



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**

**R159:1984**

**Jämförande mätning med olika typer av integrerande radon/radondottermätare**

**Sven-Olov Ericson  
Hannes Schmied  
Per Sivborg**

INSTITUTET FÖR  
BYGGDOKUMENTATION

Accnr

Plac *Ser*

*K/And*

**Bygghforskningsrådet**

R159:1984

JÄMFÖRANDE MÄTNING MED OLIKA TYPER  
AV INTEGRERANDE RADON/RADONDOTTERMÄTARE

Sven-Olov Ericson  
Hannes Schmied  
Per Sivborg

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag  
820463-9 från Statens råd för byggnadsforskning  
till AIB, Allmänna Ingenjörbyrå, Solna.

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

R159:1984

ISBN 91-540-4250-X  
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm  
Liber Tryck Stockholm 1984

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Sammanfattning

Summary

1.	Bakgrund	1
2.	Uppläggning och genomförande av mätningen	7
3.	Beskrivning av huset	10
3.1	Beskrivning av rummen	11
3.2	Dokumentation av ev gradienter i radonhalt eller luftomsättning	12
4.	Resultat av mätningar med integrerande detektorer	21
4.1	Krav på precision vid radon/radondottermätning	22
4.2	Krav på mätnoggrannhet enligt metodbeskrivning	24
4.2.1	Metodbeskrivning för mätning med öppen spårfilm	25
4.2.2	Metodbeskrivning för användning av TLD-baserade radonmätare	25
4.2.3	Metodbeskrivningen för bestämning av radondotterhalt genom insamling av radongas på aktivt kol	26
4.3	Sammanställning av mätresultat	26
4.4	TLD-baserad radonmätare	31
4.5	Öppen spårfilm	33
4.6	Film monterad i kopp, dosa e dyl	38
4.7	Detektorer baserade på aktivt kol	39
5.	Kontinuerlig registrering av radon- och radondotterkoncentration	40
5.1	Registrering av referensvärden	
5.2	Kontinuerlig registrering av radon med prototyp till radonmätare RM-3 från Studsvik Energiteknik AB	50
5.3	Inverkan av mättidens längd på onoggrannheten i bestämning av långtidsmedelvärdet för koncentration av radon och radondöttrar	52
6.	Slutsatser	57
7.	Referenser	59

- Bilaga A Resultat av mätning med integrerande instrument
- Bilaga B Kalibrering av kontinuerliga radon-/radondotterinstrument RGA-400 nr 003, EDA Instruments Inc.
- Bilaga C Bestämning av radondotterhaltens årsmedelvärde i en bostad genom mätning med spårfilm /Statens Provningsanstalt/
- Bilaga D Bestämning av radondotterhaltens årsmedelvärde i en bostad genom mätning med TLD-baserad radonmätare /Statens Provningsanstalt/
- Bilaga E Bestämning av radondotterhalt genom insamling av radongas på aktivt kol /Statens Provningsanstalt/
- Bilaga F Kvalitetskontroll av detektorer Terradex, typ B, enligt avtal mellan Atlas Copco ABEM och Statens Provningsanstalt
- Bilaga G Mätning av lokal luftomsättning i enfamiljshus i samband med radonstudier 1983-09-20 /Statens Institut för Byggnadsforskning/
- Bilaga H Fotobilaga

## SAMMANFATTNING

Precision och reproducerbarhet hos 11 olika typer av detektorer för bestämning av radon- och radondotterhaltens långtidsvärde har studerats.

Grupper om, i de flesta fall, 10 detektorer har exponerats för radon och radondöttrar under 12 veckor i två rum i en villa. Resultatet har jämförts med referensvärden som för radon erhållits genom samtidig mätning med Strålskyddsinstitutets precisionsinstrument, jonkammare och TLD-instrument i det ena och endast TLD-instrument i det andra rummet.

Referensvärden för koncentration av radondöttrar fastställdes genom kontinuerlig registrering med instrument WLM-300 resp RGA-400 från EDA Inc. i Toronto. Tillförlitligheten hos dessa instrument verifierades genom jämförelse med referensinstrument i SSIs radonrum före och efter mätning.

Deltagande detektortyper var

- TLD-instrument som integrerar radonhalten över 2 å 4 veckor från Studsvik Energi-teknik och Statens Provningsanstalt
- film som exponeras fritt för rumsluften, dels typ B från Terradex Corp, dels detektorer baserade på film, Kodak LR-115 typ II, från Lunds Universitet, Strålskyddstjänst AB och Statens Geotekniska Institut
- detektorer baserade på film placerad i en kopp, dosa e dyl, typ M, SM, F och SF från Terradex Corp samt en nyutvecklade typ från Lunds Universitet med filmen placerad i en millimetertunn kammare.

Öppna filmdetektorer av typ B från Terradex Corp gav resultat ca 100 % över referensvärdena. Övriga detektorer visade spridning och avvikelse från referensvärdet som bör kunna accepteras vid spårningsverksamhet. Resultaten visade oväntat stor spridning och avvikelse från referensvärdet för TLD-instrument. Detta kunde delvis härledas till tillfälligt fel i en avläsningsutrustning för TLD-tabletter.

## SUMMARY

The precision and accuracy of 11 different types of detectors for measuring the long-time average of the concentration of radon, or its decay products in indoor air, have been documented.

Groups of, in most cases, 10 detectors have been exposed, during 12 weeks, to radon and its decay products in two rooms in a detached one-family dwelling.

The results have been compared with reference values. The reference values have, for concentration of radon, been derived from simultaneous measurements with precision instruments from the Swedish Radiation Protection Institute (SSI). The reference value for concentration of radon daughters has been established by continuous measurement with the instruments WLM-300 and RGA-400 from EDA Inc., Toronto. The accuracy of these instruments was verified by comparison to the reference instrument in the radon chamber at the SSI, both before and after the 12 week period.

The following types of detectors were included in the test:

- passive integrating radon monitors, based on TLD technique from Studsvik Energiteknik and the Swedish Testing Institute, repeated measurements in 2 or 4 week periods
- detectors based on bare film freely exposed to room air, type B from Terradex Corp. and detectors using film, Kodak LR-115 type II, from the University of Lund, the Swedish Geotechnical Institute and Strålskyddstjänst AB
- detectors based on film placed in a cup or similar device sensitive to radon only, type M, SM, F and SF of Terradex Corp. and a type with only a few millimeter wide chamber developed at the University of Lund.

The results showed unexpectedly large deviation from the reference values for the passive TLD-detectors. This could partly be explained by a malfunctioning TLD-reader. The open detectors, type B of Terradex Corp., gave results approximately 100 % above the reference value. In general the tested detectors showed an accuracy and precision that make them suitable for screening purposes.



## 1. BAKGRUND

Under de senaste åren har koncentrationen av radon/radondöttrar mätts i ett stort antal bostäder, närmare 50.000.

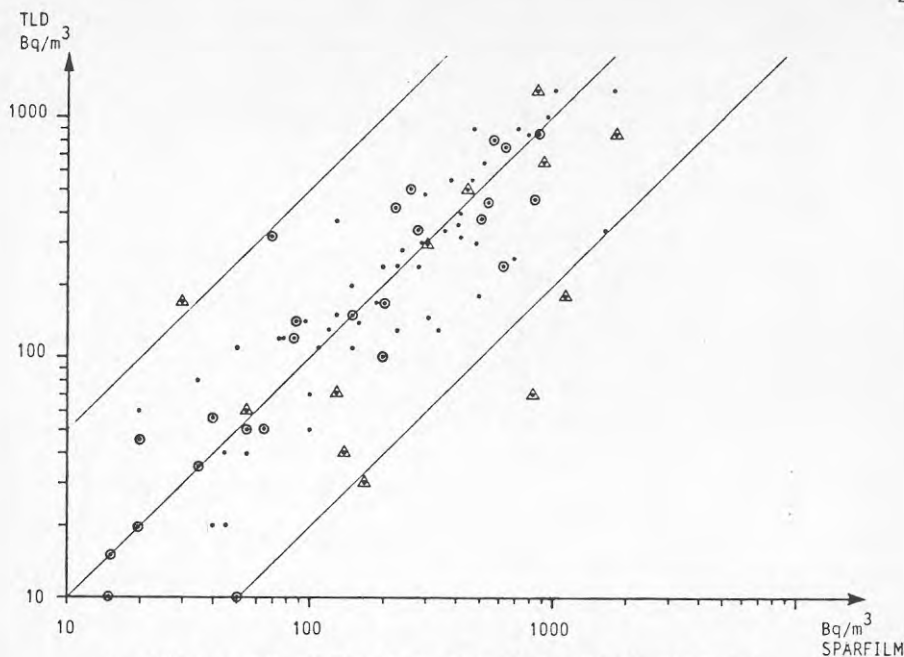
Antalet mätmetoder har ökat successivt och kan väntas fortsätta att öka, eftersom man på flera håll inom landet bedriver utvecklingsverksamhet syftande till att ta fram bättre eller kompletterande metoder.

Statens Råd för Byggnadsforskning har finansierat ett forskningsprogram med syftet att allsidigt belysa problemområdet radon i byggnader. Det stod relativt snart klart att inflöde av markradon var orsaken till de högsta uppmätta radonhalterna inomhus och den dominerande källan till eventuell förhöjd radonhalt i ny bebyggelse. Under de senaste åren har därför BFRs satsningar koncentrerats till frågeställningar rörande markradonets rörelse in i hus och hur detta kan förhindras.

I samband med provning och utvärdering av olika åtgärder med syfte att stoppa eller förebygga inflöde av markradon fann vi att det vara svårt att få en tillförlitlig bild av onoggrannheten hos de mätningar som utfördes, såväl inom forskningsprogrammet som vid kommunernas spårningsverksamhet eller kommersiellt på uppdrag av enskilda fastighetsägare. Det visade sig svårt att avgöra i vilken utsträckning skillnaden i mätvärde, erhållet före och efter en åtgärd, borde tillskrivas mätningarnas onoggrannhet eller ses som en effekt av de vidtagna åtgärderna.

I samband med olika åtgärder mot radon måste vi ofta söka utvärdera effekten av dessa utgående från mätningar som utförts med öppen spårfilm inom kommunernas spårningsverksamhet. I flera fall visade kontrollmätningar före åtgärd betydligt lägre halter än vad som uppmätts med den öppna spårfilmen. Detta kan givetvis ofta förklaras av att man vädrat mer sedan man fått besked om att luften i bostaden innehöll hög halt av radondöttrar eller genom metodbeskrivningen som anger att det högre av två mätvärden skall tillmätas större vikt än det lägre. I flera fall visade det sig dock att de höga halter som angivits som resultat av mätningen med öppen spårfilm inte kunde återupprepas ens om huset hölls mer tillstängt än under den ursprungliga mätningen.

En liknande tendens har påvisats i de undersökningar som genomförts av Bjerking's Ingenjörbyrå. Vid upprepad mätning med TLD-instrument efter mätning med spårfilm i kopp fick man ett i stort samstämmigt resultat, även om det för enstaka lokaler förekom betydande avvikelser åt bägge håll. Se figur 1-1.



- Mätningar utförda i ett och samma utrymme
- ⊙ Mätningar utförda i olika utrymmen men på samma våningsplan (källar- eller bottenvåning)
- △ Mätningar utförda på olika våningsplan (källar- och bottenvåning)

Fig 1-1 Jämförelse mellan radonhalter uppmätta inomhus med TLD och spårfilm med radondotterfilter 82 x 2 mätningar. Mätningarna i resp hus har utförts vid olika tider.  
/Andersson 83/

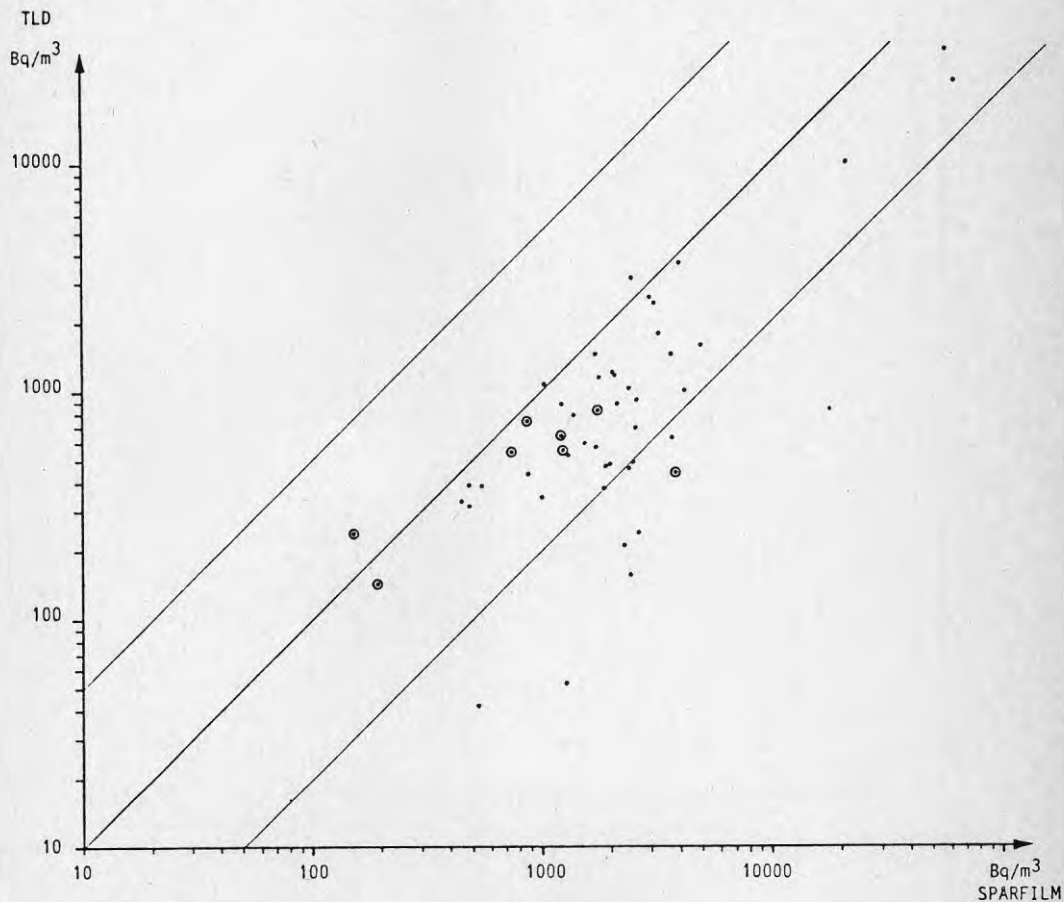
Motsvarande sammanställning för mätning med öppen spårfilm och TLD framgår av figur 1-2. Jämfört med figur 1-1 indikerar denna att den öppna spårfilmen i dessa hus, i samverkan med metodbeskrivningen, möjligen resulterat i en överskattning av radondotterhalten med en faktor 2.

En situation där en eventuell överskattning av radondotterhalten har stor betydelse är vid bedömning av huruvida en del av radonet härrör från marken. Om radondotterhalten är  $>800 \text{ Bq/m}^3$  är det rimligt att utgå från att marken svarar för en betydande andel av det totala tillflödet av radon. Åtgärder inriktas i dessa fall främst mot att med mindre kostsamma metoder begränsa inflödet av markradon.

Om radondotterhalten däremot är  $300 - 500 \text{ Bq/m}^3$  i ett tätt hus med icke oväsentlig del av stommen av skifferbaserad lättbetong, är det rimligt att förut-sätta att byggnadsmaterialen svarar för huvuddelen

av radontillflödet och åtgärder mot ev inflöde av markradon kan i sådana fall inte förväntas ge någon märkbar effekt.

Det har förelegat ett uppenbart behov av mer fullständig information om olika mätmetoders onoggrannhet, dels beträffande systematiska fel under vissa betingelser, t ex den öppna filmens felvisning beträffande radondotterhalt om jämviktsfaktorn avviker från 0,5, dels beträffande den slumpvisa spridningen mellan olika detektorer av samma typ.



- Mätningar utförda i ett och samma utrymme
- Mätningar utförda i olika utrymmen men på samma våningsplan (källar- eller bottenvåning)

Fig 1-2 Jämförelse mellan radonhalter uppmätta inomhus med TLD och Öppen spårfilm 50 x 2 mätningar. Mätningarna i resp hus har utförts vid olika tider /Clavensjö 83/.

De olika instrument som används för radon/radon-dottermätning har tidigare kalibrerats och jämförts med SSIs precisionsinstrument vid mätningar i radonkammare. En del metoder påverkas dock av ett antal fysikaliska faktorer vid sidan om koncentration av radon och/eller radondöttrar. Detta gör att resultat erhållna vid mätning i bostäder mer eller mindre regelmässigt kan vara behäftade med större osäkerhet än vad som indikeras av resultat från jämförande mätningar under laboratorieförhållanden i radonkammare.

TLD-instrumentens känslighet antas påverkas av luftens fuktighet. I figur 1-3 återges detta samband så som det presenterats av Busigin /Busigin 81/ och Annanmäki /Annanmäki 83/. Enligt Busigin är TLD-instrumentens känslighet endast obetydligt beroende av luftfuktigheten inom intervallet 20 - 80 % relativ fuktighet. Känsligheten påverkas endast 0,15 % per procentenhet relativ fuktighet motsvarande endast 9 % för hela intervallet. I intervallet <20 % relativ fuktighet är instrumentens känslighet däremot mycket fuktberoende. Enligt Annanmäki är instrumenten svagt fuktberoende vid relativ fukthalt över 40 - 50 % och starkt fuktberoende vid lägre relativ fuktighet. Enligt en tredje källa /Cowper 78/ är fuktberoendet konstant 0,24 % per % relativ fuktighet inom intervallet 10 - 100 % relativ fuktighet med ett mycket starkt beroende i intervallet 0 - 5 % relativ fuktighet.

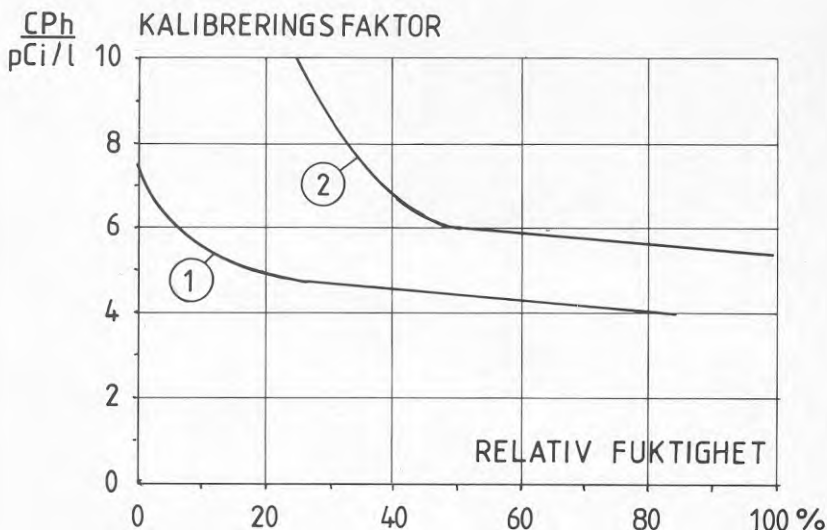


Fig 1-3 Relativa luftfuktighetens inverkan på känsligheten hos TLD-instrument enligt /Busigin 81/ (kurva 1) och /Annanmäki 83/ (kurva 2)

Öppna filmdetektorer påverkas av såväl radon som radondöttrar i luften. De kalibreras i allmänhet i radonkammare med känd radonhalt. Resultatet av denna kalibrering utnyttjas sedan vid mätning i bostäder och i de fall resultatet rapporteras i  $\text{Bq/m}^3$  radondöttrar har resultaten omräknats med hjälp av antaganden om jämviktsfaktor, vanligen 0,5. Dessa detektorer påverkas därför av radondöttrarnas tendens att avsetta sig på olika ytor, så som plattor och jämviktsfaktor. Därmed påverkas de även indirekt av bl a partikelspektrum i luften och statisk elektricitet. Man kan därför vänta sig icke obetydliga avvikelser mellan mätningar i bostäder och i radonkammare.

Svårigheterna kan illustreras med ett exempel från Järfälla kommun. I det aktuella småhuset mättes radondötterhalten med två öppna spårfilmer av typ Teradex, Track Etck B, under eldningssäsongen 1981-82. I vardagsrummet på bottenvåningen uppmättes  $1162 \text{ Bq/m}^3$  radondöttrar (angivet med 4 siffror utan osäkerhet) och i sovrum 1 tr uppmättes  $309 \text{ Bq/m}^3$  (angivet med 3 siffror utan osäkerhet). I enlighet med metodbeskrivningen gavs det högre värdet dubbel vikt och årsmedelvärdet angavs till  $875 \text{ Bq/m}^3$ . Detta värde uppgavs ha felmarginal  $305 \text{ Bq/m}^3$ . Husets stomme utgörs till stor del av skifferbaserad lättbetong, men radonavgången från denna kan knappast förklara mer än 50 % av  $875 \text{ Bq/m}^3$ .

Fastighetsägaren hyrde därefter under hösten 1982 en TLD-baserad radonmätare från Studsvik. Som ett medelvärde av radonhalten i de två tidigare uppmätta lokalerna erhöles  $460 \text{ Bq/m}^3$  radon motsvarande  $230 \text{ Bq/m}^3$  radondöttrar. Onoggrannheten i den senare uppgiften uppgavs vara  $\pm 25\%$ . Denna radondötterkoncentration kan förklaras av radonavgången från byggnadsmaterialen. Under nov - dec 1982 mättes samma utrymmen med en TLD-burk från Statens Provvningsanstalt i vardera rummet sedan tätningslister delvis avlägsnats från fönstren. Resultatet av denna mätning blev  $280 \text{ Bq/m}^3$  radon i vardagsrummet och  $110 \text{ Bq/m}^3$  radon i sovrummet, motsvarande i medeltal  $100 \text{ Bq/m}^3$  radondöttrar.

Resultatet av mätning med öppen spårfilm indikerade således en betydande del markradon och skulle i normala fall ha initierat åtgärder mot markradon för kanske 5.000 - 10.000 kr, som i detta fall troligen blivit verkningslösa.

Mätning med TLD indikerade däremot åtgärder mot radon från byggnadsmaterial, vilket i detta fall torde ha reducerat radondötterhalten med ca 60 % till ca  $100 \text{ Bq/m}^3$  till en kostnad av uppskattningsvis ca 400 kr/år i ökad energiförbrukning.

Vi hade därefter en diskussion med tjänstemän vid Järfälla kommuns Miljö- och hälsovårdskontor rörande tolkningen av den ursprungliga filmmätningen i perspektiv av de resultat som senare erhållits med TLD-

instrument. Denna diskussion mynnade ut i enighet om behov av mer dokumentation rörande de olika metodernas tillförlitlighet vid fältmässig användning i bostäder och utgjorde en av de faktorer som ledde till att denna jämförande mätning kom till stånd.

Det är rimligt att förutsätta att mätningar under ett par månader i ett hus inte ger ett komplett underlag som är giltigt för alla hus under alla årstider. Jämförande mätningar skulle behöva göras i ett flertal hus under olika årstider. Ett sådant program är mycket omfattande och helt utanför ramar-  
na för detta projekt. Vi har begränsat oss till två rum i en villa under sommaren. Uppläggning och dokumentation har gjorts med syfte att resultaten skall kunna utgöra en del av en större framtida verksamhet med jämförande mätningar i bostäder under olika betingelser.

## 2. UPPLÄGGNING OCH GENOMFÖRANDE AV MÄTNINGEN

Genom kontakter med personal vid Statens Strålskyddsinstitut framkom att man delade vår uppfattning om behovet av jämförande mätningar i bostadsmiljö. Man hade då inga möjligheter att genomföra denna typ av studier. Däremot erbjöd man sig att i en studie ställa upp med bl a kontinuerlig registrering av radonhalten med jonkammare i ett av rummen samt mätning av radonhalten i bägge rummen med TLD-instrument. Man ansåg att mätningarna var värda att genomföra och att de skulle kunna utgöra en del av eventuella framtida mer omfattande mätningar av denna typ.

Vi kontaktade därefter ett antal företag/institutioner med förfrågan huruvida man ville delta i en jämförande mätning. Samtliga tillfrågade förklarade sig villiga att delta. Följande företag/institutioner deltog med olika typer av mätinstrument:

Statens Strålskyddsinstitut, Box 60204,  
104 01 Stockholm  
tel 08/24 40 80  
Kontaktperson: Gun-Astri Swedjemark

- kontinuerlig registrering av radonhalt med jonkammare
- integrering av radonhalt över 2-veckorsperioder med s k IRMOR, TLD-instrument med torkmedel.

Statens Provningsanstalt, Box 857,  
501 15 Borås  
tel 033/16 50 00  
Kontaktperson: Olov Hildingson

- integrering av radonhalt över 4-veckorsperioder med TLD-instrument utan torkmedel.

Studsvik Energiteknik AB, 611 82 Nyköping  
tel 0155/80 000  
Kontaktpersoner: Hans Tovedal och Per Swing

- integrering av radonhalt över 4- eller 2-veckorsperioder med TLD-instrument utan torkmedel
- kontinuerlig registrering av radonhalt med en prototyp baserad på halvledardetektion i ett samlande elektriskt fält.

Statens Geotekniska Institut, 581 01 Linköping  
tel 013/11 51 00  
Kontaktperson: Bengt Rosén

- integrering av radondotterhalt över 3 månader med öppen film Kodak LR-115 Type II.

Atlas Copco ABEM AB, Box 20086, 161 20 Bromma  
tel 08/730 08 40  
Kontaktperson: Leif Löfberg

- integrerande mätning av radon/radondöttrar med öppen film Terradex, Trac Etch, typ B
- integrerande mätning av radon (och thoron) med film monterad i kopp försett med filter, Terradex, Trac Etch, typ F
- dito monterad i liten dosa, Trac Etch, typ SF
- integrerande mätning av radon med film monterad i kopp försett med membran, Terradex, Trac Etch, typ M
- integrerande mätning av radon med film monterad i kopp försedd med membran monterad i liten dosa, Trac Etch, typ SM.

Strålskyddstjänst AB, 372 00 Ronneby  
tel 0457/173 50  
Kontaktperson: Stefan Westerberg

- integrerande mätning av radondöttrar med öppen film Kodak LR-115, type II.

Fysiska Institutionen, Lunds Universitet, Sölvegatan 14, 223 62 Lund  
tel 046/107 723, 107 59  
Kontaktperson: Gilbert Jönsson

- integrerande mätning av radondöttrar med öppen detektor bestående av två filmer som hänges med 25 cm vertikalt avstånd, Kodak LR-115, typ II
- integrerande mätning av radondöttrar (och radon) med detektor baserad på film Kodak LR-115, type II, monterad i en millimetertunn mätkammare.

TLD-instrumenten från Statens Provningsanstalt hade inköpts från Studsviks instrumentföretag Alnor AB för BFRs forskningsprogram. De kalibrerades och avlästes vid Statens Provningsanstalt i Borås. Dessa instrument deltog i denna jämförande mätning utan Provningsanstaltens vetskap de två första 4-veckorsperioderna. Vid avläsningen av detektorerna efter den tredje och sista 4-veckorsperioden hade man dock informerats om att instrumenten deltog i jämförande mätning. I övrigt var samtliga deltagande företag och institutioner medvetna om att de aktuella detektorerna deltog i jämförande mätning. Detta innebär att man haft möjligheten att hantera dem med större noggrannhet än vad som sker med detektorer i kommersiella eller rutinmässiga sammanhang.

För filmdetektorer kan detta innebära att man räknar spår över en större yta än vanligt och därigenom minskar den del av spridningen som orsakas av räknestatistiska fel. Av de flesta filmbaserade detektorer har något exemplar exponerats för klart avvikande miljö och i något fall har spänningen till nå-



got TLD-instrument varit bortkopplad en del av tiden. I samtliga fall har för dessa detektorer redovisats avvikande resultat i enlighet med vår förväntan.

Den avvikelse från vad som är representativt för kommersiella mätningar som eventuellt erhålles genom att deltagarna vet vilka detektorer som deltagit i jämförande mätning skulle ha undvikits endast om de detektorer som deltagit i mätningen inköpts genom bulvaner. Vi ansåg inte denna felkälla motivera det extra arbete som detta skulle ha inneburit. Budgeten för projektet hade inte heller medgivit detta, eftersom detta skulle ha kostat >100.000 kr. En förutsättning för genomförandet har varit att alla deltagare ställt upp med detektorer och avläsning utan att kräva någon som helst ekonomisk ersättning. Kostnaderna för detektorer från Terradex har bestri-  
dits av Atlas Copco ABEM AB.

Inget av de laboratorier/företag som deltog med filmer hade någon information om vilka detektorer som exponerats lika. Studsvik hade tillgång till information om vilka TLD-instrument som stått i samma rum.

Mätningarna har utförts i en villa belägen på Brunkebergsåsens sträckning genom Sollentuna. Detektorerna har fördelats på två olika rum. Syftet med denna uppdelning var att

- dokumentera detektorernas funktion vid två olika koncentrationsnivåer
- tillse att deltagande laboratorier inte kunde utgå från att alla detektorer erhållit samma exponering.

### 3. BESKRIVNING AV HUSET

Mätningarna har genomförts i en sluttningsvilla belägen på toppen av Brunkebergsåsens sträckning genom Sollentuna. Byggnadens stomme består av betong (golv mot mark, bjälklag, trappa), betonghålsten (vissa väggar), skifferbaserad lättbetong (vissa väggar) samt trä (takkonstruktion).

Vid den kommunala spårningsverksamheten befanns huset ha mycket hög radondotterhalt. Efter installation av tre fläktar, som suger luft ur undergrunden eller alternativt trycker ner friskluft i undergrunden, har koncentrationen av radondöttrar reducerats med ca 80 à 90 %. Luftomsättningen i huset är förhållandevis låg, varför radonavgången från byggnadens stomme svarar för en icke oväsentlig del av den nuvarande radonhalten i den övre delen av huset. Det finns dock fortfarande, trots vidtagna åtgärder, ett betydande inflöde av markradon. Detta är förklaringen till den högre radon/radondotterhalten i det nedre rummet.

Husets planlösning och sektion framgår av figur 3-1.

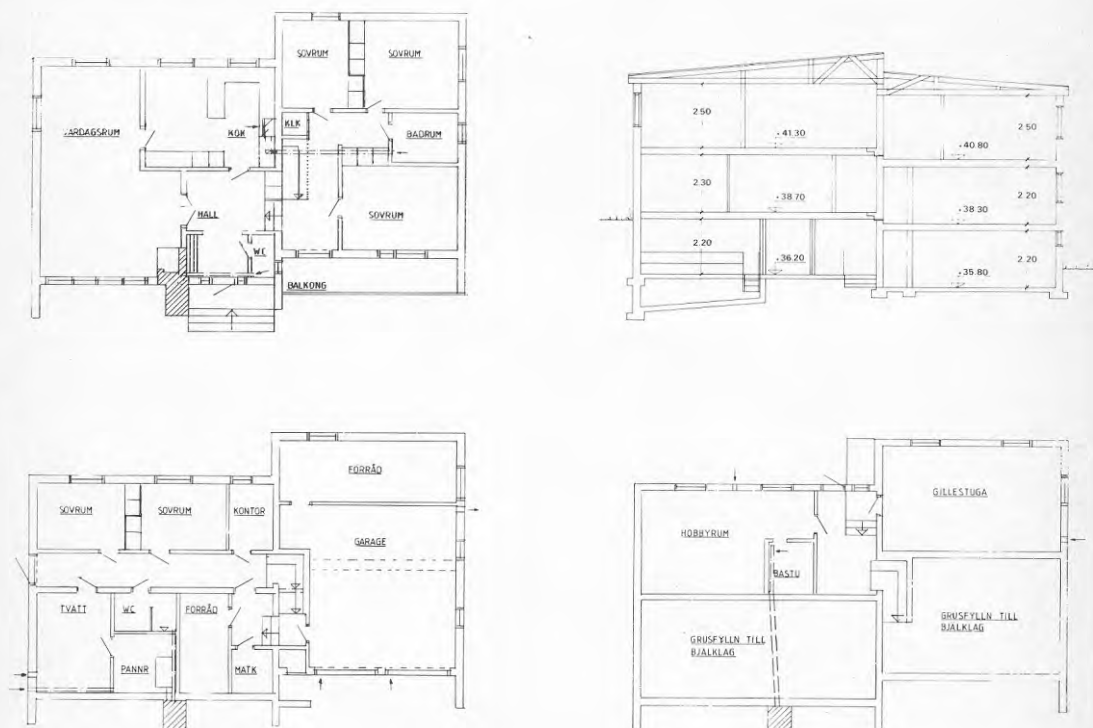


Fig 3-1 Planer och sektion för det hus där mätningarna genomförts

### 3.1 Beskrivning av rummen

Den jämförande mätningen har genomförts i två rum benämnda Övre rummet och nedre rummet. Rummens placering i huset framgår av figur 3-1.

Övre rummets dimensioner är:

$$4,5 \times 3,3 \times 2,5 = 37 \text{ m}^3$$

Omslutande ytor är  $69 \text{ m}^2$ , varav följer att kvoten mellan omslutande yta och volym är  $A/V = 1,86 \text{ m}^2/\text{m}^3$ .

Väggarna var tapetserade. Då syftet var att prova mätarna under realistiska bostadsförhållanden var rummet möblerat och försett med gardiner. Möbleringen var dock ganska sparsam då mätutrustningen upptog en stor del av utrymmet. Rummet har ingen direkt kontakt med marken.

Nedre rummets dimensioner är:

$$7,0 \times 4,1 \times 2,2 = 63 \text{ m}^3$$

Omslutande ytor är  $124 \text{ m}^2$ , varav följer att kvoten mellan omslutande yta och volym är  $A/V = 1,97 \text{ m}^2/\text{m}^3$ .

Rummet var vid mättillfället målat och möblerat som ett möbelförråd. I ena kortväggen sitter en fläkt med en kapacitet av ca  $100 \text{ m}^3/\text{h}$ . Denna sög kontinuerligt under hela mättiden luft ur rummet, dvs rummet fick en omsättning med övriga utrymmen på (rumsvolymen har minskats med 10 % för att kompensera möblernas inverkan):

$$\frac{100}{63 - 63 \times 10\%} = 1,8 \text{ oms/h}$$

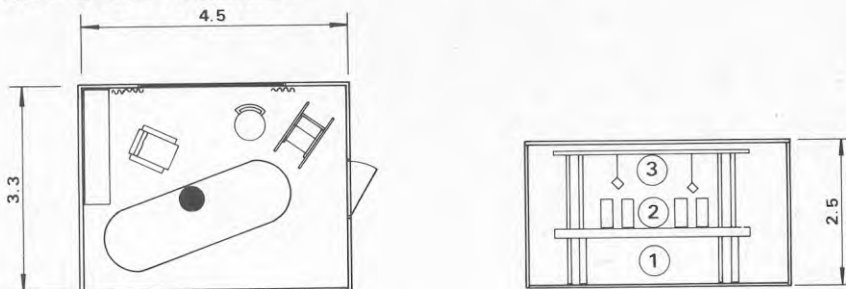
Endast en mindre del av denna luftmängd torde komma direkt utifrån. Huvuddelen kommer från det övriga suterrängplanet genom dörren.

Då fläkten sög ut luft samtidigt som dörren till rummet hållits stängd har man upprätthållit ett undertryck i rummet jämfört med övriga utrymmen och utomhus. Detta har i sin tur motverkat de övriga installerade åtgärderna mot inflöde av radon.

En långvägg är helt motfylld. Den ena kortväggen är delvis motfylld medan den andra långväggen har ca 30 % markkontakt, dvs marken utanför långväggen ligger ca 0,7 m över golvet.

Rummens möblering och detektorernas placering framgår av figur 3-2.

## DET ÖVRE RUMMET



## DET NEDRE RUMMET

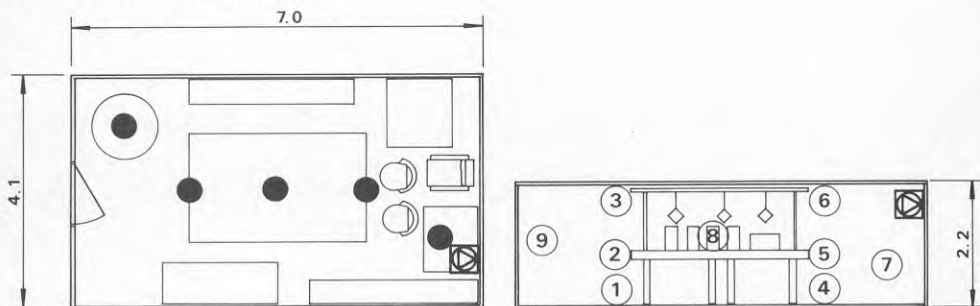


Fig 3-2 Möblering och mätpunkter i de 2 rummen

## 3.2 Dokumentation av ev gradienter i radonhalt eller luftomsättning

En viktig fråga vid bedömning av resultaten är huruvida samtliga detektorer erhållit samma exponering. Om det förekommit gradienter i långtidsmedelvärdet för koncentrationer av radon eller radondöttrar inom den volym vari de olika detektorerna var utplacerade, skulle detta utgöra en bidragande faktor till resultatens spridning. Eftersom syftet med denna jämförande mätning inte har varit att kalibrera detektorerna utan istället varit att verifiera vilken spridning och avvikelse från referensvärdet man får när de vanliga detektorerna används på normalt sätt i bostäder, skulle förekomsten av gradienter på innet sätt minska värdet av resultaten. Om det skulle vara så att det i bostäder förekommer koncentrationsgradienter för radon/radondotterhaltens långtidsmedelvärde inom de delar av rummen där detektorer bör placeras så medför detta att alla mätvärden, även sådana som är 100 % korrekta, måste ges en extra onoggrannhet för det fall att mätvärdet skall an-

vändas som ett mått på radon/radondotterhalten i det aktuella rummet under mätperioden.

För att undersöka huruvida det förekommer gradienter i radon/radondotterhalten eller luftomsättningens långtidsmedelvärde i den volym i rummets centrala delar mellan tak och bordshöjd där detektorerna exponeras skulle man behöva ha kontinuerlig registrering eller åtminstone upprepad momentan provtagning/mätning i ett antal punkter. Detta har inte varit möjligt att genomföra. Dokumentationen har i detta avseende av praktiska och ekonomiska skäl begränsats till att Statens Institut för Byggnadsforskning vid ett tillfälle mätte luftomsättning med spårgasmetod i ett antal punkter i vardera rummet. Protokollet från denna mätning utgör bilaga G till denna rapport.

Efter det att mätningen av luftomsättning var genomförd togs samma dag luftprover för bestämning av radonhalten. I tabell 3-1 och 3-2 anges radonhaltens och luftomsättningens medelvärde och variation mellan de olika mätpunkterna.

Mätpunkt	Koncentration av radon		Luftomsättning	
	Bq/m <sup>3</sup>	% av medelvärdet för de 3 mätpunkterna	h <sup>-1</sup>	% av medelvärdet för de 3 mätpunkterna
3		101		107
2		101		100
1		98		93
medelvärde för de 3 mätpunkterna	267±6	100	0,15±0,01	100

Tabell 3-1 Resultat av samtidig mätning av radonhalt och luftomsättning i 3 punkter i det övre rummet

Dessa mätningar genomfördes den 2 sept 1983, från kl 09.00 till 17.30, dvs några dagar innan den jämförande mätningen avslutades.

Till resultaten bör tilläggas följande:

1. För att sprida spårgasen har fläktar och tidningar använts.
2. Mätning av radonhalt har genomförts efter avslutad luftomsättningsmätning.
3. Vid lunchtid gick ytterdörren upp och stod öppen under max 0,5 h.

Mätpunkt	Koncentration av radon		Luftomsättning	
	Bq/m <sup>3</sup>	% av medelv. för de 3 mät- punkterna	h <sup>-1</sup>	% av medelv. för de 3 mät- punkterna
9		101		-
8		102		-
7		100		-
6		95		100
5		99		103
4		101		91
3		99		103
2		103		103
1		101		100
medelvärde	812±20	100	0,35±0,02	100

Tabell 3-2 Resultat av samtidig mätning av radonhalt och luftomsättning i 9 resp 6 punkter i det nedre rummet

I figur 3-3, 3-4, 3-5, 3-6 och 3-7 illustreras radon- och radondotterhaltens, temperaturens och den relativa fuktighetens utveckling i de två rummen under tiden för mätningen samt närmast föregående och efterföljande dagar. I figur 3-6 redovisas även utomhustemperaturen för samma period. Figur 3-7 illustrerar dessutom samvariationen för det övre rummet mellan temperaturdifferensen inne/ute och radonhalten.

Av figurerna framgår att mätningarna inte väsentligt har påverkat någon av de dokumenterade parametrarna. Utifrån dessa parametrar förefaller mätningarna ha genomförts under förhållanden som var representativa.

Den slutsats vi drar av detta är att det troligen inte förekommit gradienter i radon- eller radondotterhaltens långtidsmedelvärde, som är större än vad som kan detekteras med tillgängliga metoder, inom den volym vari detektorerna var fördelade. De eventuella gradienter som förekommit har givit ett bidrag till mätvärdenas spridning.

Eftersom vi bedömer att eventuella gradienter i dessa rum inte varit större än vad som är normalt i bostäder, utgör det bidrag till spridningen som erhölls av gradienterna ett bidrag till onoggrannheten som bör tillskrivas alla mätningar i bostäder. Syftet med denna jämförande mätning är att kunna ange den totala onoggrannheten vid uppskattning av radon- eller radondotterhaltens långtidsmedelvärde ur någon enstaka mätning med idag tillgängliga detektorer. Vid kalibrering av detektorerna däremot är det angeläget att varje enskild detektor utsätts för känd exponering alternativt att samtliga deltagande detektorer utsätts för exakt samma exponering.

