



LUND UNIVERSITY

Utveckling av mätmetodik för radondotterkaraktisering

Eklund, Pär; Samuelsson, Christer; Johansson, Gerd; Akselsson, Roland; Bergendorf, Ulf; Bohgard, Mats; Gudmundsson, Anders; Sjögren, Jan

1989

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Eklund, P., Samuelsson, C., Johansson, G., Akselsson, R., Bergendorf, U., Bohgard, M., Gudmundsson, A., & Sjögren, J. (1989). *Utveckling av mätmetodik för radondotterkaraktisering*. Lund University.

Total number of authors:

8

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 Tekniska Högskola



UTVECKLING AV MÄTMETODIK FÖR RADONDOTTER-KARAKTERISERING

Slutrapport för projektet "Radondöttrar i inomhusmiljön"
(SSI P44-87)

Pär Eklund och Christer Samuelsson
Institutionen för Radiofysik

Gerd Johansson, Roland Akselsson, Ulf Bergendorf,
Mats Bohgard, Anders Gudmundsson och Jan Sjögren
Avdelningen för Arbetsmiljöteknik

Avdelningen för Arbetsmiljöteknik
Box 118, 221 00 LUND

LUNDDTMAT-3002/1989

Institutionen för Radiofysik
Lasarettet, 221 85 LUND

LUNFD6/(NFRA-3088)
LUMEDI/(MERI-3088)



Lunds Tekniska Högskola

UTVECKLING AV MÄTMETODIK FÖR RADONDOTTER- KARAKTERISERING

Slutrapport för projektet "Radondöttrar i inomhusmiljön"
(SSI P44-87)

Pär Eklund och Christer Samuelsson
Institutionen för Radiofysik

Gerd Johansson, Roland Akselsson, Ulf Bergendorf,
Mats Bohgard, Anders Gudmundsson och Jan Sjögren
Avdelningen för Arbetsmiljöteknik

Avdelningen för Arbetsmiljöteknik
Box 118, 221 00 LUND

LUNDDTMAT-3002/1989

Institutionen för Radiofysik
Lasarettet, 221 85 LUND

LUNFD6/(NFRA-3088)
LUMEDI/(MERI-3088)

Förord

Detta dokument utgör slutrapport för projektet SSI P 444 87, omfattande tidsperioden 870701-880630. Efter projekttidens utgång har medel för fortsatta studier erhållits via NFR-projekt nr F-SI 9389 - 300. Det härmed avrapporterade SSI-projektet har i huvudsak koncentrerats på utveckling av instrument och mätmetoder medan fortsättningen av projektet kommer att innefatta direkta tillämpningar och i viss mån utveckling av dessa instrument.

Innehållsförteckning	sida
1. Projektets bakgrund	1
2. Radondöttrars samverkan med omgivningen	1
3. Projektets utformning och genomförande	2
4. Utveckling av ett radonrum	2
5. Mätning av radondöttrar på stora ytor	3
6. Pläteringsmätningar	5
7. Mätning av radondöttrarnas storleksfördelning	8
8. Slutsatser	13

Bilagor:

1. Christer Samuelsson "Planparallell pulsjonkammare"
LUNFD6/(NFRA-7008), LUMEDW/(MERI-7008). Inst. för Radiofysik
Lunds Universitet (1988).
2. Gerd Johansson m fl "A New Technique for the Determination of
Activity Distributions of Radon Daughters" J. Aerosol Sci. Vol.
19, No 7, 1027-1029 (1988).

1. PROJEKTETS BAKGRUND

Vi har idag bristfälliga kunskaper om radondöttrars grundläggande egenskaper och uppträdande i inomhusmiljön. Rumsmodeller som beskriver radondotterbudgeten är behäftade med stora osäkerheter eftersom alla elimineringsvägar inte är kända. Exempelvis känner vi i en autentisk miljö dåligt till hur turbulens och aerosolkarakteristika inverkar på radondöttrarnas deponering på rumsytorna.

Mätmetoder för den sk ultrafina andelen av radondöttrarna måste förbättras och deras eliminering och samverkan med rumsaerosolen bör kartläggas. Hur närvaron av spårämnen i rumsluften påverkar dessa ultrafina partiklars tillväxt och övriga egenskaper är också till stora delar ett okänt område som behöver belysas.

För framgångsrika insatser inom här nämnda problemområden krävs ett flerdisciplinärt angreppssätt vilket har föranlett att aerosolfysiker från Avdelningen för Arbetsmiljöteknik och radonexperter från Institutionen för Radiofysik gått samman i föreliggande projekt.

