



# LUND UNIVERSITY

## Radondotterprovtagare för mätning av integrerad lungdos i bostäder

Eklund, Pär; Bohgard, Mats; Samuelsson, Christer

1995

[Link to publication](#)

*Citation for published version (APA):*

Eklund, P., Bohgard, M., & Samuelsson, C. (1995). *Radondotterprovtagare för mätning av integrerad lungdos i bostäder*. Lund University.

*Total number of authors:*

3

### General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117  
221 00 Lund  
+46 46-222 00 00



**LUNDS**  
UNIVERSITET

## **Radondotterprovtagare för mätning av integrerad lungdos i bostäder**

Pär Eklund<sup>1</sup>, Mats Bohgard<sup>1</sup>, Christer Samuelsson<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Avd. för arbetsmiljöteknik, Lunds Tekniska Högskola, Box 118, 221 00 Lund

<sup>2</sup> Avd för radiofysik, Lunds Universitet, Universitetssjukhuset, 221 85 Lund

Slutrapport SSI P919.95

Avd för arbetsmiljöteknik  
Lunds Tekniska Högskola

---

Publication 43  
ISSN 1104-1080  
ISRN LUTMDN/TMAT--7004--SE

## Innehåll

Sammanfattning, summary	2
Förord	3
1. Inledning	4
1.1 Syfte	4
1.2 Bakgrund	4
2. Provtagaren	6
2.1 Ursprunglig målsättning och modifieringar	6
2.2 Version ett. Teknisk beskrivning	7
2.2.1 Princip	7
2.2.2 Nätet	8
2.2.3 Månghålsimpaktorn	10
2.2.4 Back-up-filtret	10
2.2.5 Track-etch-detektorer	10
2.2.6 Mätningar i kammare	11
2.2.7 Kostnadsanalys	13
2.2.8 Utvärdering	13
2.3 Version två. Teknisk beskrivning	13
2.3.1 Princip	13
2.3.2 Teoretiska prestanda	14
2.3.3 Resultat från teoretisk beräkning	16
2.3.4 Energidiskriminering med folie	17
2.3.5 Mätningar i kammare	17
2.3.6 Slutsatser	18
Referenser	19

## Sammanfattning

Syftet med detta projekt har varit att utveckla en metod för att bestämma radondöttrars storleksfördelning, en parameter som inverkar starkt på den erhållna lungdosen vid en exponering för radon och dess sönderfallsprodukter. Traditionella metoder för att göra sådana mätningar är dyrbara och relativt komplicerade att handha. Detta begränsar möjligheterna att göra studier som omfattar ett stort antal bostäder. I situationer där endast den totala dosen är av intresse är on-line system baserade på t.ex. diffusionsbatterier och mångkanalsanalysator ofta inte det mest lämpliga. Det föreligger således ett behov av mätmetoder som är billiga och enkla, men som samtidigt ger mer information om lungdosen än mätmetoder som bara återger radongashalten, t.ex. mätning med slutna spårfilm.

Därför har en provtagare för radondöttrar baserad på s.k. track-etch-teknik konstruerats, byggts och testats. Provtagaren är modulärt uppbyggd och kan användas dels som en automatiserad sikt/filterprovtagare, dels som dosimeter för direkt avläsning av erhållen lungdos. Sikt/filterversionen bygger på uppdelning av radondöttrarna i tre storleksintervall, med insamling på olika substrat: ett finmaskigt metallnät avskiljer radondöttrar mindre än 4 nm, ett filter samlar upp partiklar i intervallet 5 till 60 nm och en månghålsimpaktor avskiljer aktivitet med diameter större än 60 nm. Tester av sikt/filterversionen av provtagaren visar att den fungerar väl, men att övermättnad av impaktionsplattan kan förekomma.

I dosimeterversionen har insamlingen anpassats för att efterlikna en given exponering-till-dos kurva (lungdos per inhaled aktivitetsmängd som funktion av partikelstorleken). När provtagaren fungerar som lungdosimeter sker all insamling i ett steg bestående av flera lager metallnät. Överensstämmelsen mellan erhållen spåräthet och lungdos beror till viss del på jämviktsfaktorn; en överskattning av dosen sker vid extremt låga jämvikter. Noggrannare testning av denna provtagare behövs innan den kan användas för mätningar i bostäder.

## Summary

There is a need for inexpensive, easy-to-operate devices for measuring radon progeny activity size distributions. This parameter is very important for determining the acquired lung dose from an exposure of radon and its decay products. In many cases, where the total dose is the parameter of interest, an integrating method is the most useful. A device based on track-etch technique (CR-39) for sampling radon progeny has been designed, constructed and tested. The sampler is modular, and can be used as an automated single screen/filter sampler or as a true dosimeter. The single screen/filter sampler divides the airborne activity in three different size bins, where collection takes place on different substrates: a wire screen collects particles smaller than 4 nm, a multi-nozzle impactor cuts off all particles greater than 60 nm and a back-up filter collects the remaining activity. Experiments show that the single/screen-filter sampler works well, but overloading of the impactor plate can occur if too much activity is sampled.

To make the sampler work as a dosimeter, the collection efficiency for different particle sizes is adapted so that sampling is done according to a pre-specified dose-conversion curve, based on existing dose models. All activity is collected on one substrate, a set of wire screens. The activity collected on the screens exposes a single sheet of CR-39. Experiments show that the acquired lung dose, as calculated from the track density of the CR-39 detector, is exaggerated at low particle concentrations. Further testing is however necessary to characterize the sampler working in this mode.

## **Förord**

Följande rapport utgör rapportering av projekt SSI P919.95 "Radondotterprovtagare för mätning av integrerad lungdos i bostäder".

Ett speciellt tack till Zivorad Zivkovic, Inst. för Hållfasthetslära, för hjälp med utläsningen av spårfilmerna.