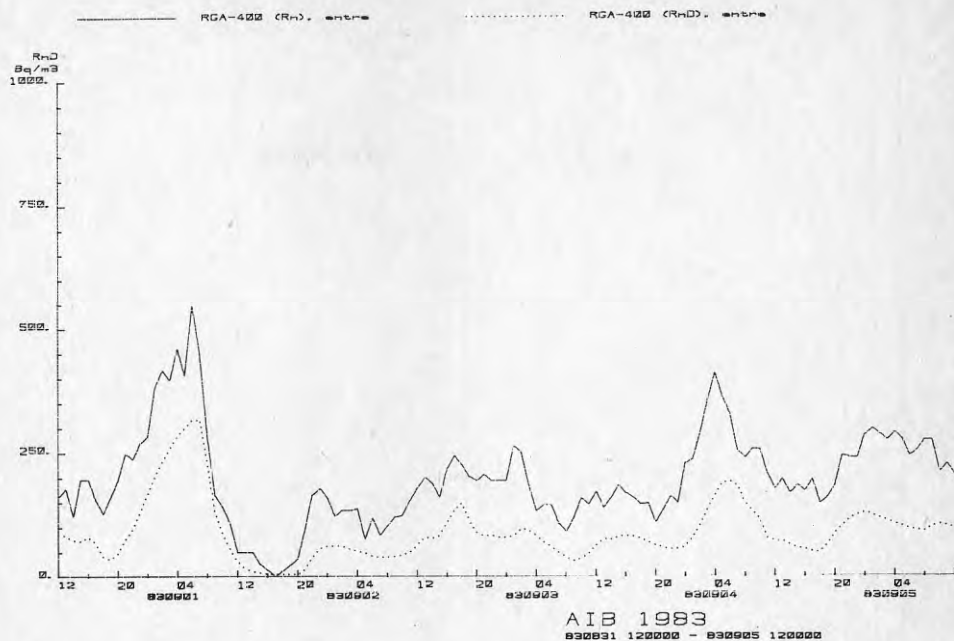


Fig 3-3 Kontinuerlig registrering av koncentration av radon- och radondöttrar i det övre rummet med RGA-400 under perioden 1-5 september

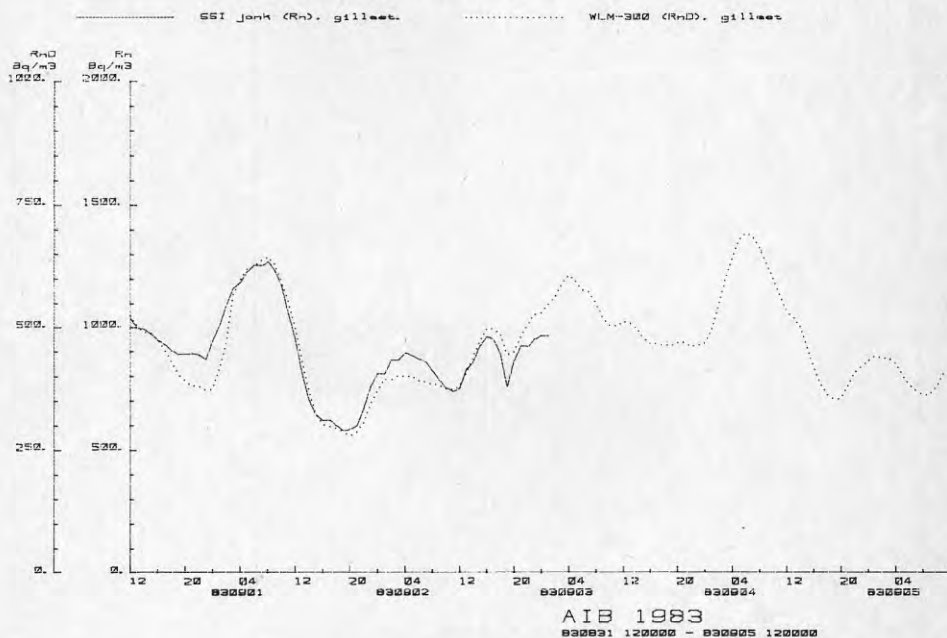


Fig 3-4 Kontinuerlig registrering av radonhalt med SSIs jonkammare och av radondotterhalt med WLM-300 i det nedre rummet under perioden 1-5 sept

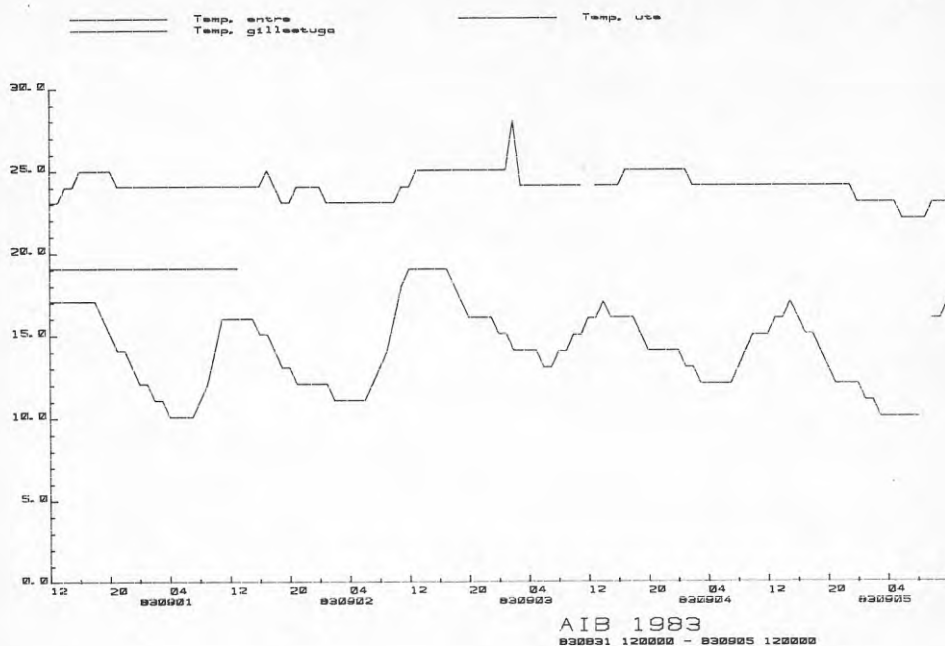


Fig 3-5 Kontinuerlig registrering av temperaturen i det övre rummet samt utomhus under perioden 1-5 september

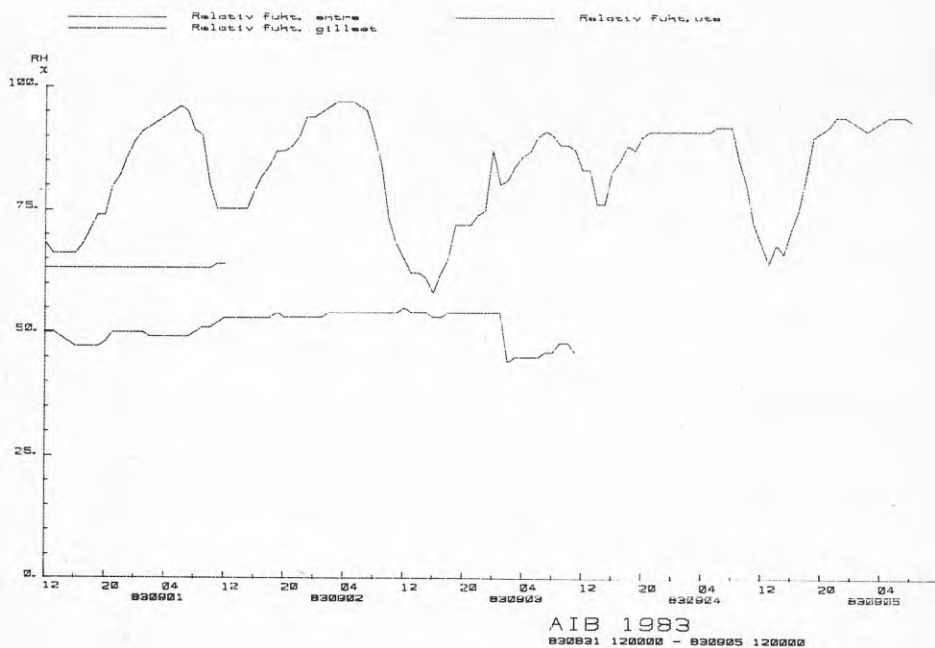


Fig 3-6 Kontinuerlig registrering av relativ luftfuktighet i det övre och det nedre rummet samt utomhus under perioden 1-5 september



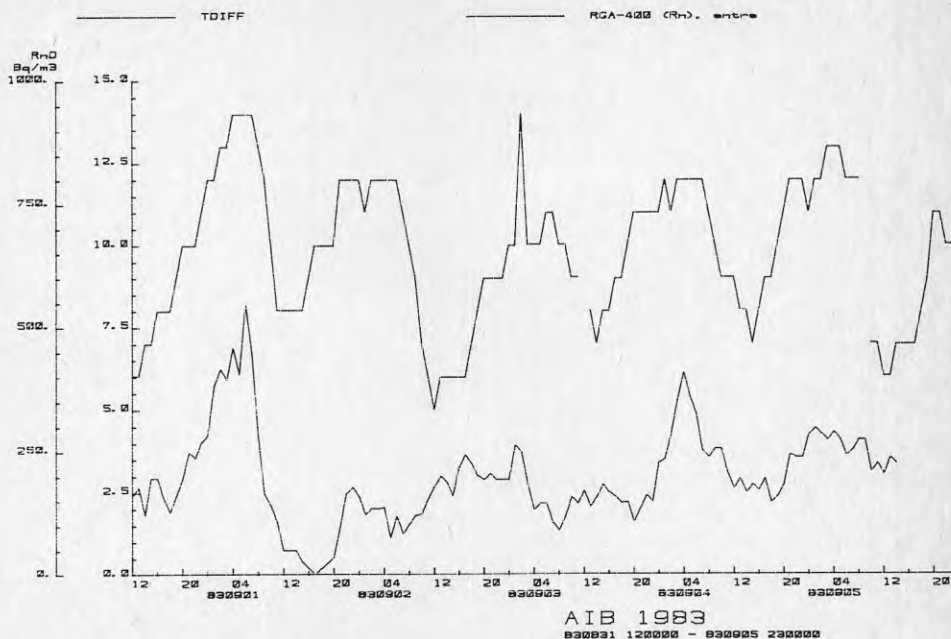


Fig 3-7 Samvariation mellan temperaturdifferens inne-ute och koncentration av radon i det övre rummet

### 3.3 Temperatur och luftfuktighet

Under mätperioden registrerades temperatur och relativ luftfuktighet kontinuerligt med termohygrografer från SMHI i de två rum där mätningarna utfördes samt utomhus i ett redskapsskjul utanför husets östra långsida. Detta skjul tillfördes den luft som sögs upp ur undergrunden med en av de tre installerade fläktarna. Troligen har detta bl a haft en avkylande effekt vid perioder med särskilt varm väderlek.

Förhållandena i det övre rummet framgår av figur 3-8. Temperaturen har i medeltal varit 24 à 25°C och varierat mellan som lägst 21°C och som högst 29°C. Den relativa luftfuktigheten har varierat mellan 37 % och 55 % med ett medelvärde något över 45 %.

I det nedre rummet har temperaturen varit mycket stabil och varierat mellan 18°C och 23°C med ca 20°C som medelvärde, figur 3-9. Den relativa luftfuktigheten har varierat mellan 50 % och 70 % med ett medelvärde på ca 65 %.

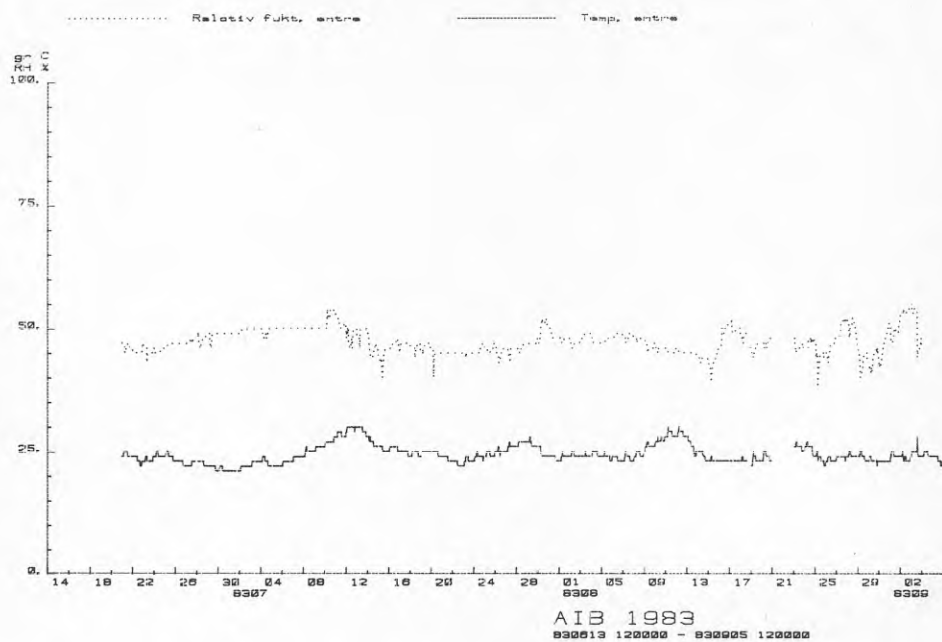


Fig 3-8 Kontinuerlig registrering av temperatur och relativ luftfuktighet i det övre rummet

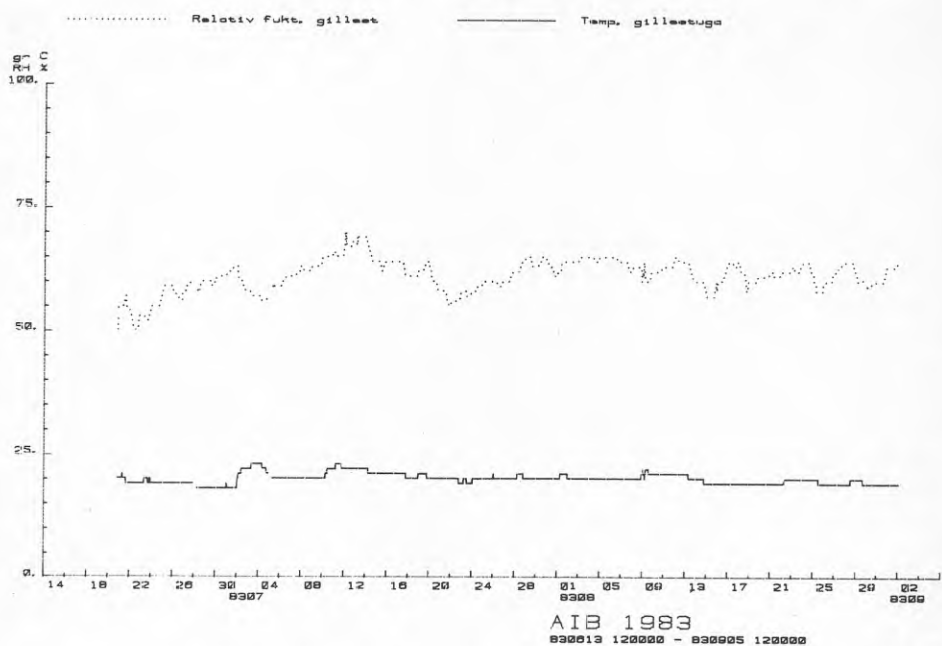


Fig 3-9 Kontinuerlig registrering av temperatur och relativ luftfuktighet i det nedre rummet

För varje timme har temperatur och relativ luftfuktighet omräknats till absolut luftfuktighet. Resultatet framgår av figur 3-10. Den absoluta fuktigheten har varierat mellan 0,0065 och 0,013 kg vattenånga/kg luft. Medelvärdet var ca 0,009 kg vattenånga per kg luft. Som framgår av figuren har den absoluta fuktigheten samvarierat i de två rummen. Perioder med hög absolut fuktighet inomhus har inträffat under perioder med hög temperatur utomhus, figur 3-11.



Fig 3-10 Variation hos den absoluta fuktigheten i luften i övre (heldragen kurva) och nedre rummet (prickad kurva)

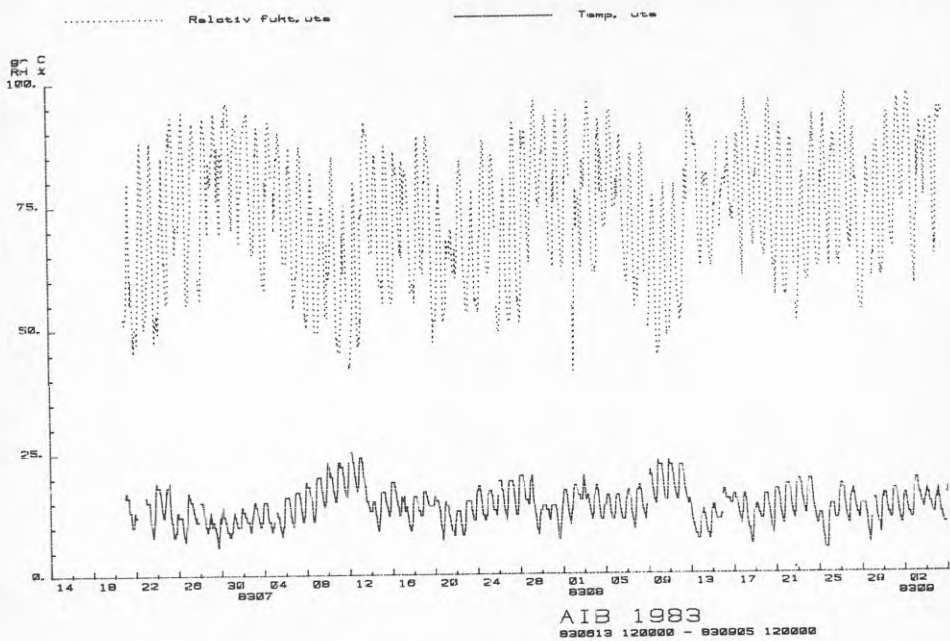


Fig 3-11 Kontinuerlig registrering av temperatur och relativ luftfuktighet utomhus

#### 4. RESULTAT AV MÄTNINGAR MED INTEGRERANDE DETEKTORER

Syftet med denna jämförande mätning har varit att ta fram bättre underlag för bedömning av tillförlitligheten hos mätvärden erhållna genom mätning med enstaka detektorer i bostäder. Radonhaltens medelvärde och (i nedre rummet) även dess variation med tiden har dokumenterats med Strålskyddsinstitutets precisionsinstrument, dvs jonkammare och TLD-instrument. Radondotterhaltens variation över tiden och medelvärde har dokumenterats med instrument WLM-300 och RGA-400, vars onoggrannhet kontrollerats både före och efter mätperioden i SSIs radonrum. Resultaten av dessa mätningar bedömer vi vara behäftade med den minsta onoggrannhet som idag är praktiskt möjlig att uppnå. Dessa resultat benämns referensvärden i denna rapport. Det är vår uppfattning att olika mätvärdens spridning och avvikelse från referensvärdena utgör ett gott mått på precision och onoggrannhet för respektive typ av detektor eller instrument vid mätning i detta hus under den aktuella tidpunkten. Resultaten behöver däremot ej vara generellt representativa för mätningar i andra hus vid andra tidpunkter. Ett flertal faktorer kan medverka till att en viss metods onoggrannhet påverkas av förhållanden som i bostäder dels varierar i tiden i en och samma bostad, dels varierar med enskilda bostäders individuella egenskaper.

De jämförande mätningarna utfördes under sommaren. Jämfört med eldningssäsongen är det under sommaren högre relativ fuktighet i inomhusluften. I detta fall 50-60 % jämfört med kanske 30-45 % under eldningssäsongen. Känsligheten hos flera instrument påverkas av den relativa fuktigheten. TLD-instrumentens känslighet avtar med ökande relativ fuktighet. En kurva som beskriver sambandet mellan känslighet och relativ fuktighet anses emellertid ha en plåtå inom det intervall inom vilket fuktigheten i allmänhet varierar i bostäder, se kap 1. Med detta som bakgrund har Studsvik Energiteknik AB utvecklat TLD-instrument utantorkmedel. SSIs instrument är dock försedda med torkmedel i syfte att eliminera den felkälla som relativa fukthaltens variationer innebär.

Temperaturen inverkar på bl a egenskaperna hos aktivt kol, vars adsorptionsförmåga generellt sett avtar med stigande temperatur. Under mätperioden var temperaturen i övre rummet högre än vad som är vanligt i småhus under eldningssäsongen.

Jämviktsfaktorn brukar i allmänhet schablonmässigt förutsättas vara 0,5. I detta fall var jämviktsfaktorns medelvärde under mätperioden 0,45 i övre rummet och 0,38 i nedre rummet. För detektorer som påverkas enbart av förekomst av radon i luften, men som utnyttjas för uppskattning av radondotterhalt genom antagande om jämviktsfaktor 0,5, innebär varje

avvikelse från 0,5 hos jämviktsfaktorn ett fel. Om jämviktsfaktorn är lägre än 0,5 överskattas radondotterhalten. Detta gäller detektorer baserade på spårfilm i kopp och TLD-instrument.

Den avvikelse från 0,5 som härletts ur referensvärdena för radon- och radondotterhalt motsvarar en överskattning av radondotterhalten i övre rummet med ca 10 % och i nedre rummet med ca 30 %.

Öppna spårfilmer påverkas av alfastrålning från såväl radon som radondöttrar i luften intill filmen. Öppen spårfilm baserad på film av typ Kodak LR-115 typ II påverkas ej av alfapartiklar som utsänds från radondöttrar som fastnat på filmens yta. Denna film registrerar nämligen endast alfapartiklar som förlorat en del energi, t ex genom penetrering av luft innan de tränger in i filmen. Vid en viss radonhalt innebär en lägre jämviktsfaktor att färre alfapartiklar bildas i luften inom sådant avstånd från filmen att ett spår kan uppstå. Detta innebär att mätvärdet vid given radonhalt minskar med avtagande jämviktsfaktor. Vid given radondotterhalt innebär dock en låg jämviktsfaktor att det finns mer radon i luften intill filmen och av detta följer fler spår på filmen. Sammantaget innebär detta att en lägre jämviktsfaktor generellt sett leder till en överskattning av radondotterhalten vid mätning med öppen spårfilm. Hur kraftig denna överskattning blir bestäms av det relativa bidraget till spår på filmen av alfapartiklar härstammande från sönderfall av radon respektive radondöttrar.

För detektorer av Terradex typ B tillkommer effekten av spår orsakade av alfapartiklar som härstammar från radondöttrar som avsatts på filmens yta genom s k plate out. Förhållanden som befrämjar radondöttrarnas rörelse fram till och avsättning på olika ytor leder till lägre jämviktsfaktor och lägre radondotterhalt. Samtidigt avsätts dock mer radondöttrar på den öppna filmens yta. Härigenom leder samma process till lägre radondotterhalt i luften och ökat antal spår på filmen från radondöttrar som avsatts på den. Vi bedömer detta som en trolig huvudförklaring till att detektorer av Terradex typ B överskattat radondotterhalten.

#### 4.1 Krav på precision vid radon/radondottermätning

Målsättningen med den enskilda mätningen avgör vilka krav som måste ställas på resultatets onoggrannhet. Kraven på precision varierar kraftigt från fall till fall. Av detta följer att en viss mätmetod kan uppfylla de krav som ställs i vissa mätsituationer samtidigt som onoggrannheten gör den oanvändbar i andra situationer.

Vid kommunernas ursprungliga spårningsverksamhet kan syftet ur övergripande strålskyddssynpunkt enligt vår uppfattning anses ha varit att grovt dela in de bostäder som blev föremål för mätning i följande grupper:

- < 150 Bq/m<sup>3</sup> radondöttrar motsvarande normala och acceptabla förhållanden
- 75-400 Bq/m<sup>3</sup> radondöttrar motsvarande förhöjd radonhalt som i och för sig motiverar åtgärder men som i ett första skede ej prioriteras från myndigheternas sida
- > 300 Bq/m<sup>3</sup> radondöttrar motsvarande en mycket hög radondotterhalt som innebär sådana risker att myndigheterna genom finansierat stöd och tvingande gränsvärden söker medverka till att effektiva åtgärder genomförs så snabbt som möjligt
- > 800 Bq/m<sup>3</sup> radondöttrar motsvarande extremt hög risk för hälsoeffekter och motiv för omedelbara åtgärder även om dessa skulle vara relativt kostsamma.

Ovan angivna överlappande intervall torde illustrera den praktiska betydelsen av gränsvärdena 70 Bq/m<sup>3</sup> för nya hus med dispensmöjlighet enligt Byggnormens kommentarer till ca 140 Bq/m<sup>3</sup> och gränsen för sanitär olägenhet 400 Bq/m<sup>3</sup> med tillägget att den maximala exponeringen i en enskild bostad under kommande femårsperiod skall begränsas till 2 000 Bq/år/m<sup>3</sup>. Intervallen illustrerar också den osäkerhet som mätningar i spårningsverksamhet är behäftade med, liksom den avsiktliga överskattning av medelkoncentrationen som införts genom att man enligt metodbeskrivning för mätning med öppen spårfilm /Bilaga C/ vid beräkning av medelvärde skall tillmäta det högsta mätvärdet dubbel vikt.

Vid denna typ av mätning kan man acceptera en betydande onoggrannhet. Om t ex ett hus har 300 Bq/m<sup>3</sup> radondöttrar men mätningen tyder på 500 Bq/m<sup>3</sup> har detta ringa betydelse. Bägge nivåerna är så höga att åtgärder är befogade. Detta återspeglas i det krav på de öppna detektorernas precision som Statens Provningsanstalt ställde upp när man började tillhandahålla detektorer. Man krävde att tio slumpvis valda detektorer skulle visa en spridning med standardavvikelse < 20 à 25 % kring ett medelvärde som för 5 slumpvis valda detektorer avvek < 35 % från korrekt värde. Sammantaget med övriga faktorer som bidrar till den totala onoggrannheten i bestämning av årsmedelvärde innebär detta att man för enskilda hus accepterar avvikelser med upp till minst ca 70 à 80 %. Eftersom dessa mätningar ofta läggs till grund för beslut om åtgärder är det angeläget att de utnyttjade metoderna aldrig ger helt felaktigt resul-

tat i form av att ange mycket hög radondotterhalt där den i själva verket är helt normal eller att ange en mycket låg radondotterhalt där den i själva verket är mycket hög.

Ett sätt att identifiera områden där marken har sådana egenskaper att markradon tränger in i vissa hus är att mäta i äldre trähus som ej har källare av skifferbaserad lättbetong. Eftersom byggnadsmaterialet i sådana hus ger ett bidrag till radondotterhalten inomhus  $< 50 \text{ Bq/m}^3$ , utgör varje hus med högre halt en indikation på inflöde av markradon. För denna typ av spårning är det angeläget att den utnyttjade mätmetoden med säkerhet ger möjlighet att särskilja hus med t ex 40 och  $80 \text{ Bq/m}^3$ . Syftet att identifiera områden med radonfarlig mark fylls även om mätvärden vid högre halt är behäftade med betydande osäkerhet. Om man använder en metod som ej kan särskilja hus med  $< 100 \text{ Bq/m}^3$  blir man hänvisad till att bygga sina slutsatser på den mindre förekomsten av hus med större bidrag av markradon. Härvid krävs mätning i ett större antal hus.

Inom forskningsverksamhet har man de högsta kraven på att mätningar skall ge korrekta mätvärden. Ofta vill man jämföra två mätningar, t ex av radonhalten före och efter genomförandet av en åtgärd eller i likartade hus som grundlagts med eller utan radon-skyddande åtgärder. För att kunna dra korrekta och säkra slutsatser ur ett fåtal mätningar är det i dessa fall önskvärt att mätningarna är behäftade med minsta möjliga onoggrannhet.

#### 4.2 Krav på mätnoggrannhet enligt metodbeskrivning

Det finns (mars 1984) metodbeskrivning fastställd av Statens Provningsanstalt för tre av de mätprinciper som deltog i denna jämförande mätning, nämligen

- bestämning av radondotterhaltens årsmedelvärde i en bostad genom mätning med spårfilm, SP A2 601 1980-11-05 (avser öppen spårfilm), bilaga C
- bestämning av radondotterhaltens årsmedelvärde i en bostad genom mätning med TLD-baserad radonmätare, SP A2 603 1981-09-22, bilaga D
- bestämning av radondotterhalt genom insamling av radongas på aktivt kol, SP A2 609 1983-11-04, bilaga E.

För övriga deltagande metoder, dvs spårfilm placerad i kopp eller dosa, kontinuerlig registrering av radon och/eller radondotterhalt finns ännu ej några fastställda metodbeskrivningar.



#### 4.2.1 Metodbeskrivning för mätning med öppen spår-film

Metodbeskrivningen föreskriver att:

"Spridningen (en standardavvikelse) i resultaten från den kemisk-tekniska bearbetningen skall av den som tillhandahåller filmen för olika radondotterhalter garanteras understiga nedan angivna värden, vilka används vid beräkningen av den resulterande osäkerheten.

under 50 Bq/m <sup>3</sup>	+40 %
mellan 50 och 150 Bq/m <sup>3</sup>	+25 %
över 150 Bq/m <sup>3</sup>	+15 %.

Vid beräkning av årsmedelvärde enligt metodbeskrivningen används dessa siffror som mått på den totala osäkerheten i mätningen. Metodbeskrivningen bortser härvid från den osäkerhet som följer av

- varierande jämviktsfaktor
- vissa detektorers egenskap att ge utslag även för radioaktiva sönderfall hos material som avsatts på detektorns yta
- variationer i känslighet mellan olika partier av samma filmtyp.

#### 4.2.2 Metodbeskrivningen för användning av TLD-baserade radonmätare

Metodbeskrivningen innehåller följande avsnitt om krav på kalibrering och noggrannhet:

"Spridningen (en standardavvikelse) i resultaten skall av den som tillhandahåller radonmätare garanteras ej nämnvärt överstiga 10 % vid radondotterhalter i området 50 Bq/m<sup>3</sup> eller högre vid exponering under fyra veckor."

"Faktorn för omräkning mellan mätvärde och radonexposition skall bestämmas så att den framräknade radonhalten ej avviker mer än ca + 10 % från det mest sannolika värdet, alternativt, vid samtidig mätning med ett flertal radonmätare, att en gemensam omräkningsfaktor väljs så att de framräknade radonhalterna tillhör en fördelning med standardavvikelsen ca 10 % och medelvärdet lika med det mest sannolika värdet på radonhalten."

Vi har utgått från att man med denna text söker ange att enskilda mätvärden i princip inte skall avvika från det korrekta värdet med mer än 10 å 15 % och för en grupp mätare skall spridningen, uttryckt som standardavvikelse, vara maximalt ca 10 % kring ett korrekt mätvärde.

#### 4.2.3 Metodbeskrivningen för bestämning av radon-dotterhalt genom insamling av radongas på aktivt kol

I metodbeskrivningen anges att:

"Kolets aktivitet mätes gammaspektrometriskt med NaI-detektor eller motsvarande. Det stokastiska felet vid mätningen skall vara mindre än 10 % vid radondotterhalter över 100 Bq/m<sup>3</sup>."

Vid bedömningen av den totala osäkerheten i bestämningen av radondotterhalt bortser man i metodbeskrivningen från onoggrannhet till följd av att:

- olika partier av kol har varierande förmåga att insamla radon
- kolets upptag av radon är inte opåverkat av variationer i temperatur och luftfuktighet
- varierande jämviktsfaktor.

#### 4.3 Sammaställning av mätresultat

I figur 4-1, 4-2, 4-3 och 4-4 illustreras de resultat som erhållits med olika typer av integrerande mätare. Varje stapel illustrerar resultatet erhållet under en mätperiod med en grupp av mellan 5 och 15 detektorer. Snedstreckade och fyllda delar av staplarna illustrerar en standardavvikelse. Gränsen mellan snedstreckad och fylld del av staplarna markerar det aritmetiska medelvärdet av erhållna mätvärden. Ofyllda staplar illustrerar högsta och lägsta mätvärde. För detektorer baserade på film har mätperioden varit lika lång som undersökningstiden, 12 veckor. För TLD-baserade detektorer har mätperioden varit 2 eller 4 veckor och mätningarna upprepats 3 gånger för detektorer från Statens Provninganstalt (3-4 veckor) och 5 gånger för detektorer från Studsvik Energiteknik AB.

Som framgår av figurerna spänner resultaten över ett brett fält. Det finns exempel på enstaka detektorer som visat endast 10-20 % av referensvärdet liksom exempel på att enstaka detektorer givit mätvärden 3 till 6 gånger högre än referensvärdet. Detektorer av Terradex typ B har genomgående överskattat radondotterhalten medan filmer från SGI genomgående givit låga värden när dessa uttrycks som koncentration av radon. Mätvärden med god överensstämmelse med referensvärden har erhållits, t ex vid bestämning av radon med detektorer av Terradex typ SF och vid bestämning av radondöttrar i det nedre rummet med filmer från Statens Geotekniska Institut.

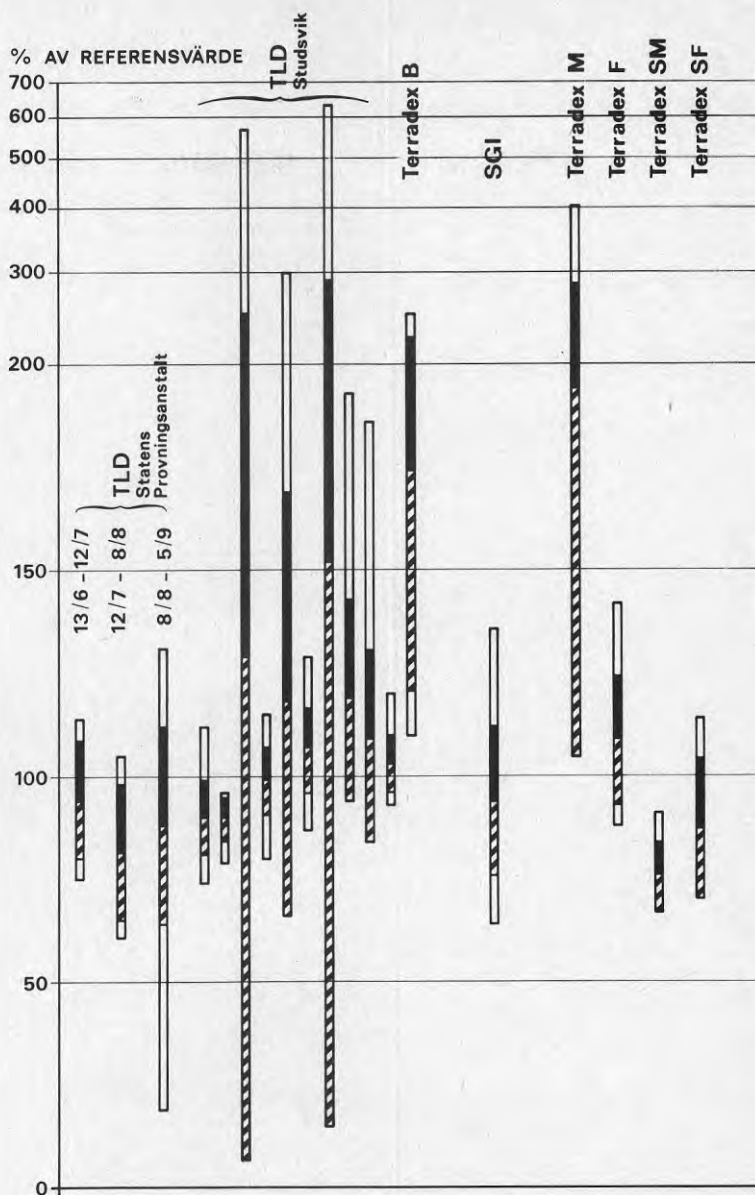


Fig 4-1 Sammanställning av mätresultat uttryckt i koncentration av radon i det övre rummet.

Varje mätning illustreras med en stapel där snedsträckt och fylld del illustrerar spridningen uttryckt som en standardavvikelse. Gränsen mellan snedsträckt och fylld del markerar det aritmetiska medelvärdet. Ofylld del av stapel markerar högsta och lägsta mätvärde. Skalan är logaritmisk för värden >200 % av referensvärdet.

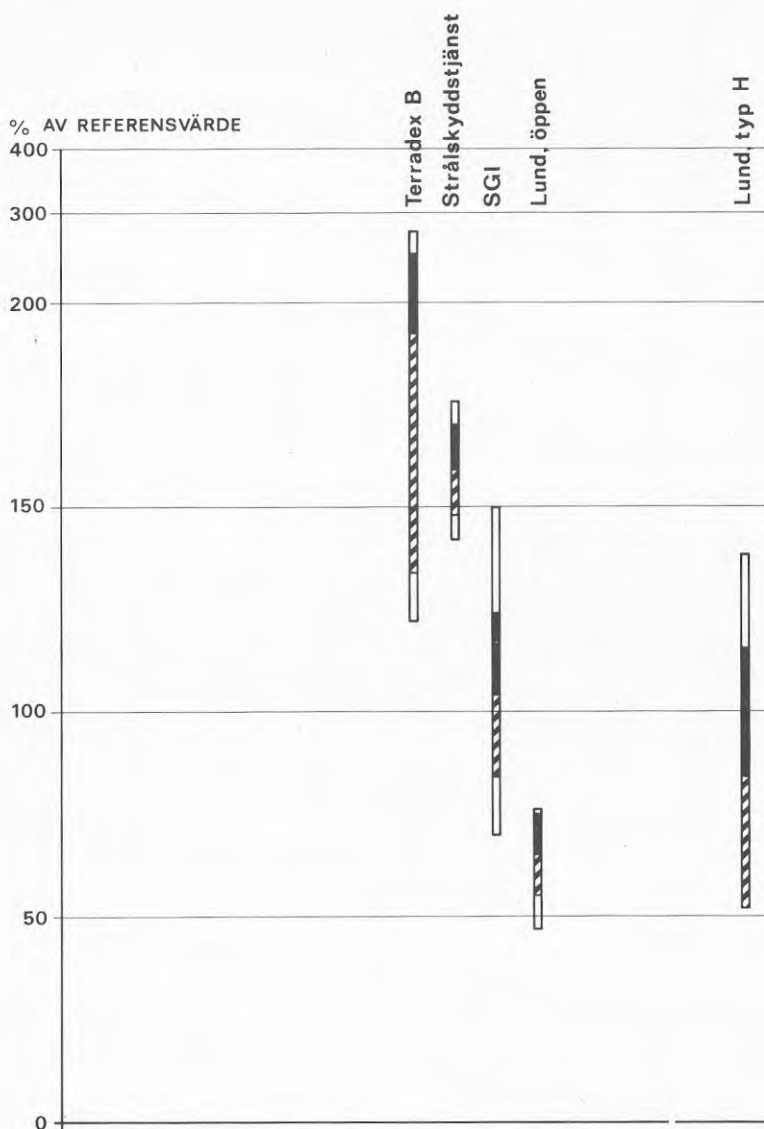


Fig 4-2 Sammanställning av mätresultat uttryckt i koncentration av radondöttrar i det övre rummet

Varje mätning illustreras med en stapel där snedsträcktad och fylld del illustrerar spridningen uttryckt som en standardavvikelse. Gränsen mellan snedsträcktad och fylld del markerar det aritmetiska medelvärdet. Ofylld del av stapel markerar högsta och lägsta mätvärde. Skalan är logaritmisk för värden >200 % av referensvärdet.

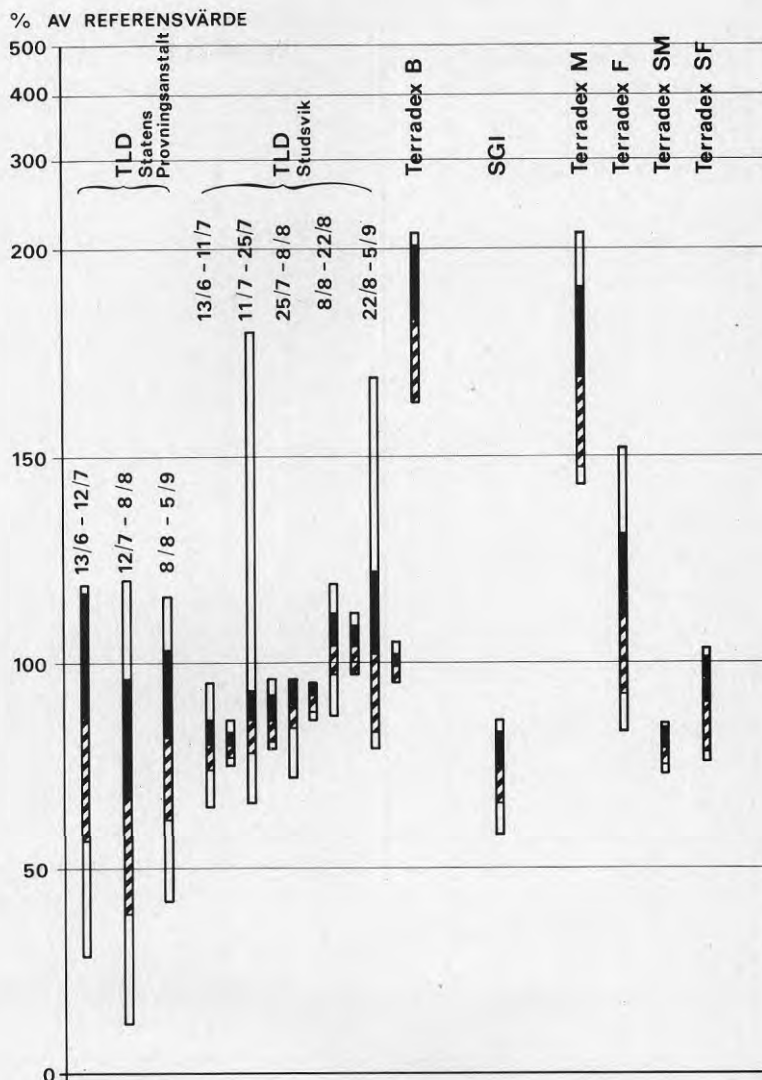


Fig 4-3 Sammanställning av mätresultat uttryckt i koncentration av radon i det nedre rummet

Varje mätning illustreras med en stapel där snedsträckt och fylld del illustrerar spridningen uttryckt som en standardavvikelse. Gränsen mellan snedsträckt och fylld del markerar det aritmetiska medelvärdet. Ofylld del av stapel markerar högsta och lägsta mätvärde. Skalan är logaritmisk för värden >200 % av referensvärdet.