2. RADONDÖTTRARS SAMVERKAN MED OMGIVNINGEN

När radon (^{222}Rn) sönderfaller bildas en fri radondotter (^{218}Po). Denna radondotter binder, beroende på omgivningen, till sig andra molekyler och bildar molekykluster. Mycket intressanta studier av dessa bildningsmekanismer pågår vid University of Illinois av Dr P. Hopke (ref 1). Dessa molekykluster brukar kallas den fria (obundna) fraktionen. Begreppet fri fraktion är något förvirrande och en mera precis definition skulle behövas som bl.a. klargör vilka partikelstorlekar som räknas till denna fraktion. De obundna radondöttrarna är intressanta eftersom de, även om de endast utgör några få procent av totala antalet döttrar, bidrar till en stor del av stråldosen till bronkerna. Dessa fria radondöttrar har hög diffusionshastighet och därmed stor sannolikhet att fastna dels på aerosolen i rummet dels på omgivande ytor (plate-out). Hur stor del som fastnar på rummets olika ytor beror på ett stort antal parametrar såsom koncentrationen och storleksfördelningen av aerosolen i rummet, den fria fraktionens storleksuppdelning, rummets area/volymförhållande, luftrörelser etc.

Det är viktigt att känna den obundna fraktionens storleksfördelning och hur denna varierar. En ökning av aktivitetsmediandiametern för denna del medför mindre deposition i näsa/svalgregionerna och en ökning av dosen till bronkerna. Vidare kommer, om partiklarna är större färre partiklar att fällas ut på omgivande ytor, vilket också ökar dosen.

Dosen till bronkerna från den aerosolbundna delen av radondöttrarna är omvänt proportionell mot partikelstorleken, dvs de radondöttrar bundna till mindre partiklar bidrar mer än de bundna till större. Det är därför viktigt att känna denna

storleksfördelning. En parameter som det också behövs mer kunskap om är olika bostadsaerosolers hygroskopicitet, vilken avgör partikelns tillväxt i luftvägarna.

Det diskuteras också om det under vissa betingelser kan genereras ett stort antal små partiklar (cirka 10 nm) som radondöttrarna också kan fastna på. Detta måste ytterligare undersökas för verkliga bostadsaerosoler.

3. PROJEKTETS UTFORMNING OCH GENOMFÖRANDE

Inriktningen på detta inledande projekt har varit att utveckla nya instrument och mätmetoder för de parametrar som kan antas inverka på radondotterexponeringen och den hälsorisk som exponeringen innebär. Verksamheten detta första år har huvudsakligen inriktats på resurs- och kompetensuppbyggnad. De enstaka försök som har genomförts har varit av pilotkaraktär och har haft som syfte att testa instrument och metoder, snarare än att producera slutgiltiga resultat.

Som tidigare nämnts utgör detta projekt den inledande fasen i ett långsiktigt forskningsprogram vilket också innefattar mätningar i bostäder och vidareutveckling av befintliga depositions- och rumsmodeller.

4. UTVECKLING AV ETT RADONRUM

Laborariemätningar utfördes tidigare i en mindre radonkammare vid Institutionen för Radiofysik. För att bättre kunna efterlikna en bostadsmiljö har ett laboratorium vid avdelningen för Arbetsmiljöteknik byggts om till radonrum. Rummet har en volym på cirka 50 m³ och har försetts med en luftsluss ut till korridoren. För att kunna styra luftomsättningen i rummet och för att undvika att radon sprids till närliggande lokaler har rummet utrustats med separat ventilation och de ordinarie till- och frånluftdonen har satts igen. Ventilationen drivs av en stor fläkt vilken via fönstret leder ut frånluften i utomhusluften. Flödet genom fläkten kan varieras från cirka 6 m³/h (specifikt ventilationsflöde=0.1 h⁻¹) till flera hundra m³/h.

Rummets tilluft kommer företrädesvis från ett angränsande laboratorium via två öppningar i väggen genom vilka flödet kan regleras bl.a. med en i ena hålet monterad fläkt. Extra aerosol eller filtrering av tilluften ska kunna ske genom dessa ingångar. För att säkerställa ordentlig omblandning av luften i rummet används en separat bordsfläkt.

Ventilationen har för att undvika att radongas läcker in i omgivande lokaler balanserats så att ett svagt undertryck finns i rummet. Detta kontrolleras med hjälp av en manometer. Det hade naturligtvis varit önskvärt att huvuddelen av tilluften tillförs rummet via tilluftsdonen. Försök har gjorts att tätat alla springor från angränsande rum, dörrar och fönster men ett diffust läckage

av luft verkar svårt att undvika p.g.a. byggnadens konstruktion. För att bestämma luftomsättningen i rummet har spårgasmätningar med lustgas utförts med IR-spektrometer (MIRAN 1A). Det diffusa läckaget varierar mellan 20 och 70 % vid en omsättning på 1.0 h^{-1} . Variationen beror på inställningen av tilluftsventilen.

Radongas i rummet genereras med en radiumkälla (ca 2 MBq). Vid det specifika ventilationsflödet 0.1 h^{-1} är det möjligt att uppnå en radondotterhalt på ca 3000 Bq/m^3 . För att i minsta mån störa balansen i rummet är alla mätinstrument placerade i ett angränsande laboratorium.

