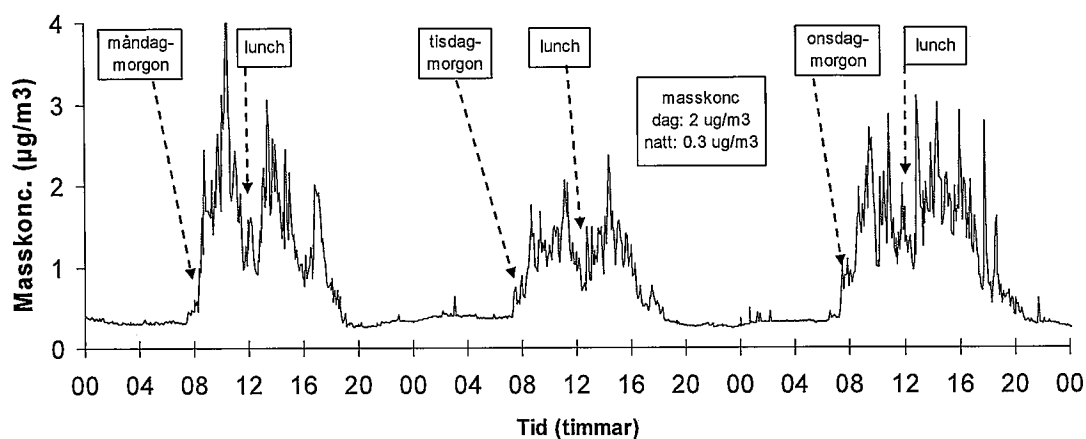
I en nybyggnation i Malmö mätes partikelhalterna från inflyttning och därefter i tre veckor. Mätutrustningen var placerad i en öppen kontorsmiljö och bestod av APS (Aerodynamic Particle Sizer, model 3221, TSI Inc) för mätning av stora partiklar (0.5 – 20 µm, aerodynamisk diameter) och ett SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer, TSI Inc.) för fina partiklar (0.01 – 0.7 µm). Figur 3 visar hur masskoncentrationen (APS-mätningar) varierar med tiden för stora partiklar >0.5 µm.

- Under arbetstiden är det en förhöjd partikelkoncentrationen på ca 2 µg/m³, med lägre koncentration under lunchen.
- Efter arbetstid sjunker partikelhalten ner till en bakgrundsnivå kring 0.3 µg/m³.

Detta får betraktas som mycket låga halter. Jämför med partikelhalter uppmätta i andra inomhusmiljöer, tabell 2. Utomhusluften i Malmö ligger normalt kring ca 16 µg/m³.

Sammanfattningsvis visar partikelmätningarna att partikelkällorna i kontoret bidrar med ca 1.7 µg/m³ till inomhusluften. Mätningarna av mindre partiklar med SMPS visar ingen tydlig dygnsrytm som för

de stora partiklarna. Detta kan tolkas som att de anställdas aktiviteter skapar stora partiklar medan halten fina partiklar beror mer på bidrag från utomhusluften. Ventilationsanläggningen är effektiv och reducerar utomhusluftens fina partiklar med ca 50% och stora partiklar (1 – 10 μm) med 90% jämfört med utomhusluften i Malmö. Den totala partikelhalten i kontorets inomhusluft under arbetstid är ca 5.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Figur 3. Masskoncentrationen ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) uppmätt med APS (0.5- 20 μm) i nybyggt kontor i Malmö för tre olika arbetsdagar i juni 2006.

I tabell 1 visar masskoncentrationen uppmätt i olika inomhusmiljöer. Mätningarna har gjorts med en fotometer (DustTrack, TSI Inc.). DustTracken har varit försedd med en partikelföravskiljare så att endast partiklar med en aerodynamisk diameter < 2.5 μm har mätts, så kallat PM_{2.5}. I tabell 2 redovisas totalantalet partiklar, vilket i stort utgörs av fina partiklar (< 1 μm). Dessa mätningar har gjorts med SMPS.

Sammanfattningsvis gäller:

- Medianvärdena för antalskoncentrationerna är lika för de olika inomhusmiljöerna
- Högst toppvärden för antalskoncentrationerna erhålls i lägenheten. Detta beror dels på de partikelkällor som finns i en bostad som t ex matlagning, stearinljus, dels på den låga luftomsättningen (uppmätt med spårgasmetod 0.2 omsättningar per timme).
- Högst medelmasskoncentration erhålls i skola A och i lägenheten, mer än dubbelt så höga som i de andra inomhusmiljöerna.
- I lägenheten kan extremt höga värden erhållas vid aktiviteter i bostaden
- Lågst masskoncentrationen erhöles i kontoret med hälften så högt värden som övriga.