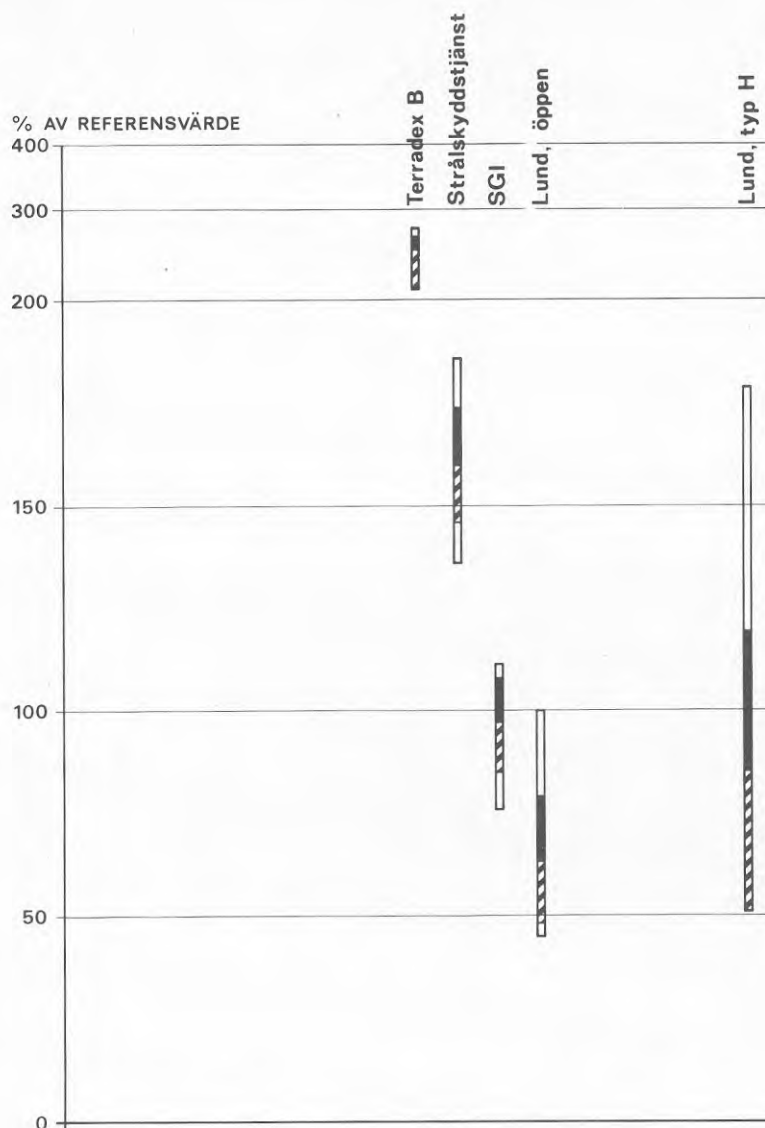


Fig 4-4 Sammanställning av mätresultat uttryckt i koncentration av radondöttrar i det nedre rummet

Varje mätning illustreras med en stapel där snedsträcktad och fylld del illustrerar spridningen uttryckt som en standardavvikelse. Gränsen mellan snedsträcktad och fylld del markerar det aritmetiska medelvärdet. Ofylld del av stapel markerar högsta och lägsta mätvärde. Skalan är logaritmisk för värden >200 % av referensvärdet.

		Spridning - standard- avvikelse kring arit- metiskt medelvärde av erhållna mätvärden, %		Medelvärde - % av refe- rensvärde för koncent- ration av radon	
		övre rummet	nedre rummet	övre rummet	nedre rummet
SSI	13--27/6	4,0	2,0	-	100
"	27/6-11/7	3,4	3,9	-	99
"	11--25/7	4,2	3,1	-	99
"	25/7-8/8	4,0	4,5	-	100
"	8--22/8	5,8	6,1	-	96
"	22/8-5/9	6,6	5,3	-	103
SP	13/6-12/7	15	35	94	87
"	12/7-8/8	20	42	82	68
"	8/8-5/9	27	25	88	82
SE	13/6-11/7	10	8	90	80
"	11--25/7	95	9	129	86
"	25/7-8/8	44	7	118	91
"	8--22/8	90	7	152	104
"	22/8-5/9	21	19	108	102

Tabell 4-1 Sammanställning av spridning och avvikelse från referensvärde för grupper av TLD-baserade detektorer från Statens Strålskyddsinstitut, Statens Provningsanstalt och Studsvik Energiteknik AB

#### 4.4 TLD-baserad radonmätare

Resultat från mätningar med TLD-baserade radonmätare har sammanställts i tabell 4-1. Som framgår av tabellen visade SSIs TLD-baserade detektorer mycket liten spridning och endast obetydliga avvikelser från medelvärdet av jonkammarens registrering. För de olika rummen och mätperioderna har spridningen uttryckt som en standardavvikelse för grupperna bestående av 10 detektorer varierat mellan 2,0 och 6,1 %. Avvikelsen från jonkammarens registrering varierade för de olika mätperioderna mellan 0 och 4 %. SSIs mätare uppfyllde således med god marginal de krav på noggrannhet som formulerats i metodbeskrivningen. Det gjorde däremot inte mätarna från Statens Provningsanstalt och Studsvik Energiteknik AB.

Spridningen uttryckt som en standardavvikelse för de olika grupperna varierade för instrumenten från Statens Provningsanstalt mellan 15 och 42 %. Medelvärdet av mätvärden erhållna med de olika grupperna av detektorer varierade mellan 68 och 94 % av referensvärdet. Orsakerna till den oväntat stora spridningen och avvikelsen från referensvärdet har ej blivit klarlagda.

Statens Provningsanstalt har i sina kommentarer till resultaten i denna mätning redovisat resultaten från

en kontrollmätning av 20 utvalda och justerade detektorer. Resultaten i denna grupp gav en spridning (standardavvikelse) motsvarande 10,7 % och ett medelvärde 16,3 % under "korrekt" värde. Inte heller detta uppfyller de krav som metodbeskrivningen ställer. Man har dock vid Statens Provningsanstalt varit medveten om att man inte kunnat uppfylla metodbeskrivningens krav på mätnoggrannhet vid användning av TLD-baserade radonmätare och därför angivit mätvärden med onoggrannheten  $\pm 25$  %.

Resultaten erhållna med mätare från Studsvik Energiteknik visar stora skillnader mellan de två rummen. I det nedre rummet var spridningen uttryckt som standardavvikelse  $< 10$  % under 4 av de 5 mätperioderna. Under två av de 5 perioderna avvek medelvärdet  $< 5$  % från referensvärdet. Resultatet var mycket sämre i det övre rummet, där spridningen uttryckt som en standardavvikelse varierar mellan 10 och 95 % för de 5 mätperioderna. Orsaken till detta var att enstaka mätare gav mycket avvikande värden, 3 å 6 gånger högre än referensvärdet. Detta har kunnat härledas till ett tillfälligt fel i elektroniken i avläsningsutrustningen för TLD-tabletter i Studsvik. Det visade sig även att en detektor varit defekt och genomgående visat något lägre värden än de övriga. I tabell 4-2 återges resultatet för TLD-baserade radonmätare från Studsvik efter det att ur varje grupp exkluderats det högsta och det lägsta värdet.

		Spridning - standardavvikelse kring aritmetiskt medelvärde av erhållna mätvärden, %		Medelvärde - % av referensvärde för koncentration av radon	
		övre rummet	nedre rummet	övre rummet	nedre rummet
SE	13/6-11/7	6	4	90	80
"	11--25/7	8	6	99	86
"	25/7-8/8	9	4	107	92
"	8--22/8	21	4	119	104
"	22/8-5/9	7	4	103	99

Tabell 4-2 Sammanställning av spridning och avvikelse från referensvärde för grupper av TLD-baserade radonmätare från Studsvik Energiteknik AB efter det att högsta och lägsta värde exkluderats ur varje grupp

Efter denna justering var spridningen uttryckt som en standardavvikelse  $< 10$  % för 9 av 10 grupper och medelvärdet avvek från referensvärdet med  $< 10$  % för 7 av 10 grupper. Ca 5 av 10 grupper kan sägas uppfylla metodbeskrivningens krav på mätnoggrannhet.



## 4.5 Öppen spårfilm

Enligt gällande metodbeskrivning skall spridningen (en standardavvikelse) i resultatet från den kemisk-tekniska bearbetningen av filmen vid aktuell exponering inte tillåtas vara större än +15 %. Vid beräkningen av årsmedelvärde görs inte tillägg för övriga felkällor utan dessa 15 % får utgöra ett mått på mätningens totala osäkerhet.

Metodbeskrivningens krav på de öppna detektorernas noggrannhet bör därför enligt vår uppfattning tolkas så att 15 % inte bara skall illustrera avvikelser mellan olika detektorer som utsatts för samma miljö under exponeringen, utan även utgöra ett mått på ett enskilt mätvärdes troliga avvikelse från ett korrekt värde.

Resultat från mätningar med öppen spårfilm har sammanställts i tabell 4-3.

	Spridning - standard- avvikelse kring arit- metiskt medelvärde av erhållna mätvärden, %		Medelvärde - % av refe- rensvärde för koncent- ration av radon	
	Övre rummet	nedre rummet	Övre rummet	nedre rummet
Terradex B	30	11	192	238
Strålskyddstj	7	9	148	160
SGI	19	12	104	97
SGI*	19	12	122	113
Lund	15	25	65	63

\* värden erhållna med kalibreringsfaktor anpassad till känsligheten hos det aktuella filmpartiet

Tabell 4-3 Sammanställning av spridning och avvikelse från referensvärde för grupper av öppna detektorer i det övre och nedre rummet

Som framgår av tabellen har spridningen för 5 av 8 grupper varit <15 %. Spridningen utgörs härvid av en standardavvikelse beräknad på de enskilda mätvärdenas avvikelse från medelvärdet av mätvärden erhållna med denna detektortyp. Samtliga deltagande detektorer uppvisade <15 % spridning i minst ett av rummen.

Den största spridningen erhöles med detektorer Terradex typ B i det övre rummet, där spridningen blev 30 % att jämföras med 11 % i det nedre rummet. Av resultatet framgår dock att spridningen mellan olika enskilda exemplar av detektorer är av liten betydelse jämfört med detektorernas systematiska felvisning.

Detektorer av Terradex typ B hade en acceptabel spridning på 11 % i det nedre rummet medan medelvärdet för mätvärdena var hela 2,4 gånger högre än referensvärdet. Den minsta spridningen, 7 resp 9 % standardavvikelse, uppvisade detektorer från Strålskyddstjänst AB. Dessa visade dock genomgående värden ca 50 % högre än referensvärdet. Filmerna från SGI visade i denna jämförelse bäst överensstämmelse med referensvärdena med en spridning uttryckt som standardavvikelse på 19 resp 12 % kring ett medelvärde som praktiskt taget sammanföll med referensvärdet. Efter det att värdena justerats upp 17 % med hänsyn till resultatet av ett prov där känsligheten hos den aktuella filmleveransen kontrollerats, gav dock SGIs filmer värden 15 à 20 % över referensvärdet. Filmer från Fysiska Institutionen vid Lunds Universitet gav i allmänhet värden ca 35 % under referensvärdet, troligen till följd av tillfälliga störningar i laboratoriet.

Slutsatsen av detta blir att ingen av deltagande detektorer av öppen film kunde uppfylla kravet på noggrannhet såsom det uttrycks i den gällande metodbeskrivningen. Detta utesluter dock ej att de är fullt användbara för språningsverksamhet. Filmer från Strålskyddstjänst AB och Fysiska Institutionen vid Lunds Universitet visade god linearitet med exponeringen. Kvoten mellan medelvärdena för de grupper av filmer som exponerats i övre resp nedre rummet visar god överensstämmelse med kvoten mellan referensvärdena för radondotterhaltens medelvärde under exponeringstiden. Eftersom detektorerna kan påverkas av ett flertal faktorer går det inte att generellt ange med hur stort fel mätvärden erhållna med dessa detektorer är. Den linearitet som erhållits mellan de två rummen antyder att de skillnader som under mätperioden förelåg mellan rummen ej har avgörande betydelse för resultatet. Detta utesluter dock inte att kraftigare variationer i dessa eller helt andra faktorer, t ex partikelspektrum i luften, kan ha stor betydelse för mätresultatet och sammantaget leda till väsentligt annorlunda resultat i andra hus. Man kan således inte dra slutsatsen att öppna filmer från Strålskyddstjänst AB alltid ger 50 à 60 % för höga mätvärden. Det faktum att kalibrering av den filmleverans varur SGI tog sina detektorer ledde till 17 % förändring av kalibreringsfaktorn, visar att antingen filmens känslighet varierar från leverans till leverans eller att mätvärdet vid kalibrering påverkas av andra okontrollerade faktorer än koncentrationen av radon/ radondöttrar.

För de detektorer baserade på öppen film, som utnyttjas idag, bör man kunna dra följande slutsatser:

- filmerna uppfyller de krav som måste ställas vid språningsverksamhet

- såväl enskilda filmer som hela leveranser ger avvikelser från korrekt värde som kan uppgå till åtminstone +40 à 50 %
- under likartade betingelser är mätvärdena proportionella mot exponeringen
- det faktum att de krav som anges i gällande metodbeskrivning ej kan uppfyllas, är i första hand ett argument för att justera metodbeskrivningen så att den ger en korrekt bild av metodens möjligheter och begränsningar.

Genom att ett mycket stort antal mätningar inom kommunernas spårningsverksamhet genomförts med detektorer av Terradex typ B, är resultaten erhållna med detektorer av denna typ intressanta trots att denna detektortyp ej längre marknadsförs.

Innan Statens provningsanstalt började sälja denna detektortyp skrevs kontrakt 1980-03-21 med Atlas Copco ABEM AB, som är representant för tillverkaren Terradex Corp. Detta avtal innefattade ett detaljerat program för kontroll av onoggrannhet i mätvärden erhållna med varje sändning av detektorer, bilaga F. Kontrollprogrammet innefattade i princip två delar som genomfördes samtidigt som övriga detektorer exponerades av SPs kunder.

Det ena momentet innebar att 5 detektorer exponeras för minst 1 000 Bq månader/m<sup>3</sup> radondöttrar i SSI radonrum. Kravet härvid var att medelvärdet av mätvärden erhållna med dessa 5 detektorer ej fick avvika mer än +35 % från av SSI uppgiven exponering. Om avvikelsen var större skulle samma prov upprepas i radonkammare hos något annat laboratorium. Om detta prov visade avvikelse <35 % skulle leveransen anses uppfylla kraven.

Det andra momentet innebar att 10 detektorer exponerades på vanligt sätt i ett bostadsrum med förhöjd radondötterhalt. Kravet vid detta kontrollmoment var att standardavvikelsen av de 10 detektorernas resultat skulle ligga inom följande gränser:

aritmetisk medelvärde av mätvärden Bq månader/m <sup>3</sup>	standardavvikelse i enskild mätning %
200	< 36
500	< 25
1 000	< 20

För den exponering som detektorerna utsatts för i denna jämförande mätning medgav således avtalet mellan Terradex representant och Statens Provvningsanstalt:

- för övre rummet en standardavvikelse för 10 detektorer på 25 % kring ett medelvärde som avviker  $\leq 35$  % från referensvärdet
- för nedre rummet en standardavvikelse för 10 detektorer på 20 % kring ett medelvärde som avviker  $\leq 35$  % från referensvärdet.

Avtalet mellan SP och Terradex representant medgav således betydligt större onoggrannhet för mätvärden erhållna med detektorer av Terradex typ B än vad som krävs enligt metodbeskrivningen.

Statens Provvningsanstalt fick totalt 26 leveranser av detektorer Terradex typ B mellan oktober 1980 och februari 1982. De första 19 leveranserna uppfyllde kontrollprogrammets krav. Detektorer ur leveranserna nr 20-23 uppvisade vid exponering i radonkammaren hos SSI för höga värden, dvs medelvärdet var för samtliga 4 grupper mer än 35 % högre än av SSI uppgiven exponering. Enligt uppgift visade detektorerna värden som var ca dubbelt så höga som det värde som uppgavs av SSI. Andra detektorer ur samma leverans sändes därefter till Environmental Measurements Laboratories (EML) i New York. Vid detta prov visade detektorerna i medeltal värden som var mer än 35 % lägre än vad som uppgavs av laboratoriet. Statens Provvningsanstalt slutade därefter att köpa dessa detektorer utan att man nått klarhet beträffande orsaken till dessa avvikelser.

Resultatet med detektorer från SGI och Fysiska Institutionen vid Lunds Universitet uppfyller för såväl övre som nedre rummet bägge momenten i kontrollprogrammet för Terradex typ B. Detektorerna från Strålskyddstjänst AB uppfyller kraven på spridning men gav i medeltal något högre värden än vad som skulle ha kunnat accepteras enligt kontrollprogrammet. Även för Terradex typ B var spridningen sådan att den skulle ha kunnat godkännas enligt kontrollprogrammet. I övre rummet var spridningen en standardavvikelse 30 % räknat på 5 detektorer medan kravet var 25 % räknat på 10 detektorer. Medelvärdet för resultat med Terradex typ B var dock 1,9 resp 2,4 gånger högre än referensvärdet för övre och nedre rummet.

För mätperioden har referensvärdet för radondotterhaltens medelvärde fastställts till  $419 \text{ Bq/m}^3$  i det nedre rummet och  $165 \text{ Bq/m}^3$  i det övre rummet. Medelvärdet av dessa två värden är  $292 \text{ Bq/m}^3$ . Ett värde som är representativt för vad de boende idag utsätts för i detta hus torde vara någonstans mellan 165 och  $292 \text{ Bq/m}^3$ , eftersom det lägre värdet uppmätts i ett sovrum med öppen förbindelse med övriga delar av bo-

stadsplanet och det högre värdet erhållits i en gillestuga/hobbyrum i suterrängplan. Tidigare, innan familjen blev medveten om inflödet av markradon utnyttjades suterrängplanet i större utsträckning än vad som är fallet idag. Utplacering av en av två filmer i gillestuga vid mätning i spårningsverksamhet är i många fall i strid med metodbeskrivningen, bilaga C, som föreskriver att den ena av två filmer skall placeras i det rum där de boende tillbringar längst dagtid, vilket i detta fall troligen varit kök / vardagsrum på samma plan som det övre rummet. I många småhus utnyttjas dock vardagsrum under endast kort tid på kvällen medan familjens barn/ungdomar tillbringar förhållandevis lång tid i hobby/lektrum i suterrängplan. Med sådant utnyttjande av bostaden hade ett naturligt val varit att placera de två filmerna i de två rum som utnyttjades i denna undersökning.

Av mätvärden erhållna med öppen film Terradex typ B följer, om metodbeskrivningen tillämpas och det högre av de två mätvärdena ges dubbel vikt vid beräkningen av medelvärde, en uppskattning av radondotterhaltens årsmedelvärde mellan  $665 \text{ Bq/m}^3$ , med osäkerhetsintervall  $430\text{--}895 \text{ Bq/m}^3$ , och  $926 \text{ Bq/m}^3$ , med osäkerhetsintervall  $600\text{--}1\,250 \text{ Bq/m}^3$ . I figur 4-5 illustreras sannolikhetsfördelningen för det årsmedelvärde som enligt metodbeskrivningen räknas fram för de 25 möjliga parvisa kombinationerna av filmer.

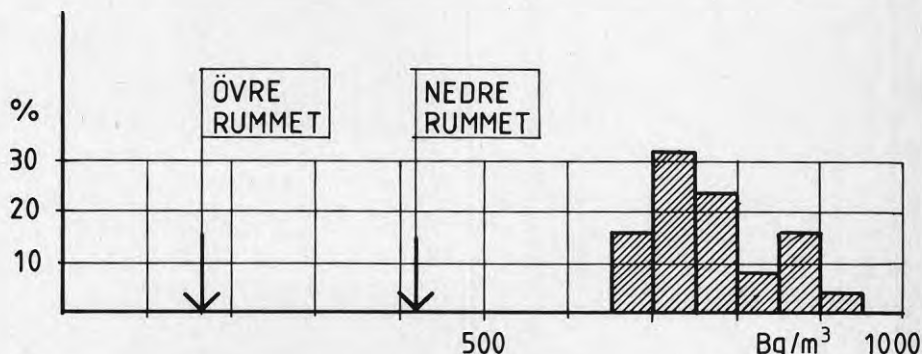


Fig 4-5 Fördelning av årsmedelvärde beräknat enligt metodbeskrivningen för de 25 olika möjliga, parvisa kombinationerna av en detektor Terradex typ B exponerad i vardera rummet. Pilarna markerar referensvärdet för radondotterhaltens medelvärde under mätperioden i övre resp nedre rummet.

## 4.6 Film monterad i kopp, dosa eller dylikt

Det finns ännu (mars 1984) ingen metodbeskrivning utarbetad och fastställd av Statens Provningsanstalt för mätning med spårfilm monterad i kopp, dosa e dyl.

I denna jämförande mätning har Fysiska Institutionen vid Lunds Universitet och Atlas Copco ABEM AB deltagit med detektorer baserade på film placerad i kopp, dosa e dyl. Fysiska Institutionen deltog med en nyutvecklade typ benämnd H. Atlas Copco ABEM deltog med

- Terradex typ M - film placerad i kopp försedd med plastmembran
- Terradex typ F - film placerad i kopp försedd med filter
- Terradex typ SM - film placerad i dosa försedd med plastmembran
- Terradex typ SF - film placerad i dosa försedd med filter.

Resultat från mätning av radon med olika typer av detektorer baserade på spårfilm placerad i kopp, dosa e dyl framgår av tabell 4-5.

	Spridning - standardavvikelse kring aritmetiskt medelvärde av erhållna mätvärden, %		Medelvärde - % av referensvärde för koncentration av radon	
	övre rummet	nedre rummet	övre rummet	nedre rummet
Terradex M	46	13	194	169
Terradex F	14	18	109	112
Terradex SM	12	6	76	79
Terradex SF	19	13	87	90
Fys Inst, typ H	37	40	84	85

Tabell 4-5 Sammanställning av spridning och avvikelse från referensvärde för grupper av detektorer baserade på film placerad i kopp, dosa e dyl

Detektorer av Terradex typ M är avsedda för i första hand mätningar i mark. Plastfolien har så stort diffusionsmotstånd att thoron, den kortlivade isotopen radon-220, ej kan diffundera in i mätvolymmen och påverka mätvärdet. Folien skyddar även filmen mot väta. I bostäder är troligen aldrig koncentrationen av thoron så hög att det är motiverat att använda detektorer med plastfolie. Diffusionsmotståndet i folien gör nämligen detektorn mindre känslig för radon samtidigt som den eliminerar känsligheten för thoron. Om man bortser från Terradex typ M visade samtliga övriga typer medelvärden som avvek <25 % från referensvärdet. Spridningen för Terradex F, SM och SF var i bägge rummen <20 %.

Detektorer från Fysiska Institutionen vid Lunds Universitet, typ H, visade större spridning, en standardavvikelse 37 resp 40 %, troligen till följd av tillfälliga störningar i laboratoriet.

Bortsett från Terradex typ M, som huvudsakligen är avsedd för mätning av markradon, tyder resultaten på att samtliga typer uppfyller de krav som bör ställas inom spårningsverksamhet. Eftersom detektorerna i denna undersökning exponerats för 365 resp 1 088 Bq/m<sup>3</sup> under 3 månader medger inte resultaten att man drar närmare slutsatser om detektorernas användbarhet vid lägre nivåer, t ex gränsvärdet för nybebyggelse.

#### 4.7 Detektorer baserade på aktivt kol

Som ett led i arbetet med utveckling av detektorer baserade på aktivt kol exponerade SSI 18 grupper bestående av 2 eller 3 detektorer. Medelvärdet för respektive grupp har jämförts med radonhaltens medelvärde under mätperiodens sista dygn enligt den kontinuerliga registreringen med jonkammare. Resultaten för grupperna av detektorer baserade på aktivt kol varierade mellan 95 och 140 % av den radonhalt som bestämts med jonkammare. Medelvärdet för samtliga grupper var 116 % av mätvärdet från jonkammaren.

## 5. KONTINUERLIG REGISTRERING AV RADON- OCH RADONDOTTERKONCENTRATION

### 5.1 Registrering av referensvärden

I bägge rummen registrerades såväl radon- som radondotterkoncentrationen kontinuerligt under mätperioden.

I det övre rummet skedde registreringen med ett instrument av typ RGA-400 från EDA Instruments Inc. I det nedre rummet registrerades radonhalten med jonkammare från SSI medan radondotterhalten registrerades med ett instrument av typ WLM-300 från EDA Instruments Inc.

Instrumenten RGA-400 och WLM-300 har varit på jämförande mätning i SSIs radonkammare. Arbetet med kalibrering av instrumentet RGA-400 beskrivs ingående i bilaga B.

I figur 5-1 redovisas resultaten från registrering av radondotterkoncentrationen i SSIs radonkammare den 14-16 september 1983 med WLM-300, RGA-400 och SSIs referensinstrument av fabrikat Harshaw.

### RADONDOTTERHALT

$\text{kBq/m}^3$

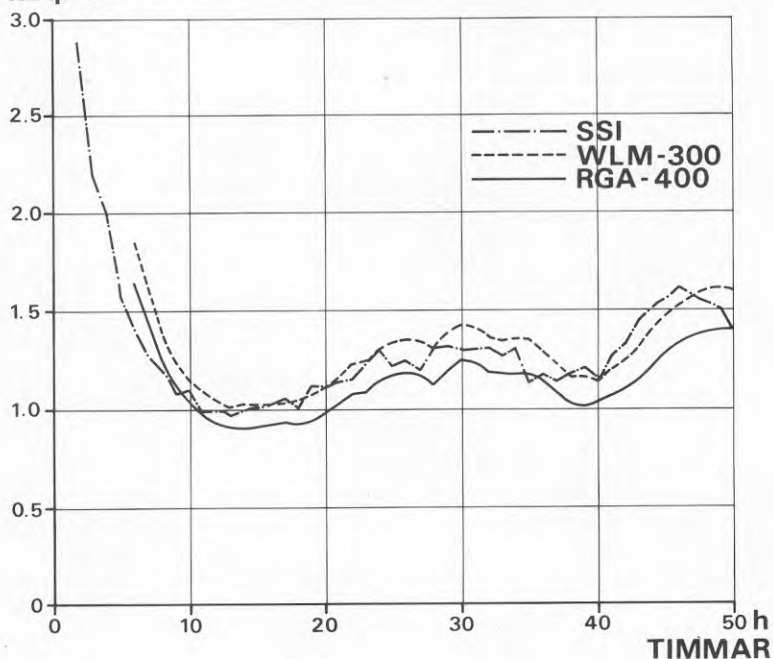


Fig 5-1 Jämförande mätning med WLM-300 och RGA-400 mot SSIs referensinstrument av fabrikat Harshaw i SSIs radonkammare 14-16 september 1983



Resultatet av denna jämförande mätning kan sammanfattas:

- efter den korrektion som tidigare fastställdes (bilaga B) avseende registrering av radondotterkoncentration med RGA-400 visar instrumentet i medeltal 8,8 % lägre värde än SSIs referensinstrument
- utan korrektion visar WLM-300 i medeltal 3,6 % högre värde än SSIs referensinstrument.

Samtliga mätvärden avseende koncentration av radondöttrar erhållna med RGA-400 har med anledning härav ökat med 10 %.

Avvikelsen hos mätvärdena erhållna med WLM-300 bedöms vara så små att de inte motiverade någon korrigering. Den registrering av radonhalten som erhöles med jonkammaren bedömdes helt tillförlitlig, bl a på grund av den goda samstämmigheten med SSIs TLD-baserade mätare. Registreringen av radonhalten i övre rummet med RGA-400 justerades i enlighet med kalibreringsförsöken, bilaga B.

Efter ovan angivna justeringar har de kontinuerliga registreringarna av radon- och radondotterkoncentrationen i det nedre rummet och radondotterkoncentrationen i det övre rummet utnyttjats vid beräkning av medelvärden och jämviktsfaktorer för i första hand mättiden uppdelad i sex 14-dagarsperioder. Trots omfattande kalibreringsförsök har den kvarstående onoggrannheten i registreringen av radonhalt med RGA-400 bedömts vara så stor att resultatet inte kan utgöra referensvärde att jämföra övriga detektorer mot. För det övre rummet har därför medelvärdet av mätvärdena erhållna med SSIs TLD-baserade radonmätare utgjort referensvärde.

Resultatet av detta har sammanställts i tabell 5-1 och 5-2.

I figur 5-2 och 5-3 visas det korrigerade resultatet av kontinuerlig registrering av radon och radondotterhalten under hela mätperioden i de två rummen. Som framgår av figurerna har radon- och radondotterkoncentrationen varierat mest i det övre rummet.

Figurna 5-4 till 5-9 illustrerar resultatet av den kontinuerliga registreringen i det övre rummet för mätperioden uppdelad på 6 tvåveckorsperioder.

Av figurerna 5-10 till 5-15 framgår motsvarande för det nedre rummet enligt registrering med SSIs jonkammare och WLM-300.

Period (337 h)	SSIs TLD-baserade radonmätare		RGA-400		F RnD/Rn
	Rn (Bq/m <sup>3</sup> )	h	RnD (Bq/m <sup>3</sup> )	h	
1 0613-0627	470	337	218	343	0,464
2 0627-0711	465	337	212	309	0,456
3 0711-0725	337	337	127	256	0,377
4 0725-0808	399	337	194	261	0,486
5 0808-0822	309	337	148	332	0,479
6 0822-0905	212	337	94	334	0,443
Hela perioden (2017 h)	365	2017	165	1792	0,452

Tabell 5-1 Radonhalt registrerad med SSIs TLD-baserade radonmätare och radondotterhalt registrerad med kontinuerligt instrument RGA-400 i övre rummet. Dessa värden har utgjort referensvärde vid utvärdering av resultat erhållna med övriga instrument.

Period (337 h)	Jonkammare		WLM-300		F RnD/Rn
	Rn (Bq/m <sup>3</sup> )	h	RnD (Bq/m <sup>3</sup> )	h	
1 0613-0627	1103	334	335	161	0,304
2 0627-0711	1143	337	440	281	0,385
3 0711-0725	1077	337	370	325	0,344
4 0725-0808	1155	337	445	330	0,399
5 0808-0822	1126	337	448	324	0,398
6 0822-0905	1001	206	438	315	0,438
Hela perioden (2017 h)	1101	1883	419	1731	0,381

Tabell 5-2 Radon- och radondotterhalt registrerad med WLM-300 och SSIs jonkammare i nedre rummet. Resultaten har utgjort referensvärde vid utvärdering av mätvärden erhållna med övriga instrument.

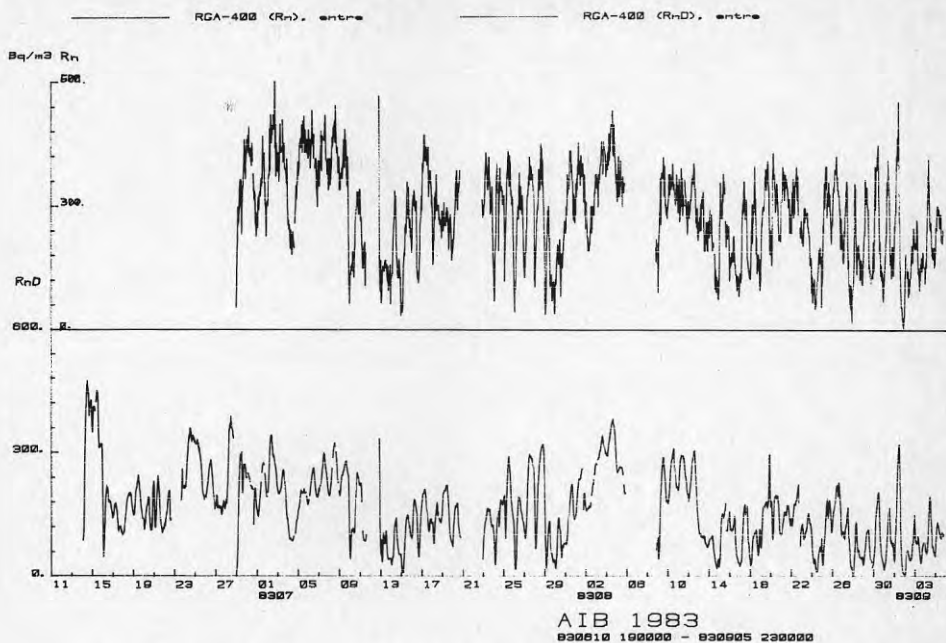


Fig 5-2 Kontinuerlig registrering av radon- och radondotterhalt med RGA-400 i det övre rummet under hela mätperioden 13 juni - 5 september

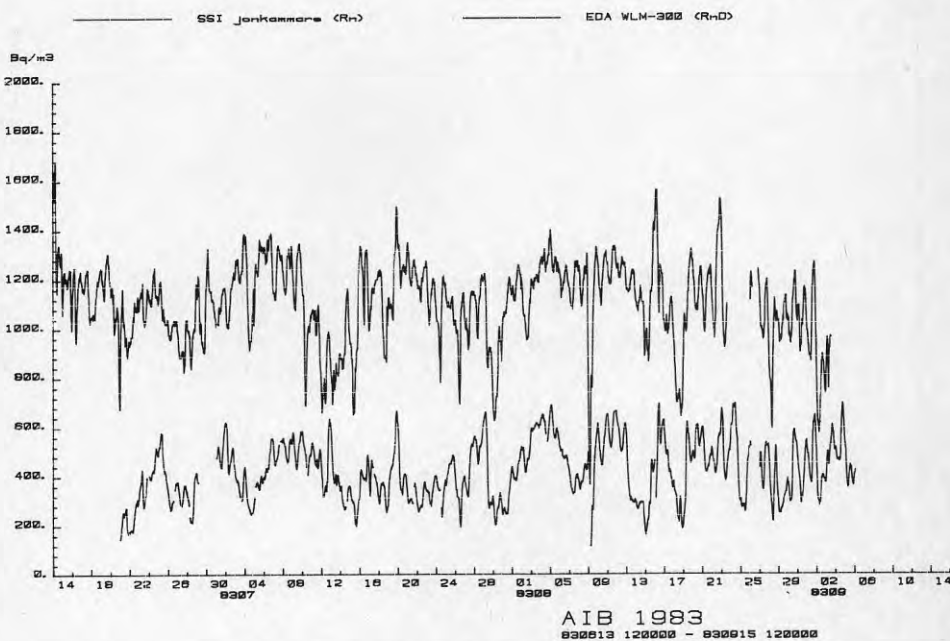


Fig 5-3 Kontinuerlig registrering av radon- och radondotterhalt med SSIs jonkammare och WLM-300 i det nedre rummet under hela mätperioden 13 juni - 5 september

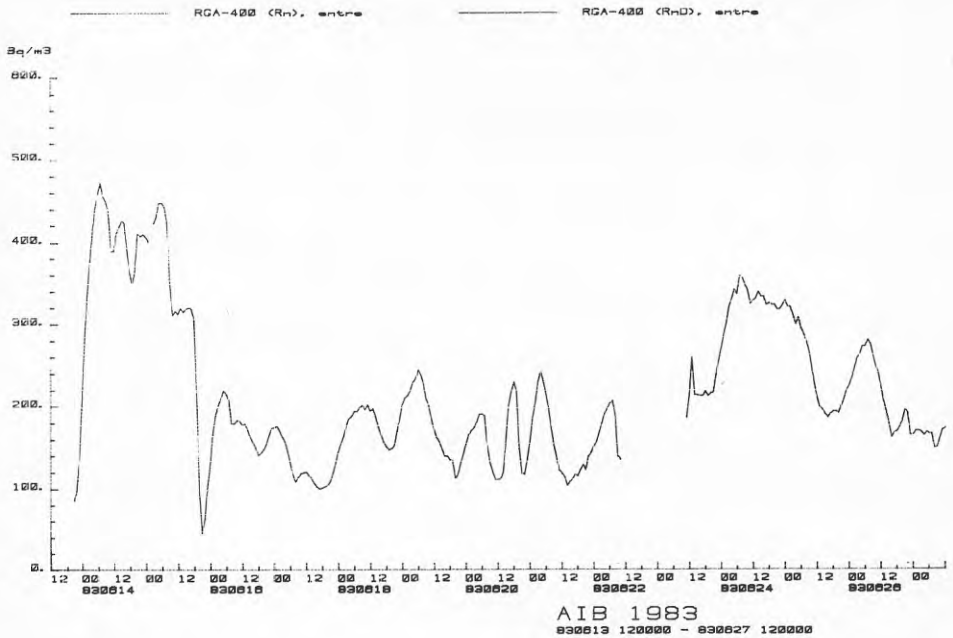


Fig 5-4 Kontinuerlig registrering av radondotterhalt i det övre rummet under perioden 13-27 juni. För denna period saknas registrering av radon. Vi hade under perioden ej tillgång till skrivare till RGA-400 och saknar därför uppgifter om temperatur och fuktighet i mätkammaren och har därför ej kunnat räkna om instrumentets utslag till koncentration av radon.

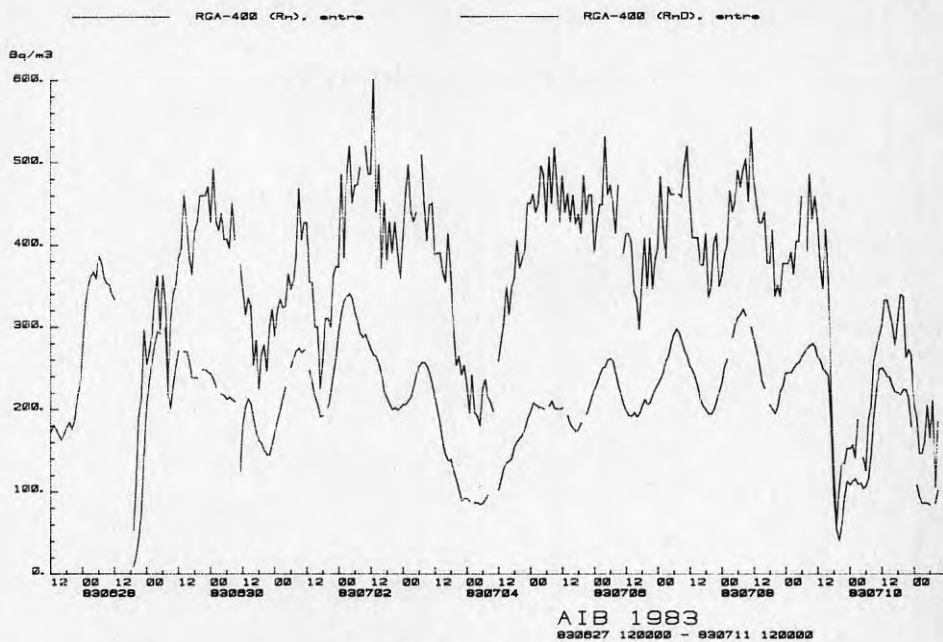


Fig 5-5 Kontinuerlig registrering av radon- och radondotterhalt med RGA-400 i det övre rummet under perioden 27 juni - 11 juli

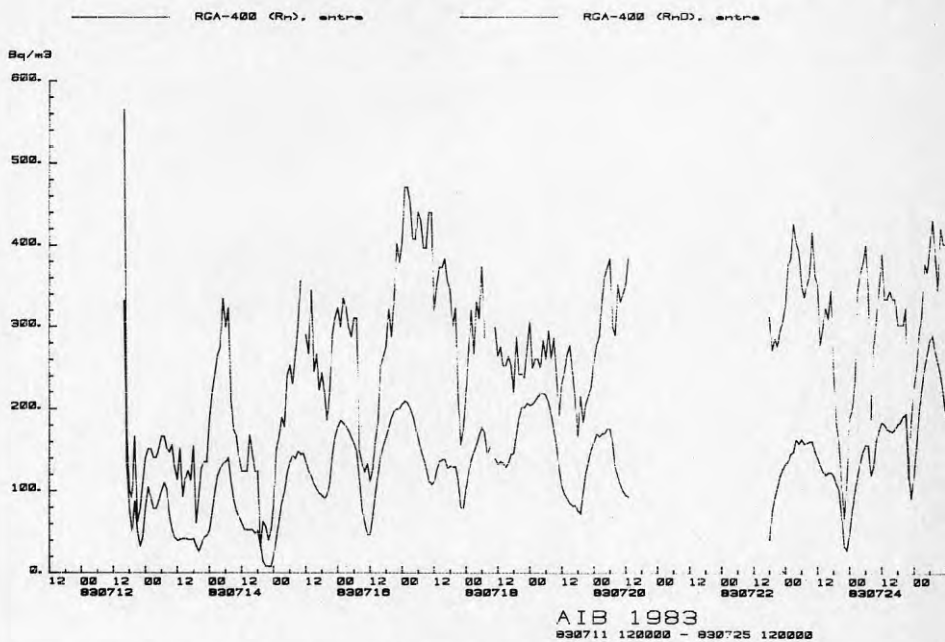


Fig 5-6 Kontinuerlig registrering av radon- och radondotterhalt med RGA-400 i det övre rummet under perioden 11 - 25 juli

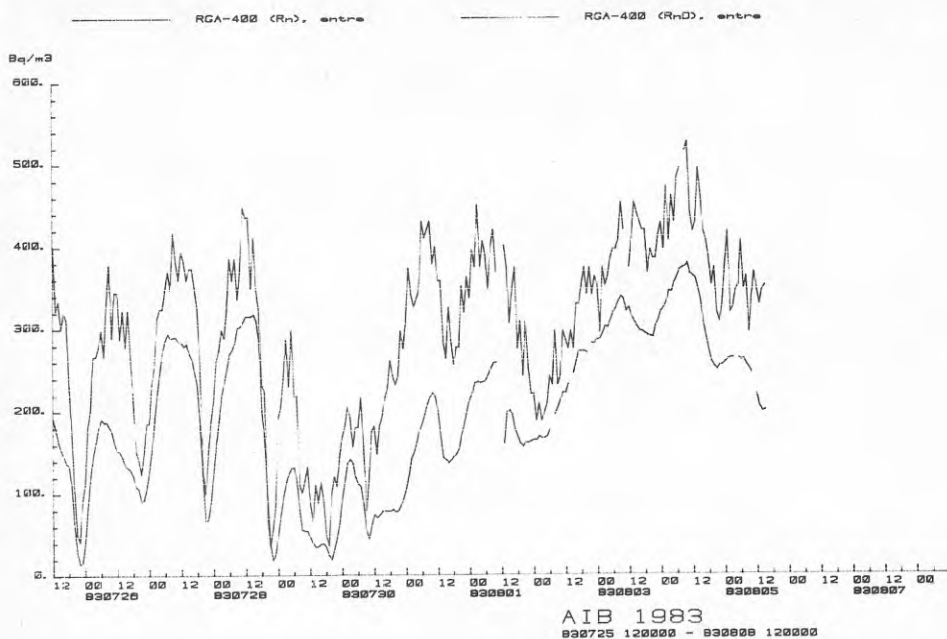


Fig 5-7 Kontinuerlig registrering av radon- och radondotterhalt med RGA-400 i det övre rummet under perioden 25 juli - 8 augusti