För att kontrollera de naturliga variationerna av partikelhalten i rummet har denna under en vecka registrerats med en kondensationskärneräknare (CNC) (TSI 3020). Halten partiklar varierade mellan 3000 och 7000 per cm^3 luft.

5. MÄTNING AV RADONDÖTTRAR PÅ STORA YTOR

I denna del av programmet har målsättningen varit att utveckla alfaspektrometrin så att den kan användas på stora ytor (storleksordning dm^2). Dylig teknik har stort värde framför allt för att den ökar känsligheten vid mätning av obundna radondöttrar med metalltrådssiktar och vid pläteringsmätningar i befintliga bostäder.

Målsättningen i programdeklarationen var att undersöka både alfakrystaller och pulsjonkammare. Pga reduktionen i tilldelade medel har undersökningen fått begränsas till den mest lovande detektorn, pulsjonkammaren. En pulsjonkammare har med stöd av andra SSI-medel och samarbete med Office of Supervising Scientists, Jabiru, Australien kunnat införskaffas och användas inom projektet. En kortfattad beskrivning av hur en pulsjonkammare fungerar återfinns i bilaga 1.

Ett litet antal mätningar av filter i jonkammaren har genomförts för att kartlägga eventuella svårigheter och ge uppslag till förbättringar. I figur 1 visas alfaspektra från utomhusaktivitet samlad på membranfilter respektive metalltrådssikt. Energiupplösningen hos jonkammaren är fullt tillräcklig för att de båda radondöttrarna skall kunna upplösas, vilket framgår av figuren. I figur 2 görs en jämförelse mellan pulsjonkammarens upplösning och den upplösning som erhålles med en typisk ytbarriärdetektor (900 mm^2).

En slutsats från dessa pilotförsök med mätning av kortlivade radondöttrar är att pulsjonkammaren redan i sin nuvarande form är användbar för filter och siktmätningar. Det bör dock noteras att en stor del av ^{218}Po -aktiviteten går förlorad beroende på att det tar ca 5 minuter innan jonkammaren är redo för analys. Denna nackdel kan kringgås genom att använda antingen flödesjonkammare eller ansluta en evakueringsbar sekundärvolym till den befintliga jonkammaren. Båda dessa möjligheter kommer att undersökas under 88/89.

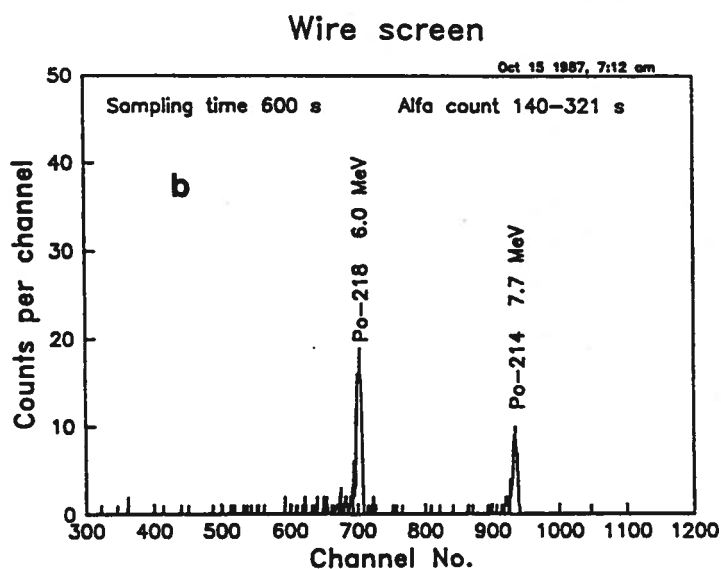
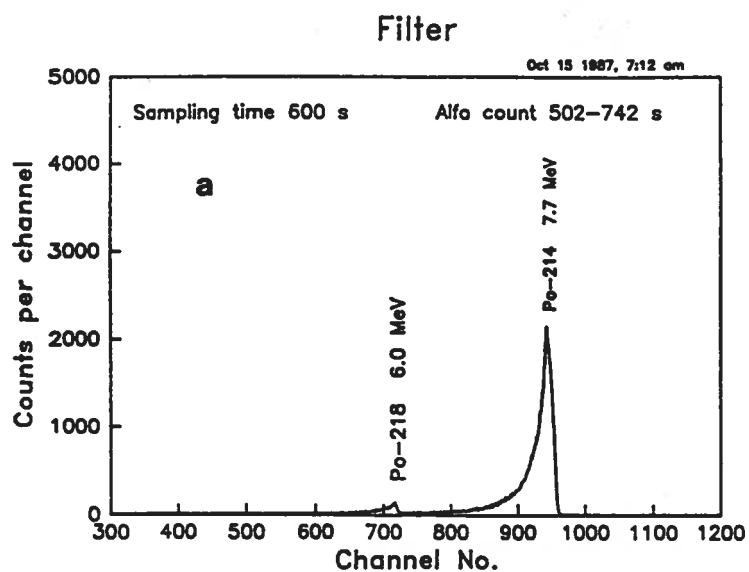