## 1. Inledning

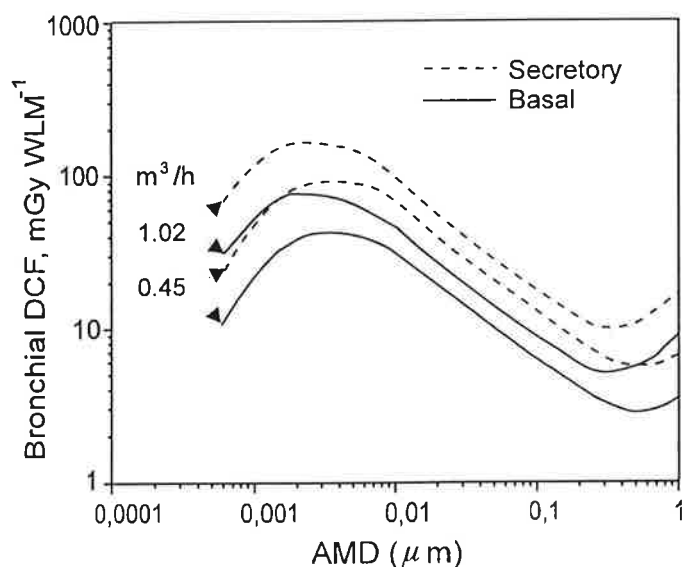
### 1.1 Syfte

Det ursprungliga syftet med detta projekt var att konstruera en provtagare för radondöttrar som i tre steg separerade aktiviteten i olika storleksfraktioner. Med denna separering skulle man sedan kunna göra en bestämning av den erhållna lungdosen. Under den inledande fasen av utvecklingsarbetet stod det dock klart att den ursprungliga utformningen inte var den optimala. Det sista steget av provtagaren, som innebar en elektrostatisk avskiljning, visade sig inte ge den information som från början avsetts. Istället utvecklades två separata versioner av provtagaren; en där aktiviteten separerades i två steg och en helt nykonstruerad där responsen direkt skall överensstämma med exponerings-dos kurvan för radondöttrar. För att validera den senare versionen har mycket arbete lagts ned på att teoretiskt förutsäga om en sådan direktvisande dosimeter är möjlig att använda i bostäder, där det inbördes förhållandet mellan radondöttrarna normalt inte är känt. Denna rapport innehåller således en utförlig behandling av systemets teoretiska prestanda, samt experimentella studier av desamma.

### 1.2 Bakgrund

Radon och dess sönderfallsprodukter står för det absolut största bidraget när det gäller allmänhetens exponering för joniserande strålning. Den huvudsakliga bestrålningen sker inomhus, främst i bostaden.

Risken med exponering för radon och radondöttrar inomhus, kan relateras till den erhållna dosen till bronkerna. Denna dos är i huvudsak beroende på radondotterhalten, storleken på de inhalerade radondöttrarna, samt den exponerades ålder och andningsmönster. I figur 1 nedan återges exponering-till-dosfaktorn (mSv per Working Level Month, WLM) som funktion av partikelstorleken.

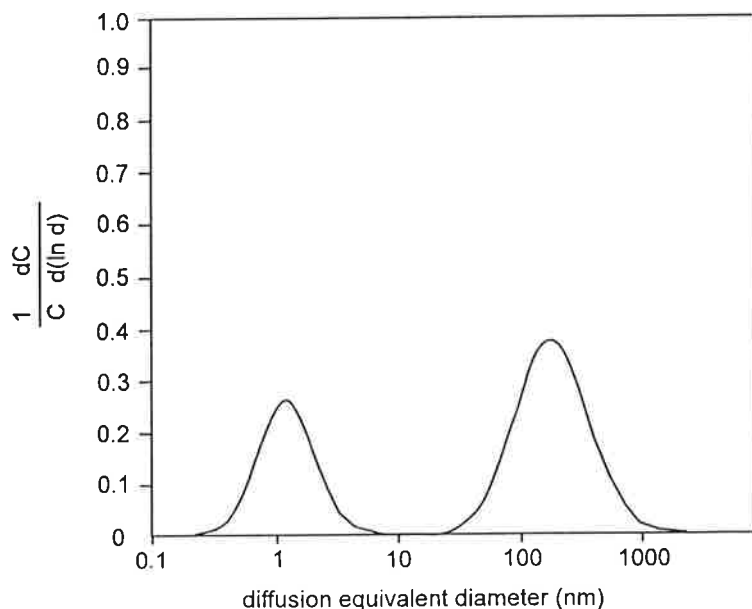


Figur 1. Koppling mellan exponering och dos för olika radondotterstorlekar (ur (James, 1992)).

I de flesta fall kan storleksfördelningen av radondöttrarnas aktivitet beskrivas som bimodal, innehållande två log-normalfördelningar (Reineking and Porstendörfer, 1990). Den ena moden, den s.k. ultrafina eller obundna fraktionen, har en storleksmedian på 0.8-1.2 nm, medan den andra moden, den s.k. partikelbundna fraktionen, ligger storleksmässigt på ca 150-300 nm (figur 2). Efter att denna bimodala fördelning först observerats utvecklades den s.k. sikt/filtermetoden (George, 1972) som bygger på att de två storleksmoderna separeras på två olika substrat. Genom att något förenklat tilldela varje fraktion en konstant exponering-till-dosfaktor kunde man göra en dosberäkning som var bättre än tidigare beräkningar som byggde på totalkoncentrationen av radondöttrar. Som syns i figur 1 kan det dock vara svårt att välja rätt faktor för den s.k. obundna fraktionen (med en diameter kring 1 nm) p.g.a. den starka gradienten i detta område. Denna gradient beror på deposition av de minsta partiklarna i näsa och svalg.

Sikt/filtermetoden används ännu idag p.g.a. sin enkelhet. Automatiserade system förekommer också. Den i denna rapport beskrivna provtagaren kan användas som en automatisk sikt/filterprovtagare med passiv detektering av radondöttrarna.

För att sikt/filtermetoden skall ge ett någorlunda riktigt resultat krävs således att: 1) andelen aktivitet som ligger i storleksområdet 10-100 nm är försumbar, 2) aktiviteten i den obundna resp. den aerosolbundna moden ligger i storleksintervall där dosgradienten är svag (se fig. 1), samt att 3) andelen aktivitet i området < 2 nm som deponeras i den extratorakala regionen (huvudsakligen i näsan) är försumbar. Nya rön (CEC, 1997) antyder dock dels att den obundna fraktionen i vissa fall kan ha en storlek som är väsentligt mindre än den tidigare antagna, samt att näsdepositionen kan bidra väsentligt till en minskad deponering i bronkerna. Om det dessutom är så att andelen aktivitet som befinner sig i den intermediära storleksregionen (10-100 nm) inte är försumbar, kommer sikt/filtermetoden inte att ge underlag för en korrekt dosberäkning. Exempel på situationer med påtaglig andel aktivitet i området 10-100 nm är vid kraftig produktion av små partiklar, t.ex. från brännare, stearinljus etc.