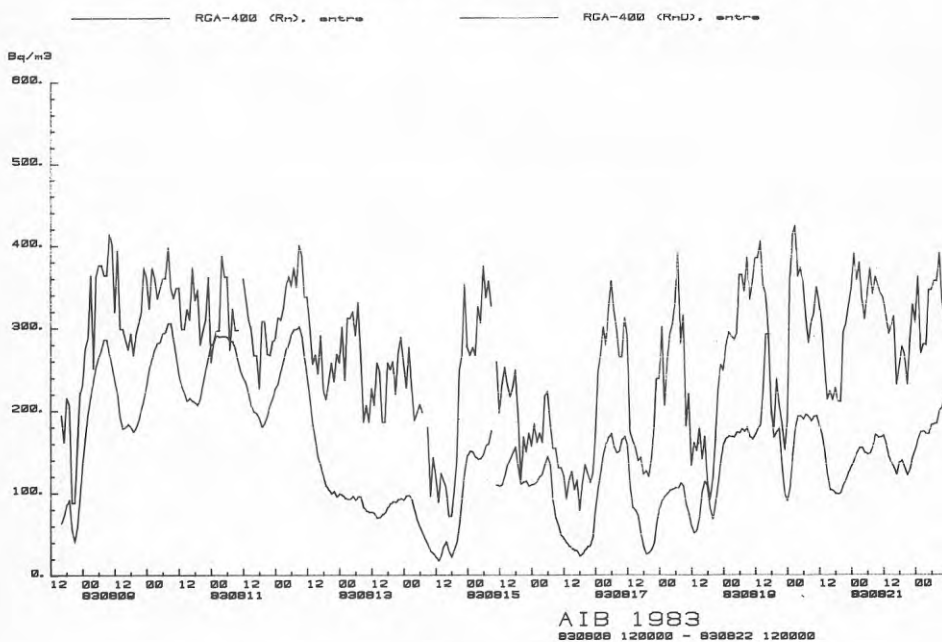


Fig 5-8 Kontinuerlig registrering av radon- och radondotterhalt med RGA-400 i det övre rummet under perioden 8 - 22 augusti

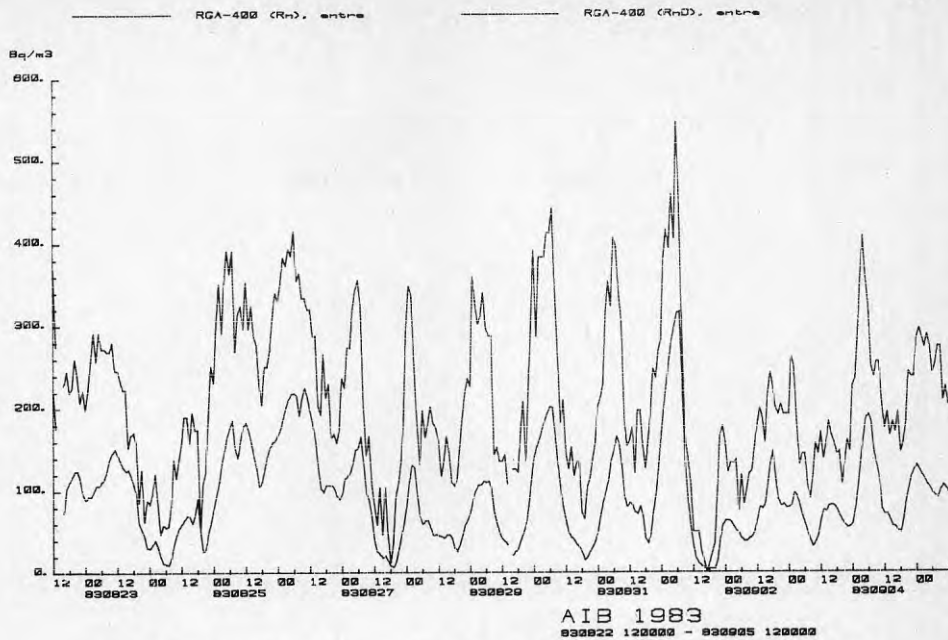


Fig 5-9 Kontinuerlig registrering av radon- och radondotterhalt RGA-400 i det övre rummet under perioden 22 augusti - 5 september

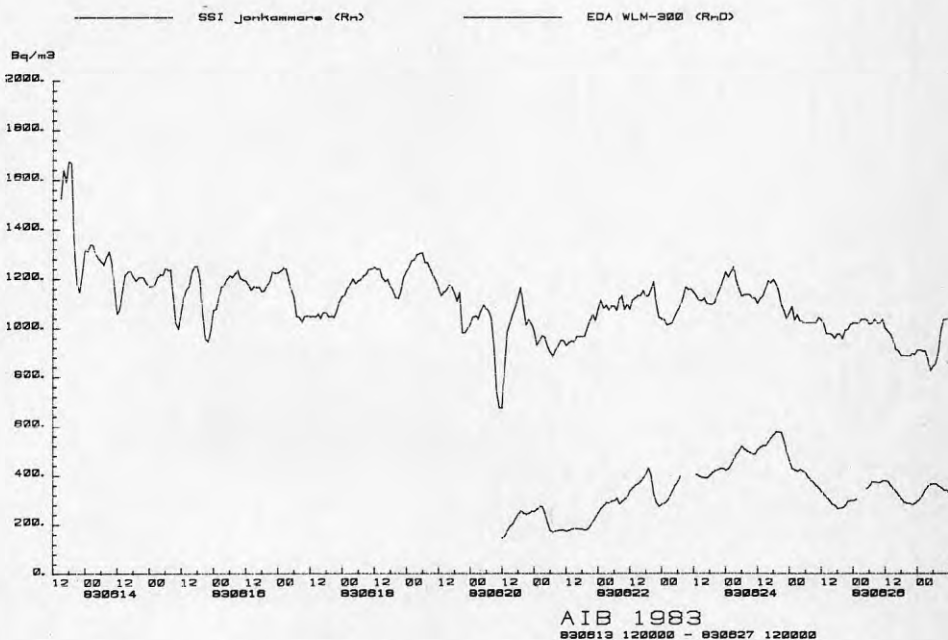


Fig 5-10 Kontinuerlig registrering av radon- och radondotterhalt med SSIs jonkammare och WLM-300 i det nedre rummet under perioden 13 - 27 juni

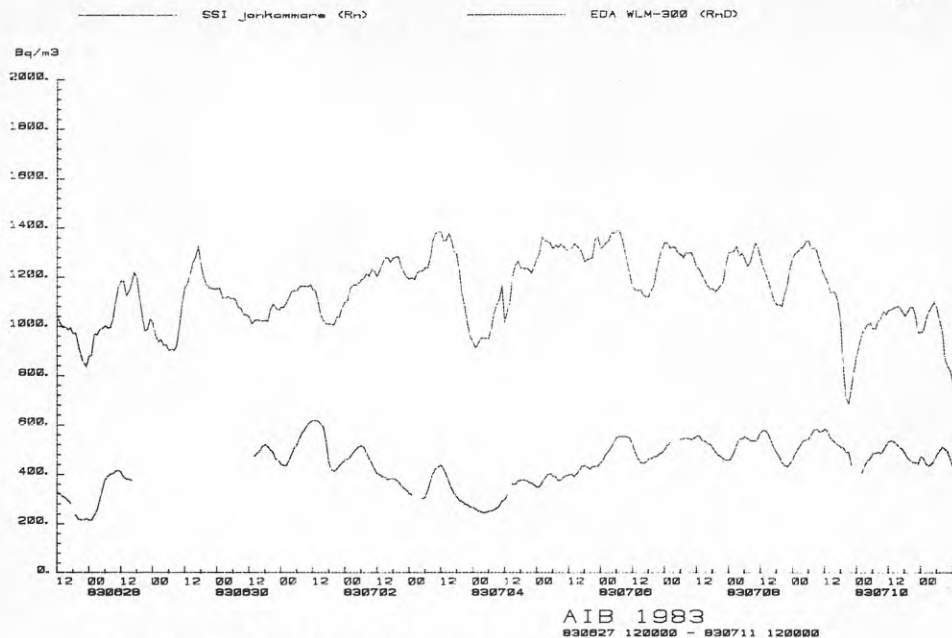


Fig 5-11 Kontinuerlig registrering av radon- och radondotterhalt med SSIs jonkammare och WLM-300 i det nedre rummet under perioden 27 juni - 11 juli

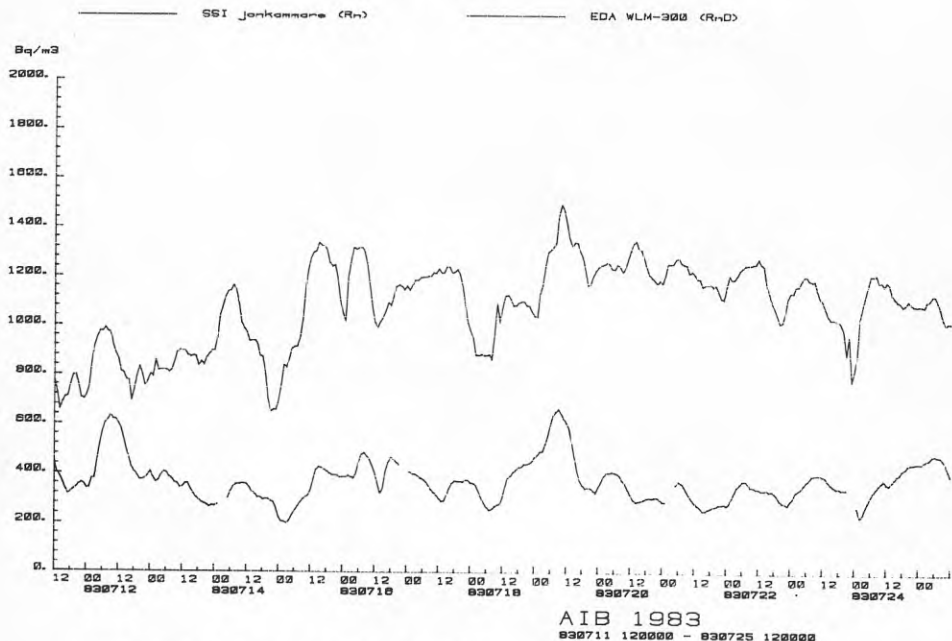


Fig 5-12 Kontinuerlig registrering av radon- och radondotterhalt med SSIs jonkammare och WLM-300 i det nedre rummet under perioden 11 - 25 juli



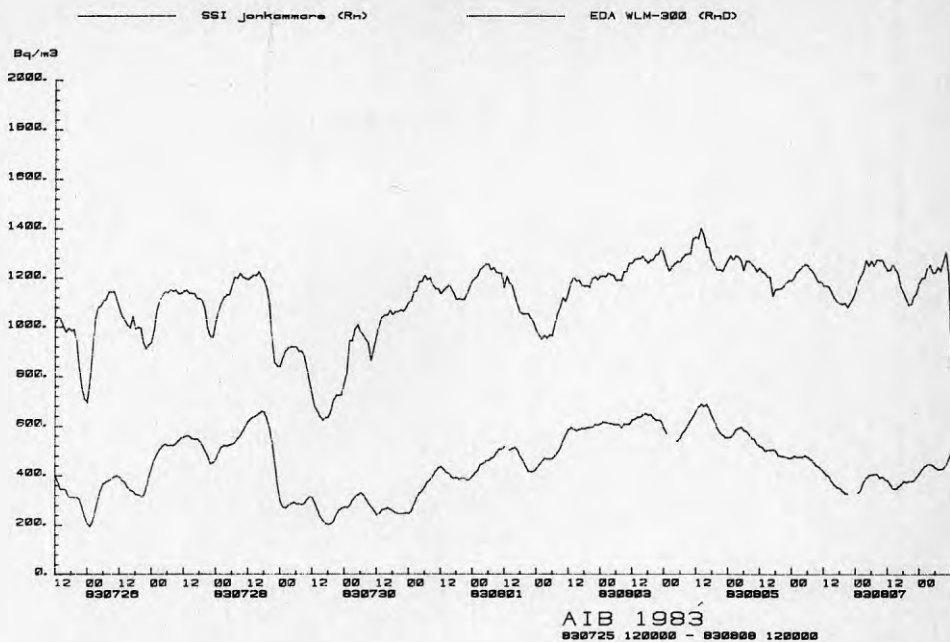


Fig 5-13 Kontinuerlig registrering av radon- och radondotterhalt med SSIs jonkammare och WLM-300 i det nedre rummet under perioden 25 juli - 8 augusti

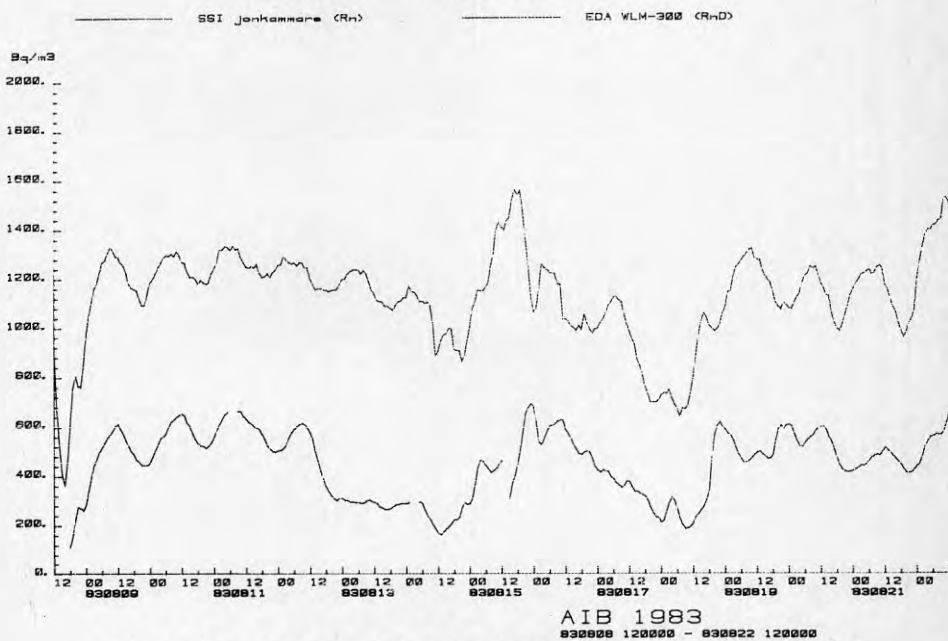


Fig 5-14 Kontinuerlig registrering av radon- och radondotterhalt med SSIs jonkammare och WLM-300 i det nedre rummet under perioden 8 - 22 augusti

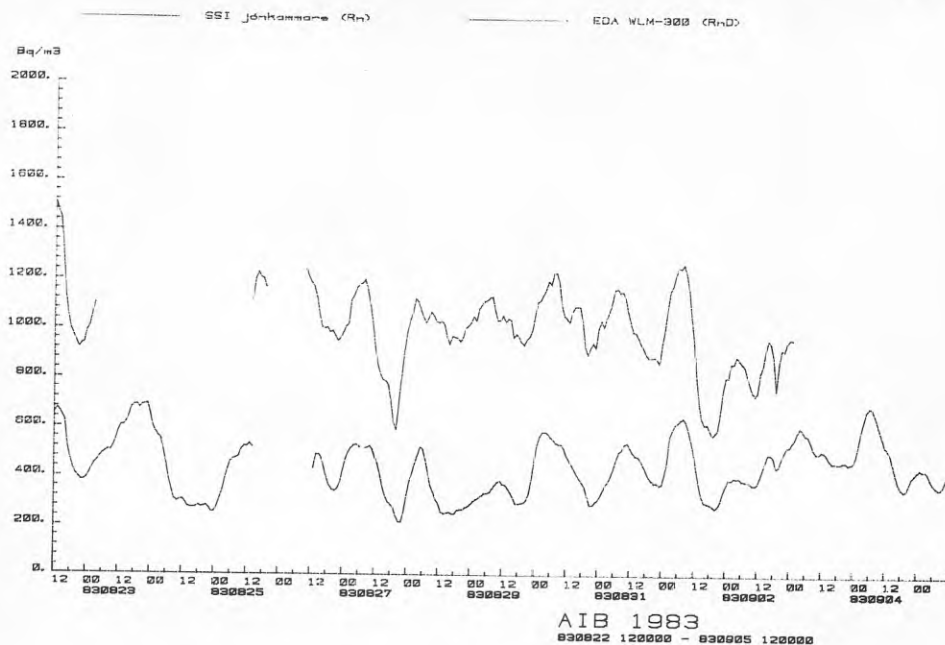
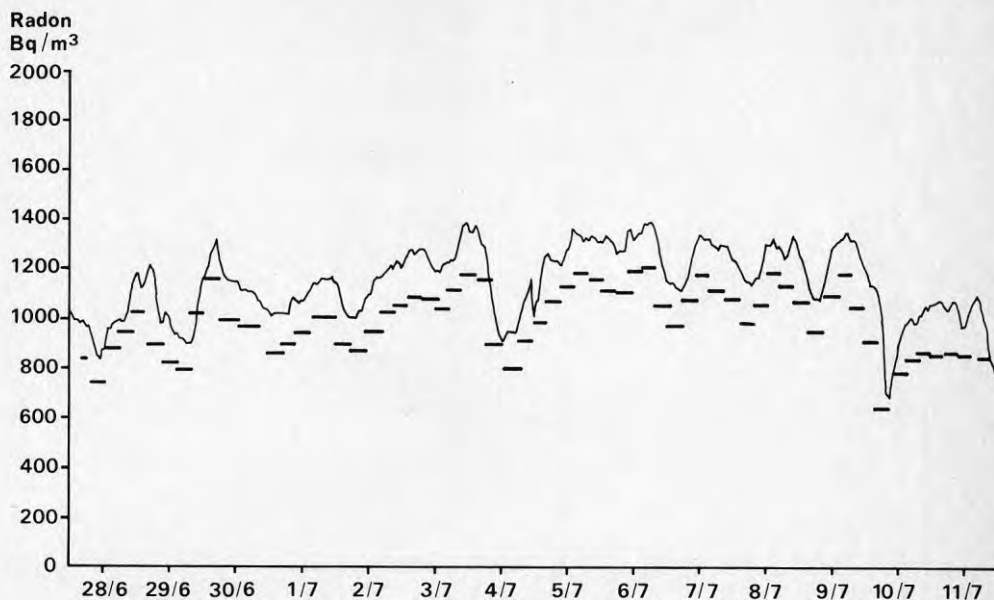


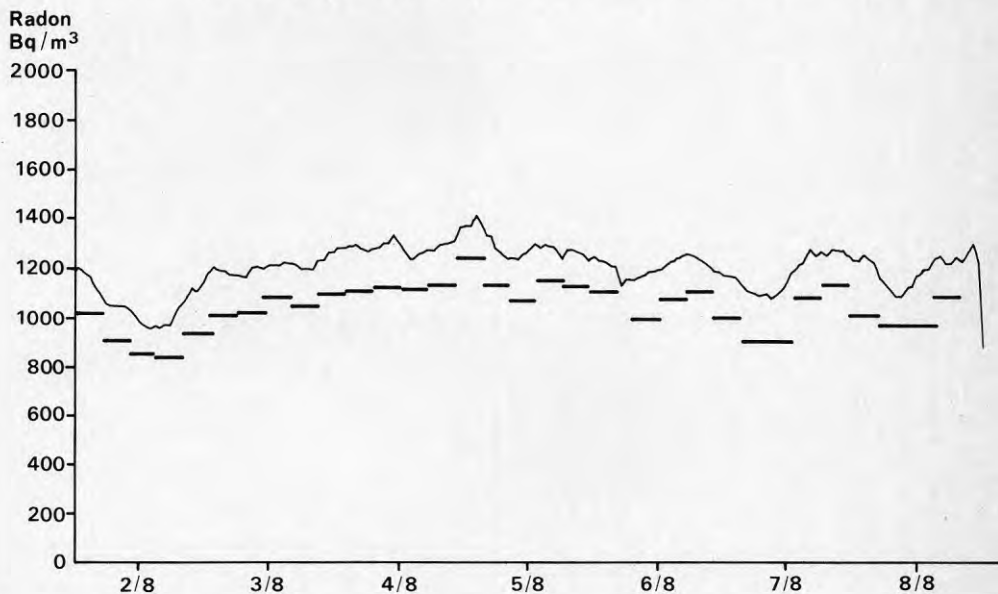
Fig 5-15 Kontinuerlig registrering av radon- och radondotterhalt med SSIs jonkammare och WLM-300 i det nedre rummet under perioden 22 augusti - 5 september

## 5.2 Kontinuerlig registrering av radon med prototyp till radonmätare RM-3 från Studsvik Energiteknik AB

Studsvik Energiteknik AB provade en prototyp till kontinuerlig radonmätare, benämnd RM-3, under mätperioden. Instrumentet var programmerat att lagra medelvärdet för varje 100-minutersperiod i minnet. För att få en enkel jämförelse med registreringen från SSIs jonkammare som givit medelvärden för varje 60-minutersperiod, har medelvärdet av tre 100-minutersperioder relaterats till motsvarande fem 1-timmesvärden från SSIs jonkammare. Resultatet illustreras av fig 5-16, 5-17 och 5-18. Mätvärdet, som erhållits med RM-3, är genomgående ca 10 % lägre än referensvärdet men visar i övrigt god samstämmighet.



**Fig 5-16**  
 Jämförelse mellan kontinuerlig registrering av radonhalt i nedre rummet med SSIsjonkammare och medelvärde för tre 100-minutersperioder med prototyp RM-3 från Studsvik Energiteknik AB för tiden 28 juni - 10 juli



**Fig 5-17**  
 Jämförelse mellan kontinuerlig registrering av radonhalt i nedre rummet med SSIs jonkammare och medelvärde för tre 100-minutersperioder med prototyp RM-3 från Studsvik Energiteknik AB för tiden 2 - 8 augusti

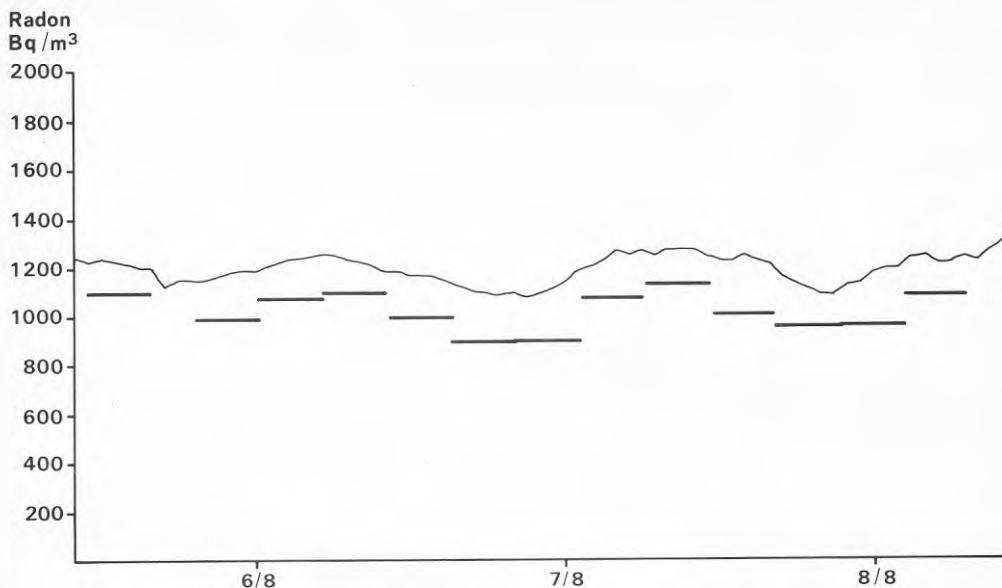


Fig 5-18 Jämförelse mellan kontinuerlig registrering av radonhalt i nedre rummet med SSIs jonkammare och medelvärde för tre 100-minutersperioder med prototyp RM-3 från Studsvik Energiteknik AB för tiden 6 - 7 augusti

### 5.3 Inverkan av mättidens längd på onoggrannheten i bestämning av långtidsmedelvärdet för koncentration av radon och radondöttrar

Den kontinuerliga registreringen av radon- och radondotterhalten i de två rummen har givit underlag för en statistisk analys av hur längden av en korttidsmätning påverkar onoggrannheten i uppskattning av långtidsmedelvärdet. Resultatet av denna analys har sammanställts i tabell 5-3 och figurerna 5-19, 5-20, 5-21 och 5-22. I tabellen anges den onoggrannhet i procent som skall tillskrivas en helt korrekt, slumpvis förlagd, korttidsmätning om man med 90 resp 95 % säkerhet vill att osäkerhetsintervallet skall innefatta långtidsmedelvärdet.

Medelvärdet har endast bildats för perioder under vilka det inte saknas något mätvärde. Vid utvärdering av korttidsmätningar som pågår under 1 h, baseras analysen sålunda på samtliga registrerade timvärden. Analysen av tillförlitligheten i mätningar som pågår under 24 h baseras endast på kalenderdygn varunder samtliga 24 entimmesvärden finns registrerade. Detta har resulterat i ett betydande bortfall vid analys av tidsperioderna 24 och 72 h och motsvaras av att kurvorna för dessa mätintervall i figurerna 5-19--5-22 inte når ut till lika lång totaltid

som kurvorna för kortare mätintervall. Osäkerheten i kvantifieringen av konfidensintervall i tabell 5-3 ökar därför med korttidsmätningens längd och kan särskilt beträffande analysen av mätningar över 72 h vara betydande.

För det övre rummet framgår att en korrekt mätning under 1 h skall ges +64 % onoggrannhet för att med 90 % säkerhet innefatta medelvärdet för tre månader. Det framgår vidare att säkerheten i bestämningen av långtidsmedelvärdet ökar endast obetydligt när mätperioden ökas från 1 till 6 h. Säkerheten i bestämningen blir i detta fall god först när mättiden utsträcks till ett par dygn. Detta är relativt lätt att förklara med att en tillfällig förändring av radonhalten, t ex till följd av vädring eller tillfällig inflöde av markradon, ger en effekt med varaktighet motsvarande tiden för en luftomsättning i huset.

Av tabellen framgår även att variationerna varit större i det övre än i den nedre rummet. Om resultat av en korttidsmätning skulle utnyttjas för bestämning av årsmedelvärdet, skulle man vara tvungen att tillskriva det en större onoggrannhet än vad som framgår av tabell 5-3 eftersom tabellen är resultat av jämförelse mellan noggranna korttidsmätningar och korrekt medelvärde för en 12-veckorsperiod. Osäkerheten bör vid kvantifiering av årsmedelvärde ökas i relation till 12-veckorsperioders statistiska avvikelser från årsmedelvärdet.

Tid h	Övre rummet				Nedre rummet			
	Rn 1)		RnD 1)		Rn 2)		RnD 3)	
	90	95	90	95	90	95	90	95
1	64	72	86	100	24	30	45	53
3	61	69	86	100	24	30	45	53
6	58	64	83	98	24	30	44	48
24	45	54	61	71	20	23	34	41
72	20	20	39	44	12	15	19	21

- 1) RGA-400 EDA Instr Inc, i medeltal 277 Bq/m<sup>3</sup> radon<sup>4)</sup> och 165 Bq/m<sup>3</sup> radondöttrar
- 2) Jonkammare SSI, i medeltal 1101 Bq/m<sup>3</sup> radon
- 3) WLM-300 EDA Instr Inc, i medeltal 419 Bq/m<sup>3</sup> radondöttrar
- 4) Referensvärde 365 Bq/m<sup>3</sup> enligt mätningar med SSIs TLD-baserade instrument.

Tabell 5-3 Inverkan av mättidens längd på onoggrannheten i bestämningen av radon- och radondötterhaltens långtidsmedelvärde för 3 månader med 90 och 95 % konfidens

Variationernas storlek varierar givetvis från fall till fall, vilket illustreras av de betydande skillnaderna mellan de två rummen i detta hus. Troligen är förhållandena mest stabila i hus med mekanisk ventilation och radon huvudsakligen härrörande från byggnadsmaterial. I sådana hus är påverkan av väderlek och tillfällig vädring mindre och mindre varaktig än i självdragsventilerade hus. Tillflödet av radon är också med all sannolikhet mer konstant från byggnadsmaterial än genom inflöde av markluft. De variationer som här registrerats i det övre rummet kan därför vara exempel på en Extremsituation, där variation i luftomsättning varierat med väderlek (temperatur- och vindförhållanden) och de boendes aktivitet samtidigt som inflödet av markradon visat dygnsvariationer i enlighet med självdragseffekter såväl i huset som i grusåsen under huset.

För att närmare kunna ange hur representativ en korttidsmätning är under olika förhållanden krävs långtidsregistrering i ytterligare ett antal hus under varierande betingelser.

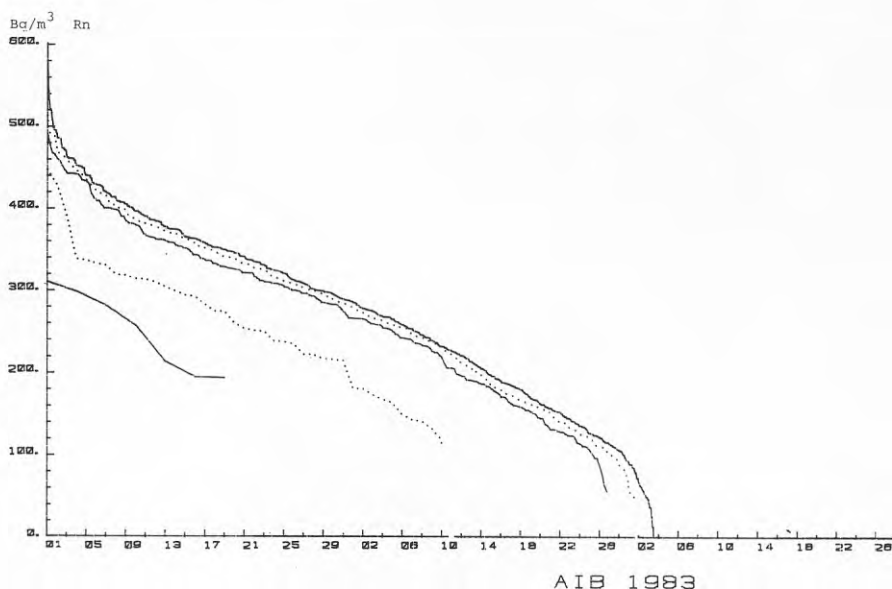


Fig 5-19 Kumulativ fördelning av radonhaltens medelvärde under perioder om 1, 3, 6, 24 resp 72 h, uppifrån räknat, i det övre rummet

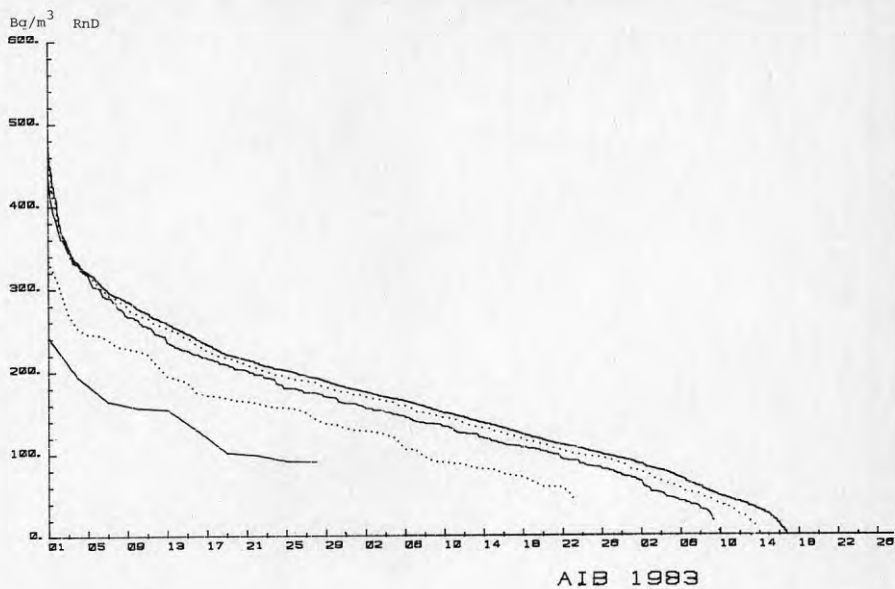


Fig 5-20 Kumulativ fördelning av radondotterhaltens medelvärde under perioder om 1, 3, 6, 24 resp 72 h, uppifrån räknat, i det övre rummet

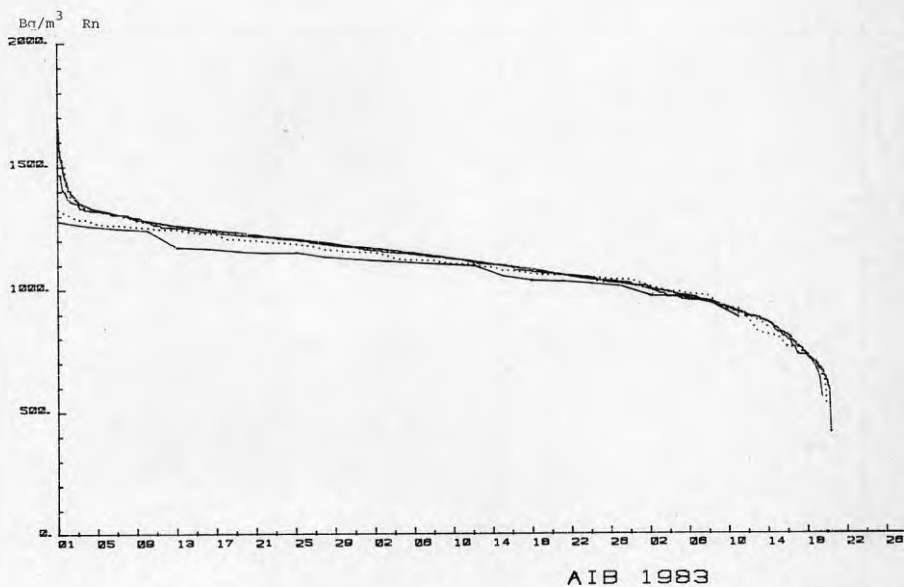


Fig 5-21 Kumulativ fördelning av radonhaltens medelvärde under perioder om 1, 3, 6, 24 resp 72 h, uppifrån räknat, i det nedre rummet

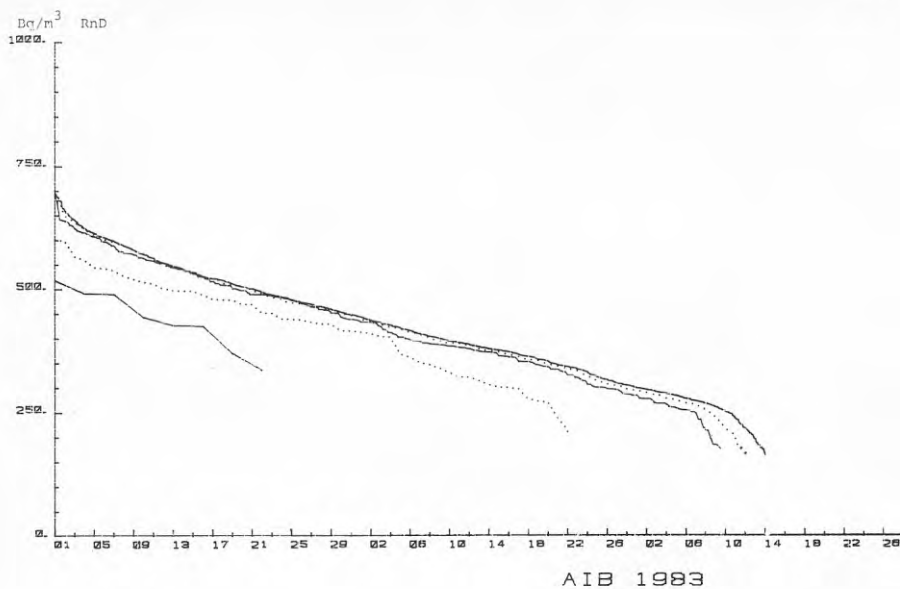


Fig 5-22 Kumulativ fördelning av radondotterhaltens medelvärde under perioder om 1, 3, 6, 24 resp 72 h, uppifrån räknat, i det nedre rummet



## 6. SLUTSATSER

Detektorer av Terradex typ B gav i denna undersökning mätvärden ca dubbelt så höga som referensvärdet. Eftersom denna typ av detektorer varit föremål för omfattande kalibreringsverksamhet är det troligt att denna avvikelse är en effekt av att de påverkas av olika förhållanden i luften, så att deras känslighet varierar från bostad till bostad. Denna slutsats är ej ny, utan hade dragits redan när Atlas Copco ABEM AB slutade marknadsföra detektorer av denna typ och i stället rekommenderade Terradex typ F eller SF.

Dessa detektortyper uppfyller, liksom övriga typer som deltagit i denna undersökning, de krav man måste ställa på detektorer som används i spåringsverksamhet. För samtliga typer gäller dock att enstaka mätvärden avviker ganska mycket från referensvärdet. Varje bestämning av årsmedelvärde för en bostad utifrån mätning med två detektorer måste tillskrivas betydande osäkerhet, om man avser att med hög konfidenz inkludera det korrekta värdet.

Av de studerade instrumenten är det, förutom SSIs jonkammare och TLD-baserade radonmätare, endast kontinuerlig registrering av radondotterhalt med WLM-300 eller RGA-400 som synes uppfylla de höga krav på mätnoggrannhet som man vill kunna ställa inom forskningsverksamhet.

Resultatet av denna undersökning visar att endast i undantagsfall uppfyller någon kommersiellt tillgänglig typ av mätare de krav på precision som fastlagts i gällande metodbeskrivningar. Detta innebär inte med nödvändighet någon kritik av deltagande institutioner/företag. Vår bedömning är att de krav på mätnoggrannhet som skrivits in i metodbeskrivningarna återspeglar en viss överdriven optimism om möjligheterna att upprätthålla hög precision till låg kostnad även i rutinmässiga mätningar.

För att fylla en verklig funktion bör metodbeskrivningar anpassas till vad som för tillfället är möjligt att uppnå under praktiska förhållanden. Det är även mycket angeläget att metodbeskrivningar utvecklas för nya metoder och instrumenttyper i takt med att dessa blir tillgängliga och börjar användas. Om så ej sker, kan förekomsten resp avsaknad av metodbeskrivning komma att påverka valet av mätmetod och även hämma utveckling om användning av nya förbättrade instrument ej standardiseras i metodbeskrivningar.

Det framgår klart att det är möjligt att mäta radon och radondöttrar med mycket god noggrannhet. Vid varje mätprogram måste man dock göra en avvägning mellan kostnad och noggrannhet. Ibland är det mer angeläget att mätningarna kan genomföras till låg kostnad per mätning, så att tillgängliga medel

räcker till mätning i många hus. I andra situationer kan det däremot vara mer kostnadseffektivt att genomföra ett mindre antal noggranna mätningar än ett större antal mätningar där varje enskilt mätvärde är behäftat med stor onoggrannhet.

## 7. REFERENSER

- Andersson 83      Andersson Per et al;  
"Radon i bostäder - Markens inverkan på radonhalt och gammastrålning inomhus". BFR-rapport R9:1983
- Annamäki 83      Annamäki M et al;  
"Radok: An Integrating Passive Radon Monitor", Health Physics, Vol 44, No 4 (April) pp 413-416, 1983
- Busigin 81      Busigin A et al;  
"The Nature of Unattached RaA ( $^{218}\text{Po}$ ) Particle". Health Physics, Vol 40, pp 333-343, March 1981
- Clavensjö 83      Clavensjö Bertil, Bjerking's Ingenjörbyrå AB, personlig kontakt
- Cowper 78      Cowper G, Davenport M R;  
"An Instrument for the measurement of long-term average radon levels" presenterat vid International symposium on advances in radiation protection monitoring, 26-30 juni 1978, Stockholm. IAEA-SM-229/100

## RESULTAT AV MÄTNING MED INTEGRERADE INSTRUMENT

I denna bilaga presenteras en detaljerad redogörelse för

- de enskilda detektorernas mätvärden
- de olika detektortypernas och mätmetodernas noggrannhet och spridning.

Presentationen har delats in i fyra grupper:

- A.1 TLD-instrument
- A.2 Öppen spårfilm
- A.3 Spårfilm placerad i kopp eller dylikt.
- A.4 Aktivt kol

A.1 Resultat av jämförande mätning med TLD-instrument

I mätningen har deltagit TLD-instrument från:

- Statens Strålskyddsinstitut (SSI)
- Statens Provningsanstalt (SP)
- Studsvik Energiteknik AB.

SPs instrument har tillverkats av Studsvik och är i princip identiska med de instrument som Studsvik har deltagit med. Den enda skillnaden är att SPs instrument har två seriekopplade batterier som spänningskälla medan Studsviks instrument varit nätanslutna via transformator. SSIs instrument är försedda med torkmedel för att eliminera fuktens inverkan. Övriga instrument är inte försedda med torkmedel.

A.1.1 Statens Strålskyddsinstitut

Statens Strålskyddsinstitut har mätt med 10 instrument i vardera rummet under 6 tvåveckorsperioder. I tabell A-1 presenteras resultaten för de individuella mätarna. I tabell A-2 har för respektive mätperiod och rum sammanställts aritmetiskt medelvärde, standardavvikelse, medelvärdets standardavvikelse, min- och maxvärde. För det nedre rummet innehåller tabellen även en jämförelse mellan medelvärdet av den kontinuerliga radonmätningen med SSIs jonkammare för respektive tvåveckorsperiod och medelvärdet av TLD-instrumentens mätvärden. Resultaten illustreras grafiskt för det övre rummet i figur A-1 och för det nedre rummet i figur A-2.

Instrumenten visar mycket god precision och noggrannhet. Vid mätning vid den lägre radonkoncentrationen i det övre rummet har standardavvikelsen för de sex tvåveckorsperioderna varierat mellan 3,4 och 6,6 % av medelvärdet. Under de första perioderna var radonhalten knappt  $500 \text{ Bq/m}^3$  medan den under de avslutande perioderna var 200-300  $\text{Bq/m}^3$ . I detta rum utgör byggnadsmaterialet den huvudsakliga källan till radonet och variationerna mellan mätperioderna kan förklaras av att huset till stor del var obebott under de första mätperioderna medan det utnyttjades normalt under den senare delen.