Fig 1. Luftburen alfaaktivitet uppsamlad på
a) membranfilter
b) metalltrådssikt

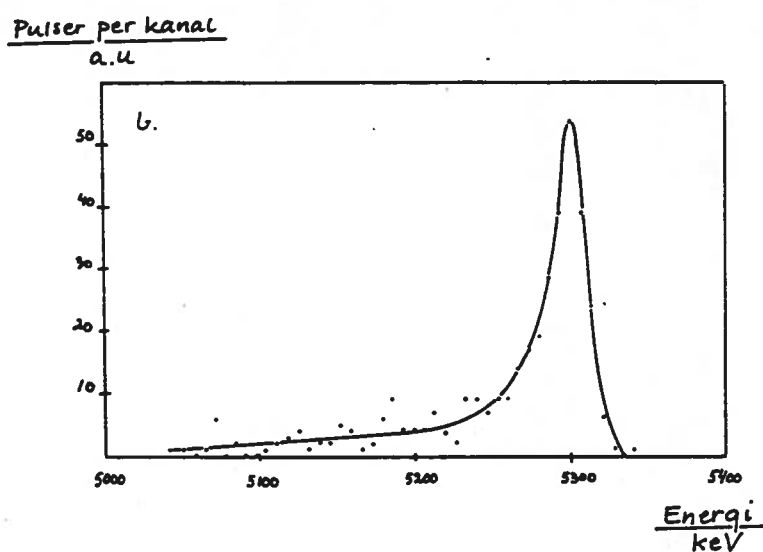
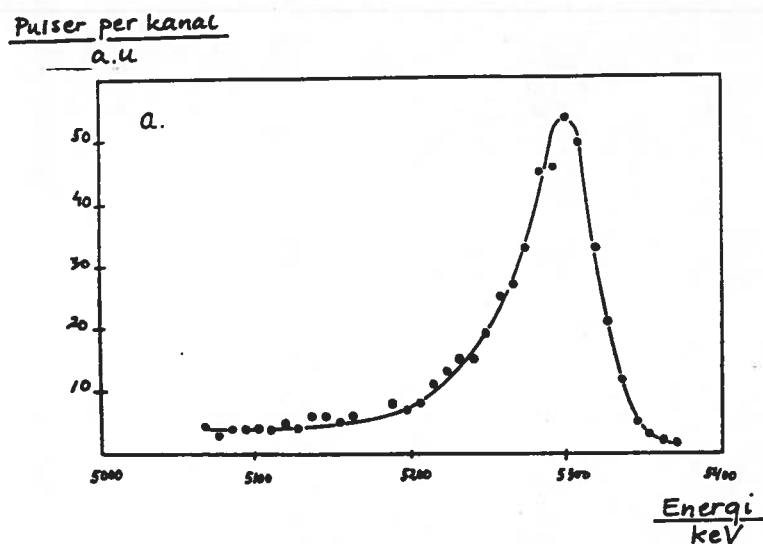


Fig 2. Alfaspektrum från glasruta uppmätt med:
a) pulsjonkammare (FWHM=56 keV)
b) ytbarriärdetektor (FWHM=26 keV)

6. PLÄTERINGSMÄTNINGAR

Plätering (eng.plate-out) utgör en viktig eliminationsväg för radondöttrarna. De idag existerande mätmetoderna måste förbättras om rumsm modeller skall kunna testas och eventuellt modifieras. Av speciellt intresse är möjligheten att skilja den aerosolbundna fraktionens deponering från den sk fria fraktionens. Ett sätt att åstadkomma detta är att göra försök under förhållanden med dels mycket låg och dels mycket hög partikelkoncentration.

Plätering av radondöttrarna kan mätas med pulsjonkammaren och dess möjlighet att analysera en stor yta kommer verkligen till sin rätt. En pläteringstest har under projektet genomförts i det uppbyggda radonrummet. Vid försökstillfället har koncentrationen av obundna och bundna radondöttrar bestämts spektrometriskt och aerosolens storleksfördelning har följts med ett sk DMPS-system (Differential Mobility Particle Sizer, TSI 3932).

Försök har gjorts där en Al-skiva (area=210 cm²) exponerades intill väggen i radonrummet tills aktivitetsjämvikt på ytan uppnåtts. Efter avslutad exponering placerades skivan i pulsjonkammaren för analys av RnD-koncentrationen på ytan. Med utgångspunkt av dessa koncentrationer beräknades därefter pläteringshastigheten (cm/s) för de olika radondöttrarna.

I tabell 1 nedan återges de beräknade pläteringshastigheterna. Dessa får än så länge anses som preliminära, då de grundar sig på ett mycket begränsat antal försök.