Figur 2. Bimodal storleksfördelning av radondöttrar inomhus.

För att göra en bestämning av bronkialdosen i sådana fall, krävs således antingen detaljerad kännedom om radondöttrarnas storleksfördelning och koncentration, eller tillgång till ett mätinstrument vars respons för olika partikelstorlekar exakt motsvarar den kurva som beskriver bronkialdosens storleksberoende (figur 1). I det senare fallet krävs således ingen kunskap om radondöttrarnas storlek. Den nedan beskrivna provtagaren kan också användas på detta sätt.

Traditionellt har system för mätning av radondöttrarnas storleksfördelning innehållit en storleksseparerande anordning (diffusionsbatteri, kaskadimpaktor, elektrostatisk avskiljare etc.) kopplad till ett analysystem för radondöttrar (t.ex. ytbarriärdetektorer + mångkanalsanalysator). Med ett eller flera sådana system kan en noggrann karakterisering av storleksfördelningen göras. Nackdelarna är dock att systemet blir kostbart och skrymmande. En kostnad på minst hundratusen kronor per enhet gör att det är svårt att göra mätningar i flera bostäder samtidigt, eller att genomföra studier av många mätobjekt. Komplexiteten och kostnaden hos dessa system ökar också kraven på övervakning under mätning. Detta begränsar i praktiken mätperiodens längd vilket i sin tur begränsar värdet av den dosberäkning som görs utifrån insamlade data. Det föreligger således ett behov av mindre kostsamma/komplexa system som kan användas för oövervakade mätningar under långa tidsperioder.

## 2 Provtagaren

### 2.1 Ursprunglig målsättning och modifieringar

I ansökan till detta projekt presenterades målsättningen att konstruera en provtagare som klarar att återspegla radondöttrarna i sådana storleksintervall att en beräkning av lungdosen kunde göras. Detta skulle uppnås genom tre separata avskiljningsmekanismer: en diffusionsavskiljare för partiklar mindre än 4 nm, en elektrostatisk avskiljare för intervallet 4-100 nm samt en månghålsimpaktor för partiklar större än 100 nm.

Den första versionen av provtagaren inkluderade steg ett och två men hade ett totalfilter kombinerat med en CR-39-skiva istället för den elektrostatiska avskiljaren (figur 3). Under testerna av denna provtagare stod det ganska klart att mängden deponerad aktivitet på filtret var väldigt liten i förhållande till mängderna på nätet och på impaktorplattan. Detta kan till viss del bero på förluster i provtagaren, men också på att andelen aktivitet i det intermediära storleksintervallet var liten, även vid höga partikelkoncentrationer. Då laddningseffektiviteten i den unipolära laddaren är några procent för de minsta partiklarna är det rimligt att anta att spårtaheten i den tänkta elektrostatiska avskiljaren skulle bli svår att skilja från bakgrundsbruset. Förekomsten av spår från alfapartiklar emitterade från radongasen skulle ha försämrat känsligheten ytterligare. Mot bakgrund av detta ansåg vi det rimligt att tills vidare utesluta den elektrostatiska avskiljaren. I nästa avsnitt beskrivs därför provtagaren med ett uppbackningsfilter istället för elektrostatisk avskiljare.

Om man istället väljer att konstruera provtagaren så att avskiljningseffektiviteten följer exponerings-till-doskurvan i figur 1, får man en möjlighet att direkt bestämma den absorberade dosen utan att först återskapa storleksfördelningen. Fördelen är en förenklad analysprocedur, där endast en utläsning behöver göras, och där ytterligare analys av mätdata ej behövs. Nackdelen med denna typ av dosimeter är att man i förväg måste välja vilken



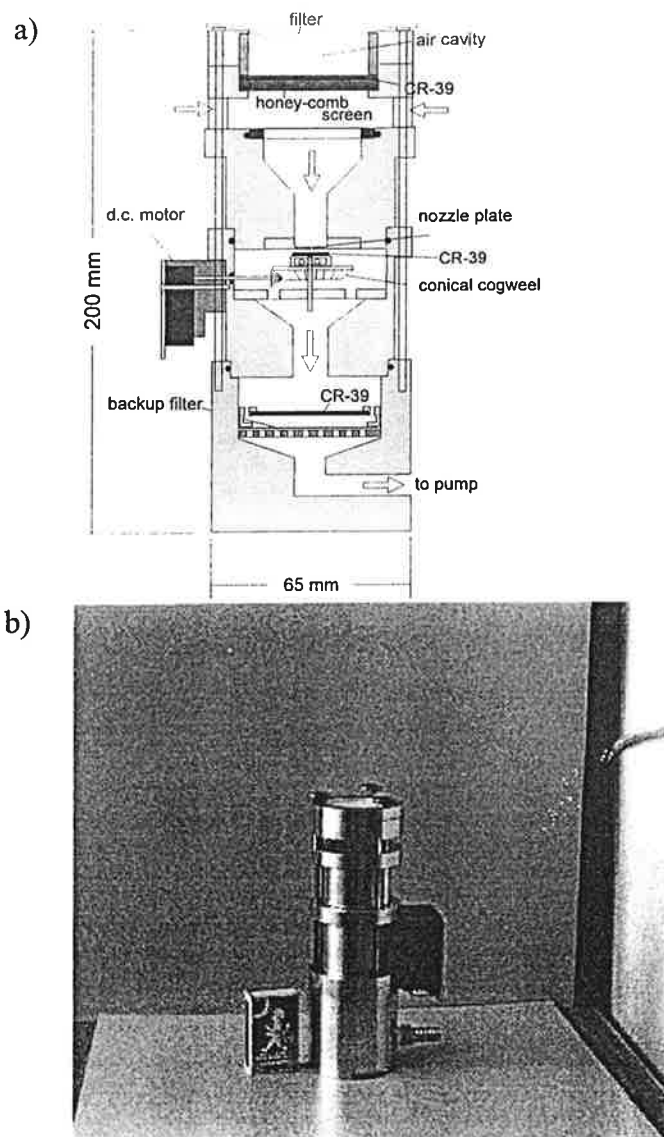
exponering-till-dos-kurva man vill efterlikna. Gamla data kan således inte utan vidare analyseras på nytt utifrån nya kunskaper om sambandet mellan exponering och dos. I kapitel 2.3 ges en beskrivning av hur provtagaren modifierats för att fungera som dosimeter.