NEDRE RUMMET

Start: 13/6 -83 13.15      Stopp: 27/6 -83 12.54

<u>IRMA NR</u>	<u>Radon-Halt Bq/m<sup>3</sup></u>
3	1091,45
4	1136,30
5	1099,36
6	1063,87
7	1101,52
8	1099,00
9	1066,89
10	1101,05
11	1118,53
12	1119,00

M: 1099,70

ÖVRE RUMMET

Start: 13/6 -83 13.00      Stopp: 27/6 -83 13.22

<u>IRMA NR</u>	<u>Radon-Halt Bq/m<sup>3</sup></u>
14	470,84
16	431,88
17	459,60
18	476,83
19	488,02
20	501,67
21	482,69
22	465,07
23	463,26
24	455,81

M: 469,57

Start: 27/6 -83 12.58      Stopp: 11/7 -83 13.15

<u>IRMA NR</u>	<u>Radon-Halt Bq/m<sup>3</sup></u>
40	1123,54
41	1139,73
42	1108,67
44	1159,42
45	1043,59
46	1218,42
47	1148,52
48	1144,99
49	1129,06
50	1123,24

M: 1133,92

Start: 27/6 -83 13.25      Stopp: 11/7 -83 13.27

<u>IRMA NR</u>	<u>Radon-Halt Bq/m<sup>3</sup></u>
25	468,01
26	440,22
27	483,57
28	466,32
30	476,08
32	444,27
33	463,89
34	489,93
36	463,75
37	448,57

M: 464,46

Start: 11/7 -83 13.25      Stopp: 25/7 -83 13.25

<u>IRMA NR</u>	<u>Radon-Halt Bq/m<sup>3</sup></u>
3	1056,34
4	1100,48
5	1056,27
6	1046,00
7	1106,79
8	1084,46
9	1012,36
10	1078,17
11	1054,42
12	1071,88

M: 1066,72

Start: 11/7 -83 13.34      Stopp: 25/7 -83 13,07

<u>IRMA NR</u>	<u>Radon-Halt Bq/m<sup>3</sup></u>
14	336,58
16	326,49
17	354,11
18	346,27
19	360,03
20	338,28
21	328,24
22	314,81
23	330,71
24	338,09

M: 337,36

NEDRE RUMMET

Start: 25/7 -83 13.30

Stopp: 8/8 -83 13.20

<u>IRMA NR</u>	<u>Radon-Halt Bq/m<sup>3</sup></u>
25	1102,99
26	1007,81
27	1100,47
28	1127,82
30	1149,80
32	1071,60
33	1155,65
34	1184,59
36	1102,24
37	1078,04

M: 1108,10

ÖVRE RUMMET

Start: 25/7 -83 13.13

Stopp: 8/8 -83 13.33

<u>IRMA NR</u>	<u>Radon-Halt Bq/m<sup>3</sup></u>
40	386,23
41	401,82
42	410,53
44	384,42
45	369,89
46	429,99
47	407,27
48	399,09
49	401,18
50	400,82

M: 399,12

Start: 8/6 -83 13.25

Stopp: 22/8 -83 13.25

<u>IRMA NR</u>	<u>Radon-Halt Bq/m<sup>3</sup></u>
14	958,13
16	1038,37
17	1127,22
18	1068,39
19	1149,63
20	1180,05
21	1107,19
22	1078,23
23	1143,99
24	1048,87

M: 1090,87

Start: 8/8 -83 13.35

Stopp: 22/8 -83 13.10

<u>IRMA NR</u>	<u>Radon-Halt Bq/m<sup>3</sup></u>
3	316,48
4	331,04
5	285,07
6	316,81
7	319,32
8	318,54
9	282,75
10	315,16
11	323,99
12	284,96

M: 309,41

Start: 22/8 -83 13.28

Stopp: 5/9 -83 13.15

<u>IRMA NR</u>	<u>Radon-Halt Bq/m<sup>3</sup></u>
40	949,57
41	1047,53
42	1064,30
44	1044,84
45	974,11
46	1121,10
47	1031,21
48	1088,92
49	967,17
50	1015,59

M: 1030,43

Start: 22/8 -83 13.14

Stopp: 5/9 -83 13.25

<u>IRMA NR</u>	<u>Radon-Halt Bq/m<sup>3</sup></u>
25	223,87
26	192,64
27	222,36
28	207,97
30	215,95
32	190,31
33	213,93
34	234,42
36	206,95
37	209,76

M: 211,82

Tabell A-1 Individuella resultat med SSIs TLD-instrument (IRMA) under 6 efterföljande tvåveckorsperioder

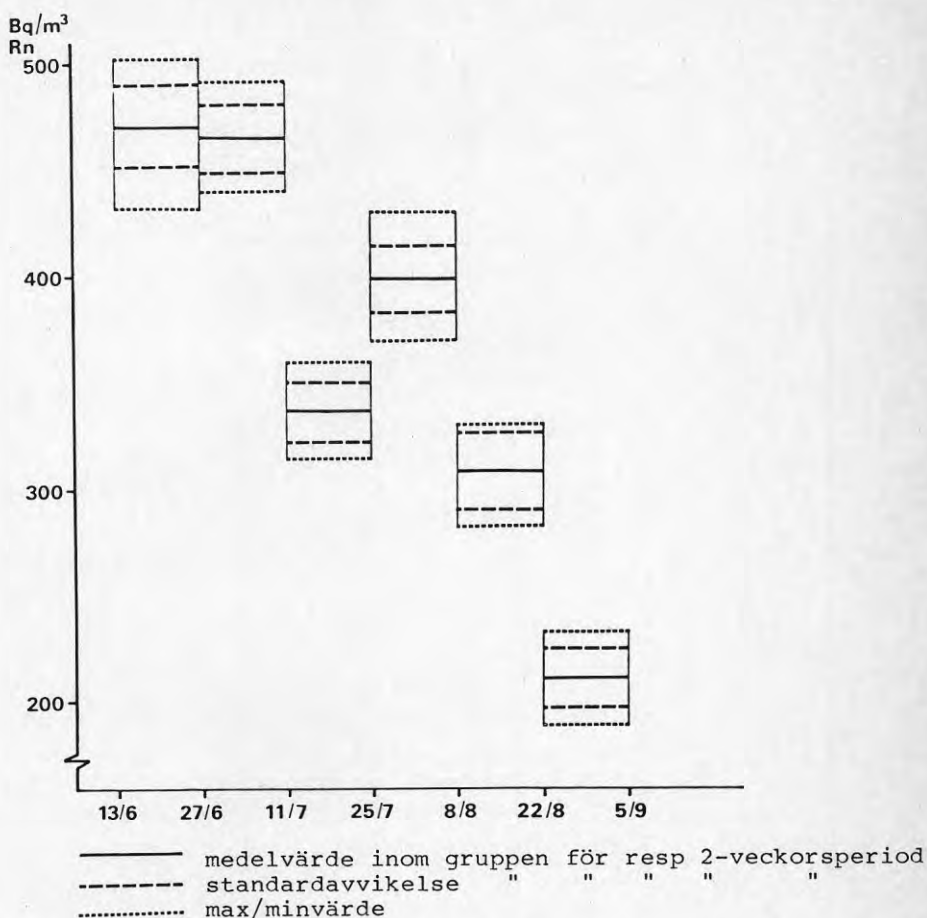


Fig A-1 Grafisk presentation av resultat från mätning med SSIs IRMOR i övre rummet under 6 efterföljande 2-veckorsperioder

Vid den högre radonkoncentrationen i det nedre rummet utgör markradon den dominerande radonkällan. Det aktuella rummet har haft frånluftventilation under mätperioden genom en fläkt monterad i ytterväggen som ger en drivande kraft för inflödet av markluft. Inflödet av markradon begränsas genom undertryckshållning under golvet med hjälp av s k golvsug. Radonnivån i rummet har inom vissa gränser kunnat inställas med golvsugen. Rummet var fullt möblerat men utnyttjades ej under mätperioden. Det är därför inte förvånande att radonhaltens medelvärde i detta rum endast visar obetydlig variation mellan de olika 2-veckorsperioderna. Nivån har hela tiden varit 1000 - 1150 Bq/m<sup>3</sup>. Här visar standardavvikelsen för mätvärdena en med tiden svagt ökande tendens från 2 - 4 % under de 3 första 2-veckorsperioderna till 5 - 6 % under de

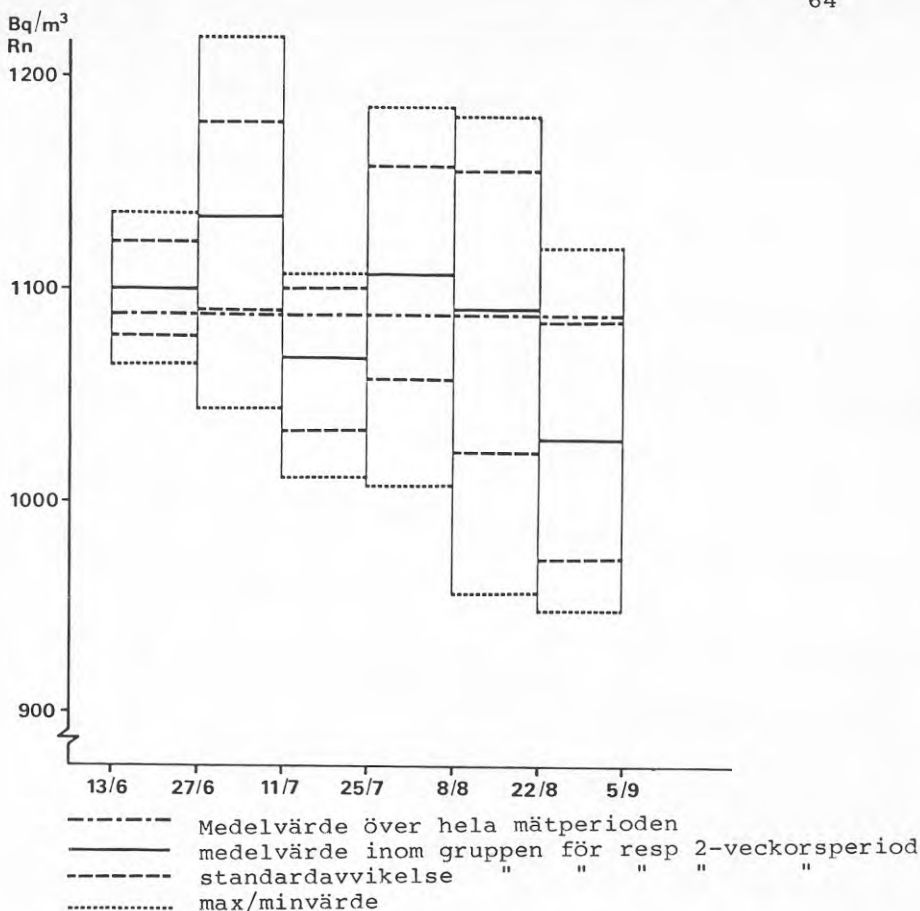


Fig A-2 Grafisk presentation av resultat från mätning med SSIs IRMOR i nedre rummet under 6 efterföljande 2-veckorsperioder

2 sista. Jämförelsen mellan medelvärdet av 10 IRMOR och det medelvärde för resp 2-veckorsperiod som erhållits från den kontinuerliga mätningen med SSIs jonkammare visar på en mycket god samstämmighet. Den största skillnaden erhöles 8 - 22 augusti då IRMORNA i medeltal visade 4 % lägre värde än jonkammaren. Denna goda samstämmighet var inte oväntad eftersom SSI använder jonkammaren som referens vid kalibrering av IRMORNA. Ett visst fel, avvikelse från ett helt korrekt värde, kan givetvis trots detta föreligga. Detta torde dock med säkerhet vara av en sådan storleksordning att det saknar praktisk betydelse vid jämförelse med andra mätdetektorer då spridningen är det primära. Vi har därför valt att bortse från detta eventuella fel och relatera övriga integrerande radonmätningar till medelvärdet av de mätvärden som erhållits med SSIs IRMOR. Kontinuerlig registrering av radonhalten med jonkammare har endast ägt rum i det nedre rummet, varför direkt relatering till mätvärden



Period		IRMA Bq/m <sup>3</sup>			LÅNG REG		IRMA/	sd		
Datum	Kl	Aritm	mv	sd	se	min	max	Bq/m <sup>3</sup>	LÅNG REG	%
NEDRE RUMMET										
13/6	13.15 - 27/6	12.54	1100	22	7	1064	1136	1102	1,00	2,0
27/6	12.58 - 11/7	13.15	1134	44	14	1044	1218	1142	0,99	3,9
11/7	13.25 - 25/7	13.25	1067	33	10	1012	1107	1079	0,99	3,1
25/7	13.30 - 8/8	13.20	1108	50	16	1008	1185	1113	1,00	4,5
8/8	13.25 - 22/8	13.25	1090	66	21	958	1180	1131	0,96	6,1
22/8	13.28 - 5/9	13.15	1030	55	17	950	1121	1001*	1,03*	5,3
medelvärde 13/6 - 5/9			1088					1088	1,00	
ÖVRE RUMMET										
13/6	13.00 - 27/6	13.22	470	19	6	432	502			4,0
27/6	13.25 - 11/7	13.27	465	16	5	440	490			3,4
11/7	13.34 - 25/7	13.07	337	14	4	315	360			4,2
25/7	13.13 - 8/8	13.33	399	16	5	370	430			4,0
8/8	13.35 - 22/8	13.10	309	18	6	283	331			5,8
22/8	13.14 - 5/9	13.25	212	14	4	190	234			6,6
medelvärde 13/6 - 5/9			365							

sd = Standardavvikelse

se = Medelvärdets standardavvikelse (standard error)

\* Medelvärde av 206 timmar av periodens 337 timmar.  
Mätvärde saknas för 131 av 337 timmar.

Tabell A-2 Sammanställning av aritmetiskt medelvärde, standardavvikelse, min/maxvärden samt för nedre rummet även jämförelse med resultat från långtidsmätning med jonkammare.

från jonkammaren endast varit möjlig för detta rum. IRMORNA har cirkulerat, dvs de olika instrumenten har omväxlande stått i övre och nedre rummet och på olika platser på borden. Samtliga instrument har härigenom visats ge med jonkammaren samstämmiga värden.

I figur A-3 till A-14 har spridningen inom gruppen illustrerats grafiskt för resp rum och 2-veckorsperiod. Vid den lägre nivån, dvs mätningar i det övre rummet, har samtliga 60 mätvärden hamnat inom medelvärdet  $\pm 10$  %. Vid den högre nivån har 8 av 60 mätningar avvikit med något över 5 % från medelvärdet medan 52 av 60 värden avvikit  $\leq 5$  % från medelvärdet.

Dessa resultat visar att TLD-instrument medger mätningar med mycket god noggrannhet.

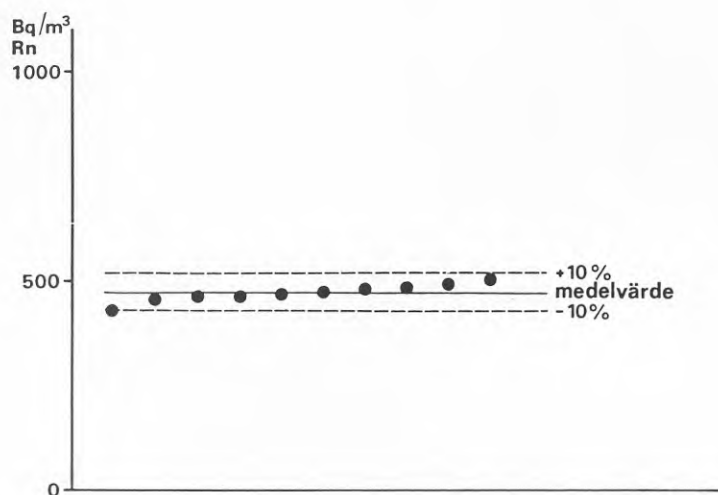


Fig A-3 Grafisk presentation av resultat med TLD-instrument från SSI i övre rummet under perioden 13 - 27 juni

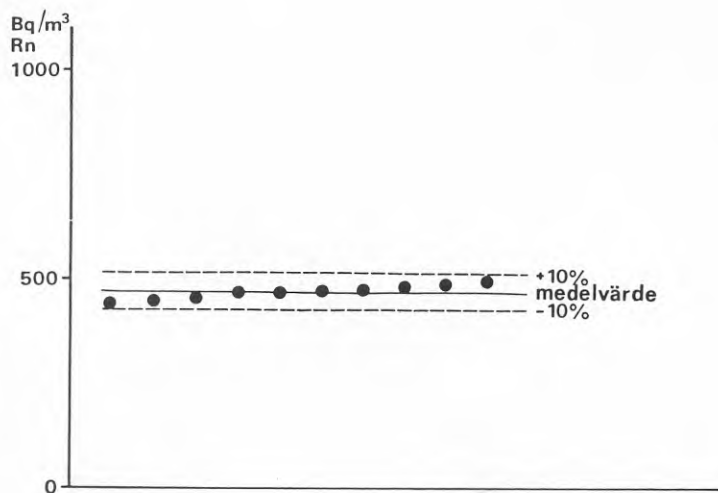


Fig A-4 Grafisk presentation av resultat med TLD-instrument från SSI i övre rummet under perioden 27 juni - 11 juli

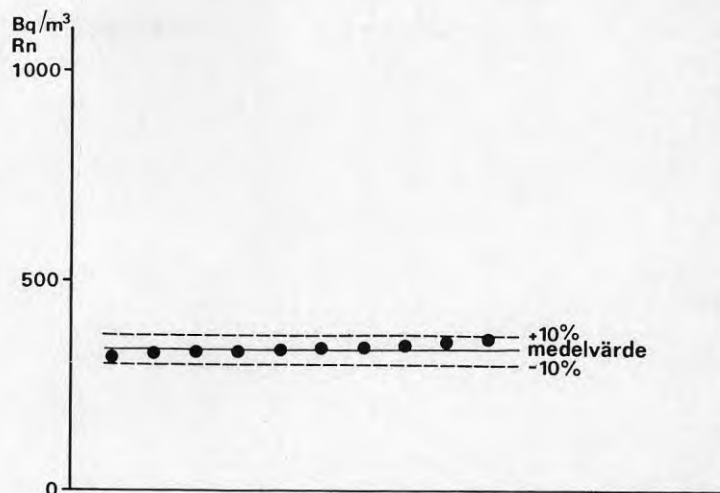


Fig A-5 Grafisk presentation av resultat med TLD-instrument från SSI i övre rummet under perioden 11 - 25 juli

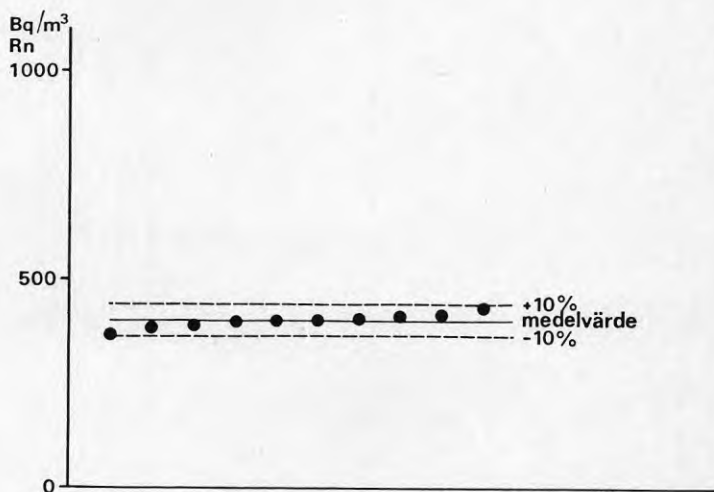


Fig A-6 Grafisk presentation av resultat med TLD-instrument från SSI i övre rummet under perioden 25 juni - 8 augusti

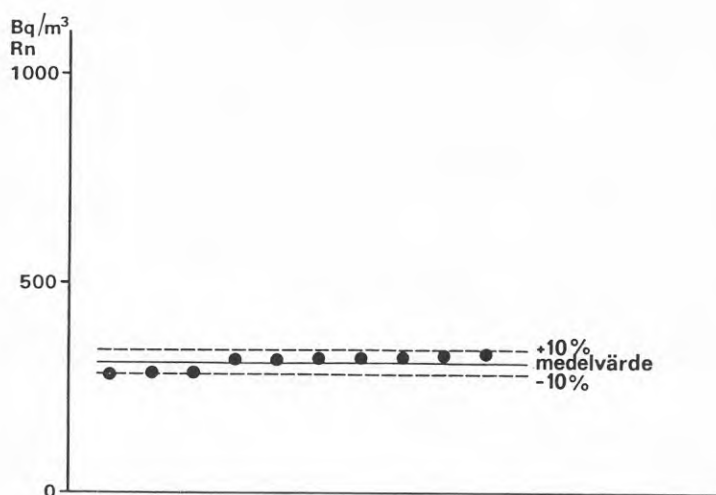


Fig A-7 Grafisk presentation av resultat med TLD-instrument från SSI i övre rummet under perioden 8 - 22 augusti

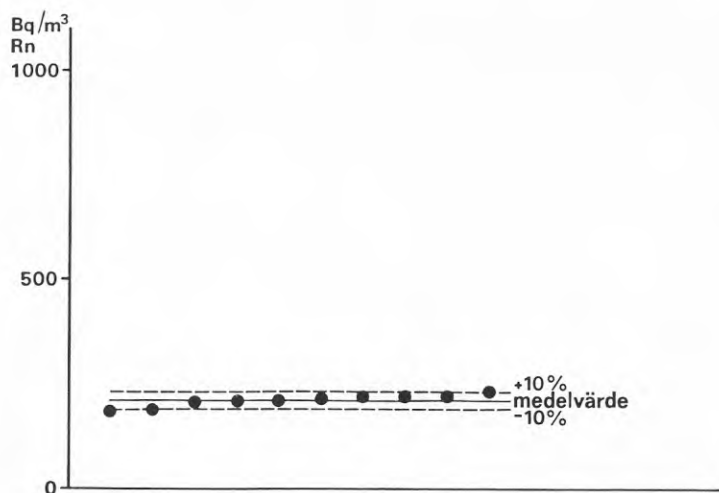


Fig A-8 Grafisk presentation av resultat med TLD-instrument från SSI i övre rummet under perioden 22 augusti - 5 september

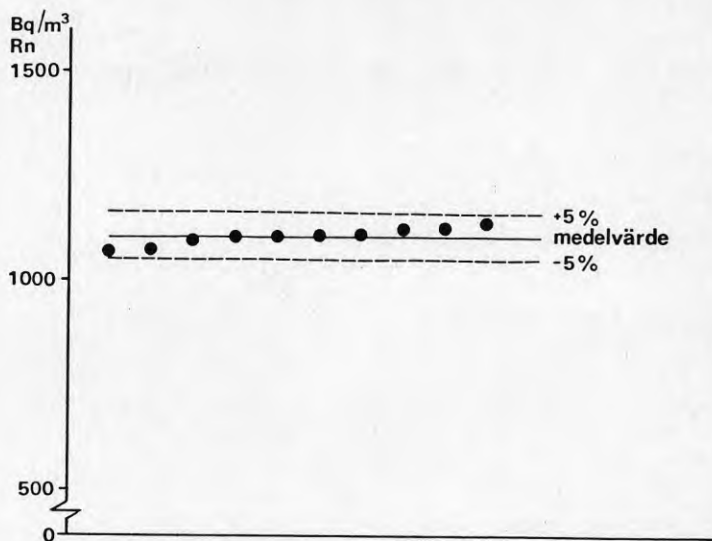


Fig A-9 Grafisk presentation av resultat med TLD-instrument från SSI i nedre rummet under perioden 13 - 27 juni

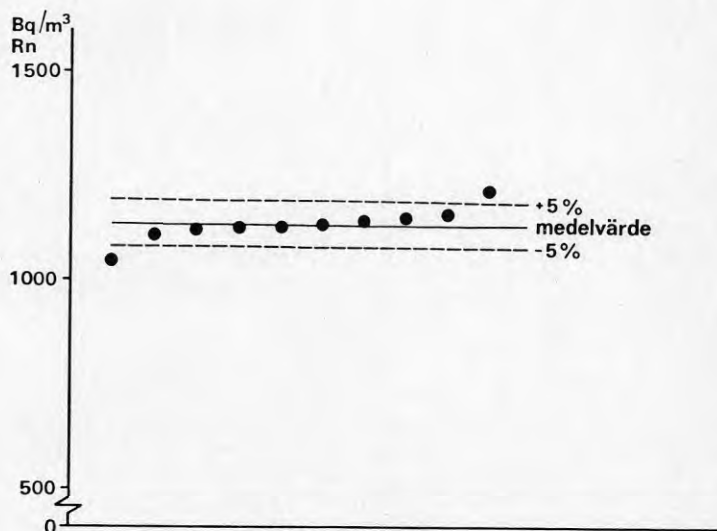


Fig A-10 Grafisk presentation av resultat med TLD-instrument från SSI i nedre rummet under perioden 27 juni - 11 juli

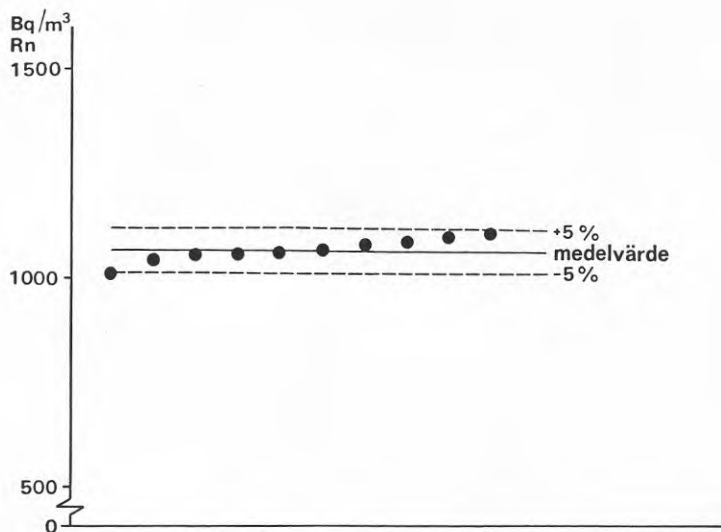


Fig A-11 Grafisk presentation av resultat med TLD-instrument från SSI i nedre rummet under perioden 11 - 25 juli

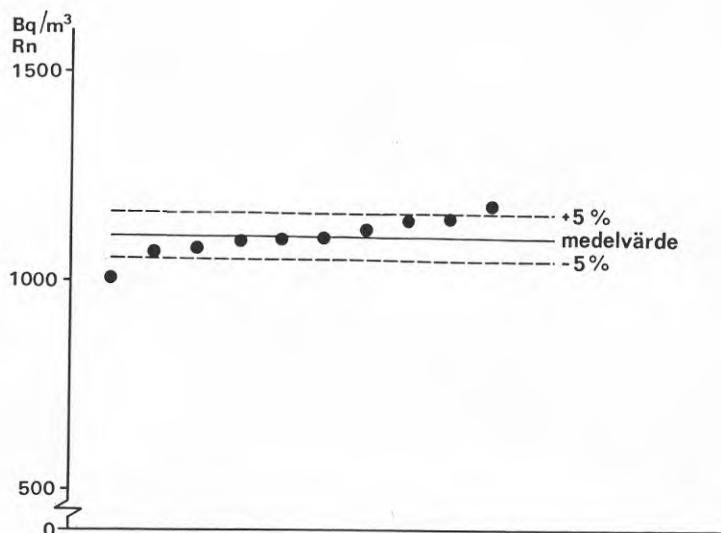


Fig A-12 Grafisk presentation av resultat med TLD-instrument från SSI i nedre rummet under perioden 25 juli - 8 augusti

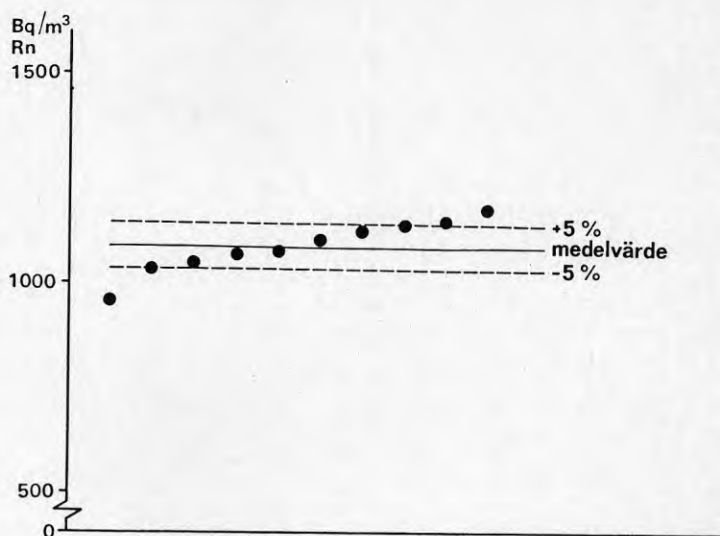


Fig A-13 Grafisk presentation av resultat med TLD-instrument från SSI i nedre rummet under perioden 8 - 22 augusti

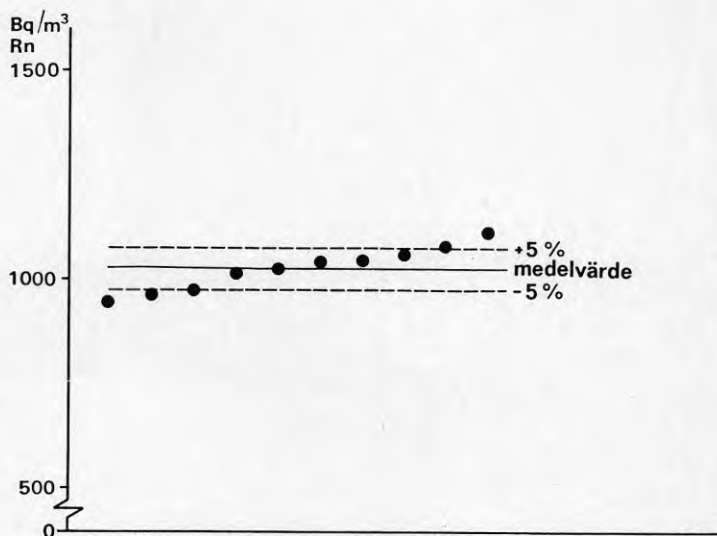


Fig A-14 Grafisk presentation av resultat med TLD-instrument från SSI i nedre rummet under perioden 22 augusti - 5 september

A.1.2 Statens Provningsanstalt

TLD-instrumenten från Statens Provningsanstalt har utnyttjats för mätning under 3 efterföljande 4-veckorsperioder. Den första perioden, 13 juni - 12 juli, omfattade 10 instrument i det nedre rummet och 11 instrument i det övre rummet. Primärdata från denna period återfinns i tabell A-3. I figur A-15 och A-16 presenteras dessa resultat grafiskt för respektive rum i relation till referensvärde, dvs den medelradonkoncentration för dessa fyra veckor som kan härledas ur medelvärdet av SSIs TLD-instrument för de två 2-veckorsperioderna, 13 - 27 juni och 27 juni - 11 juli, dvs  $1117 \text{ Bq/m}^3$  i nedre rummet och  $468 \text{ Bq/m}^3$  i övre rummet. Medelvärdet av individuella timvärden från jonkammaren i nedre rummet är  $1122 \text{ Bq/m}^3$  och från RGA-400 i övre rummet är  $362 \text{ Bq/m}^3$  för tiden 13 juni - 11 juli. Varje mätvärde från enskilda TLD-instrument illustreras med den onoggrannhet  $\pm 25\%$  som angivits av SP.

I det nedre rummet blev medelvärdet  $970 \text{ Bq/m}^3$ , vilket är  $13\%$  lägre än av SSI uppmätta  $1117 \text{ Bq/m}^3$ . 3 av 10 mätvärden avvek  $>25\%$  från referensvärdet.

NEDRE RUMMET		ÖVRE RUMMET	
instr nr	$\text{Bq/m}^3$ radon	instr nr	$\text{Bq/m}^3$ radon
13	594	11	472
21	1327	12	371
23	1278	14	362
24	1143	22	417
33	1180	25	515
34	321	26	507
36	1041	27	404
40	1212	28	498
41	662	37	533
43	942	38	351
		39	428
Medelvärde $\text{Bq/m}^3$	970 +336		442 +66
Standardavv.	+ 35%		+ 15%
Medelvärde % av ref.v.	87		94
dito exkl minvärde	1042 +262		
instrument 34	+ 25%		
dito exkl minvärde	1007 +256		
instr 34 o max-	+ 25%		
värde instr 21			
Ref.v. enl SSI	1117		468

Tabell A-3 Resultat av mätning med TLD-instrument från Statens Provningsanstalt under perioden 13 juni - 12 juli



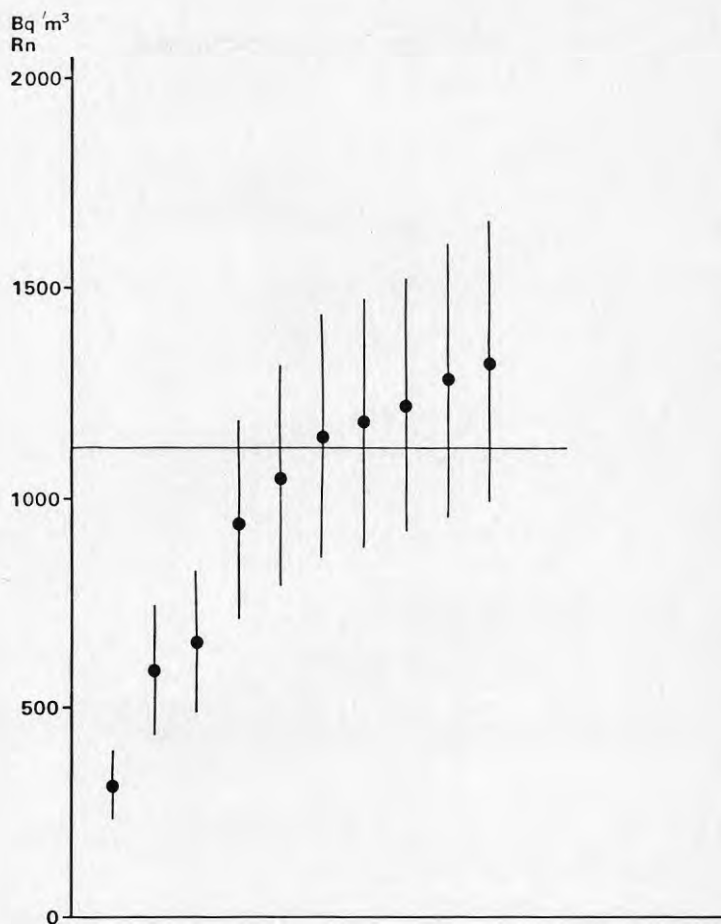


Fig A-15 Grafisk presentation av resultat med TLD-instrument från SP i det nedre rummet 13 juni - 12 juli

I det övre rummet blev medelvärdet för 11 TLD-instrument från SP  $442 \text{ Bq/m}^3$ , vilket är 5,5 % lägre än av SSI uppmätta  $468 \text{ Bq/m}^3$ . Även i detta fall avvek 3 instrument >25 % från av SSI uppmätt värde.

Under perioden 12 juli - 8 augusti mättes radonhalten med 10 instrument i vardera rummet. De individuella mätvärdena har sammanställts i tabell A-4. Resultat gavs, dels med tidigare utnyttjade kalibreringsfaktorer, dels med nya kalibreringsfaktorer, erhållna vid upprepad kalibrering av 7 av detektorerna.

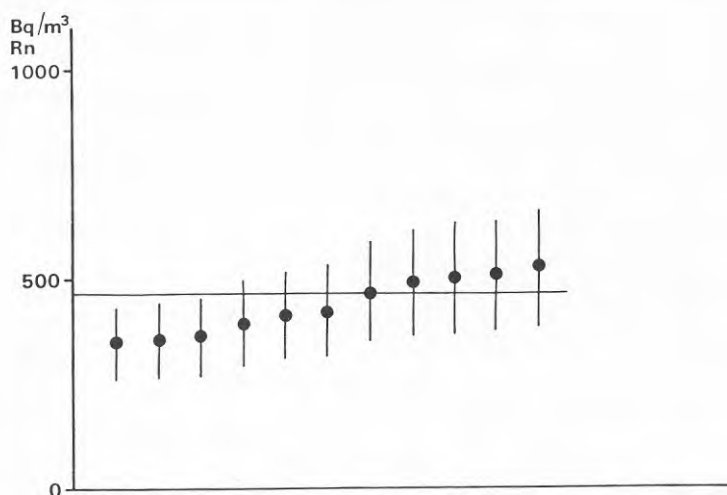


Fig A-16 Grafisk presentation av resultat med TLD-instrument från SP i det övre rummet 13 juni - 12 juli

NEDRE RUMMET

instr nr	Radonhalt Bq/m <sup>3</sup>	
	enl äldre kalibreringsfaktor	med ny kalibreringsfaktor för nr 13, 23, 34 och 36
13	871	871
21	521	521
23	803	1312
24	790	790
33	591	591
34	926	965
36	75	129
40	627	627
41	768	768
43	832	832
Aritmetiskt		
medelvärde och standardavv.	680 $\pm$ 249 37 ‰	740 $\pm$ 310 42 ‰
dito % av ref v.	62	68
dito exkl minv. instrument 36	748 $\pm$ 139 18 ‰	808 $\pm$ 236 29 ‰
dito % av ref v.	68	74
medelvärde enl SSIs jonkammare Bq/m <sup>3</sup> 1096		
		1096

## ÖVRE RUMMET

instr nr	Radonhalt Bq/m <sup>3</sup>	
	enl äldre kalibreringsfaktor	med ny kalibreringsfaktor för nr 22, 25 och 28
11	251	251
12	269	269
14	227	227
22	142	387
25	318	374
27	224	224
28	207	347
37	336	336
38	265	265
39	320	320
Aritmetiskt medelvärde och standardavv.	256 +60 23 %	300 +60 20 %
dito % av ref.v.	70	82
Referensvärde IRMOR 11/7-8/8	368	368

Tabell A-4 Resultat av mätning med TLD-instrument från Statens Provningsanstalt under perioden 12 juli - 8 augusti

Den korrekta medelradonhalten härledd ur SSIs mätningar med TLD-instrument var under denna period 1088 Bq/m<sup>3</sup> i nedre rummet och 368 Bq/m<sup>3</sup> i övre rummet. Motsvarande värden erhållna ur kontinuerlig mätning med jonkammare resp RGA-400 är 1096 Bq/m<sup>3</sup> resp 278 Bq/m<sup>3</sup>.

Medelvärdet för SPs TLD-instrument i nedre rummet var 680 Bq/m<sup>3</sup> före omkalibrering av 4 av 10 instrument samt efter omkalibrering 740 Bq/m<sup>3</sup>. Dvs medelvärdets avvikelse minskade från 37,5 % under till 32 % under referensvärdet. Omkalibrering av 4 av 10 instrument resulterade i att standardavvikelsen ökade från 37 till 42 % om alla mätvärden inkluderas och från 18 till 29 % om det mest avvikande värdet exkluderas.

I övre rummet erhöles i medeltal 256 Bq/m<sup>3</sup> före och 300 Bq/m<sup>3</sup> efter omkalibrering av 3 av 10 instrument i denna grupp. Avvikelsen för medelvärdet minskade härigenom från 30 till 18 % under referensvärde. I denna grupp resulterade omkalibreringen i att standardavvikelsen minskade från +23 till +20 %.

I figur A-17 och A-18 presenteras de enskilda mätvärdena grafiskt med av SP angiven osäkerhet +25 % i re-

lation till den medelkoncentration som erhållits genom mätning med SSIs instrument under samma tid (referensvärdet).

I det nedre rummet var det endast 2 av 10 detektorer som med pålagd onoggrannhet +25 % kom att omfatta det värde som erhållits som medelvärde av motsvarande mätningar med SSIs instrument. Instrumenten visade i denna grupp en mycket stor spridning med endast en svag antydning till samling kring en nivå 30 à 40 % under referensvärdet.

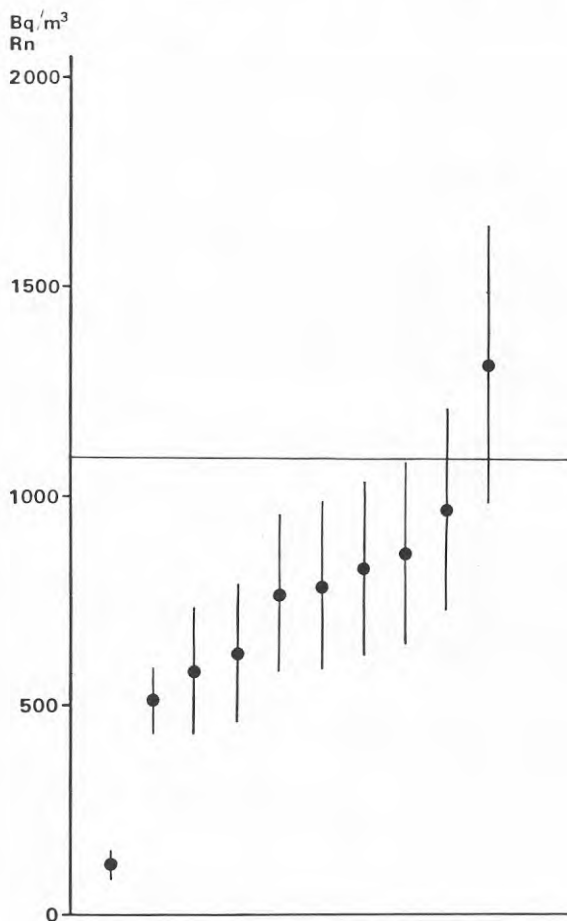


Fig A-17 Grafisk presentation av resultat med TLD-instrument från SP under perioden 12 juli - 8 augusti, i det nedre rummet efter omkalibrering av 4 av 10 instrument

I det övre rummet omfattas referensvärdet av det intervall som motsvaras av mätvärdet +25 % för 5 av 10 detektorer.

Under den tredje och avslutande 4-veckorsperioden, 8 augusti - 5 september, utnyttjades 19 instrument i vardera rummet. De individuella mätvärdena finns sammanställda i tabell A-5 för det övre rummet och tabell A-6 för det nedre rummet.

Under denna period utnyttjades en blandning av de två uppsättningarna TLD-tabletter med hållare. Dessa har benämnts efter färgen på hållarens sladd med röd resp svart. Hållare med röd sladd är försedda med de tabletter som ursprungligen levererades med instrumenten 1980. De hållare som har svart sladd är anskaffade senare. Mätvärdena för tabletter i hållare med röd sladd har beräknats med en kalibreringskurva som utgör medelvärdet av kalibreringssamband för respektive tablett. För de tabletter som suttit i hållare med svart sladd har dessutom angivits ett mätvärde som erhållits med en kalibreringskurva framtagen individuellt för just denna tablett. Avvikelserna mellan dessa två sätt att kalibrera är avsevärd.

För de 9 instrumenten i övre rummet som kalibrerats enligt båda metoderna har mätvärdet med individuell kalibrering utgjort 68 - 188 % av motsvarande mätvärde framtaget med gruppkalibrering. För 5 av 9 detektorer är relationen 68 - 76 %.

För de 9 instrumenten i nedre rummet som kalibrerats enligt båda metoderna utgjorde mätvärdet erhållet genom individuell kalibrering mellan 67 och 107 % av motsvarande mätvärde erhållet genom gruppkalibrering.