Dessa försök har också skett under likartade förhållanden avseende partikelkoncentrationen och därmed andelen obundna radondöttrar. För att kunna uppskatta pläteringshastigheten för både de aerosolbundna resp obundna döttrarna har vi därför antagit en inbördes relation för dessa hastigheter:

$$v_{p,u} = 100 \cdot v_{p,a} \quad (1)$$

$v_{p,u}$ = pläteringshastighet för obundna radondöttrar

$v_{p,a}$ = " " bundna " " .

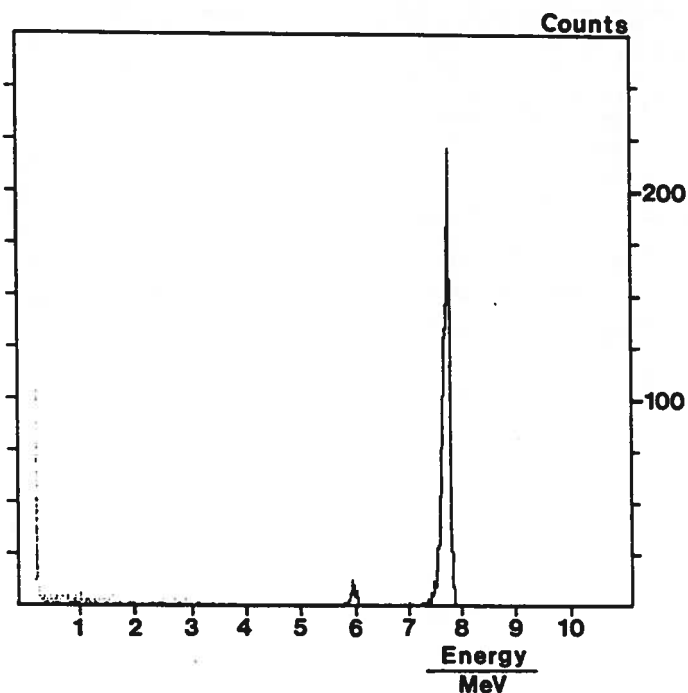
I fortsatta försök kommer exponering att ske under olika aerosolbetingelser vilket medger en bestämning av relationen i ekvation 1, och pläteringshastigheterna.

Figur 3 visar ett typiskt energispektrum från en pläteringsmätning.

Radondotter	Pläteringshastighet (cm/s)
RaA	0.09 ± 0.02 (± 1 SD)
RaB	0.21 ± 0.11
RaC	0.17 ± 0.10

Tabell 1. Pläteringshastigheter för obundna radondöttrar.

För RaB och RaC var den obundna koncentrationen mycket låg vilket innebär stor osäkerhet i värdena för respektive pläteringshastighet.



Figur 3. Energispektrum från pläteringsmätning.

De inledande försöken visar att pläteringsmätningar på stora ytor är möjliga med den beskrivna metoden.

Innehavet av pulsjonkammaren har under försöksperioden givit en intressant och värdefull spin-off effekt eftersom den gett möjlighet att mäta den mycket svaga polonium-210 aktivitet som finns på glasytor. Denna aktivitet har visat en god korrelation med den kumulerade radonexponering som glaset utsatts för.

7. MÄTNING AV RADONDÖTTRARNAS STORLEKSFÖRDELNING

Att få kunskaper om radondöttrarnas samverkan med rumsaerosolen är nödvändigt för att göra en bedömning av stråldosen till bronkerna och inverkan av olika eliminationstekniska lösningar. Rumsaerosolens partikelkoncentration och storleksfördelning påverkar dels förhållandet mellan bundna och obundna radondöttrar, dels partikelstorleksfördelningen av den bundna fraktionen, vilket i sin tur påverkar deponeringsplats och deponeringshastighet.

Det är intressant att kunna mäta både snabba förändringar (några minuter) och kunna göra långtidsmätningar av aktivitetsfördelningen. Den första typen av mätningar har till syfte att genom att ändra omgivande parametrar t.ex. aerosolkoncentrationen få svar på hur aktivitetsfördelningen förändras. Den andra typen av mätningar syftar till att ge underlag till bedömning av inverkan av aktivitetsfördelningen på stråldosen i olika typer av bostäder.

Mätning med spårfilmsteknik

Under året har fortsatta försök gjorts med att mäta aktivitetsfördelningar genom att kombinera ett storleksuppdelande aerosolinstrument med spårfilmsteknik. De inledande försöken har resulterat i ett publicerat arbete som presenterades vid 1988 European Aerosol Conference och som publicerats i Journal of Aerosol Science (se bilaga 2).

Staven i en Differential Mobility Analyzer, DMA (TSI mod 3071) kläs med en tunn remsa spårfilm och filmen täcks med ett aluminiumfolie med lämplig tjocklek så att samtliga alfapartiklar från radondöttrarna kan registreras av filmen. Genom att applicera maximal spänning på staven (11000 V) kommer de laddade aerosolpartiklarna, som tillförs utmed cylinderns ytterväggar, att avlänkas och fastna på staven. De partiklar med högst elektrisk mobilitet (de små partiklarna) fastnar i början av staven och de med lägre mobilitet längre ner. På detta sätt får man en storleksuppdelning av aerosolen utmed staven. De aerosolbundna radondöttrarna emitterar alfapartiklar som registreras av spårfilmen och en aktivitetsfördelning erhålles på spårfilmen.