## 2.2 Version ett. Teknisk beskrivning

### 2.2.1 Princip

Den ena versionen av provtagaren (figur 3) fungerar idag huvudsakligen som en automatiserad sikt/filtermätare. Aktivitet i storleksintervallet 0-4 nm avskiljs i et nät, och exponerar en CR-39-skiva. Steg 2, en månghålsimpaktor, avskiljer aktivitet som är kopplad till partiklar större än ca 60 nm. Partiklarna deponeras direkt på en roterande CR-39-skiva som utgör impaktionsplatta. Ett avslutande filter samlar upp resterande aktivitet, d.v.s. huvudsakligen partiklar i intervallet 4-60 nm. För samtliga tre steg gäller att mängden aktivitet kan avläsas utifrån spårtätheten, men man får ingen information om aktivitetens storleksfördelning. Denna förenkling är som tidigare nämnts rimlig för de minsta resp. största partiklarna, förutsatt att aktivitetens medelstorlek i respektive mod inte avviker alltför mycket från den förväntade.

Eftersom spåren från RaA-sönderfall inte utan vidare går att skilja utseendemässigt från spår från RaC' kommer spårtätheten inte att säga något om jämvikten mellan radonet och dess döttrar. Försök har visserligen gjorts att utläsa alfapartikelns energi genom att analysera spårens form och storlek, men detta kräver avancerad teknik med bl.a. datoriserad bildbehandling, vilket vi inte förfogar över för närvarande. Dessutom kommer den infallande alfapartikelns energi att bero på vilket avstånd från CR-39-plattan som radondottern befann sig vid sönderfallet. Oförmågan att skilja spåren åt innebär att vid låga jämviktstal kommer en överskattning av aktiviteten att ske jämfört med situationer med god jämvikt. I avsnittet om dosimeterversionen kommer detta att behandlas utförligare.

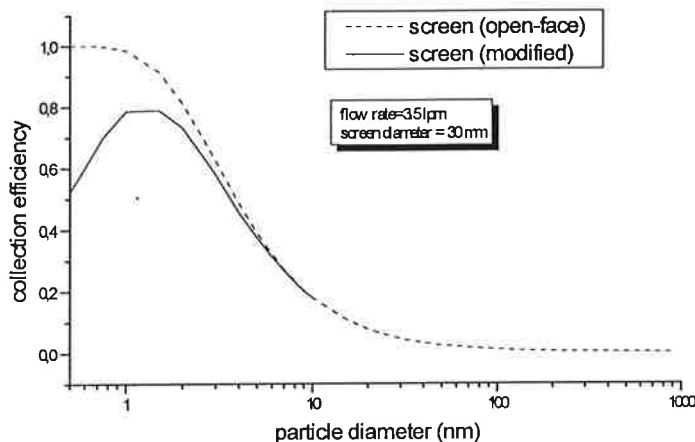


Figur 3. Principskiss (a) samt foto (b) av version ett av provtagaren. Den elektrostatiska avskiljaren är ersatt av ett filter med tillhörande CR-39-detektor.

### 2.2.2 Nätet

Nätet (AB Derma, Gråbo) är av rostfritt stål. I tabell 1 återges de viktigaste parametrarna för detta nät. Den angivna avskiljningen (se figur 4) gäller vid flödet 3 l/min. Avskiljningskurvan är anpassad så att  $d_{p,50}$  blir ca 4 nm, för optimal avskiljning av den obundna fraktionen samt minimal deponering av aerosolbunden aktivitet (Hopke, 1990). Figur 4 visar den faktiska insamlingseffektiviteten jämfört med den man hade erhållit med en "open face" provtagare. Den minskade insamlingseffektiviteten för de minsta partiklarna beror på deposition på kanterna, d.v.s. en del av aktiviteten tappas på vägen in till nätet. Anledningen till detta är det "tak" som syns i figur 3. Detta tak har två syften: Den ursprungliga idén var att filtrerad luft skulle fylla utrymmet mellan CR-39-skivan och det översta filtret. Vid utläsning av CR-39-skivans baksida skulle sedan en viss information om radonbakgrunden kunna fås. P.g.a. uppbyggnaden och deponeringen av radondöttrar i hålrummet måste dock en noggrannare analys av detta system göras.

Det andra syftet med taket är att skydda nätet och hålpattan från stora nedfallande partiklar. Dessa partiklar kan lätt sätta igen hålpattan och reducera flödet igenom denna. Detta är av stor betydelse med tanke på att provtagaren skall kunna fungera flera dagar utan tillsyn. Om radonbakgrunden visar sig ge ett försumbart bidrag till spåren på CR-39-skivan, kan man naturligtvis tänka sig att ta bort "taket", och istället använda provtagaren "open faced". Även här bör den dock skyddas med någon typ av överbyggnad.



Figur 4. Beräknad insamlingseffektivitet för första avskiljningssteget (nätet).

I nästa avsnitt, om dosimeterversionen av provtagaren, visas hur förlusterna på kanterna kan användas för att anpassa avskiljningskurvan till en dosmodell.

Observera att resonemanget med förluster på kanterna bygger på att ingen detektering sker av aktivitet som deponerats utanför nätet. För att försäkra sig om detta kan en kollimator placeras mellan nätet och CR-39-plattan. Vi har använt en s.k. honey-comb (Ciba-Geigy Plastics, Duxford, Cambridge, UK). Denna har en cellstorlek på 5 mm och en tjocklek på 5 mm. Väggarna är gjorda av papper och ca 0.15 mm tjocka, d.v.s. snett infallande alfapartiklar stoppas helt. Genom att använda en kollimator blir således bidraget från aktivitet på kanterna utanför nätet helt försumbart. Dessutom blir infallsvinklarna på alfapartiklarna från själva nätet starkt begränsade jämfört med en okollimerad CR-39-platta. Detta betyder att spåren blir mera likformiga, vilket underlättar utläsningen i mikroskop. En nackdel med kollimatoren är att spåren bildar ett mönster som svarar mot "bikakans" celler, d.v.s. utläsningen blir mera positionskänslig.