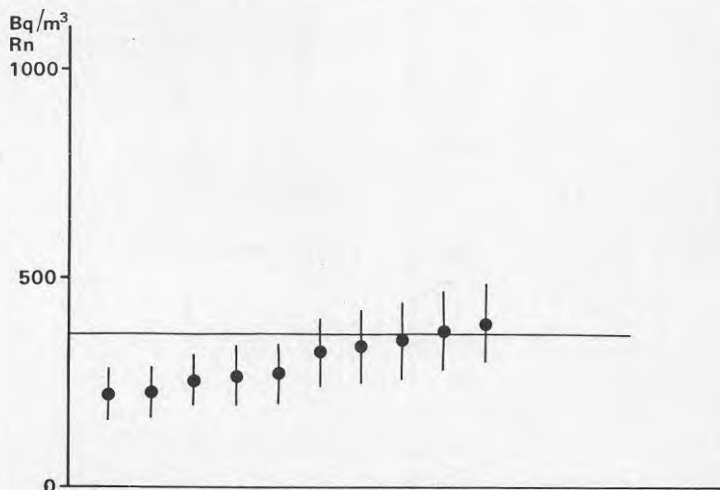


Fig A-18 Grafisk presentation av resultat med TLD-instrument från SP under perioden 12 juli - 8 augusti, i det övre rummet efter omkalibrering av 3 av 10 instrument

Tabell A-5 Resultat av mätning med TLD-instrument från Statens Provningsanstalt under perioden 8 aug - 5 sept

## ÖVRE RUMMET

Inst nr	Färg	Kvot % indiv/grupp kalibrering	Bq/m <sup>3</sup> Radon	
			indiv kalibr	medel kalibr
6	svart	76	152	200
7	"		<50	<50 min
9	"	91	190	209
11	röd		-	301 <u>+25</u> %
12	"		-	244 <u>+25</u> %*
14	"		-	196 <u>+25</u> %
17	svart	178	470	264
18	"	74	166	225
20	"	68	206	303
22	röd		-	231 <u>+25</u> %
25	"		-	247 <u>+25</u> %
27	"		-	250 <u>+25</u> %
28	"		-	181 <u>+25</u> %**
30	svart	74	168	228
31	"	74	145	197
32	"	188	351	187
37	röd		-	341 <u>+25</u> %
38	"		-	207 <u>+25</u> %
39	"		-	290 <u>+25</u> %
Medelvärde o standardavvikelse		211 <u>+125</u>	229 <u>+62</u> Bq/m	
standardavvikelse %		59	27	
referensvärde		260	260 Bq/m <sup>3</sup>	
medelvärde % av ref.värde		81	88	
medelvärde exkl min o max		197 <u>+71</u>	233 <u>+39</u> Bq/m	
standardavvikelse %		36	17	
medelvärde % av ref.värde		76	90	
medelv. o standardavvik. svart sladd			207 <u>+69</u> Bq/m <sup>3</sup>	
standardavvikelse %			33	
medelvärde % av ref.värde			80	
medelv. o standardavvik. röd sladd			249 <u>+50</u> Bq/m	
standardavvikelse %			20	
medelvärde % av ref.värde			96	

\* Sladden verkade glapp när mtningen avslutades

\*\* Avläsningen indikerade att denna detektor utsatts för hög gammados. Eftersom alla utsatts för samma gammastrålning har detta inte kunnat förklaras.

För samtliga mätvärden i övre rummet beräknade efter gruppkalibrering erhöles medelvärdet  $229 \text{ Bq/m}^3$ , vilket är 12 % lägre än referensvärdet, medelvärdet av mätresultat erhållna med SSIs instrument. Standardavvikelsen var  $62 \text{ Bq/m}^3$ , motsvarande 27 %. Om högsta och lägsta värde borträknas blir medelvärdet  $233 \text{ Bq/m}^3$ , dvs 10 % lägre än korrekt värde och standardavvikelsen  $+39 \text{ Bq/m}^3$  motsvarande +17 %. För de mätvärden som erhållits genom individuell kalibrering blev medelvärdet  $211 \text{ Bq/m}^3$ , dvs 19 % under referensvärdet. Standardavvikelsen för dessa värden är hela  $+125 \text{ Bq/m}^3$ , motsvarande +59 %. De mätvärden som erhållits med äldre tabletter, 10 st, gav ett medelvärde som var 96 % av referensvärdet och hade standardavvikelse +20 %. De nya tabletterna gav således ett klart sämre resultat och övergången från kalibrering i grupp till individuell kalibrering av dessa ökade medelvärdet från 80 till 81 % av referensvärdet samtidigt som standardavvikelsen ökade från 33 till 59 %.

Tabell A-6 Resultat av mätning med TLD-instrument från Statens Provningsanstalt under perioden 8 aug - 5 sept

NEDRE RUMMET

Inst nr	Färg	Kvot indiv/grupp kalibrering	Bq/m <sup>3</sup> Radon	
			indiv kalibr	medel kalibr
1	svart	69	725	1049
2	"	89	845	949
3	"	107	1003	934
5	"	83	692	836
10	"	67	639	950
13	röd		-	576 +25 %
19	svart	74	455	617
21	röd		-	1221 +25 %
23	"		-	1226 +25 %
24	"		-	834 +25 %
29	svart	74	440	596
33	röd		-	1110 +25 %
34	"		-	440 +25 %
36	"		-	1023 +25 %
40	"		-	865 +25 %
41	"		-	687 +25 %
43	"		-	886 +25 %
47	svart	77	599	779
48	"	87	895	1033

Medelvärde o standardavvikelse	699 +191	874 +219 Bq/m <sup>3</sup>
standardavvikelse %	27	25
referensvärde	1060	1060 Bq/m <sup>3</sup>
medelvärde % av ref.värde	66	82
medelvärde exkl min o max med		
standardavvikelse	692 +149	879 +185 Bq/m <sup>3</sup>
standardavvikelse %	22	21
medelvärde % av ref.värde	65	83
medelvärde o standardavvikelse, svart sladd		860 +167 Bq/m <sup>3</sup>
standardavvikelse %		19
medelvärde % av ref.värde		81
medelvärde o standardavvikelse, röd sladd		
standardavvikelse %		887 +409 Bq/m <sup>3</sup>
medelvärde % av ref.värde		46
		84

För mätvärden erhållna med gruppkalibrering erhöles i nedre rummet som medelvärde 874 Bq/m<sup>3</sup> med standardavvikelse +219 Bq/m<sup>3</sup>, motsvarande +25 %. Detta är 18 % lägre än det medelvärde som erhållits med SSIs instrument. Exklusive max- och minvärde blir medelvärdet för resterande 17 mätvärden 879 Bq/m<sup>3</sup>, dvs 17 % under korrekt värde. Standardavvikelsen blir +185 Bq/m<sup>3</sup>, motsvarande +21 %.

De 9 mätvärden som erhållits genom individuell kalibrering gav som medelvärde 699 Bq/m<sup>3</sup>, vilket är 34 % lägre än referensvärdet. Standardavvikelsen är +191 Bq/m<sup>3</sup>, motsvarande +27 %. Om max- och minvärdena exkluderas förblir medelvärdet tämligen opåverkat medan standardavvikelsen reduceras från +27 % till +22 %.

Till skillnad från i det övre rummet visade inte de äldre tablettorna bättre resultat än de nyare. Medelvärdet för 10 detektorer med äldre tabletter (röd sladd) var 16 % under referensvärdet. Medelvärdet för 9 detektorer med nyare tabletter (svart sladd) var 19 % under referensvärdet. Standardavvikelsen för äldre tabletter var +46 % jämfört med +19% för nyare tabletter vid gruppkalibrering. Övergång från gruppkalibrering till individuell kalibrering resulterade i att standardavvikelsen ökade från +19 % till +27 % och att mätvärdenas medelvärde reducerades från 81 % till 66 % av referensvärdet.

I figur A-19 och A-20 presenteras grafiskt mätvärden erhållna med gruppkalibrering i relation till referensvärdet. För mätningarna i det nedre rummet visade 8 av 19 instrument ett värde som var så mycket lägre än referensvärdet att det senare inte innefattades av angivet noggrannhetsintervall +25 %. I det övre rummet blev motsvarande relation 6 av 19 mätvärden.



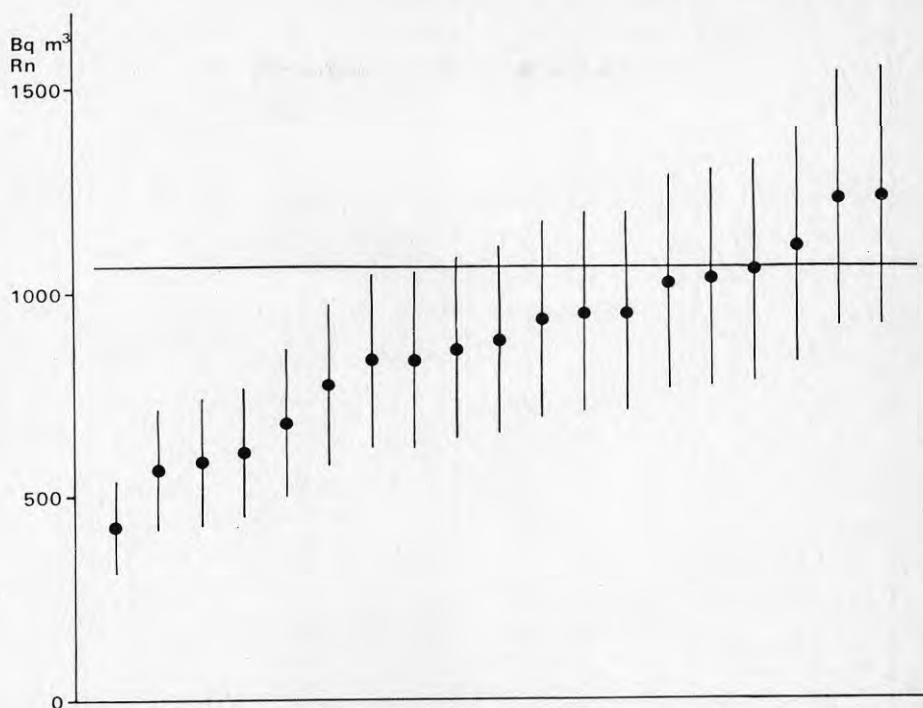


Fig A-19 Grafisk presentation av resultat med TLD-instrument från SP i det nedre rummet perioden 8 aug - 5 sept

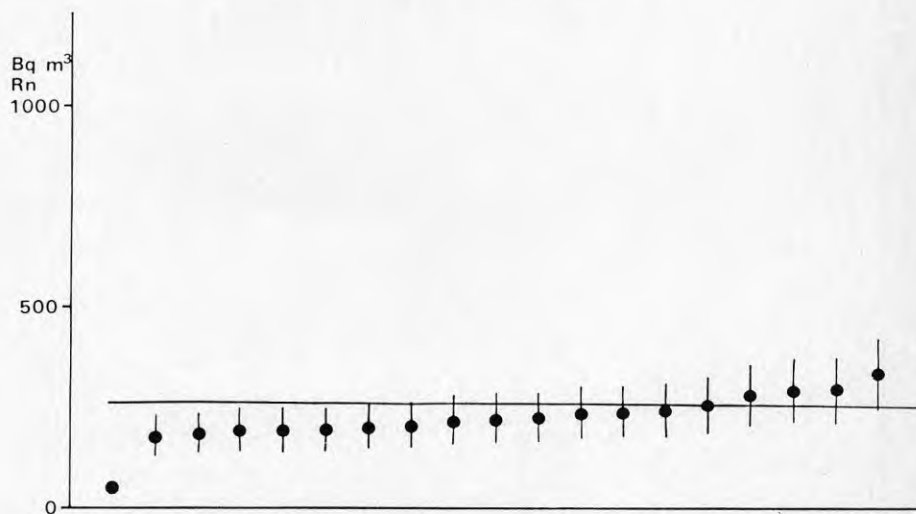


Fig A-20 Grafisk presentation av resultat med TLD-instrument från SP i det övre rummet perioden 8 aug - 5 sept

I figur A-21 och A-22 har medelvärde, standardavvikelse samt max- och minvärden illustrerats i relation till referensvärde enligt mätning med SSIs TLD-instrument.

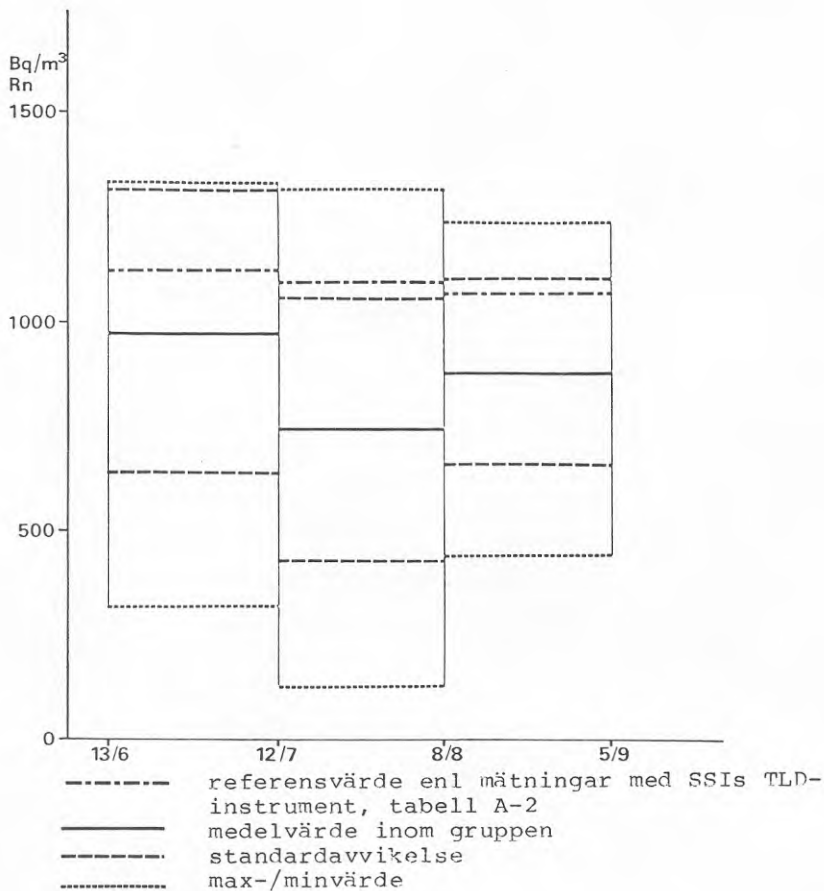


Fig A-21 Grafisk presentation av mätresultat erhållna med SPs TLD-instrument i nedre rummet. Medelvärde, standardavvikelse, max-/minvärden relaterade till referensvärde enl SSIs mätningar

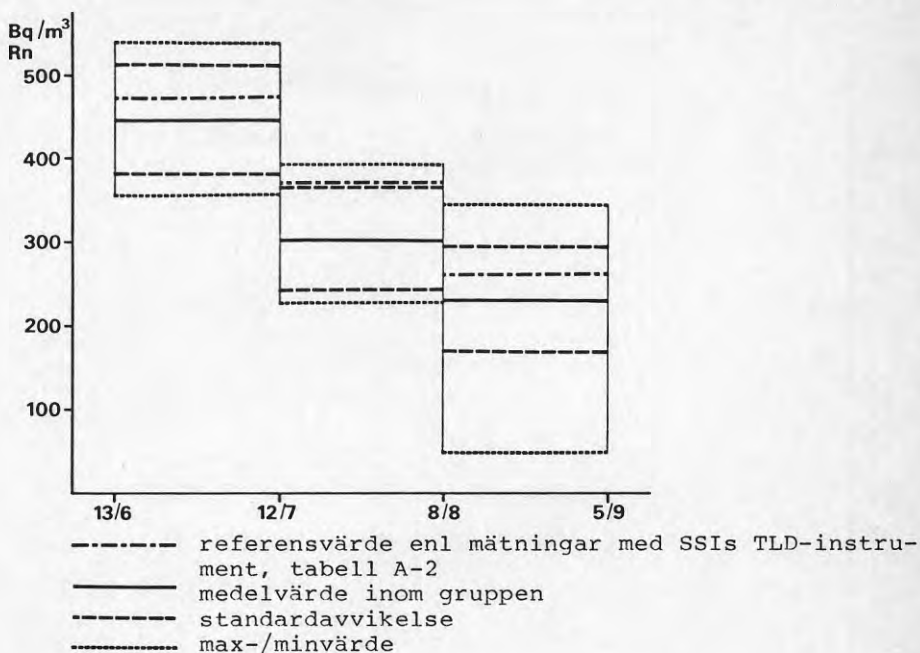


Fig A-22 Grafisk presentation av mätresultat erhållna med SPs TLD-instrument i övre rummet. Medelvärde, standardavvikelse, max-/minvärden relaterade till referensvärde enl SSIs mätningar.

Som framgår av figurerna har medelvärdet för samtliga 3 mätperioder i bägge rummen legat under medelvärdet av mätvärdena erhållna med SSIs TLD-instrument.

Sammanfattningsvis konstateras att TLD-instrumenten från SP

- systematiskt underskattat radonhalten med 4 - 34 %
- visat en oväntat stor spridning.

Vid ett möte på AIB den 16 nov 1983 med representanter för deltagande företag och institutioner och vid en telefonkonferens 12 dec 1983 diskuterades resultaten i syfte att identifiera felkällorna. Följande hypotetiska orsaker till det dåliga resultatet diskuterades:

- det sätt på vilket tabletterna monterats i detektorerna av AIBs personal. Representanter för SSI och Studsvik rapporterade att man under utvecklingsarbetet funnit att instrumentens känslighet i icke obetydlig utsträckning påverkas av hur långt in i mätcy lindern som metallfolien placeras

- SP hade bytt folie och övergått till en tjockare folie än som utnyttjats vid ursprunglig utprovning av detektorerna
- den nya folien satt i flera fall buckligt
- tablettens känslighet hade verifierats genom bestrålning med gammastrålar i stället för med alfastrålar
- tablettens ålder
- smuts på tabletterna
- i några fall lägre spänning från detektorernas batterier. Denna orsak kunde uteslutas eftersom detektorer med lägst spänning inte givit avvikande värden.

Statens Provningsanstalt insände därefter följande kommentarer, daterade 1983-12-23.

"SP har till denna jämförande mätning tillhanda hållit TLD-mätare, men den del SP har haft möjlighet att utvärdera är TLD-tabletterna.

En faktor som påverkar mätningens noggrannhet är tablethållarens placering i mätkammaren, vilket vid montering måste beaktas då annars mätgeometrin samt spänningsmätningen kan påverkas.

En annan parameter som i detta fall påverkar metodens noggrannhet är kalibreringsfaktorn. Vanligtvis kalibreras TLD-mätarna under en period med låg efterfrågan, som exempelvis tidpunkten för denna jämförande mätning.

Utifrån denna jämförande mätning inses vikten av att en och samma person får hantera TLD-mätaren för att slumpmässiga fel skall undvikas.

Vid denna viktiga jämförande mätning har Statens Provningsanstalt konstaterat att vi bör undvika att sända mätare och tabletter var för sig."

Det är helt korrekt som påpekas att man vanligen väljer att utföra kalibrering under perioder då mätarna ej efterfrågas för mätning, dvs främst sommartid. För SPs mätare gäller emellertid i detta fall att vi vid en mätning 1983 hade exponerat två mätare parallellt och dessa visade 60 resp 110 Bq/m<sup>3</sup>. Samtliga mätare var därefter indragna till SP från mitten av februari till senare delen av maj för genomgång och noggrann kalibrering. De instrument som SP deltog med var således nykalibrerade när jämförande mätningen inleddes.

Hypotesen att det sätt och den noggrannhet med vilken hållaren med tabletter sätts in i instrumentet skulle vara en huvudförklaring till avvikelserna är ännu obekräftad. Mot hypotesen talar dock det faktum att

samma personer hanterade tablethållarna till Studsviks TLD-instrument utan att hos dessa introducera någon signifikant spridning hos resultaten. Om detta skulle vara förklaringen till mätvärdenas spridning är det fråga om ny kunskap som kommit fram genom denna undersökning. Om det varit känt tidigare skulle tablethållaren givits en utformning som eliminerar denna möjlighet och/eller förhållandet påpekats i instruktionerna för handhavande av instrumenten.

SP har senare exponerat 20 utvalda detektorer i sin egen radonkammare efter det att metallfolien ersatts med ny. Resultatet visar efter dessa åtgärder spridning med en standardavvikelse  $\pm 10,7$  % kring ett medelvärde som är 83,7 % av referensvärdet. Resultatet innebär att för 7 av 20 instrument ligger referensvärdet utanför det intervall som ges av mätvärdet  $\pm 25$  %. Detta är sämre än det krav som ställdes när BFRs radongrupp rekommenderade inköp av instrumenten. Kravet var då att instrumenten skulle tillåtas spridas med en generös tolkning av  $\pm 10$  % kring referensvärdet.

SP har lämnat följande redogörelse för denna provexponering av mätarna:

#### EXPONERING AV TLD-BURKAR VID STATENS PROVNINGSANSTALT

TLD-burkar av typ RM-1 har under sommaren 1983 deltagit i en jämförande mätning tillsammans med ett antal olika integrerande radonmätare. Resultaten från dessa mätningar har därefter sammanställts av Allmänna Ingenjörbyrå (AIB).

Mätarna tillhörande SP har därefter under vecka 401 exponerats för radon i en känd atmosfär på Statens provningsanstalt. Nedan redovisas resultatsammansättningen från denna senaste mätning.

TLD-burkarna återkom till Statens provningsanstalt i december 1983. Mätarna kontrollerades därvid med avseende på eventuella skador eller brister, vilka på ett eller annat sätt kan påverka mätarnas funktion.

De kontroller som genomfördes var:

1. Kontroll av burkhölje och dammfilter
2. Kontroll av mässingsmätkammare och lödningar
3. Kontroll av batterispänning och ledningar
4. Kontroll av eventuella mekaniska skador på tablethållare och folie.

Efter kontrollerna har samtliga folier bytts ut. 20 burkar med tillfredsställande batterispänning ( $>300$  V) valdes därefter ut för att exponeras i ett klimatrum där 5 lådor med uranmalm placeras, figur A-22A. Före exponeringen tilläts radonhalten komma i jämvikt under flera veckors tid. Luften i rummet blandades om med hjälp av fläktar. Luftfuktighet samt temperatur hölls konstanta vid 40 % respektive  $20^{\circ}\text{C}$  med hjälp av automatik.

## Resultat

Resultaten från exponeringen i klimatrummet finns presenterade i tabell A-6A och figur A-22B. Mätningarna som genomfördes av AIB finns för samhörande burkar också medtagna. I tabell A-6A menas med standardavvikelsen spridningen kring det medelmätvärde som erhållits för de medtagna mätarna. Avvikelse från korrekt värde är det procentuella fel som erhållits i medeltal relativt det teoretiskt riktiga (i fallet AIB = IRMA värdet) då en och samma kalibreringskonstant används.

## Slutsatser

Mätningarna vid SP visar på en lägre spridning än vid den tidigare jämförande mätningen. Absolut sett ger också mätningen vid SP ett för lågt medelvärde vilket till viss del beror på TLD-tabellernas med tiden förändrade luminiscens.

Då folierna på samtliga tablethållare bytts ut vid SPs mätning kan detta i sig vara en orsak till den något lägre spridningen. Sammanfattningsvis bör tabell A-6A tolkas för de medtagna mätarna vilka väl uppfyller den spridning på 25 % som angevits av SP. De övriga mätarna som deltog i den jämförande mätningen är i en sådan kondition att de inte utan revidering kan användas för radonmätningar i bostäder.

NA	Batterispänning		Foliekondition		Respons relativt medelmätvärdet		
	AIB	SP	Typ	Skick	Ne rummet	Öv rummet	SPs klimatrum
2	470	480	ga	dålig	1,08	-	0,85
6	-	414	ga	bra	-	0,87	0,93
8	-	452	ga	bra	-	-	0,86
10	490	464	ga	bra	1,08	-	1,10
12	-	483	ga	bra	-	0,94	1,11
15	-	457	ga	bra	-	-	0,88
17	-	395	ga	bra	-	1,15	1,00
19	-	409	ny	bra	0,70	-	0,87
21	470	475	ny	dålig	1,06	-	1,18
23	-	322	ga	dålig	1,25	-	1,04
25	-	454	ny	bra	-	1,20	0,97
28	495	493	ga	bra	-	0,96	1,02
32	-	379	ny	bra	-	0,995	1,19
37	490	429	ny	bra	-	1,26	0,91
38	485	434	ga	dålig	-	0,91	1,01
39	490	305	ga	bra	-	1,10	1,11
40	490	490	ga	bra	1,08	-	1,02
41	485	488	ny	bra	0,90	-	1,07
46	-	495	ga	dålig	-	-	0,78
48	-	463	ga	bra	1,18	-	0,99
			Standardavv.	σ%	15,3	12,5	10,7
			Avv. från "korrekt"	Δ%	-25,0	-17,9	-16,3

Tabell A-6A Sammanställning av TLD-mätningar från AIBs jämförande mätningar och egna mätningar i SPs klimatrum

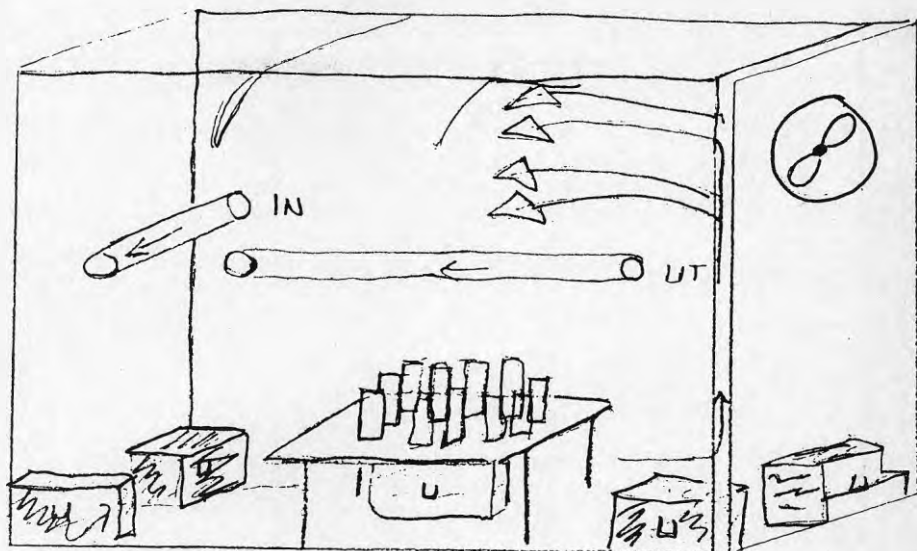


Fig A-22A TLD-burkars placering i klimatrum

Avv. (%)  
från  
medel-  
värdet

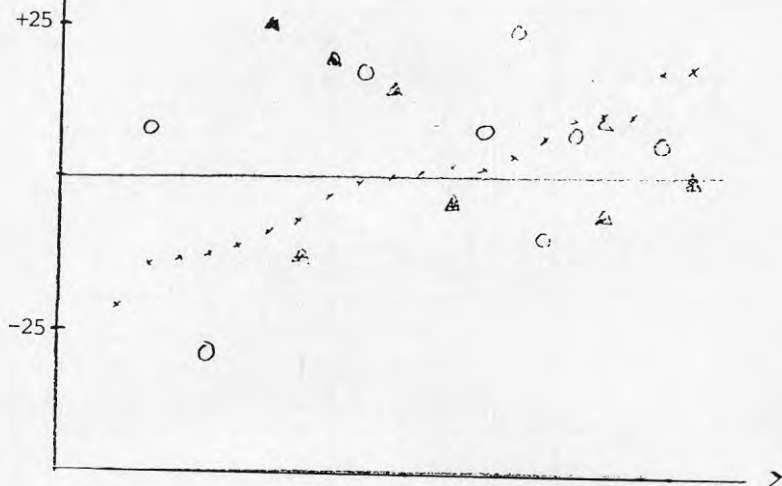


Fig A-22B Grafisk presentation av resultat från exponering vid  $2470 \text{ Bq/m}^3$   $20^\circ \text{C}$  och 40 % relativ fuktighet. x. Tillhörande tabelttburk respons vid AIBS mätning. Nedre rummet o. Övre rummet  $\Delta$ .

### A.1.3 Studsvik\_Energiteknik

TLD-instrument från Studsvik Energiteknik AB av typ RM-1 har utnyttjats för mätning först en 4-veckorsperiod och därefter fyra 2-veckorsperioder. Mätperioderna sammanfaller i tiden med de mätningar som utförts med SSI's IRMOR, med undantag för att den första perioden omfattar samma tid som de första två 2-veckorsperioderna med SSI's IRMOR. Under samtliga perioder har 15 instrument utnyttjats i vardera rummet.

Resultaten för de enskilda instrumenten har sammanställts i tabell A-7 för det övre rummet och i tabell A-8 för det nedre rummet. Resultaten presenteras grafiskt i figur A-23 - A-27 för det övre rummet och i figur A-28 - A-32 för det nedre rummet.

Resultaten från mätningar i övre rummet visar för det stora flertalet god samstämmighet med medelvärdet av de mätvärden som erhållits från samtidig mätning med 10 st av SSI's IRMOR, i tabellerna benämnt referensvärde och i figurerna markerat med en horisontell linje.

Vid den avslutande mätperioden 22 augusti - 5 september var avvikelserna <10 % för 13 av 15 instrument. Under den andra mätperioden gav 10 av 15 instrument ett värde som avvek <10 % från referensvärdet. I allmänhet har under varje mätperiod ett instrument ett värde som klart avviker uppåt från de övriga. Under andra, tredje och fjärde perioden erhöles ett värde på 1900, 1200 resp 1900 Bq/m<sup>3</sup> medan samtliga övriga mätvärden var samlade kring den korrekta nivån 300 - 400 Bq/m<sup>3</sup>. Denna avvikelse drabbade olika instrument.

Instrument 494 har vid samtliga perioder givit ett värde över medianvärdet men det var endast under andra mätperioden som värdet avvek från gruppen. Instrument 400 gav god överensstämmelse med referensvärdet med undantag för tredje perioden då det visade 3 gånger högre värde. Instrument 324 visade 6 gånger referensvärdet vid den fjärde mätperioden medan det vid samtliga övriga perioder hörde till de 3 instrument som visade lägst värde. Anmärkningsvärt är vidare att instrument 343 visade det lägsta värdet vid 4 av de 5 perioderna och visade näst lägsta värdet vid en.

Exklusive max- och minvärden var samstämmigheten god med resultaten från samtidig mätning med SSI's IRMOR. Medelvärdet för instrumenten varierade för de 5 perioderna mellan 90 och 119 % av referensvärdet samtidigt som standardavvikelsen varierade mellan 6 och 21 %.



Tabell A-7 Sammanställning av resultat från mätning med TLD-instrument av typ RM-1 från Studsvik Energiteknik AB i det övre rummet

Instr nr	Medelkoncentration av radon Bq/m <sup>3</sup> under perioden				
	13/6-11/7	11/7-25/7	25/7-8/8	8/8-22/8	22/8-5/9
324	390	299	371	1976	198
332	430	324	402	326	201
343	344	271	336	310	190
344	395	278	346	297	395
400	404	334	1198	343	222
403	445	331	424	321	213
407	409	340	426	390	222
424	372	389	418	323	204
466	526	373	447	382	229
477	437	333	427	597	221
494	439	1919	438	410	221
507	427	326	420	328	208
515	432	346	(257)*	355	210
516	426	316	430	326	254
545	458	334	457	362	231
Medelv	422	434	470	470	228 Bq/m <sup>3</sup>
" % av ref.värde	90	129	118	152	108
Std.avvikelse	42	412	206	423	49 Bq/m <sup>3</sup>
Std.avvikelse %	10	95	44	90	21
Maxvärde	526	1919	1198	1976	395 Bq/m <sup>3</sup>
Minvärde	344	271	336	297	190 Bq/m <sup>3</sup>
Medelvärde exkl max o minvärde	420	333	425	367	218 Bq/m <sup>3</sup>
% av ref.värde v	90	99	107	119	103
Std.avvikelse exkl max o min	25	28	40	76	15 Bq/m <sup>3</sup>
Std.avvikelse exkl max o min %	6	8	9	21	7
Ref.värde	468	337	399	309	212 Bq/m <sup>3</sup>

\* Instrument 515 var urkopplat under 50 % av perioden, nämligen tiden 25/7 -- 1/8. Rapporterat värde 257 Bq/m<sup>3</sup> motsvarar 257 Bq/m<sup>3</sup> x 24 h/dygn x 14,1 dygn = 87000 Bq/m<sup>3</sup>. Under den tid instrumentet var inkopplat registrerades med RGA-400 i medeltal 356 Bq/m<sup>3</sup>, motsvarande 60 kBq/h/m<sup>3</sup>. Vid beräkning av medelvärde och standardavvikelse har mätvärdet fördubblats som kompensation för att det var inkopplat endast halva perioden.

Tabell A-8 Sammanställning av resultat från mätning med TLD-instrument av typ RM-1 från Studsvik Energiteknik AB i det nedre rummet

Instr nr	Medelkoncentration av radon Bq/m <sup>3</sup> under perioden				
	13/6-11/7	11/7-25/7	25/7-8/8	8/8-22/8	22/8-5/9
330	1057	985	1052	1155	993
377	724	705	795	944	815
385	891	906	991	1150	990
411	898	900	960	1222	1007
416	909	839	1057	1094	1011
421	905	1004	964*	1121	1012
461	839	1021	1030	1190	959
470	914	935	1005	1141	1042
475	865	921	1004	1202	1044
485	840	853	988	1054	1745
487	893	925	1053	1294	1083
488	880	839	951	1061	984
527	899	997	1030	1116	1030
539	916	959	1053	1162	1078
541	964	926	1037	1128	1020
Medelv	893	914	998	1136	1054 Bq/m <sup>3</sup>
" % av					
ref.värde	80	86	91	104	102
Std.avvik.	70	82	67	81	201 Bq/m <sup>3</sup>
Std.avvikelse %	8	9	7	7	19
Maxvärde	1057	1021	1057	1294	1745 Bq/m <sup>3</sup>
Minvärde	724	705	795	944	815 Bq/m <sup>3</sup>
Medelvärde					
exkl max					
o min	893	922	1009	1138	1019 Bq/m <sup>3</sup>
% av ref.-					
värde	80	86	92	104	99
Std.avvikelse exkl					
max o min	33	56	36	51	36 Bq/m <sup>3</sup>
Std.avvikelse exkl					
max					
o min %	4	6	4	4	4
Ref.värde enl					
IRMOR	1117	1067	1108	1090	1030 Bq/m <sup>3</sup>
Dito enl jon-					
kammare	1123	1077	1115	1126	(1001) Bq/m <sup>3</sup>

\* Instrument 421 var urkopplat under 50 % av perioden, nämligen tiden 25/7--1/8. Rapporterat värde 545 Bq/m<sup>3</sup> motsvarar 545 Bq/m<sup>3</sup> x 24 h/dygn x 14,1 dygn = 184,4 kBq/m<sup>3</sup>. Under den tid instrumentet var inkopplat registrerades med jonkammare i medeltal 1196 Bq/m<sup>3</sup> motsvarande 202,2 kBq/m<sup>3</sup>. Under hela perioden 25/7-8/8 registrerades i medeltal 1115 Bq/m<sup>3</sup>, motsvarande 357,6 kBq/m<sup>3</sup>. Vid beräkning av medelvärde o standardavvikelse har värdet proportionerats upp med hänsyn till under hur stor del av den totala exponeringen som instrumentet var inkopplat.

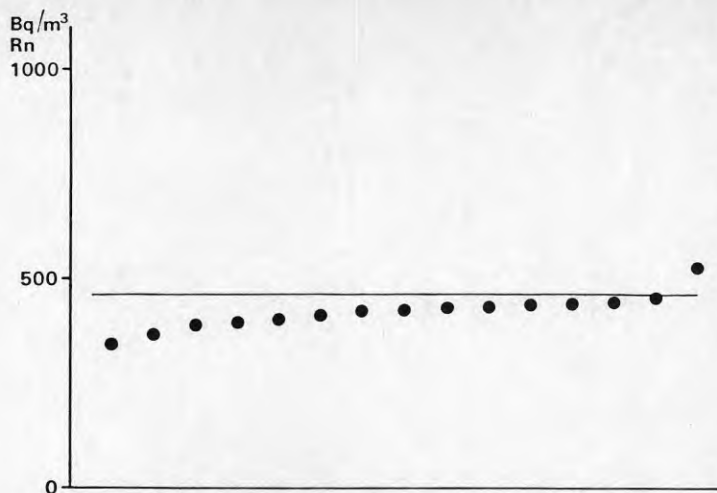


Fig A-23 Grafisk presentation av resultat med TLD, typ RM-1 från Studsvik Energiteknik AB under perioden 13 juni - 11 juli i det övre rummet

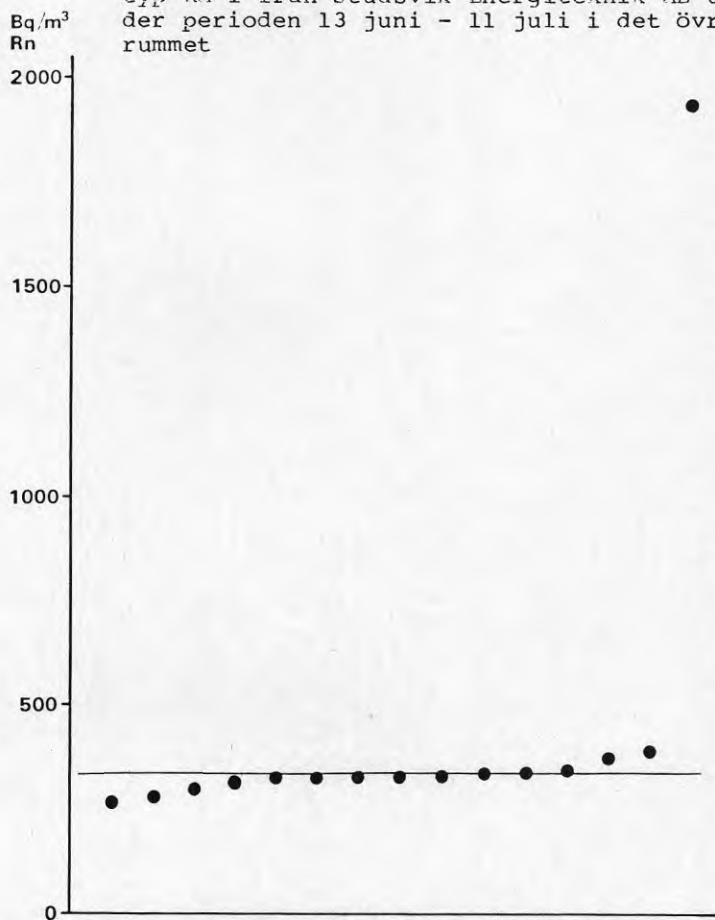


Fig A-24 Grafisk presentation av resultat med TLD, typ RM-1 från Studsvik Energiteknik AB under perioden 11 - 25 juli i det övre rummet

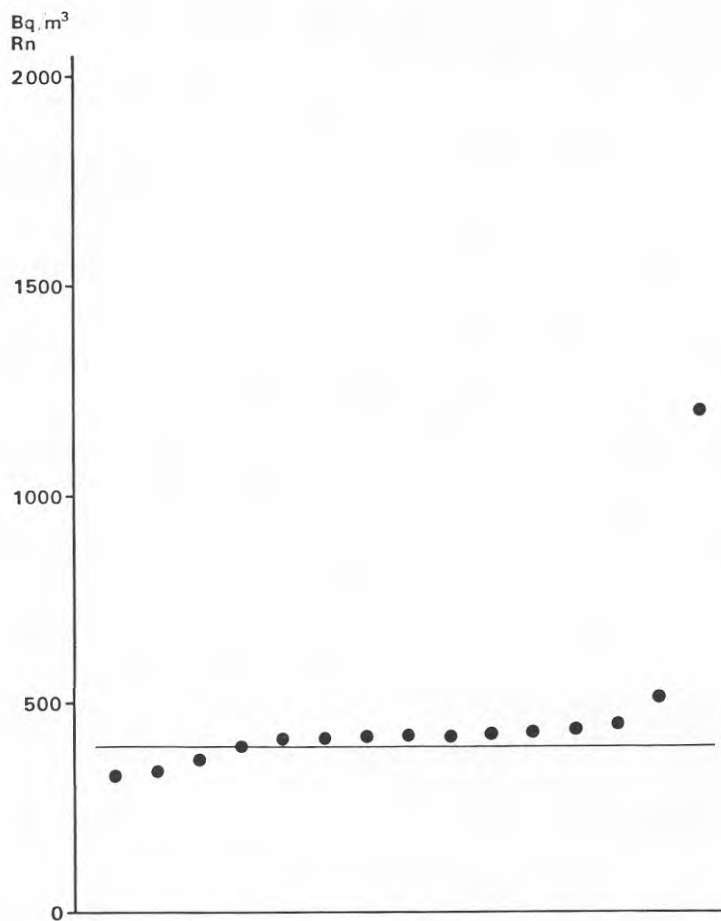


Fig A-25 Grafisk presentation av resultat med TLD, typ RM-1 från Studsvik Energiteknik AB under perioden 25 juli - 8 augusti i det övre rummet

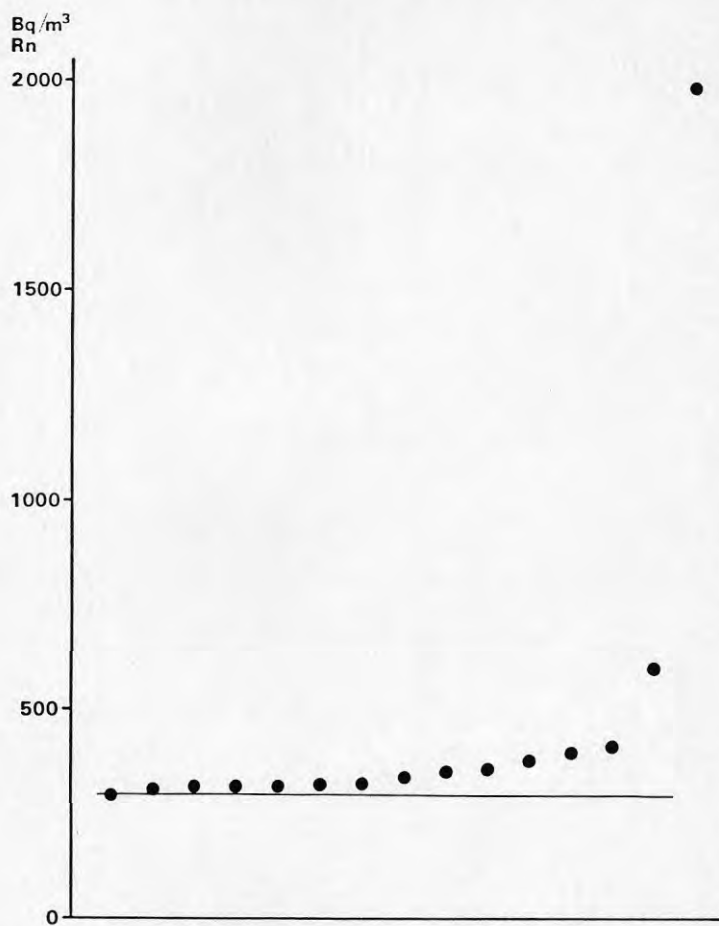


Fig A-26 Grafisk presentation av resultat med TLD, typ RM-1 från Studsvik Energiteknik AB under perioden 8 - 22 augusti i det övre rummet