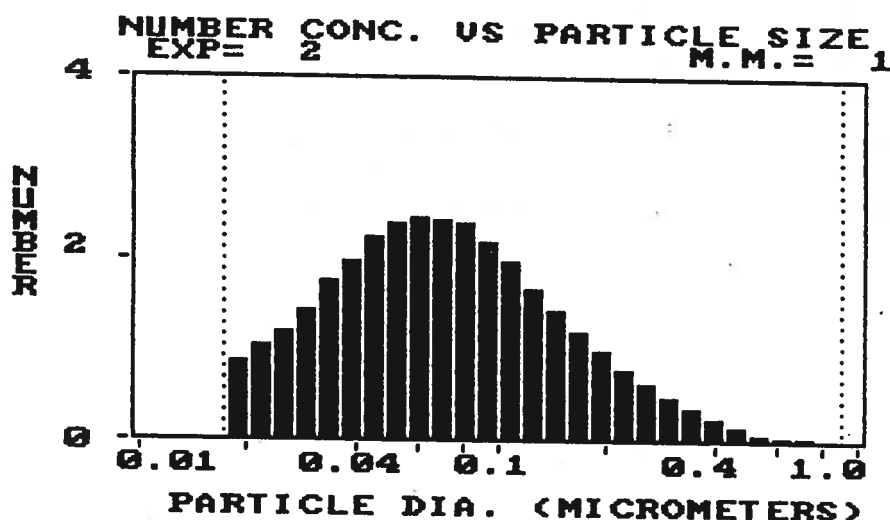
Att utvärdera dessa mätningar kompliceras av att en liten partikel med en laddning hamnar på samma ställe på staven som större partiklar med två/flera laddningar. För att korrigera den erhållna aktivitetsfördelningen för denna effekt måste samtidigt som insamlingen sker på staven, den neutrala aerosolens storleksfördelning registreras. Detta sker med ett DMPS-system.

Aerosolens medelfördelning under mätperioden användes sedan för att erhålla en sann aktivitetsfördelning. I figur 4 visas ett exempel på aerosolens storleksfördelning.

Dessa korrekationer har hittills utförts manuellt. Då detta är mycket tidskrävande kommer datorprogram att utvecklas som snabbt kan utföra dessa räkneoperationer.

Under året har två mätserier utförts, en i en mindre radonkammare vid avdelningen för Radiofysik och en i det nya radonrummet vid avdelningen för Arbetsmiljöteknik. Insamlingstiden var i båda fallen cirka fem dygn och radondotterhalten varierade mellan 1500 och 3000 Bq/m³. Aerosolhalten var extremt låg vid den första mätningen men mer normal för en bostadsaerosol vid andra mättillfället. I bilaga 1 finns resultat från mätningarna presenterade.

Med denna typ av mätning är det möjligt att få bättre kunskap om på vilka partiklar radondöttrarna fastnar. Vi kan få fram "attachmentkoefficienten" som funktion av partikelstorleken. Är denna känd räcker det att mäta partikelstorleksfördelningen på den neutrala aerosolen för att känna aktivitetsfördelningen.



Figur 4. Exempel på storleksfördelning uppmätt med DMPS-systemet.

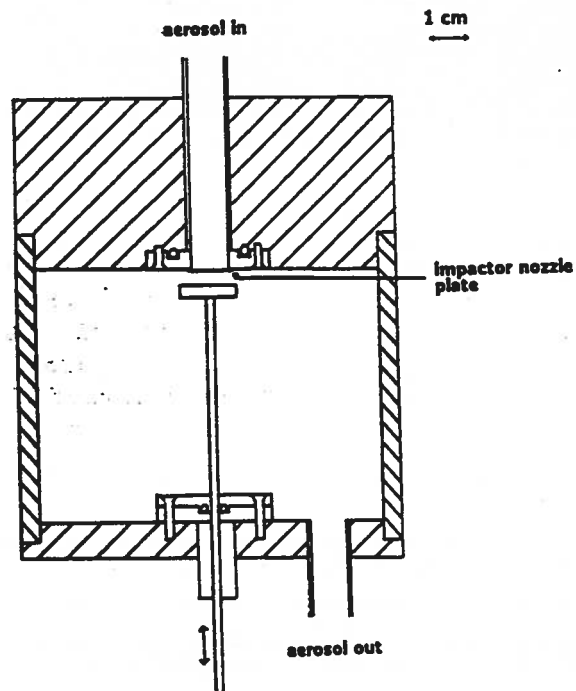
Mätning med mångstråleimpaktor

För att mäta aktivitetsfördelningen av den aerosolbundna delen av radondöttrarna har traditionellt använts diffusionsbatteri (ref 3,5) eller impaktorer (ref 4). Diffusionsbatteri har nackdelen att de inte mäter hela den intressanta fördelningen. Undertrycksimpaktorer, vilka kan mäta hela den intressanta fördelningen, har nackdelen att flödena genom impaktorn är relativt låga (20-30 l/min) vilket medför svårigheter att bestämma storleksfördelningen vid normala bostadskoncentrationer av radondöttrar.