Förlusterna på kanterna gör att den totala insamlingseffektiviteten för den obundna fraktionen minskar från 92 till 77 %. Den modifierade insamlingseffektiviteten i figur 4 har beräknats enligt (Mercer and Mercer, 1970, Tan and Thomas, 1972). Beräkning av avskiljningen för själva nätet (open-face) har skett enligt den s.k. fan-modellen (Cheng and Yeh 1980). Någon kalibrering för att verifiera de teoretiska beräkningarna i figur 4 har ännu inte gjorts.

Material	Rostfritt stål
Trådtjocklek	34 $\mu\text{m}$
Masköppning	48 $\mu\text{m}$
Meshtal	310 $\text{in}^{-1}$
Tjocklek	82 $\mu\text{m}$
Solid volume fraction	0.31
Nätdiameter (effektiv)	30 mm
Avskiljning, $d_{p50}$ (vid 3.5 lpm)	3.9 nm
Antal lager nät	1

Tabell 1. Karakteristiska mått för nätet som används för avskiljning av den obundna fraktionen

### 2.2.3 Månghålsimpaktorn

Hålplattan har tidigare karakteriserats (Gudmundsson et al., 1995). De viktigaste måtten återfinns i tabell 2. Elmotorn (Escap MU915L61-205, Portescap, La Chaux-de-Fonds, Schweiz) har inbyggd växellåda. Drivspänningen är 3 V, d.v.s. motorn kan drivas med batteri eller med 230 V via nätadapter. Rotationshastigheten på impaktionsplattan är ca 5 varv/min. För att minska andelen partiklar som studsar (s.k. bounce-off) vid impaktion mot plattan, har denna täckts med ett tunt lager silikonfett före användning. Silikonfett används också för att hålla kvar CR-39-plattan vid underlaget.

Material	Rostfritt stål
Antal hål	251
Håldiameter	$56 \pm 6 \mu\text{m}$
Klusterdiameter	8 mm
Porositet	1.3 %
Plattans tjocklek	0.31 mm
Avskiljning $d_{p50}$ (vid 3.5 lpm)	70 nm
Avstånd hålplatta-impaktorplatta	100 $\mu\text{m}$

Tabell 2. Karakteristiska mått för hålplattan.

### 2.2.4 Back-up-filtret

Ett membranfilter av celluloesartyp (Millipore AA, Millipore Corp. Bedford, USA). Pordiametern är 0.8  $\mu\text{m}$  och diametern 47 mm.

### 2.2.5 Track-etch detektorer

Spårfilmen är av typen polyallyldiglycol carbonate (*PADC* eller *CR-39*) (TASTRAK, TASL, Bristol, UK). Plattorna har köpts färdigskurna och märkta från tillverkaren. I tabell 3 anges måtten på de tre skivorna.

Skiva	Diameter (mm)	Tjocklek (mm)
Nätet (steg 1)	49	1.1
Impaktorplattan (steg 2)	12	1.1
Filtret (steg 3)	30	1.1

Tabell 3. Mått på de tre CR-39-skivorna.

Före exponering doppas skivorna i antistatväska, och får därefter lufttorka. Efter exponering får skivorna sitta kvar i provtagaren i två timmar så att all aktivitet på nätet hinner sönderfalla. Därefter etsas de i 20 % NaOH (T= 90 °C) i 2 h. Spårtätheten utläses i optiskt mikroskop (100 × förstoring).

Ett problem med CR-39-skivorna har varit att tjockleken varierar ända upp till 0.1 mm. Eftersom impaktorns prestanda är beroende av avståndet mellan impaktorplatta och hållplatta, får variationen i CR-39-skivans tjocklek inte vara för stor. Detta har lett till att vi kasserat alla 12 mm skivor som avviker mer än 20 µm (2%) från medelvärdet.

### 2.2.6 Mätningar i kammare

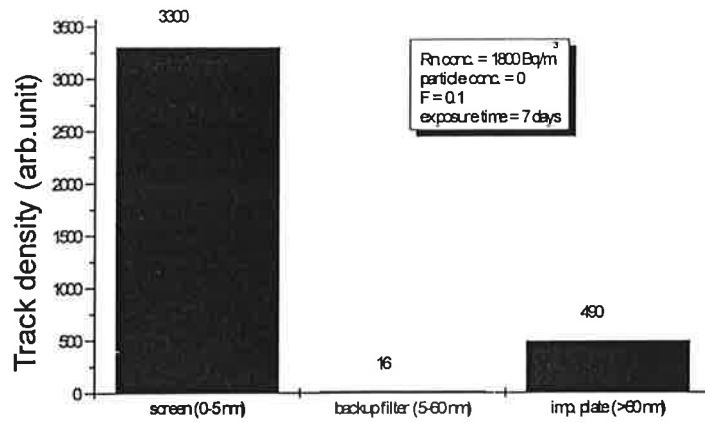
Hittills har provtagaren inte testas i bostäder utan endast i vårt radonrum. Mätningar har främst gjorts vid två olika situationer: i partikelfri luft ( $< 1 \text{ cm}^{-3}$ ) samt i luft med "realistisk" partikelkoncentration, d.v.s. några tusen partiklar per  $\text{cm}^3$ . I figur 5 återges några exempel på resultat. Som framgår av figuren återspeglar spårtätheten på impaktorplattan och på den övre CR-39-skivan (nätet) ganska väl den förväntade fördelningen av aktivitet i de två storleksintervallen. Den egentliga storleksfördelningen av den luftburna aktiviteten har inte kunnat bestämmas, eftersom detta kräver tillgång till ett diffusionsbatteri eller liknande.

Som tidigare nämnts är andelen aktivitet som återfinns på det avslutande filtret relativt liten (i figur 5 har ingen korrektion gjorts för radonbakgrund samt övrig bakgrund). En viss mängd spår kan förväntas från aktivitet som passerar de första stegen p.g.a. ofullkomlig insamling. Det är dock svårt att uppskatta hur stor denna andel är eftersom deponering också sker på provtagarens väggar.