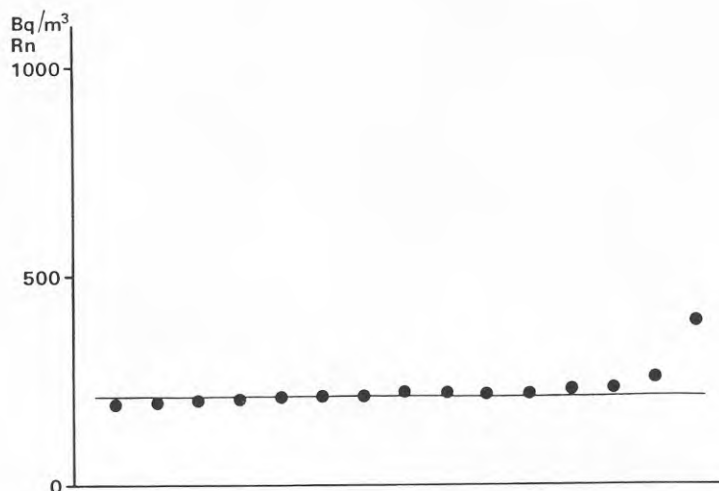


Fig A-27 Grafisk presentation av resultat med TLD, typ RM-1 från Studsvik Energiteknik AB under perioden 22 augusti - 5 september i det övre rummet

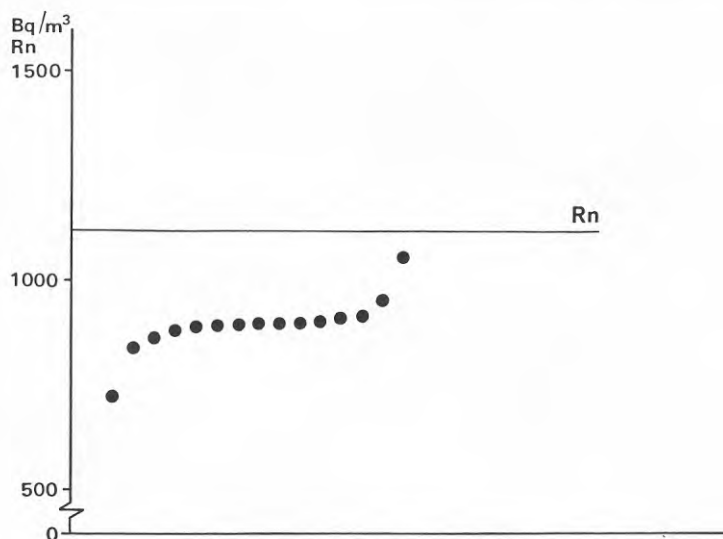


Fig A-28 Grafisk presentation av resultat med TLD, typ RM-1 från Studsvik Energiteknik AB under perioden 13 juni - 11 juli i det nedre rummet

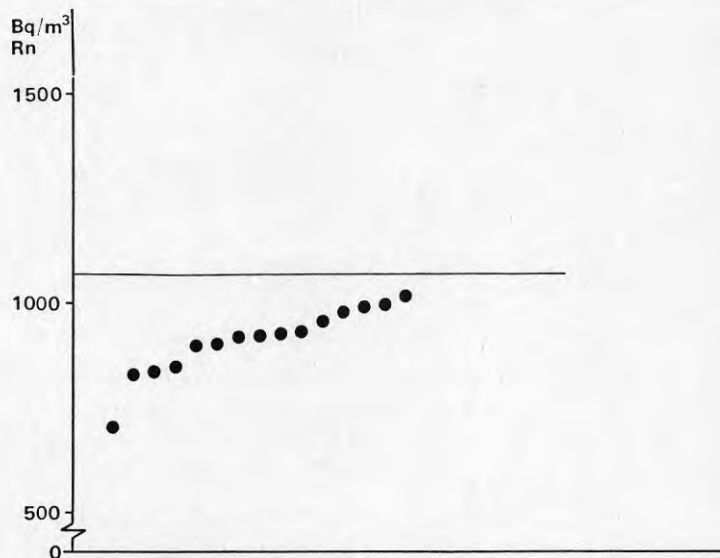


Fig A-29 Grafisk presentation av resultat med TLD, typ RM-1 från Studsvik Energiteknik AB under perioden 11 - 25 juli i det nedre rummet

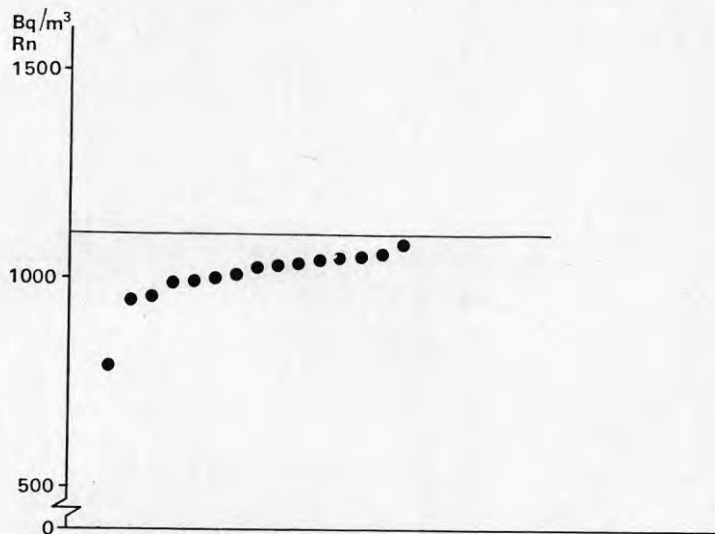


Fig A-30 Grafisk presentation av resultat med TLD, typ RM-1 från Studsvik Energiteknik AB under perioden 25 juli - 8 augusti i det nedre rummet

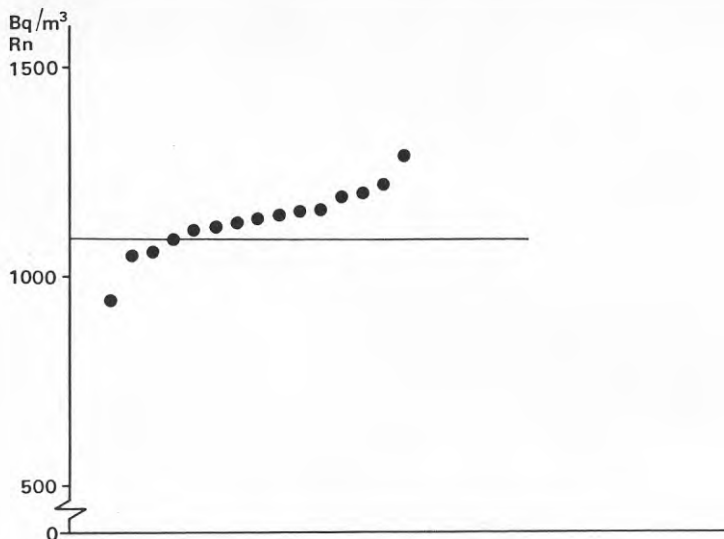


Fig A-31 Grafisk presentation av resultat med TLD, typ RM-1 från Studsvik Energiteknik AB under perioden 8 - 22 augusti i det nedre rummet

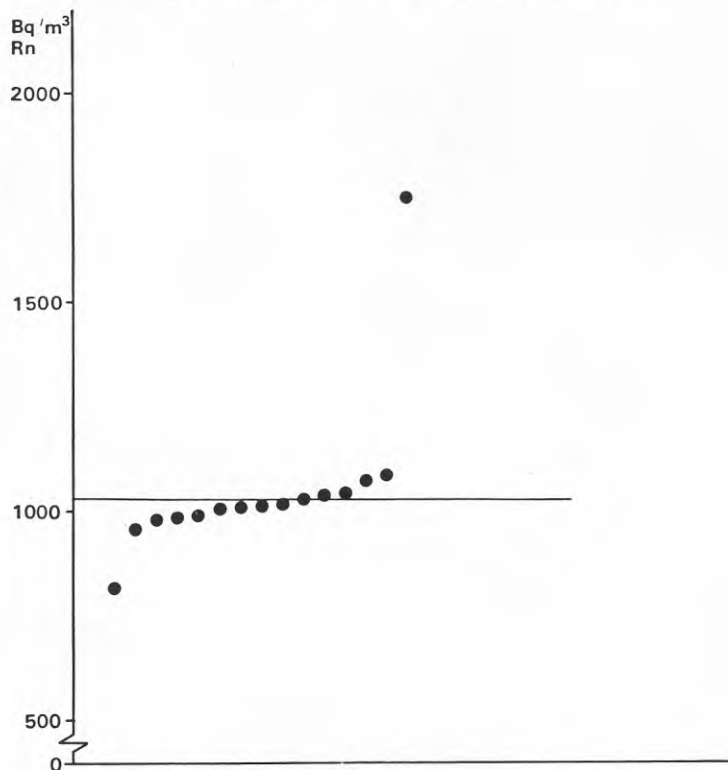


Fig A-32 Grafisk presentation av resultat med TLD, typ RM-1 från Studsvik Energiteknik AB under perioden 22 augusti - 5 september i det nedre rummet



Resultaten från det nedre rummet innehåller ett mätvärde som avviker kraftigt uppåt, nämligen instrument nr 485 i den avslutande perioden. Under de 3 första perioderna underskattades radonkoncentrationen med i medeltal 20, 14 resp 8 % och under dessa perioder var det inget mätvärde som nådde fullt upp till referensnivån. Avvikelsen upphörde därefter och särskilt för den avslutande perioden blev samstämmigheten med referensvärdet mycket god.

I figur A-33 och A-34 har medelvärde, standardavvikelse samt max- och minvärden illustrerats för respektive rum i relation till referensvärdet enligt mätning med SSIs TLD-instrument.

Studsvik Energiteknik har meddelat att man funnit orsakerna till de avvikande värdena. Instrument 343 som genomgående visade låga värden visade sig behäftat med ett fel. De enstaka värden som avviker kraftigt uppåt har kunnat härledas till ett fel i avläsningsutrustningen för TL-dosimetrarna i Studsvik. Felet yttrade sig sporadiskt som ett avvikande högt värde och åtgärdas genom ersättning med ny utrustning. Resultat exklusive maximi- och minimivärden bör därför kunna antas vara representativa för Studsviks mätningar med TLD-instrument.

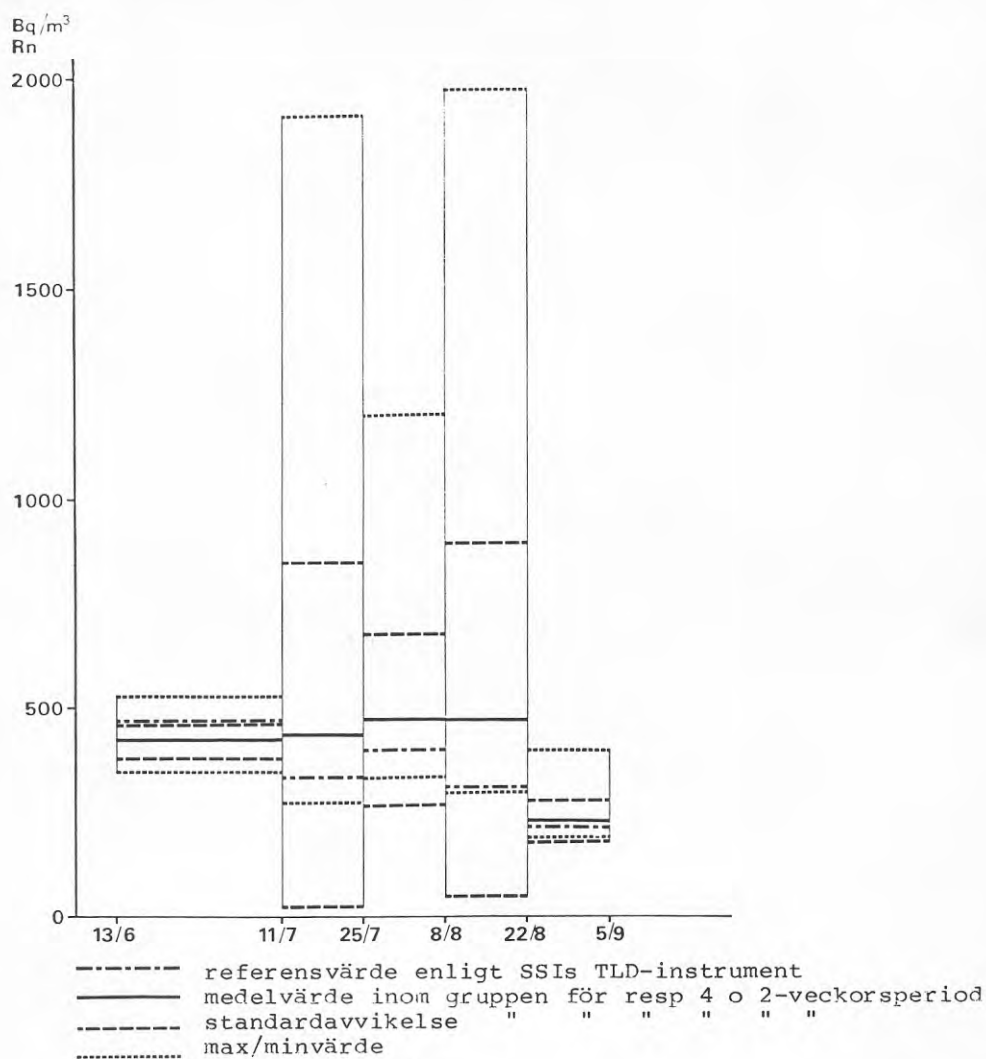


Fig A-33 Grafisk presentation av mätresultat erhållna med TLD-instrument, typ RM-1 från Studsvik Energiteknik i övre rummet. Medelvärde, standardavvikelse samt max- och minvärden relaterade till referensvärde enligt SSIs mätningar.

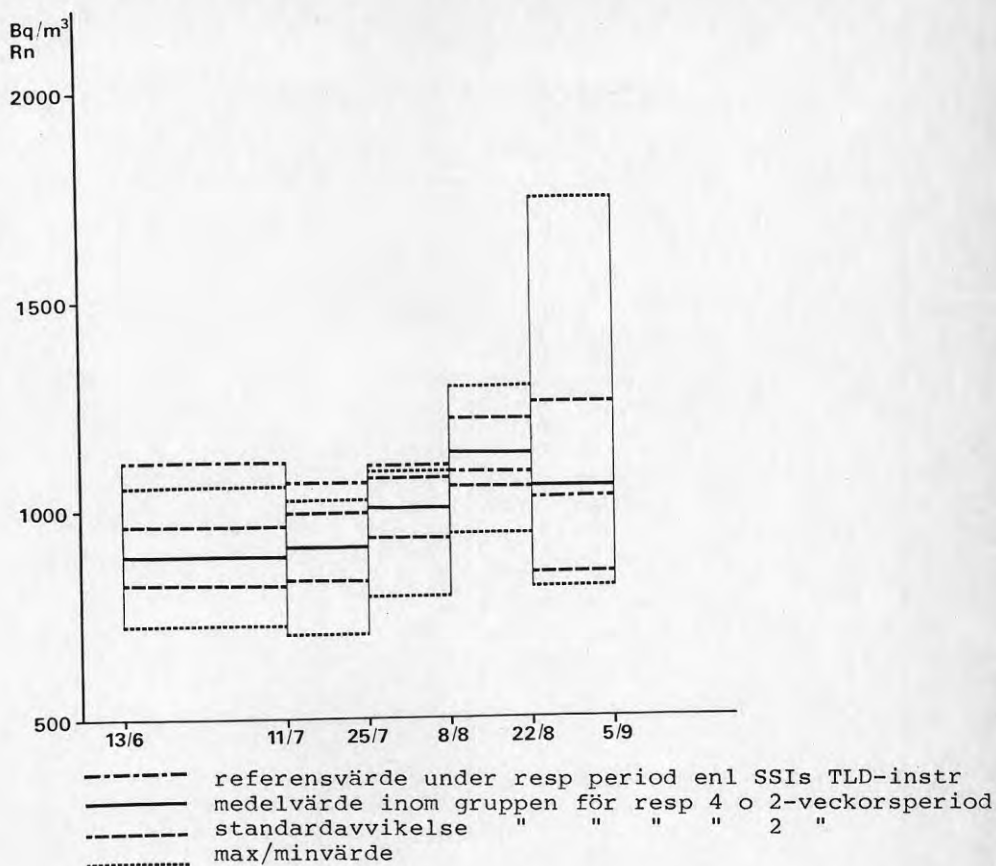


Fig A-34 Grafisk presentation av mätresultat erhållna med TLD-instrument, typ RM-1 från Studsvik Energiteknik i nedre rummet. Medelvärde, standardavvikelse samt max- och minvärden relaterade till referensvärde enligt SSIs mätningar.

A.2 Resultat av jämförande mätning med olika typer av öppen spårfilm

I mätningen har deltagit detektorer baserade på principen öppen spårfilm från:

- Terradex Corp via Atlas Copco ABEM AB
- Strålskyddstjänst AB
- Statens Geotekniska Institut
- Fysiska Institutionen vid Lunds Universitet, Gilbert Jönsson

Med undantag för Terradex Corp har samtliga detektorer utgjorts av film Kodak LR 115, typ 2. Detektorerna från Strålskyddstjänst AB och Statens Geotekniska Institut utgörs av filmremsor som hänger i en tråd. Gilbert Jönssons detektor utgörs av två filmremsor som hänger i samma tråd, den ena ca 25 cm över den andra. Detektorn från Terradex var av typ Terradex B, som utgörs av en öppen film monterad i en pappram, som i sin tur hänger i en tråd. Detektorerna från Terradex, Statens Geotekniska Institut och Lunds Universitet har exponerats under tiden 13 juni - 5 september. Detektorer från Strålskyddstjänst AB har exponerats under tiden 20 juni - 5 september. Filmer från Terradex har räknats över 1,15 mm<sup>2</sup> medan man vid Statens Geotekniska Inst räknat spår över 5 mm<sup>2</sup>. Vid Lunds Universitet har antalet spår räknats över ytan 15 mm<sup>2</sup>.

Öppna spårfilenr registrerar alfapartiklar från såväl radon som radondöttrar. Detta innebär att detektorernas utslag med exakthet endast kan relateras till radonhalt eller radondotterhalt under förutsättning att kvoten mellan koncentration av radon och radondöttrar är lika som under föregående kalibrering eller känd. Dessa villkor är ej uppfyllda vid mätning i bostäder, varför metoden har en viss inneboende onoggrannhet.

Den film som utnyttjas i Terradex detektorer registrerar alla alfapartiklar som träffar filmen med kvarvarande energi  $>0,5$  å 1 MeV. Film av typ Kodak LR 115 typ 2 ger däremot spår endast för alfapartiklar som träffar filmytan med en kvarvarande energi av mellan 1,6 och 4,2 å 4,3 MeV och med en infall vinkel  $<40^{\circ}$  mot normalen.

Detta innebär att endast detektorer av typ Terradex B erhåller spår vid sönderfall av radondöttrar som före sänderfallet avsatts på filmens yta. Detektorer baserade på film typ Kodak LR 115 typ 2 ger däremot endast spår av alfapartiklar som uppstått genom sönderfall i luften en bit från filmen och som vid passage genom luften avgivit så mycket energi att det återstår mellan 1,6 och 4,2 MeV när den träffar filmytan. Detta förhållande kan hypotetiskt utgöra förklaring till varför Terradex B har givit varierande resultat vid kalibrering i olika miljöer.

Radondotterhalten har registrerats kontinuerligt med instrument typ WLM-300, tillhandahållet av Sollentuna kommun, i det nedre rummet och med instrument typ RGA-400 i det övre rummet.

För perioden 13 - 20 juni saknas registrering i nedre rummet. I övrigt saknas registrering bl a för tid då RGA-400 kontrollerades i SSIs radonkammare.

Följande referensvärden har erhållits som medelvärden ur kontinuerlig registrering av radondotterhalt, radonhalt i nedre rummet samt integrerande radonmätning med SSIs IRMOR:

	Övre rummet			Nedre rummet		
	radon Bq/m <sup>3</sup>	radon- döttrar Bq/m <sup>3</sup>	F- faktor	radon Bq/m <sup>3</sup>	radon- döttrar Bq/m <sup>3</sup>	F- faktor
13/6--5/9	365	165	0,45	1088	-	
20/6--5/9	355*	159	0,45	1094	419	0,38

\* Medelvärde av resultat med SSIs IRMOR exkl 50 % av den första tvåveckorsperioden

#### A.2.1 Terradex, typ B

Fem stycken detektorer Terradex, typ B, placerades i vardera rummet. Resultatet har sammanställts i tabell A-9 och presenteras grafiskt i figur A-35 för det övre rummet och i figur A-36 för det nedre rummet.

Mätvärdena visar en systematisk överskattning av radonhalten. Samtliga mätvärden är högre än referensvärdet och medelvärdet för de 5 detektorerna är i övre rummet 74 % över och i nedre rummet 83 % över referensvärdet.

Mätvärdena har även omräknats till koncentration av radondöttrar genom multiplikation med schablonmässigt ansatt jämviktsfaktor  $F = 0,5$ . Så har i allmänhet skett när denna detektortyp utnyttjats och resultatet har oftast lämnats enbart uttryckt i koncentration av radondöttrar efter denna multiplikation.

Som en följd av att jämviktsfaktorn varit under 0,5 (0,38 i nedre rummet enligt registrering med WLM-300, SSIs IRMOR samt SSIs jonkammare och ca 0,45 i övre rummet enligt registrering med RGA-400 och SSIs IRMOR) ger detektorerna en ännu kraftigare överskattning av radondotterhalten än av radonhalten. I övre rummet motsvarar medelvärdet 1,92 gånger och i nedre rummet 2,38 gånger referensvärdet för radondotterhalt.

Tabell A-9 Sammanställning av mätresultat för öppen film typ Terradex B

ÖVRE RUMMET			NEDRE RUMMET		
Detektor nr	Radon Bq/m <sup>3</sup>	Radon-döttrar Bq/m <sup>3</sup>	Detektor nr	Radon Bq/m <sup>3</sup>	Radon-döttrar Bq/m <sup>3</sup>
159221	907	454	159224	1917	958
159222	726	363	159225	1792	896
159223	403	202	159227	2325	1162
159226	538	269	159228	1845	922
159229	598	299	159230	2098	1049
Medelv	634	317		1995	998
Std.avvik.	191	96		217	108
Std.avvik.%	30	30		11	11
Ref.värde	365 <sup>a</sup>	165 <sup>b</sup>		1088 <sup>c</sup>	419 <sup>d</sup>
Uppmätt i % av ref.värde	174	192		183	238

- a) Enligt mätning med SSIs IRMOR  
 b) Enligt kontinuerlig registrering med RGA-400  
 c) Enligt mätning med SSIs IRMOR samt SSIs jonkammare  
 d) Enligt kontinuerlig registrering med WLM-300

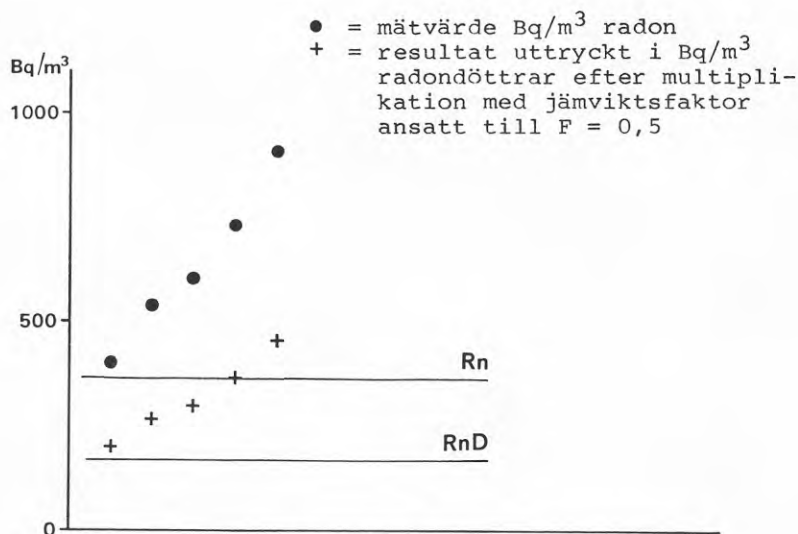


Fig A-35 Grafisk presentation av resultat med öppen film Terradex typ B i övre rummet. Horisontella streck markerar referensvärde för radonhalt mätt med SSIs IRMOR och radon-dotterhalt mätt med RGA-400

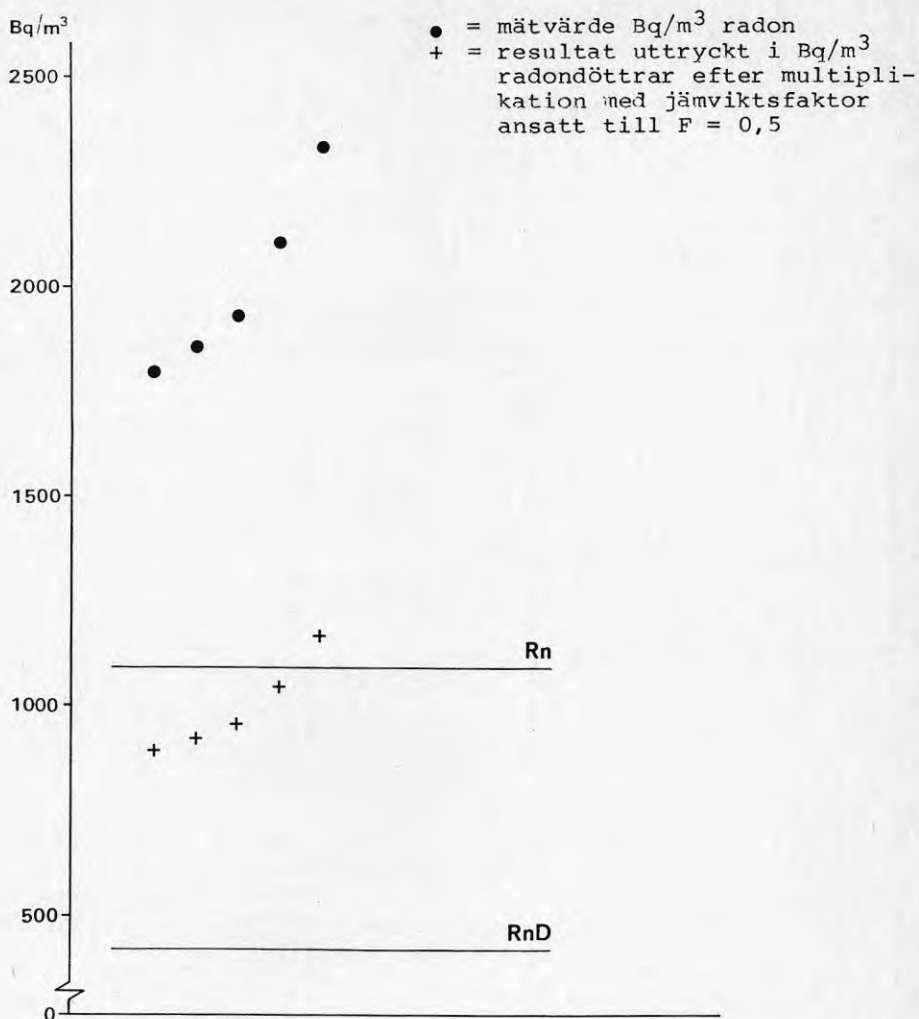


Fig A-36 Grafisk presentation av resultat med öppen film Terradex typ B i nedre rummet. Horisontella streck markerar referensvärde för radon- och radondotterhalt

#### A.2.2 Strålskyddstjänst\_AB

Strålskyddstjänst AB deltog med 24 remsor av film Kodak LR-115 typ 2. 10 filmer exponerades i det övre rummet och 13 i det nedre. Den resterande filmen exponerades i en annan byggnad med normal radonhalt. Filmerna exponerades 20 juni - 5 september, dvs mätningen påbörjades en vecka senare än med övriga detektorer.

Resultatet har sammanställts i tabell A-10 och presenteras grafiskt i fig A-37 för det övre rummet och i fig A-38 för det nedre rummet.

I det nedre rummet var under mätperioden 20 juni - 5 sept radonhaltens medelvärde  $1094 \text{ Bq/m}^3$  enligt kontinuerlig registrering med SSIs jonkammare och radondotterhaltens medelvärde  $419 \text{ Bq/m}^3$  enligt kontinuerlig registrering med WLM-300. Jämviktsfaktorns medelvärde över perioden var således 0,38.

I det övre rummet var koncentrationen av radon och radondöttrar  $355 \text{ Bq/m}^3$  enligt SSIs IRMOR resp  $159 \text{ Bq/m}^3$  enligt kontinuerlig registrering med RGA-400.

Tabell A-10 Sammanställning av mätresultat för öppen spårfilm från Strålskyddstjänst AB

ÖVRE RUMMET		NEDRE RUMMET	
film nr	Radondöttrar $\text{Bq/m}^3$	film nr	Radondöttrar $\text{Bq/m}^3$
801	250 <sup>b</sup>	802	680
803	230 <sup>c</sup>	804	640
807	210	805	680
808	250	809	630
813	230 <sup>b</sup>	810	710
815	260	811	780
816	250	812	570
819	220	814	720
821	220	817	620
823	230	818	700 <sup>b</sup>
		820	690
		(822	880) <sup>a</sup>
		824	620
Medelvärde med standardavvikelse			670+57 $\text{Bq/m}^3$
Standardavvikelse %	235+16 7		9
Medelvärde % av referensvärde	148		160
Medelv med std.avv. exkl min o max-v.			669+38 $\text{Bq/m}^3$
Standardavvikelse %	235+13 6		7
Medelvärde % av referensvärde	148		160
Referensvärde	159		419 $\text{Bq/m}^3$

- a) Film 822 föll till golvet och har troligen legat på golvet intill väggen under ett bord nästan hela mätperioden  
 b) Dessa filmer föll ner på bordet och låg där 25-27 juni  
 c) Denna film föll ner och låg på bordet troligen 4-11 juli



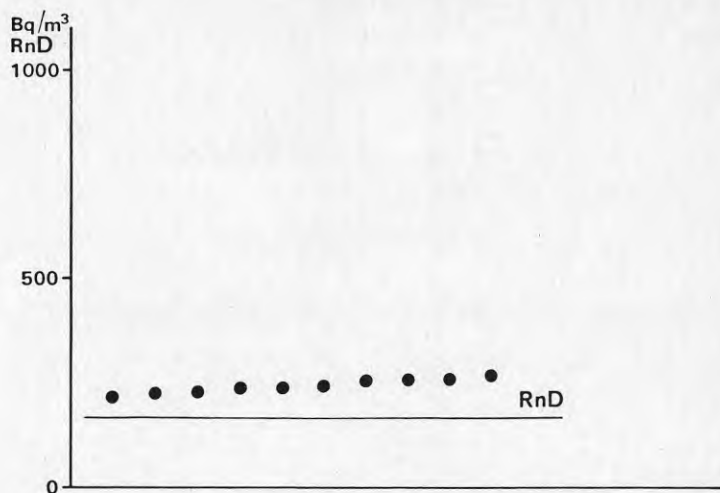


Fig A-37 Grafisk presentation av resultat med Öppen spårfilm från Strålskyddstjänst AB i övre rummet

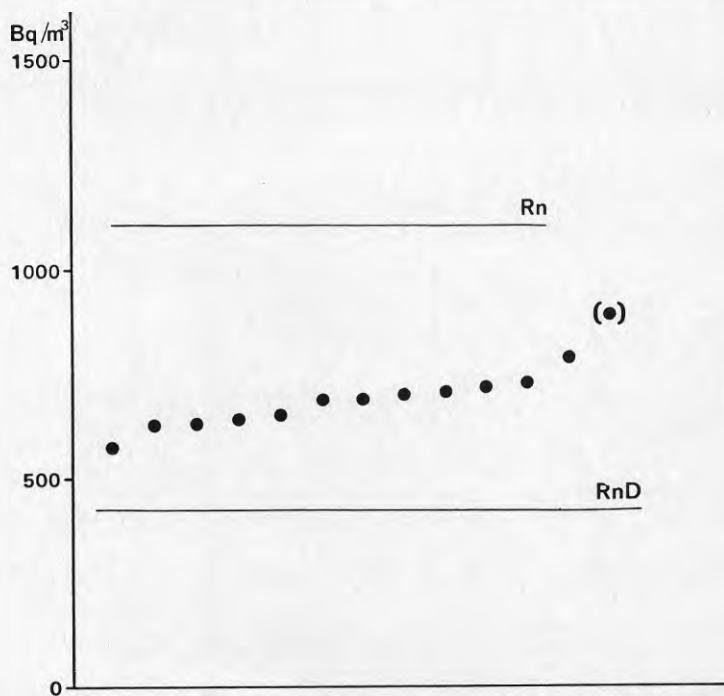


Fig A-38 Grafisk presentation av resultat med Öppen spårfilm från Strålskyddstjänst AB i nedre rummet

Strålskyddstjänst AB har lämnat följande kommentarer:  
Spårfilmen kalibreras vid jämviktsfaktorn  $F = 0,5$   
Spårtätheten  $S$  (spår/ytenhet) är således proportionell mot

$$S = R_n + (RA + RCC)$$

där  $R_n$  är radonhalten ( $Bq/m^3$ )

$RA, RCC$  är aktivitetskonc för resp dotter ( $Bq/m^3$ )

Vid samma radonhalt men vid jämviktsfaktor  $F = 0,38$   
är differensen i spårtäthet:

$$S(0,38)/S(0,5) = (R_n + 0,76 R_n) / (R_n + 1,0 R_n) = 0,88$$

EEC-värdet är direkt proportionellt mot spårtätheten  
vilket skulle innebära att uppmätt EEC-värde vid  $F = 0,38$   
skulle visa  $0,88 \times EEC(0,5)$ .

I själva verket har EEC-värdet minskat från  $0,5 \times R_n$   
till  $0,38 \times R_n$ , dvs

$$EEC(0,38)/EEC(0,5) = 0,38 R_n / 0,5 R_n = 0,76$$

EEC-värdet vid  $F=0,38$  överskattas med  $(0,88-0,76)/0,76$   
== 16 %.

Radonhalterna i det övre resp nedre radonrummet enligt  
vår spårfilmsmätning är  $235 \times 2 = 470$  resp  $670 \times 2 = 1340$   
( $Bq/m^3$ ) vilket är 29 resp 22 % över referensvärdet  
för koncentration av radon.

Den i detta fall använda kalibreringskonstanten har varit  
ca 25 - 30 % för hög. Detta tillsammans med en låg  
jämviktsfaktor har därför överskattat radondottervärdena.

En av Gun Astri Svedjemark, Statens Strålskyddsinstitut,  
nyligen publicerad rapport /1/ visar på att  $F = 0,4$   
är ett mer realistiskt värde vid bestämning av EEC i bostäder.

Strålskyddstjänst kommer därför att framöver kalibrera  
spårfilmerna vid  $F = 0,4$ .

/1/ Gun Astri Svedjemark, The equilibrium factor  $F$   
Health Physics, August 1983.

Ronneby 1983-11-22  
Stefan Westerberg

#### A.2.3 Statens Geotekniska Institut

Statens Geotekniska Institut deltog med 30 detektorer  
i form av Öppen filmremsa. För detektorerna angavs  
följande data:

film:	Kodak LR-115 Type II
filmyta:	$1 \times 4 \text{ cm}^2$
framkallning:	10 % NaOH, 1 h 40 min
mikroskop:	x200
räknad yta:	$5 \text{ mm}^2$
omräkning:	$0,288 \text{ spår/mm}^2 \text{d} = 1 \text{ kBq/m}^3 \text{ radon}$
F-faktor:	0,5

Detektorerna exponerades 13 juni - 5 september. I övre rummet exponerades 14 detektorer och i nedre rummet 15 detektorer. En detektor, nr A125, exponerades i avvikande miljö. Resultatet har sammanställts i tabell A-11 och presenteras grafiskt i figur A-39 för det övre rummet och figur A-40 för det nedre rummet.

Resultatet visar god överensstämmelse för radon och radondöttrar i övre rummet och för radondöttrar i nedre rummet. I nedre rummet underskattas radonhalten med ca 25 %. Detta fel elimineras genom att jämviktsfaktorn varit 0,38 istället för schablonmässigt antaget 0,5, varför den mycket goda samstämmigheten kan antas delvis vara resultat av slumpen.

Tabell A-11 Sammanställning av mätresultat för öppen spårfilm från Statens Geotekniska Institut. Angivna mätvärden uttryckta i koncentration av radondöttrar har omräknats till radonkoncentration med jämviktsfaktorn  $F=0,5$

ÖVRE RUMMET			NEDRE RUMMET		
Film nr	Radon	Radon-	Film nr	Radon	Radon-
nr	Bq/m <sup>3</sup>	döttrar	nr	Bq/m <sup>3</sup>	döttrar
		Bq/m <sup>3</sup>			Bq/m
A1 2	298	149	A1 1	852	426
3	232	116	4	860	430
8	338	169	5	794	397
10	290	145	6	884	442
11	396	198	7	860	430
15	306	153	9	710	355
16	330	165	12	636	318
18	396	198	13	918	459
21	330	165	14	818	409
22	282	141	17	702	351
23	396	198	19	892	446
24	364	182	20	826	413
26	496	248	28	636	318
27	364	182	29	934	467
			30	860	430
Medelv	344	172		812	406 Bq/m <sup>3</sup>
Medelv i % av ref.värde	94	104		75	97
Std.avvi- kelse	66	33		96	48 Bq/m <sup>3</sup>
Std.avvi- kelse %	19	19		12	12
Ref.värde	365	165		1088	419 Bq/m <sup>3</sup>

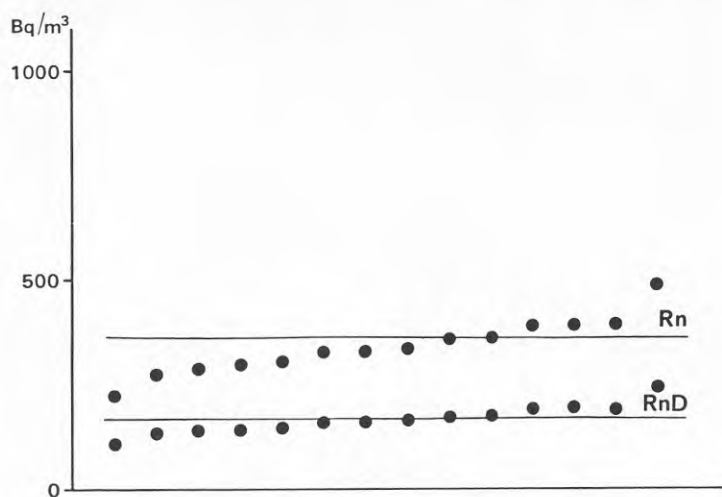


Fig A-39 Grafisk presentation av resultat med öppen spårfilm från Statens Geotekniska Institut i övre rummet. Mätvärdena är markerade dels i  $\text{Bq/m}^3$  radon, dels i  $\text{Bq/m}^3$  radondöttrar efter multiplicering med jämviktsfaktor  $F = 0,5$

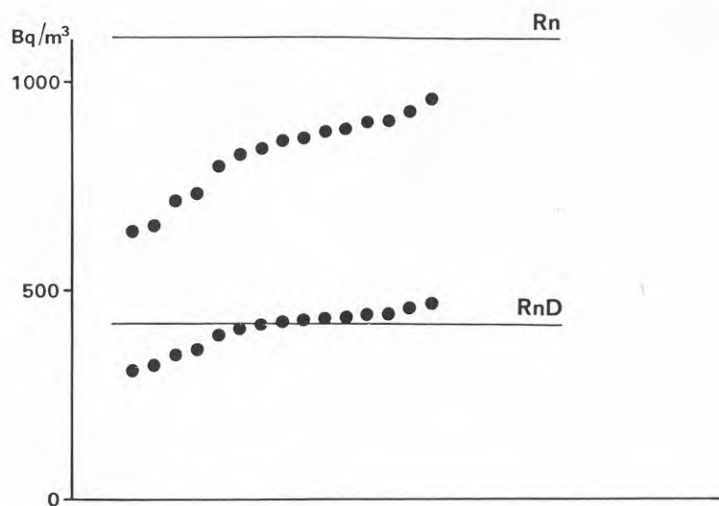


Fig A-40 Grafisk presentation av resultat med öppen spårfilm från Statens Geotekniska Institut i nedre rummet. Mätvärdena är markerade dels i  $\text{Bq/m}^3$  radon, dels i  $\text{Bq/m}^3$  radondöttrar efter multiplicering med jämviktsfaktor  $F = 0,5$

De resultat som angivits ovan hade framtagits med en genomsnittlig kalibreringsfaktor härledd för ett flertal filmpartier. Efter kalibrering av det aktuella filmpartiet har samtliga mätvärden justerats upp 17 %. Med anledning härav har SGI inkommit med följande kommentar:

De i rapporten relaterade mätvärdena från SGI, avsnitt A.2.3, baseras på en omräkningsfaktor för Kodak LR 115 typ II, hämtad från litteraturen. Efter kalibrering i institutets radonkammare har vi kommit fram till att alla resultat avseende den aktuella filmleveransen skall multipliceras med 1,17.

Efter omräkning fås då:

	Övre rummet		Nedre rummet	
	Rn	RnD	Rn	RnD
Medelvärde	402	201	950	475
Medelvärde i % av ref.värdet	110	122	87	113
Stdavvikelse	76	38	113	57
Stdavvikelse i %	19	19	12	12

Bengt Rosén

#### A.2.4 Fysiska Institutionen, Lunds Universitet, Gilbert Jönsson

Lunds Universitet har deltagit med 20 st öppna detektorer bestående av två filmremsor hänganade i samma tråd med ca 25 cm vertikalt mellanrum. Av dessa exponerades 9 i det övre, 10 i det nedre rummet och 1 i avvikande miljö.

Resultaten har sammanställts i tabell A-12 och presenteras grafiskt i figur A-41 för det övre rummet och i figur A-42 för det nedre rummet.