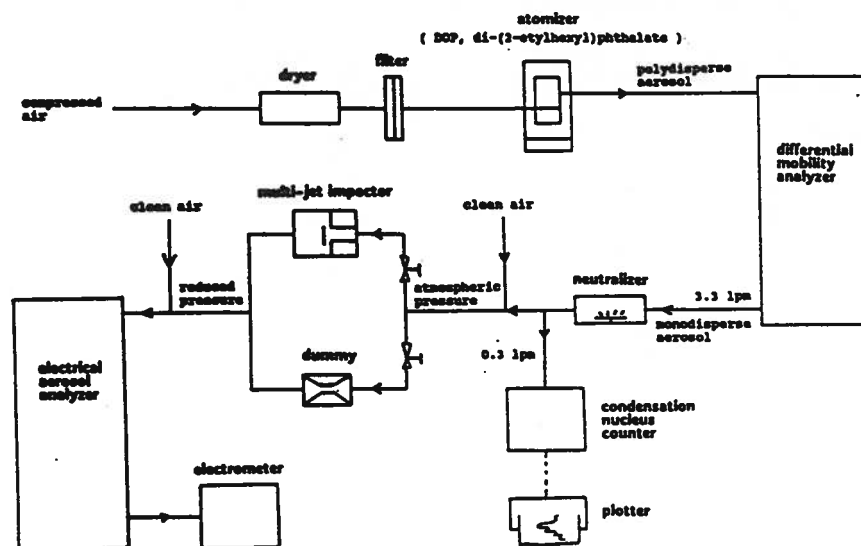
En ny typ av impaktorer, sk mångstråleimpaktorer (multi-jet impactor), har beskrivits av Marple (ref 2). Med denna impaktor erhålles en jämn beläggning av provet på impaktionsytan, vilket är en fördel om provet skall deponeras på en ytbarriärdetektor. Mha laserteknik har det blivit möjligt att tillverka plattor med många mycket små (tiotals μm) likformigt fördelade hål, vilket utgör en vidareutveckling av denna typ av impaktorer så att hela fördelningen kan studeras vid ett flöde större än för tidigare impaktorer.

För att få bästa möjliga detektionsgränser och tidsupplösning skall maximal provmassa per tidsenhet erhållas på provytan. Hittills har undersökningar gjorts för att finna maximal porositet för munstycksplattan. Plattor med tre olika porositeter (1, 3 och 9 %) och med håldiametern 50 μm har undersökts.

En impaktorprototyp har utvecklats, se fig 5, i vilken de olika munstycksplattorna har undersökts. Vidare har en experimentuppställning utvecklats, se fig 6. I en nebulisator (atomizer) genereras en polydispers aerosol. Denna får passera en elektrostatisk spektrometer (Differential Mobility Analyzer) som ger ut partiklar med bestämd diameter. Efter att aerosolen passerat impaktorn laddas partiklarna av en coronadiffusionsladdare varefter den elektriska ström som partiklarna för med sig detekteras. Denna ström är då ett mått på partikelkoncentrationen. Impaktorns effektivitet för en bestämd partikeldiameter erhålles sedan genom att jämföra elektrometers utslag med utslaget när aerosolen passerat genom en referenskammare (dummy) med samma tryckfall, men med små partikelförluster.



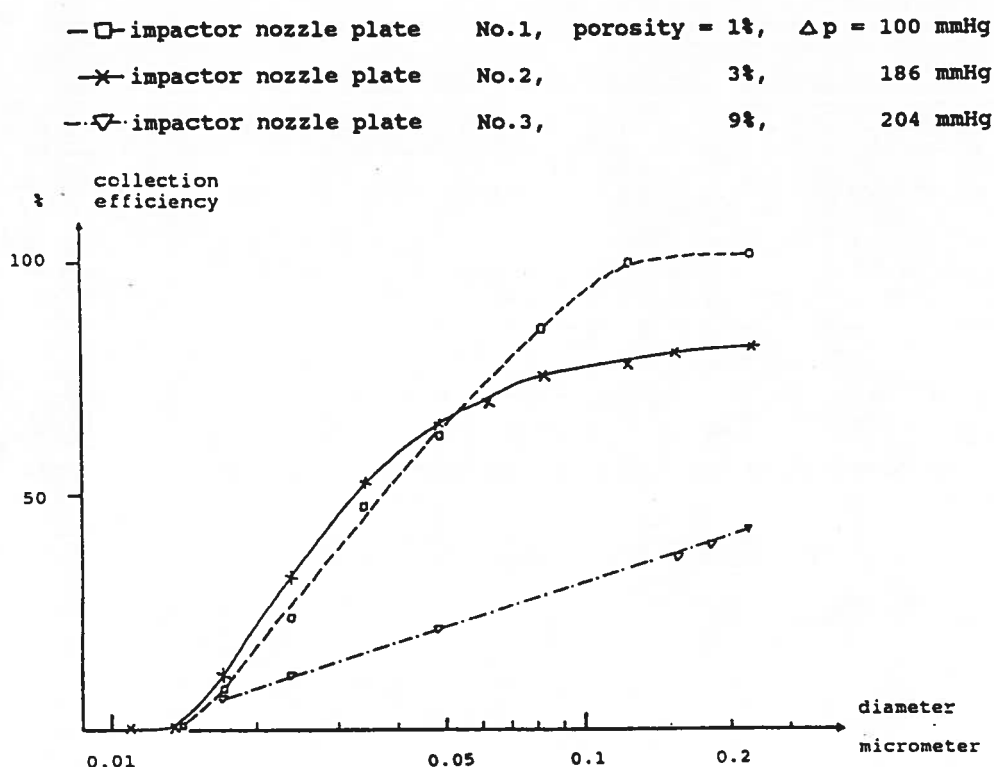
Figur 5. Impaktorn som har använts för att undersöka munstycksplattorna.