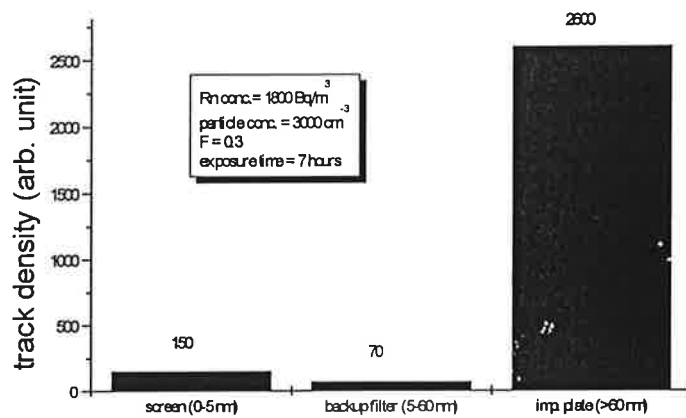
I situationen med några tusen partiklar per  $\text{cm}^3$  är spårtätheten per synfält hög trots att exponeringstiden bara är några timmar. Detta beror på den starka fokusering av partiklarna som sker i månghålsimpaktorn. Figur 6 visar en förstorad bild av hur partikeldeponeringen sker på impaktorplattan. Det syns tydligt hur varje hål producerar en ring av deponerat material (obs. att denna bild visar deponering av inaktiva partiklar). Faktum är att detta ringmönster leder till två problem: 1) CR-39-skivan överexponeras om radonhalten är för hög och/eller exponeringstiden är för lång (problem med att spåren skymmer varandra samt att självabsorption i beläggningsen kan uppkomma). 2) Utläsningen av CR-39-skivan blir mycket positionskänslig. Det sista gör att antingen hela skivan måste läsas av eller att exakt samma position måste läsas på varje skiva.

Ett möjligt sätt att undvika överexponering kan vara att styra provtagningen med en timer så att exponering sker bara under viss tid av dygnet.

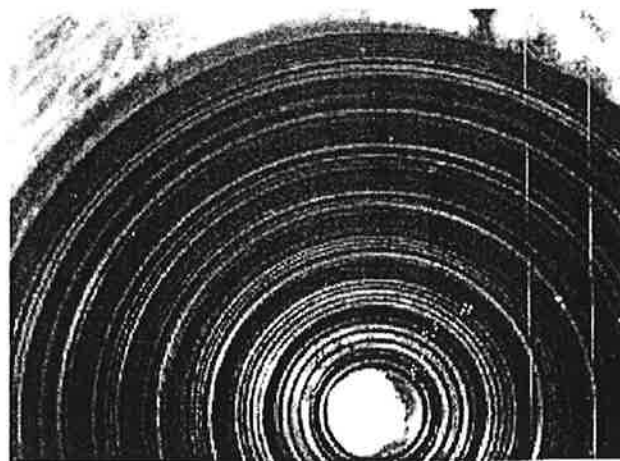
a)



b)



Figur 5. Exempel på resultat vid a) extremt låg och b) medelhög partikelkoncentration.



Figur 6. Partiklarna deponeras i ringar på impaktorplattan.

### 2.2.7 Kostnadsanalys

Den ungefärliga kostnaden för att framställa ett enskilt exemplar av version ett av provtagaren (undantaget utvecklingskostnaden!) är ca 25 000 kr, varav ca 20 000 kr är materialkostnad. Den absolut största posten är den laserskjutna hållplattan, som kostar ca 15 000 kr. Den hållplatta som använts i vår provtagare är specialtillverkad i ett enda exemplar. Kostnaden vid tillverkning av en hel serie torde vara avsevärt lägre. Ett billigare alternativ till att använda lasertillverkade hål kan vara att borra hålen. Eftersom det är tekniskt komplicerat att borra så små hål som 50  $\mu\text{m}$ , kommer prestanda hos impaktorn att påverkas. Detta skulle i så fall få utredas i en särskild studie.

### 2.2.8 Utvärdering

De inledande beräkningar och mätningar som gjorts visar att trestegsversionen av provtagaren fungerar väl som en automatiserad integrerande sikt/filterprovtagare. Som tidigare nämnts begränsas den dosberäkning som man eventuellt vill göra utifrån spår fördelningen av att man måste anta att aktiviteten huvudsakligen beskriver en bimodal fördelning där medelstorleken i respektive mod inte avviker alltför mycket från den "normala". Man kan inte heller avgöra om ett spår härstammar från ett RaA-sönderfall eller från RaC' vilket gör att signalen överskattas något vid låga jämvikter. Den höga spår tätheten på impaktorplattan kan vid höga radonkoncentrationer leda till mättnad och ev. självabsorption. Det avslutande steget med ett uppsamlande filter får huvudsakligen fungera som en kontroll: en hög andel aktivitet på filtret tyder på att den bimodala modellen inte räcker för att beskriva aktivitetens storleksfördelning. I dessa fall måste ev. en noggrannare analys göras av aktiviteten i det intermediära området.

Den uppenbara fördelen jämfört med ett konventionellt sikt/filtersystem är storleken och den lägre kostnaden. Avsaknaden av avancerad elektronik gör också att provtagaren kan arbeta utan tillsyn även under långa mätperioder.