Tabell 2. PM_{2.5} masskoncentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) uppmätt med DustTrack i olika inomhusmiljöer. PM_{2.5} innebär att partiklar mindre 2.5 μm har studerats. Mätningarna pågick minst 7 dagar.

	Stormarknad Livsmedelsavd.	Restaurang serveringsdel	Skola A klassrum	Skola B klassrum	Lägenhet	Kontor*
Median	6	8	25	8	18	3
Minimum	5	2	8	2	5	1
Maximum	20	14	43	47	403	9

*Mätningar gjorda med APS+SMPS.

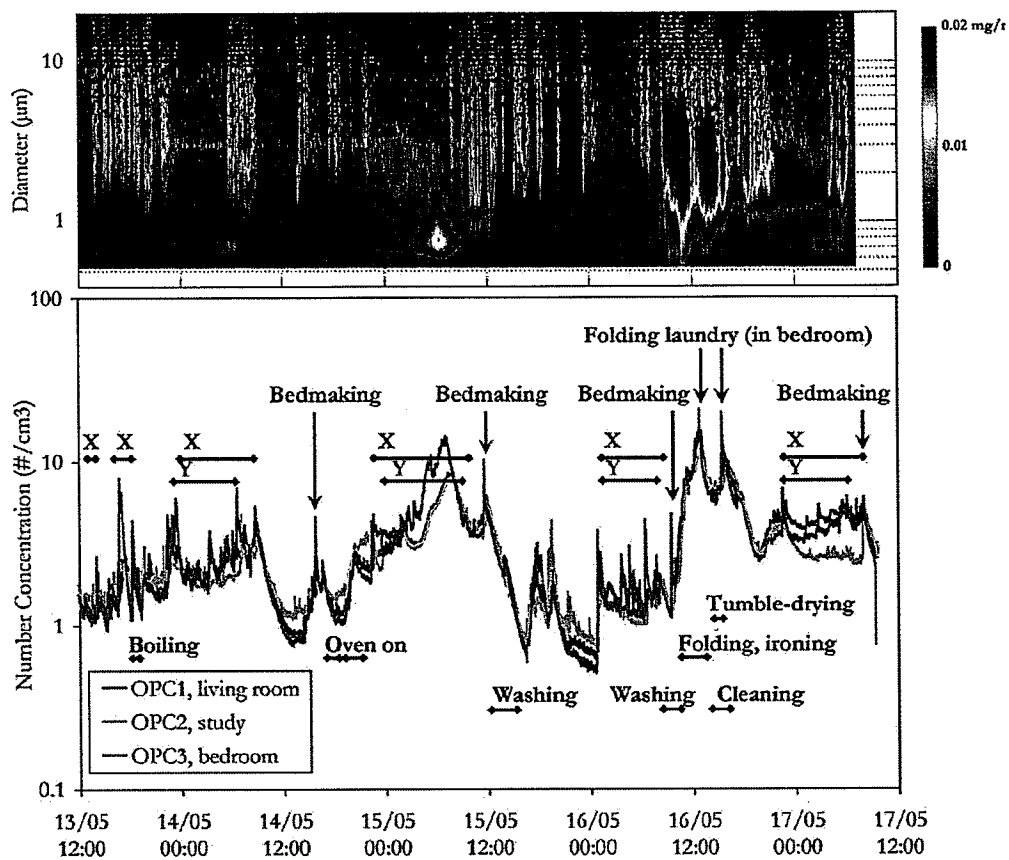
Tabell 3. Totala antalet partiklar (antal/ cm^3) uppmätt med SMPS (0.01 – 0.07 μm) i olika inomhusmiljöer. Mätningarna pågick minst 7 dagar.

	Stormarknad livsmedelsavd.	Restaurang serveringsdel	Skola A klassrum	Skola B klassrum	Lägenhet	Kontor
Median	2 000	600	1 600	1 500	1 700	830
Minimum	800	100	800	700	700	320
Maximum	10 000	9 100	3 200	3 500	173 000	2 200

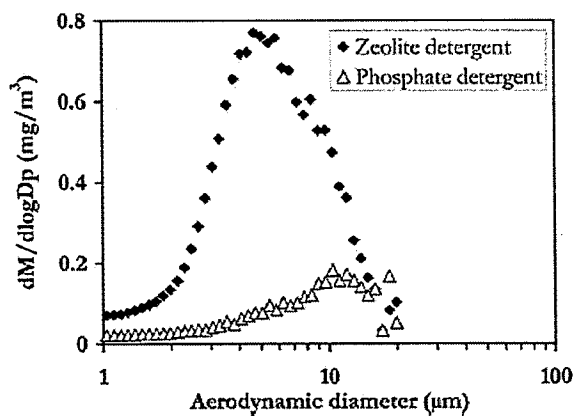
*Mätningar gjorda med SMPS.