Figur 6. Experimentuppställning vid impaktorförsöken.

Ändras koncentrationen under experimentet kan normalisering göras med hjälp av mätdata från kondensationskärneräknaren (condensation nucleus counter). Monodispers aerosol genererades med partikeldiametrar från 0.011 till 0.223 μm .

Impaktorns effektivitet för olika porositeter visas i fig 7. För 1 % porositet har en avskiljningsdiameter vid 0.04 μm erhållits. Ökas porositeten till 3 % planar avskiljningskurvan ut och når aldrig 100 % insamlingseffektivitet. Detta är förmodligen en effekt av att luften mellan munstycksplattan och impaktionsplattan får en för hög tvärhastighet (crossflow-effekt) så att strålarna från de yttersta munstyckena störs. För 9 % porositet kanske ytterligare en effekt visar sig som stör insamlingseffektiviteten, nämligen att munstyckena ligger så nära varandra att strålarna går in i varandra.



Figur 7. Insamlingseffektiviteten som funktion av partikeldiametern.

Fortsatta studier kommer göras av hur avståndet munstycksplatta och impaktionsplatta påverkar crossflow-effekten. Vidare skall undersökningar göras som preciserar hur effekterna av för hög tvärhastighet och av för hög porositet på munstycksplattan påverkar avskiljningskurvans utseende.

8. SLUTSATSER

De tester som har genomförts under året har visat att de pulsjonkammare som byggts kan användas för att studera radondöttrarnas plätering. Med den nuvarande versionen tar det dock alltför lång tid mellan exponering och påbörjad mätning vilket innebär svårigheter att noggrant bestämma pläteringshastigheten. Vi undersöker fn en konstruktion där kammaren kontinuerligt genomströmmas av räknegas vilket skulle kunna avhjälpa de nämnda svårigheterna.

Det radonrum som byggts har fyllt funktionen som exponeringskammare men de inbyggda svagheter (läckage) har inneburit problem i de försök där en noga kontrollerad aerosolmiljö varit önskvärd. I fortsatta studier kommer alla laboratorieförsök att genomföras i en för ändamålet specialbyggd radonvagn. Denna vagn har helt andra egenskaper avseende täthet än radonrummet, och kommer förhoppningsvis att uppfylla våra krav på kontrollerbarhet.

Utvecklingen av instrument och metoder för att kartlägga radondöttrarnas fördelning på rumsaerosolen har fortsatt enligt de ursprungliga planerna. Metoden att kombinera ett storleksuppdelande instrument med spårfilm har kommit så långt att mätningar i verklig bostadsmiljö kan påbörjas. Tester av multi-jet impaktorn kommer att fortsätta och en första prototyp beräknas att byggas under 88/89.

REFERENSER

1. Hopke P.K., Chu K.D., Kulju L.M. och Ramamurthi M : "The Initial Behavior of ^{218}Po in Indoor Air" Rad. Prot. Dosim. (1988)
2. Marble V.A., Liu B.Y.H. och Kuhlmeier G.A : "A Uniform Deposit Impactor" J. Aerosol Sci. 12, 333-337 (1981).
3. Reineking A och Porstendörfer J: "High Volume Screen Diffusion Batteries and α -spectroscopy for Measurement of the Radon Daughter Distributions in the Environment" J. Aerosol Sci. vol 17, no 5, 873-879 (1986).
4. Knutson E et al : "Measurement of Radon Daughter Particle Size" Rad. Prot. Dosimetry, vol 7, no 1-4, 121-125 (1984).
5. Strong J.C : "The Size of Attached and Unattached Radon Daughters in Room Air" J. Aerosol Sci. Vol. 19, no 7, 1327-1330 (1988).