## 2.3 Version två. Teknisk beskrivning.

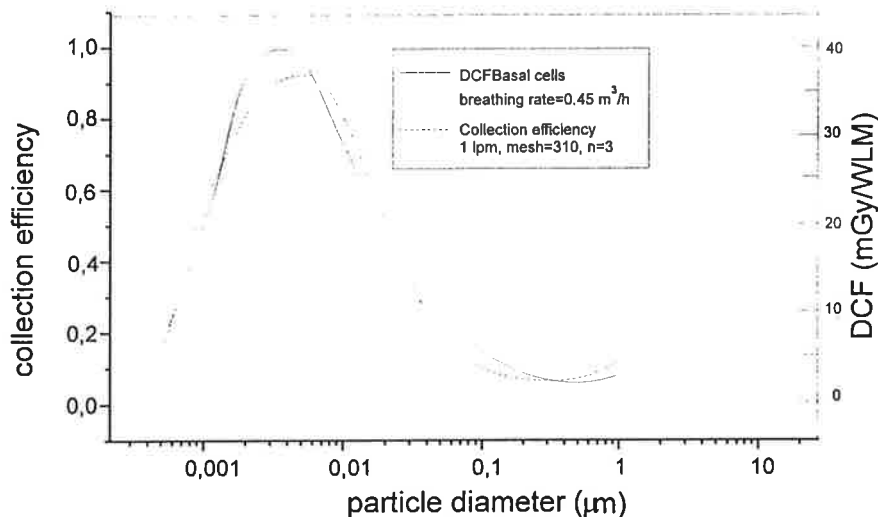
### 2.3.1 Princip

Som nämdes i inledningen kan man genom att matcha insamlingseffektiviteten med doskurvan i figur 1 skaffa sig ett mått på den erhållna lungdosen bara genom att mäta spår tätheten på en enda CR-39-platta. I detta fall har vi endast utnyttjat det första steget d.v.s. nätet med tillhörande CR-39-platta (figur 7). Genom att variera de karakteristiska måtten på nätet, antalet nät samt luftflödet, kan insamlingen på nätet fås att ungefärligen överensstämma med en godtycklig exponering-till-doskurva. Olika celltyper och dosmodeller kan väljas. I figur 8 återges den beräknade insamlingseffektiviteten för flödet 1 lpm samt 3 lager av nät med meshtal 310. Överensstämmelse med exponerings-till-dos-kurvan för basalcellsexponering vid sömn (James, 1992) är tämligen god. Observera att förlusterna av ultrafin aktivitet på kanterna nu bidrar till att matcha effektivitetskurvan med doskurvan.



Figur 7. Dosimeterversionen av provtagaren.

Den effektivitet som anges i figur 8 är insamlingseffektiviteten, men borde egentligen vara den totala detektionseffektiviteten, d.v.s. också inrymma sannolikheten för detektion av emmitterade alfapartiklar (se "Teoretiska prestanda" nedan).



Figur 8. Insamlingseffektivitet för 3 lager nät (meshtal=310) vid flödet 1 lpm, samt exponering-till-doskurva för basalceller. Båda som funktion av partikeldiametern. Näteffektiviteten beräknad enligt (Cheng et al. 1980), doskurvan enligt (James 1992)

### 2.3.2 Teoretiska prestanda

För att den utlästa signalen skall fungera som dosimeter krävs en monoton relation mellan dos och spårtaethet. Provtagaren bör också klara att återge situationer med varierande grad av jämvikt. Med utgångspunkt från kurvorna i figur 8 gjordes därför en teoretisk uppskattning av dels den erhållna spårtaetheten, dels den erhållna bronkialdosen (basalceller enbart) vid tre olika exponeringssituationer: en helt utan partiklar, en med låg partikelkoncentration och en med hög koncentration (tabell 4). Situationen utan partiklar är beräknad utifrån s.k. rumsmoell (Porstendorfer, 1984), medan de övriga två är realistiska situationer baserade på



mätningar i bostäder (Reineking and Porstendörfer 1990). Låg partikelhalt svarar mot en situation utan partikelkällor medan hög partikelhalt svarar mot ett rum där t.ex. rökning eller matlagning pågår.

Nuklid	Partikelkonc.		
	10 cm <sup>-3</sup>	5000 cm <sup>-3</sup>	200000 cm <sup>-3</sup>
Rn	8000	876	430
RaA <sup>u</sup>	1709	145	3
RaA <sup>a</sup>	0	311	239
RaB <sup>u</sup>	51	7	2
RaB <sup>a</sup>	0	203	195
RaC <sup>u</sup>	2	0	0
RaC <sup>a</sup>	0	157	192
EER	206	200	215
f <sub>p</sub>	1,0	0,088	0,0074
F	0,026	0,24	0,46

Tabell 4. Tre olika atmosfärer för beräkning av provtagarens respons. Siffrorna i tabellen avser koncentration i Bq/m<sup>3</sup>. (u)=obunden aktivitet, (a)=aerosolbunden aktivitet.

I de tre teoretiska atmosfärerna har en bimodal storleksfördelning hos aktiviteten antagits. AMD för obundna fraktionen antas vara 1 nm och för den aerosolbundna fraktionen 200 nm. Den geometriska standardavvikelsen,  $\sigma_g$ , antas vara 2.0.

Antalet spår på CR-39-plattan beräknas som

$$N_{\text{spår}} = \Sigma \left( \int \frac{dA}{dd_p} \cdot \frac{1}{\lambda} \cdot Q \cdot \text{Eff} \cdot dd_p \right)$$

med summering för de tre radondöttrarna.  $dA/dd_p$  är aktiviteten i varje storleksintervall  $d_p$  till  $d_p + dd_p$ ,  $\lambda$  är söndefallskonstanten,  $Q$  är luftflödet och  $\text{Eff}$  är den totala effektiviteten, d.v.s. sannolikheten att en partikel fastnar på nätet och att den emitterade alfapartikelnen infaller mot CR-39-plattan, d.v.s.

$$\text{Eff} = \text{Eff}_{\text{insaml.}} \cdot \text{Eff}_{\text{detektion}}$$

Detektionseffektiviteten är svår att beräkna. Aktivitet som deponeras på baksidan av nätet har lägre sannolikhet att emittera en alfapartikel som når CR-39-plattan än aktivitet på nätets framsida. Likaså kommer en del av aktiviteten att deponeras på det andra resp. tredje nätet, varefter en de ovanpå liggande näten skymmer CR-39-plattan till viss del. Eftersom det är svårt att kvantifiera dessa effekter har för enkelhets skull  $\text{Eff}_{\text{detektion}}$  approximerats med den geometriska effektiviteten (0.6 %), d.v.s. andelen aktivitet som skymms av framförvarande nät har försummats. Sannolikheten för att en alfapartikel som träffar CR-39-skivan skall ge upphov till ett mätbart spår har satts till ett.

Eftersom Cheng och Yehs modell bara förutsäger insamlingseffektiviteten hos näten, och inte var aktiviteten sitter kan man inte utesluta en viss förlust i signal p.g.a. aktivitet som inte är synlig för detektorn. Solomon och Ren (1992) angav andelen aktivitet på nätets framsida till ca 85 % för den obundna fraktionen, vid hög insamlingseffektivitet. Inga värden för partikelbunden, d.v.s. huvudsakligen impaktionsdeponerad aktivitet, angavs. Det är dock

rimligt att anta att sådan impaktion sker främst på nätens framsida, men detekteringen av alfapartiklarna är svår att beräkna. Effekten av skymd aktivitet kommer att undersökas närmare i det fortsatta utvecklandet av provtagaren.