Utveckling av metodik för att kunna identifiera partikelkällor

I en studie av några villor i Ystad där det förekom onormalt höga halter av damm av okänd anledning utvecklades en metod, som hade till syfte att kunna identifiera partikelkällor i inomhusmiljöer (Gudmundsson et al, 2007). Metoden består av tre steg: visuell inspektion av potentiella partikelkällor, partikelmätningar med samtidig loggning av aktiviteter samt experimental karakterisering av partikelkälla. Figur 4 visar resultatet av partikelmätning med samtidig loggning av aktiviteter av de inneboende i en av de studerade bostäderna. Figur 5 visar ett exempel på studie av partikelkälla i detta fall tvättmedelsrester från textilier. I en experimentkammare jämfördes hur mycket partiklar som bildas från hantering av textilier tvättade med zeolitbaserat respektive fosfatbaserat tvättmedel. Studien visade att textilier tvättade med zeolitbaserat tvättmedel kan vara en stor partikelkälla.



Figur 5. Partikelmätning med APS ($0.5 - 20 \mu\text{m}$) i bostad och med identifierade aktiviteter, som orsakat ökning av partikelhalten i inomhusluften.



Figur 6. Partikelstorleksfördelning, mätt med APS ($0.5 - 20 \mu\text{m}$), då textilier tvättade med zeolitbaserat respektive fosfatbaserat tvättmedel hanterats i experimentkammare.

PRAKTISKA TILLÄMPNINGAR

Partikelinstrumentet kommer att kunna:

- mäta partikelhalter i nyproducerade inomhusmiljöer (t ex bostäder, kontor),
- jämföra och bedöma luftkvaliteten i olika inomhusmiljöer,
- fungera för kontinuerlig övervakning av partikelnivåer,
- eventuellt vara en framtida detektor för styrning av ventilationsunderhåll och ventilation.

Detta kommer att bli till nytta för brukare, fastighetsskötare och byggproducenter. Speciellt angeläget är det att ta fram metoder/kriterier för att kunna bedöma olika typer av inomhusmiljöers luftkvalité vid olika tillfällen som t ex under produktion, slutbesiktning och under funktion.

MÖJLIGA KONSEKVENSER

På längre sikt kan insamling av mätdata från ett stort antal inomhusmiljöer leda fram till:

- rekommenderade gränsvärden för partikelhalter i inomhusmiljöer,
- bättre underlag för utformning och dimensionering av ventilationssystem.

PUBLICERING FRÅN PROJEKTET

- Bohgard M. (2007). Luftens partiklar påverkar sjuklighet och dödlighet. Husbyggaren No 6, s20-22.
- Dahl A, Gudmundsson A and Bohgard M (2008). A Low Cost Aerosol Monitor for Screening Measurements in Indoor Environments. Accepterad som konferensbidrag till Indoor Air Conference 2008, Köpenhamn
- Gudmundsson A, Dahl A and Bohgard M. (2007). Luftburna partiklar i ny kontorsmiljö. ISSN 1650-9773. Lund University report LUNDD/TMAT - 3028-SE, Avd f ergonomi och aerosolteknologi, Lunds tekniska högskola.
- Gudmundsson A, Löndahl J and Bohgard M (2007). Methodology for identifying particle sources in indoor environments. J. Environ. Monit., 2007, 9, 831–838
- Wierzbicka, A. Gudmundsson, J.Pagels, A. Dahl, J.Löndahl, E. Swietlicki and M. Bohgard. (2008a) Sources of fine particles in a residential apartment. Accepterad som konferensbidrag till European Aerosol Conference 2008, Thessaloniki
- Wierzbicka, A. Gudmundsson, J.Pagels, A. Dahl, J.Löndahl, E. Swietlicki and M. Bohgard. (2008b) Fine Particles in Various Swedish Indoor Environments. Accepterad som konferensbidrag till Indoor Air Conference 2008, Köpenhamn
- Wierzbicka A, Gudmundsson A, Pagels J, Dahl A, Löndahl J, Swietlicki E and Bohgard M. (2008c) Characteristics of airborne particles in various Swedish indoor environments. Manus för publicering i vetenskaplig tidskrift.
- Wierzbicka A. (2008d). What are the characteristics of airborne particles that we are exposed to? Focus on indoor environments and emissions from biomass fired district heating. Doktorsavhandling . Tid för disputation 25 april 2008.