För dosberäkningarna gäller att exponeringstiden antas vara 3 dagar (72 timmar), resulterande i en total exponering på  $X \cdot 70/170$  WLM (Working Level Month), där X=radondotterhalten uttryckt i WL. Översättningen från WLM till lungdos har gjorts m.h.a. givna data från (James 1992).

### 2.3.3 Resultat från teoretisk beräkning

I tabell 5 återges resultaten från den teoretiska beräkningen av antalet spår vid olika grad av jämvikt.

Partikelkonc. (cm <sup>-3</sup> )	Radondotter	Antal spår	Lungdos (mGy)	spår/dos
<10	RaA	11573	0.478	27498
	RaB	1525		
	RaC	46		
	<i>Totalt</i>	<i>13144</i>		
5000	RaA	1371	0.155	21132
	RaB	1319		
	RaC	585		
	<i>Totalt</i>	<i>3275</i>		
200 000	RaA	308	0.096	21854
	RaB	1073		
	RaC	718		
	<i>Totalt</i>	<i>2099</i>		

Tabell 5. Teoretisk utvärdering av responsen hos provtagaren vid olika jämvikter.

Av resultaten i tabell 5 kan man dra två slutsatser:

1. Vid situationen utan partiklar kommer antalet spår att vara för stort i förhållande till den absorberade dosen, d.v.s. dosen kommer att överskattas med ca 30 %.
2. Vid situationerna med medelhög resp. hög partikelkoncentration är kalibreringsfaktorn nästan konstant.

Överskattningen av dosen vid extremt låg jämvikt beror bl.a. på att ingen diskriminering görs mellan spår från alfapartiklar med olika energier. Om man jämför uttrycken för EER (equilibrium-equivalent radon concentration)

$$EER=0.105 \cdot C(RaA)+0.516 \cdot C(RaB)+0.379 \cdot C(RaC)$$

med uttrycket för antalet spår på skivan

$$N \sim C(RaA) \cdot 2/\lambda_A + C(RaB)/\lambda_B + C(RaC)/\lambda_C$$

ser man att dosen teoretiskt sett överskattas med ca 12 % vid enbart RaA. Denna överskattning minskar sedan ju högre jämviktsfaktorn är. Det är svårt att säga varför

överskattningen i exemplet i tabellen blir så stor som 25-30 %. En möjlig förklaring vore att noggrannheten i storleksupplösningen i beräkningen i tabell 6 inte är tillräckligt hög. En annan möjlighet är att dosen enligt dosmodellen blir lägre vid låg jämvikt p.g.a. t.ex. clearance. Det är dock tveksamt om clearance skulle kunna vara så snabb att antalet sönderfall från RaB och RaC begränsas.

### 2.3.4 Energidiskriminering med folie

Om man förutsätter att andelen spår som härstammar från aktivitet på CR-39-plattans yta och på honey-comben är försumbar, kan sönderfallen från RaA och RaC' separeras genom att en folie, täckande halva CR-39-plattan, placeras mellan honey-comben och CR-39-plattan. Tjockleken på denna folie skall motsvara räckvidden för alfapartiklar med ursprungsenergin 6.0 MeV. Denna räckvidd är ca 18.5  $\mu\text{m}$  i aluminium. Vid situationer med extremt låg jämvikt bör således andelen spår på den täckta delen närma sig 50 %. För situationer med hög jämvikt bör andelen närma sig 100 %. Genom att bestämma förhållandet mellan spårtätheterna på den täckta resp. öppna delen bör man således kunna få fram en korrektionsfaktor som kan appliceras på kalibreringsfaktorn i tabell 6. Observera dock att metoden inte ger direkt information om förhållandet mellan radondöttrarna i luften, eftersom deposition av luftburet RaA på nätet också kommer att ge upphov till RaC'-sönderfall.

### 2.3.5 Mätningar i kammare

I tabell 6 återges resultatet av tester med 24  $\mu\text{m}$  folie vid olika partikelkoncentrationer. Mätningar har gjorts dels i helt partikelfri miljö, dels med en partikelkoncentration svarande mot en normal bostad (1000-5000  $\text{cm}^{-3}$ ). I det senare fallet har partikelkoncentrationen varierat p.g.a. svårigheter att hålla koncentrationen konstant under hela exponeringstiden. Observera att resultaten i tabell 6 måste ses som preliminära. En utförligare undersökning ingår i planerna för det fortsatta utvecklandet av provtagaren.

Partikelkonc. ( $\text{cm}^{-3}$ )	<10	1000-5000
Radonkonc. ( $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ )	1500	2300
Radondotterkonc. EER ( $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ )	150	700-900 (medel=850)
Obunden fraktion, fp	1.0	0.10-0.25
F-faktor	0.1	0.3-0.4
exponeringstid (h)	47	47
antal spår per synfält (öppen/täckt)	160/60	105/41
antal spår (normerat)	100/37	66/26

Tabell 6. Resultat från mätning med och utan partiklar. Halva detektorn har täckts med Al-folie.

Ur tabell 6 kan följande utläsas att antalet spår vid den högre partikelkoncentrationen är för lågt relativt den partikelfria mätningen. Om man antar att den obundna fraktionen i medeltal är ca 20 % borde antalet spår varit fler vid exponering med partiklar jämfört med utan partiklar. Svårigheten är här att avgöra den obundna fraktionens storlek när halten av partiklar inte är konstant. Detta kommer att undersökas närmare i en eventuell fortsatt utveckling av provtagaren.

När det gäller antalet spår på den sida av detektorn som dolts av folien tycks även detta för lågt. Detta kan bero på att spåren på en täckt sidan skiljer sig starkt i utseende från dem på den öppna sidan. Framför allt uppvisar den täckta sidans spår stor spridning i storlek. Detta gör att det i viss fall kan vara svårt att avgöra om ett spår skall räknas eller inte. I det fortsatta arbetet kommer detta fenomen att undersökas närmare.

### **2.3.6 Slutsatser**

Den konstruerade provtagaren bör kunna fungera som dosimeter, men det behövs ytterligare tester och justeringar innan den kan tas i bruk för bostadsmätningar. Framförallt måste effekten av skydd aktivitet på näten utredas närmare. Dessutom behövs en kalibrering avseende detektionen vid olika partikelstorlekar, samt fler mätningar under olika betingelser som kan tänkas råda i bostäder.