Tabell A-12 Sammanställning av mätresultat för öppen spårfilm från Fysiska Institutionen, Lunds Universitet, Gilbert Jönsson

ÖVRE RUMMET		NEDRE RUMMET	
film nr	Radon döttrar Bq/m <sup>3</sup>	film nr	Radon döttrar Bq/m <sup>3</sup>
test 1	77 <u>+13</u>	test 2	421 <u>+48</u>
3	126 <u>+18</u>	7	254 <u>+32</u>
4	99 <u>+15</u>	8	290 <u>+36</u>
5	93 <u>+15</u>	9	187 <u>+24</u>
11	119 <u>+17</u>	10	313 <u>+39</u>
12	120 <u>+17</u>	14	232 <u>+30</u>
13	113 <u>+17</u>	15	247 <u>+31</u>
18	117 <u>+17</u>	16	261 <u>+33</u>
19	102 <u>+15</u>	17	218 <u>+28</u>
		20	228 <u>+29</u>
Medelv	107		265 Bq/m <sup>3</sup>
Medelv i % av ref värde	65		63
Std.avvik.	16		65 Bq/m <sup>3</sup>
Std.avvik %	15		25
Ref.värde	165		419 Bq/m <sup>3</sup>

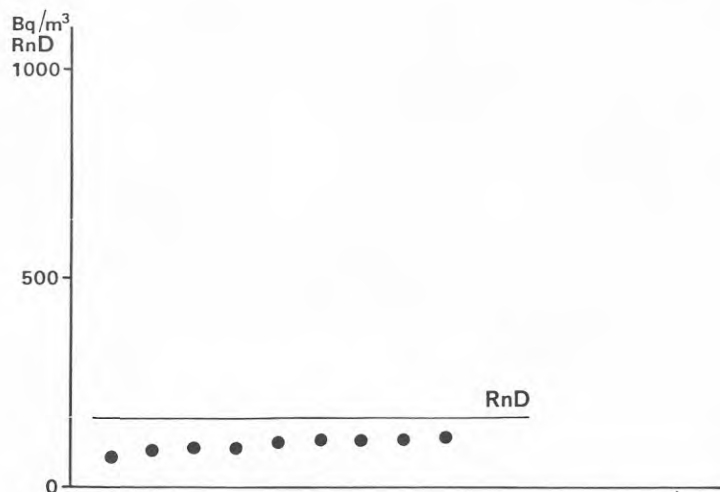


Fig A-41 Grafisk presentation av resultat med öppen film från Fysiska Institutionen, Lunds Universitet, i övre rummet

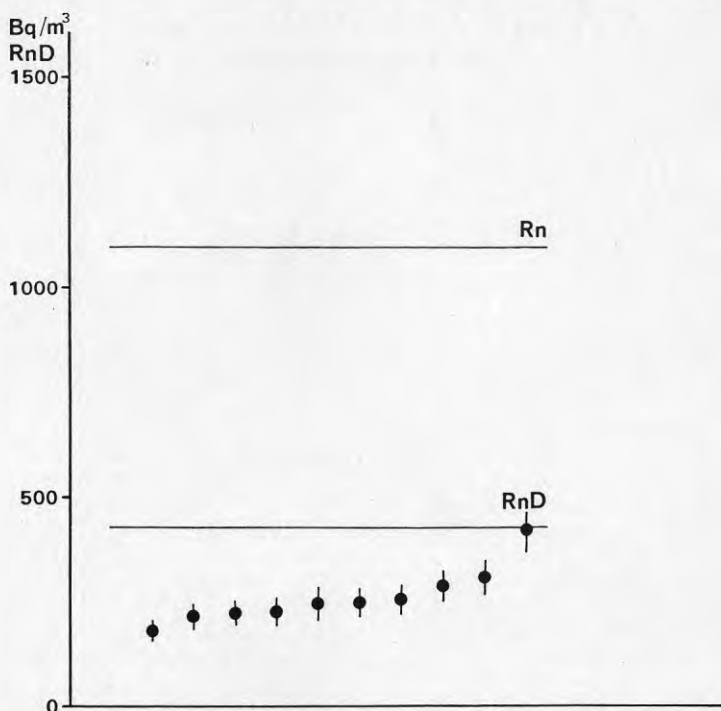


Fig A-42 Grafisk presentation av resultat med öppen film från Fysiska Institutionen Lunds Universitet, nedre rummet

I bägge rummen underskattas radondotterhalten med ca 35 %. Gilbert Jönsson har angivit följande förklaring och kommentar till resultatet:

- 1) Framkallningen av filmerna är inte tillfredsställande på grund av skador på laboratorieutrustningen (raserad vägg p g a blixtnedslag).
- 2) Nedre rummet: En film (test 2) har avvikande resultat. Förklaringen till detta kan ej ges då bl a uppgifter om filmernas exakta upphängningsposition inte finns. Om den avvikande filmen tas bort ur beräkningen så blir standardavvikelsen  $38 \text{ Bq/m}^3$ , dvs 15 %. Om upphängningskoordinaterna för alla filmer i undersökningen funnits så kunde man se hur/om radon-/radondotterhalten varierar i olika delar av rummet. Rummet är ju fläktventilerat.
- 3) Medelvärdets nivå ligger 37 % under "korrekt värde". Detta är inte tillfredsställande. Ny avläsning av filmerna med dubbel förstöringsgrad på mikroskopet ger ett medelvärde som endast avviker 8 % från "korrekt värde", vilket får anses tillfredsställande. Att avläsning med dubbel förstöring tydligen behövs beror på 1).

### A.2.5. Sammanställning av resultat med Öppen spårfilm

Resultat erhållna med de fyra deltagande typerna av öppen spårfilm har sammanställts i figur A-43 - A-46.

Figur A-43 presenterar resultat uttryckta i radonkoncentration för det övre rummet. Terradex B överskattar i detta fall radonhalten med 74 % medan SGI ger god bild. I figur A-44 presenteras resultat för samtliga fyra filmtyper i övre rummet uttryckta i koncentration av radondöttrar. Medelvärdet för grupperna varierar en faktor 3 från  $107 \text{ Bq/m}^3$  för film från Lunds Universitet till  $317 \text{ Bq/m}^3$  för Terradex B.

Figur A-45 illustrerar resultat för det nedre rummet uttryckta i radonkoncentration. I detta fall överskattar Terradex B radonhalten med 83 % medan SGIs filmer underskattar densamma med 25 %. Figur A-46 slutligen illustrerar resultat uttryckt i koncentration av radondöttrar för de fyra olika detektortyperna i det nedre rummet. SGIs filmer ger i detta fall en korrekt bestämning av radondotterhaltens medelvärde under exponeringstiden. Filmerna från Strålskyddstjänst AB ger 59 % överskattning av radondotterhalten och Terradex B ger i medeltal ett värde som är 2,38 gånger det korrekta värdet. Filmer från Lunds Universitet ger i medeltal 37 % underskattning av radondotterhalten.

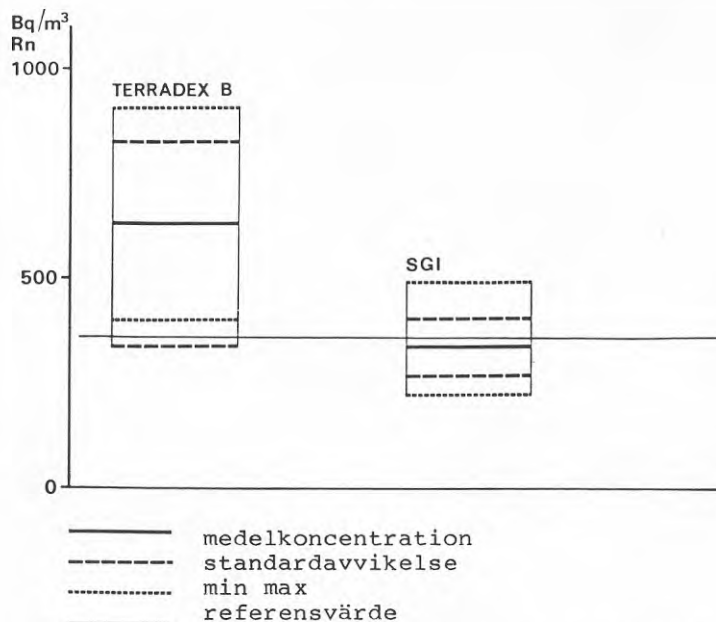


Fig A-43 Sammanställning av resultat från mätningar med öppen film i övre rummet, uttryckt i radonkoncentration



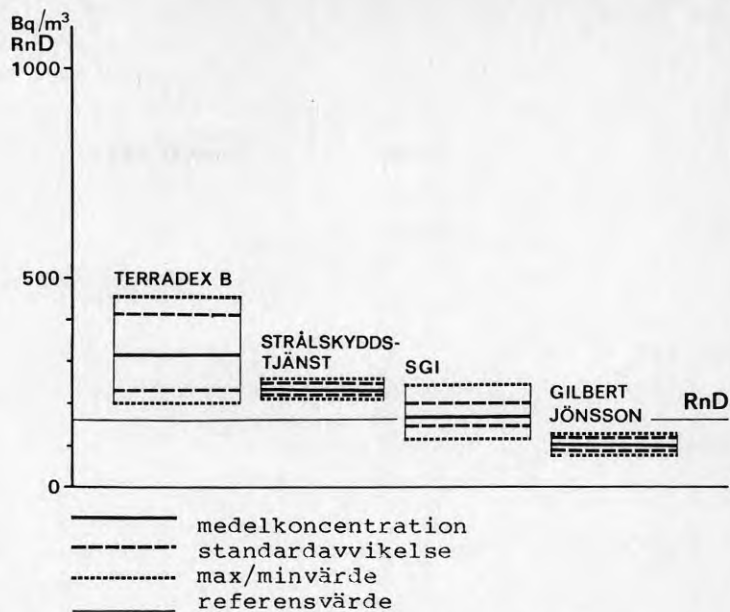


Fig A-44 Sammanställning av resultat från mätningar med öppen film i övre rummet, uttryckt i koncentration av radondöttrar

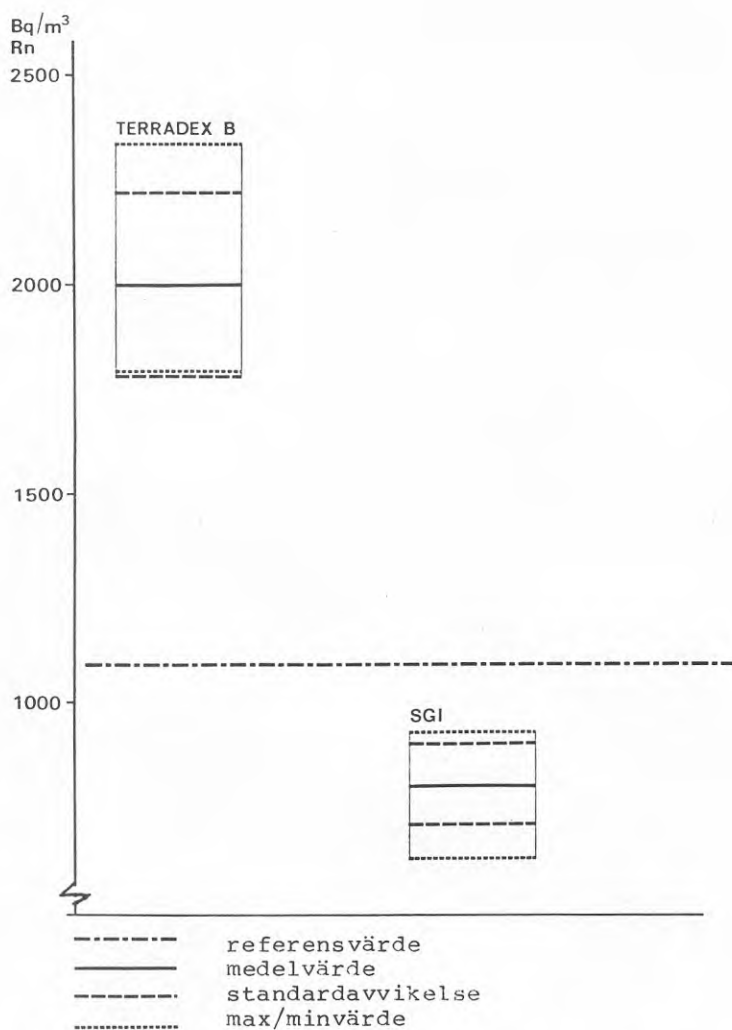


Fig A-45 Sammanställning av resultat från mätningar med öppen film i nedre rummet, uttryckt i radonkoncentration.

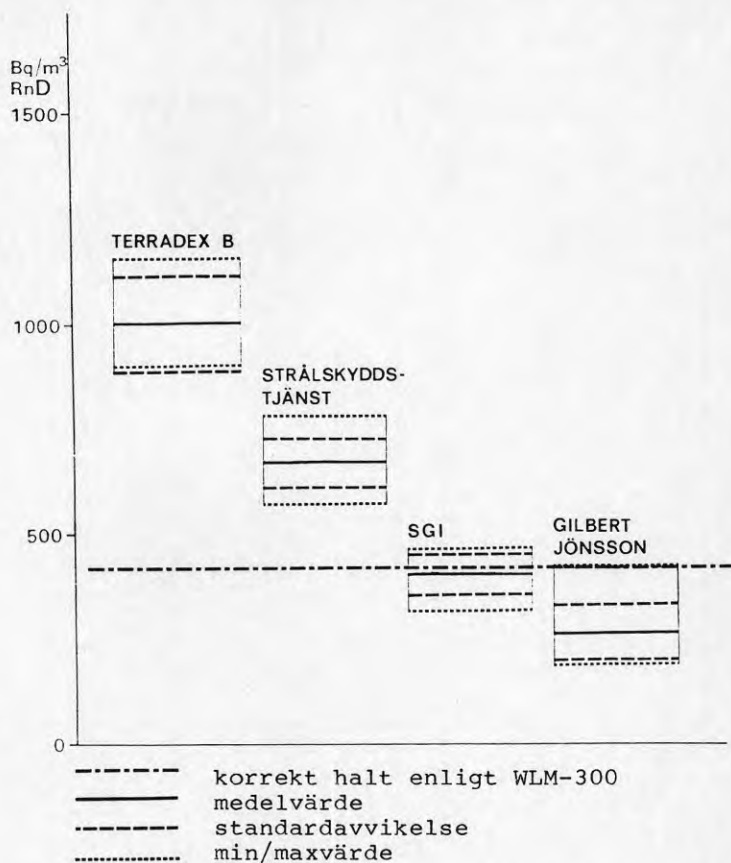


Fig A-46 Sammanställning av resultat från mätningar med öppen film i nedre rummet, uttryckt i koncentration av radondöttrar

A.3 Resultat av jämförande mätning med olika typer av film monterad i kopp, dosa m m

I mätningen har deltagit detektorer monterade i kopp, dosa och diagram med pappskiva från:

- Terradex corp via Atlas Copco ABEM AB
- Fysiska institutionen, Lunds universitet, Gilbert Jönsson

Detektorerna har för Terradex varit av typ M, F, SM, SF och för Lunds Universitet en nyutvecklade typ benämnd H.

A.3.1 Terradex\_M

Terradex M är en plastkopp med en spårfilm monterad i botten. Koppens öppning är täckt av en plastmembran som utestänger såväl radondöttrar som thoron. Plastmembranet gör att detektorn blir mindre känslig än om koppen i stället täckts med ett filter, typ F, och används därför huvudsakligen där man har anledning befara bidrag från thoron, dvs i mark utom i alunskifferområden. Mätningen omfattade 20 st detektorer Terradex M, varav 9 exponerades i det övre rummet, 10 i det nedre rummet och 1 i en avvikande miljö. Resultatet har sammanställts i tabell A-13 och figur A-47 och A-48. Man kan se en viss systematisk skillnad mellan de detektorer som har nr 8072-8080 jämfört med nr 8381-8390. De senare synes i allmänhet ha givit högre värden och något större spridning.

Tabell A-13 Sammanställning av resultat erhållna med spårfilm monterad i kopp försedd med plastmembran, Terradex typ M

ÖVRE RUMMET		NEDRE RUMMET	
Detektor nr	Radon Bq/m <sup>3</sup>	Detektor nr	Radon Bq/m <sup>3</sup>
		8072	1906
8074	588	8073	1851
8075	409	8078	1560
8076	505	8079	1583
8077	491	8080	1717
8381	706	8384	2080
8382	910	8385	2324
8383	726	8386	1970
8387	560	8389	1772
8388	1481	8390	1631
Medelvärde	708		1839 Bq/m <sup>3</sup>
Medelvärde, % av referensvärde	194		169
Standardavvikelse	326		241 Bq/m <sup>3</sup>
Standardavvikelse %	46		13
Referensvärde	365		1088

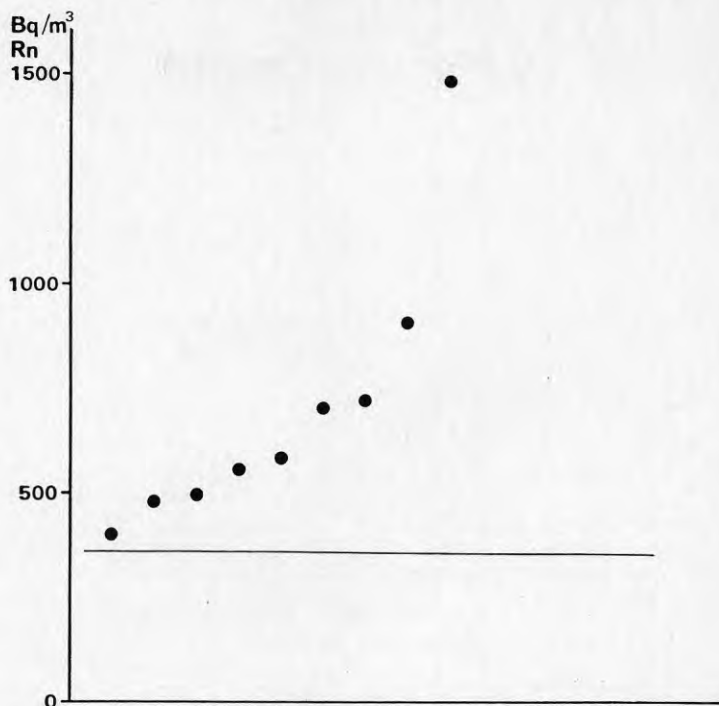


Fig A-47 Grafisk presentation av resultat med spår-film monterad i kopp försedd med plast-membran, Terradex typ M i det övre rummet. Referensvärdet har markerats med horison-tell linje.

Atlas Copco ABEM har påpekat att detektor typ M är avsedd för markmätningar. Vid mätning i bostadsmiljö bör man använda F, SF eller SM. Det erhållna resultatet, en överskattning av radonhalten med 69 resp 94 %, uppges strida mot resultat från andra undersökningar där denna detektortyp deltagit.

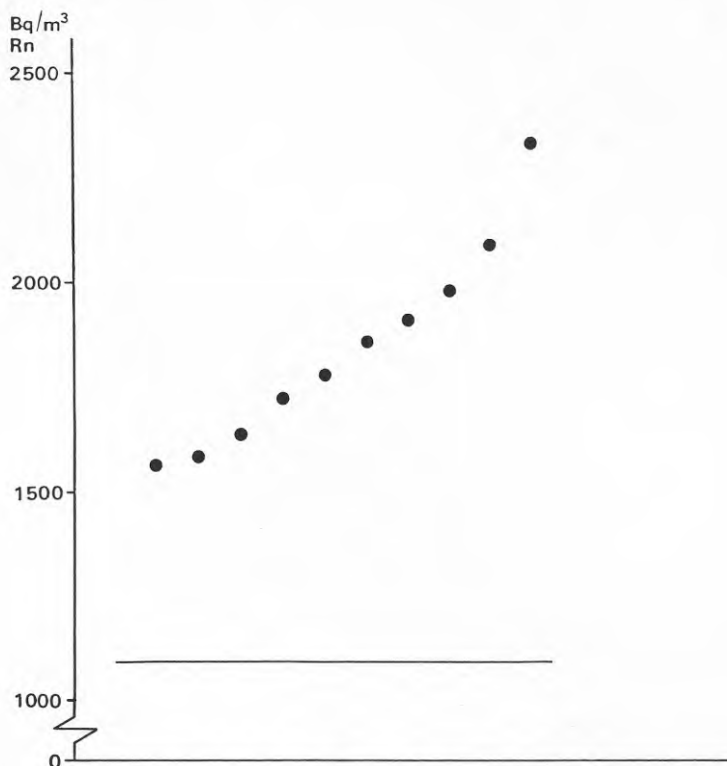


Fig A-48 Grafisk presentation av resultat med spår-film monterad i kopp försedd med plastmem-bran, Terradex typ M i det nedre rummet

### A.3.2 Terradex\_F

Terradex typ F är en plastkopp med en spår-film monterad i botten. Koppens öppning täcks av ett filter, som hindrar radondöttrar att påverka spår-filmer. Mätningen omfattade 20 st detektorer Terradex F, varav 9 exponerades i det övre rummet, 10 i det nedre rummet och 1 i en avvikande miljö. Resultatet har sammanställt i tabell A-14 och figur A-49 och A-50.

Tabell A-14 Sammanställning av resultat erhållna med spår-film monterad i kopp försedd med filter, Terradex typ F

ÖVRE RUMMET		NEDRE RUMMET	
Detektor nr	Radon Bq/m <sup>3</sup>	Detektor nr	Radon Bq/m <sup>3</sup>
8661	415	8663	1097
8662	406	8664	1233
8666	417	8665	1025
8669	360	8667	1046
8672	362	8668	902
8673	406	8670	1216
8677	321	8671	1250
8678	368	8675	1652
8680	518	8676	1423
		8679	1300
Medelvärde	397		1214 Bq/m <sup>3</sup>
Medelvärde, % av referensvärde	109		112
Standardavvikelse	+56		+216 Bq/m <sup>3</sup>
Standardavvikelse %	+14		18
Referensvärde	365		1088 Bq/m <sup>3</sup>

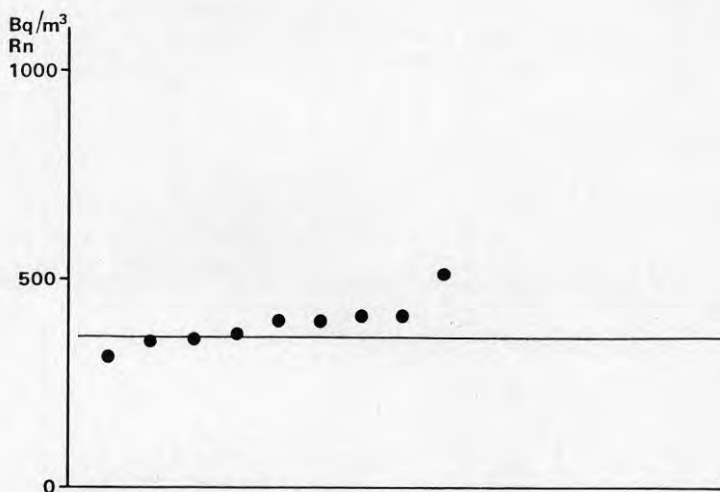


Fig A-49 Grafisk presentation av resultat med spår-film monterad i kopp försedd med filter, Terradex typ F i det övre rummet. Referensvärdet har markerats med horisontell linje.

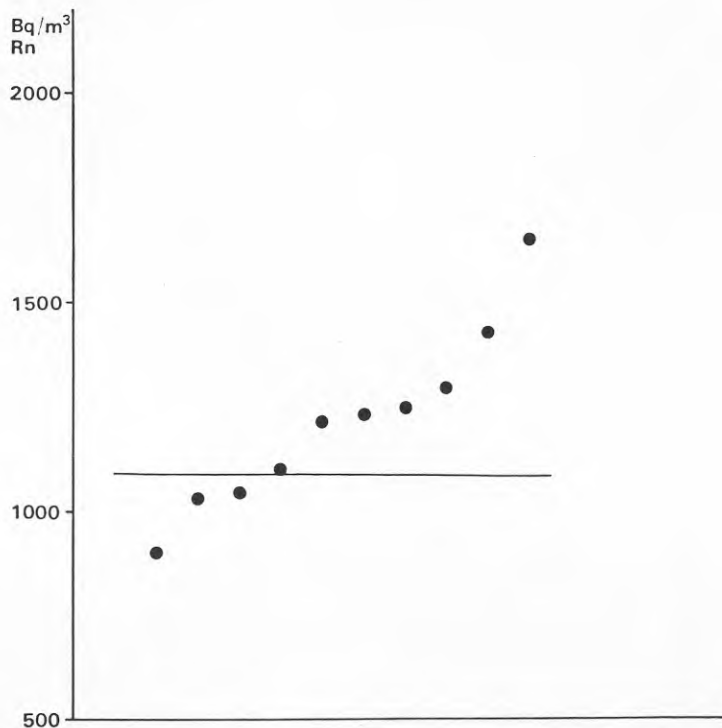


Fig A-50 Grafisk presentation av resultat med spår-film monterad i kopp försedd med filter, Terradex typ F i det nedre rummet

### A.3.3 Terradex SM

Terradex SM är en spårfilm monterad i en liten dosa som avskärmas från omgivningen med ett plastmembran likt Terradex M. I mätningen deltog 10 st detektorer av denna typ, 5 exponerade i vardera rummet. Resultatet har sammanställts i tabell A-15 och i figur A-51 och A-52.



Tabell A-15 Sammanställning av resultat erhållna med spårfilm monterad i liten dosa försedd med plastmembran, Terradex SM

ÖVRE RUMMET		NEDRE RUMMET	
Detektor nr	Radon Bq/m <sup>3</sup>	Detektor nr	Radon Bq/m <sup>3</sup>
167361	265	167363	856
167362	256	167366	795
167364	262	167367	875
167365	333	167369	856
167368	263	167370	930
Medelvärde	276		862 Bq/m <sup>3</sup>
Medelvärde, % av referensvärde	76		79
Standardavvikelse	32		+48 Bq/m <sup>3</sup>
Standardavvikelse %	+12		+ 6
Referensvärde	365		1088 Bq/m <sup>3</sup>

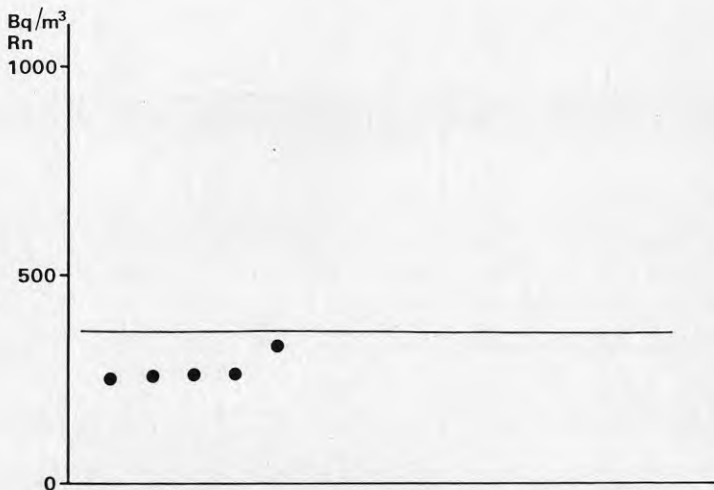


Fig A-51 Grafisk presentation av resultat med spårfilm monterad i liten dosa försedd med plastmembran, Terradex SM i det övre rummet. Referensvärdet har markerats med horisontell linje.

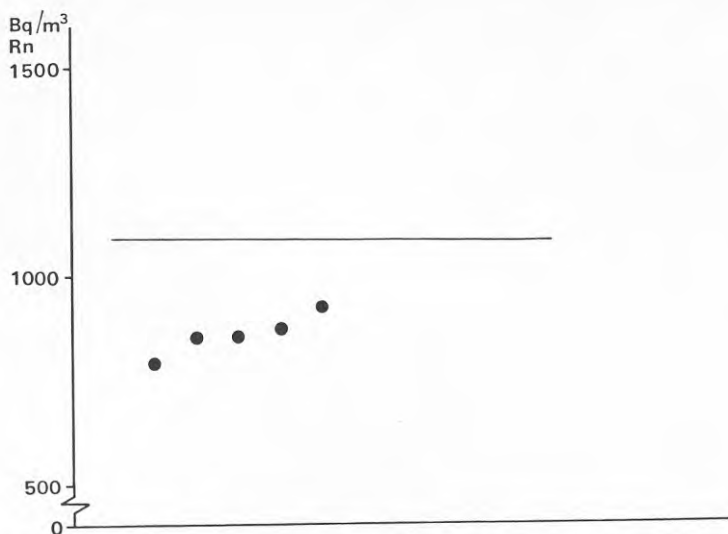


Fig A-52 Grafisk presentation av resultat med spår-film monterad i liten dosa försedd med plastmembran, Terradex SM i det nedre rummet

#### A.3.4 Terradex\_SF

Terradex SF är en spår-film monterad i en liten dosa som avskärmas från omgivningen med ett filter likt Terradex F. I mätningen deltog 10 st detektorer av denna typ, 5 exponerade i vardera rummet.

Resultaten har sammanställts i tabell A-16 och i figur A-53 och A-54.

Tabell A-16 Sammanställning av resultat erhållna med spår-film monterad i liten dosa försedd med filter, Terradex SF

ÖVRE RUMMET		NEDRE RUMMET	
Detektor nr	Radon Bq/m <sup>3</sup>	Detektor nr	Radon Bq/m <sup>3</sup>
160001	327	160002	829
160004	418	160003	881
166624	300	166621	1069
166625	260	166622	986
166626	280	166623	1118
Medelvärde	317		975
Medelvärde, % av referensvärde	87		90
Standardavvikelse	+62		+124
Standardavvikelse %	+19		+ 13
Referensvärde	365		1088 Bq/m <sup>3</sup>

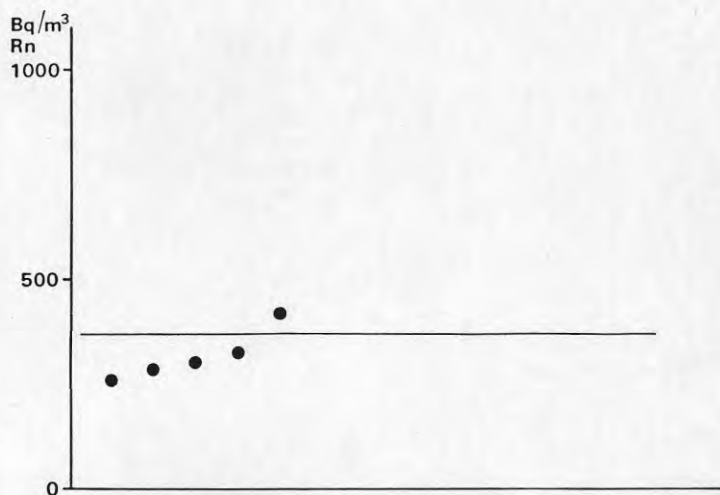


Fig A-53 Grafisk presentation av resultat erhållna med spårfilm monterad i liten dosa försedd med filter, Terradex SF, i det övre rummet

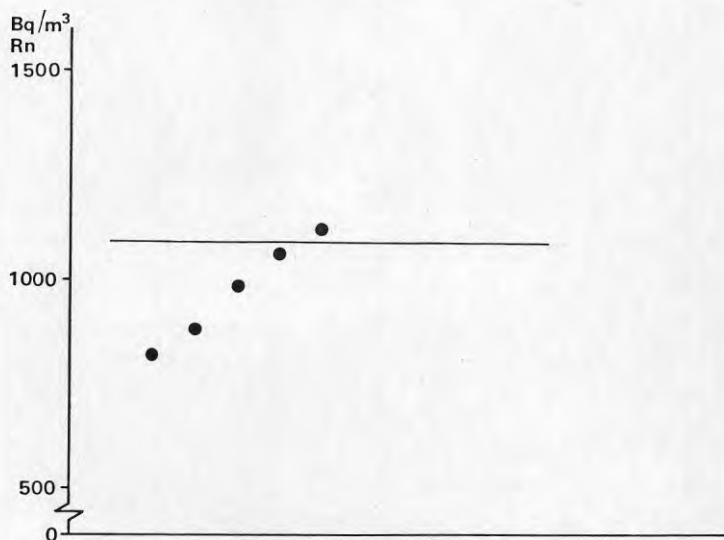


Fig A-54 Grafisk presentation av resultat erhållna med spårfilm monterad i liten dosa försedd med filter, Terradex SF, i det nedre rummet

I bägge rummen har i medeltal erhållits högre mätvärden med detektorer typ SF än typ SM. I princip skiljer sig dessa detektorer åt genom att SF registrerar förekomst av både radon och toron (radon-222 och radon-220) i luften medan SM endast registrerar radon-222. Membranet i detektorer av typ SM har nämligen ett sådant diffusionsmotstånd att toron hinner sönderfalla i membranet medan radon-222 med sin mycket längre halveringstid hinner diffundera genom membranet. Diffussionen genom filtret vid typ SF är däremot så snabb att även toron hinner diffundera in i detektorn i sådan utsträckning att det kan påverka mätvärdet. Om man antar att hela differensen mellan medelvärdet för mätvärden med detektorer typ SF och SM beror på ett bidrag av toron följer att ca 12 % av utslaget med detektor SF är hänförligt till förekomst av toron.

Mot denna hypotes talar att det relativa bidraget av toron i så fall skulle vara lika stort i bägge rummen. Detta är osannolikt eftersom det övre rummet bedöms få en stor del av sitt radon från skifferbaserad lättbetong medan det nedre rummet till helt övervägande del får radon från underliggande grusås.

Antalet räknade spår avgör vilken standardavvikelse som kan förväntas i enskild mätning. Antalet spår påverkas av:

- a) Alfaaktiviteten i rummet
- b) Räkneytans storlek
- c) Detektorns känslighet.

Utgående från känd kalibreringsfaktor, radonhalt och exponeringstid, har den teoretiska poissonfördelningen beräknats. För Terradexdetektorerna kan därefter göras följande jämförelse mellan teoretisk standardavvikelse beroende på räknestatistik och i verkligheten erhållen spridning.

#### ÖVRE RUMMET

Tracketch typ	F	SF	SM
Teoretisk spridning vid räkning av spår över 1,15 mm <sup>2</sup>	14 %	23 %	24 %
Verkligt resultat	13 %	19 %	12 %

#### NEDRE RUMMET

Tracketch typ	F	SF	SM
Teoretisk spridning vid räkning av spår över 1,15 mm <sup>2</sup>	10 %	18 %	19 %
Verkligt resultat	18 %	13 %	6 %

Fem av de sex mätserierna visar mindre spridning än vad som teoretiskt förväntas till följd enbart av räknestatistik. Detta talar mot förekomst av gradienter för radonkoncentrationens långtidsmedelvärde inom den volym där detektorerna exponerats, eftersom förekomst av sådana gradienter skulle ha samverkat med den statistiska spridningen och givit en sammanlagd större spridning.

Mätvärdenas medelvärde för de olika typerna av film-detektorer i kopp från Terradex för de två rummen uttryckta i procent av referensvärdet kan sammanfattas:

	ÖVRE RUMMET	NEDRE RUMMET
Detektor typ F	109 %	112 %
" SM	76 %	79 %
" SF	87 %	90 %

Atlas Copco ABEM har påpekat att deras detektorer, till skillnad mot övriga deltagande detektorer, har kalibrerats eller kontrollerats mot inte bara SSIs radonkammare utan även mot motsvarande kamrar vid Environmental Measurements Laboratory (EML) i New York, Environmental Protection Agency (EPA), US Bureau of Mines (USBM), Argonne National Laboratory (ANL), National Radiation Protection Board (NRPB) m fl.

Terradex måtsättning uppges ha varit att väga in resultat från prov i så många radonkamrar som möjligt i sina kalibreringsfaktorer. Detta innebär att en viss avvikelse mellan SSIs radonkammare och övriga kammare bör återfinnas som ett bidrag till medelvärdets avvikelse från referensvärdet. Eftersom det förekommer avvikelser både uppåt och nedåt är en sådan effekt av underordnad betydelse jämfört med andra faktorer.

#### A.3.5 Fysiska Institutionen, Lunds Universitet Gilbert Jönsson, detektor typ H

Detektor typ H utgörs av spårfilm monterad i diaram och avskärmd från omgivningen med en pappskiva monterad på ett par mm avstånd från spårfilmen. Av denna typ deltog 20 st detektorer i mätningarna. Nio st exponerades i det övre och tio st i det nedre rummet och en detektor i en avvikande miljö.

Resultaten har sammanställts i tabell A-17 och i figur A-55 och A-56. I medeltal visade detektorerna i bägge rummen 15 % lägre värde än referensvärdet. Spridningen motsvarade en standardavvikelse på 37 resp 40 %.

Tabell A-17 Sammanställning av resultat erhållna med spärfilm typ H från Fysiska Inst, Lunds Universitet, Gilbert Jönsson

ÖVRE RUMMET			NEDRE RUMMET		
film nr	Bq/m <sup>3</sup>	RnD	film nr	Bq/m <sup>3</sup>	RnD
H 42	142	+18	H 41	256	+31
H 45	97	+14	H 43	748	+90
H 46	206	+25	H 44	368	+40
H 47	100	+14	H 49	279	+33
H 50	103	+14	H 51	306	+37
H 53	228	+27	H 52	343	+38
H 55	118	+15	H 54	294	+35
H 57	165	+21	H 56	290	+35
H 59	88	+13	H 58	371	+41
			H 60	314	+38
Medelvärde	138			357	Bq/m <sup>3</sup>
Medelvärde, % av referensvärde	84			85	
Standardavvikelse	51			142	Bq/m <sup>3</sup>
Standardavvikelse %	37			40	
Referensvärde	165			419	Bq/m <sup>3</sup>

Gilbert Jönsson har lämnat följande kommentarer med anledning av resultatet:

- 1) Framkallningen av filmen är inte tillfredsställande på grund av skador på laboratorieutrustningen (raserad vägg p g a blixtnedslag).
- 2) Nedre rummet: En film (H43) ger avvikande värde. Förklaringen till detta finns ej då bl a uppgifter om filmernas exakta upphängningsposition inte finns. Om den avvikande filmen tas bort ur beräkningen så blir standardavvikelsen 40 Bq/m<sup>3</sup>, dvs 13 % vilket svarar mot förväntat resultat trots 1).

Övre rummet: Någon förklaring till värdet på standardavvikelsen där finns inte. Inte heller här är den exakta positionen av upphängningspunkterna kända. Dessutom vet vi inte om 1) har betydelse här eller om det är något 'skumt' med rummet som sådant. T ex så sjunker ju radonhalten långsamt under mätperioden enligt fig A-1.

Om upphängningskoordinaterna för alla filmerna i undersökningen vore kända så kunde man se hur/om radon-radondotterhalten varierar i rummet. Åtminstone nedre rummet är ju fläktventilerat.

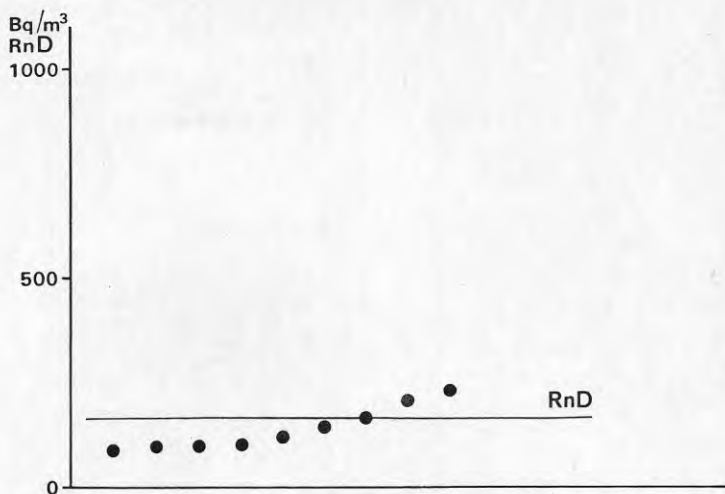


Fig A-55 Grafisk presentation av resultat erhållna med spårfilm typ H från Gilbert Jönsson, Fysiska Inst, Lunds Universitet. Exponering i det övre rummet.

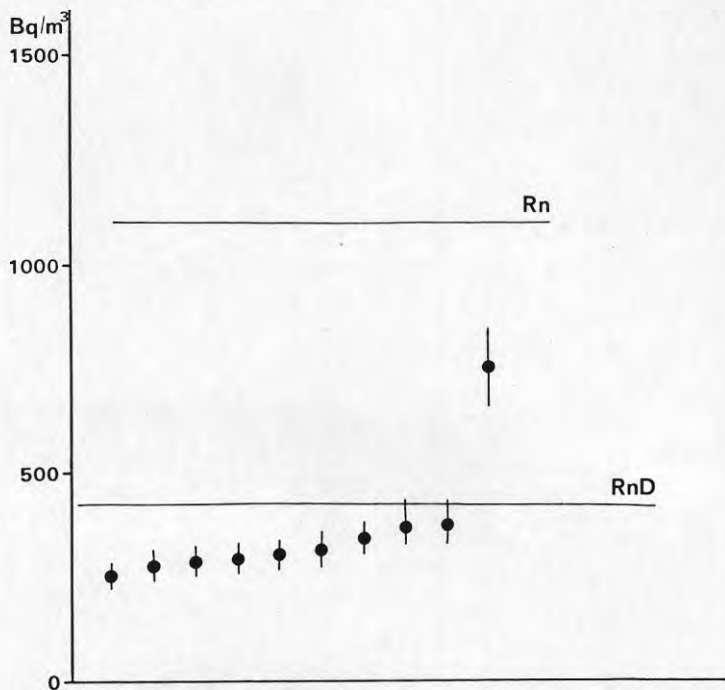
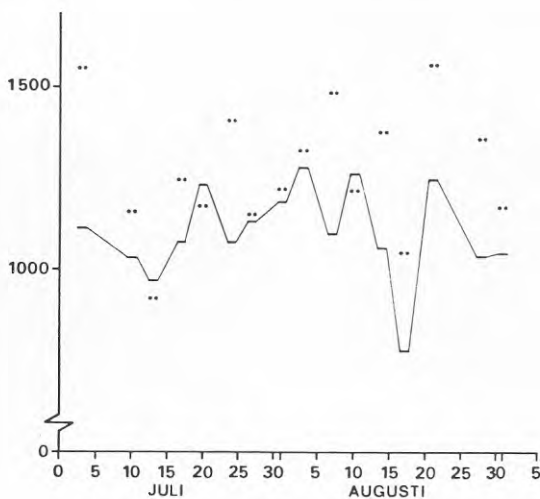


Fig A-56 Grafisk presentation av resultat erhållna med spårfilm typ H från Gilbert Jönsson, Fysiska Inst, Lunds Universitet. Exponering i det nedre rummet.

#### A.4 Resultat av mätning med detektorer baserade på aktivt kol

SSI exponerade grupper av detektorer baserade på aktivt kol i det nedre rummet under tiden 30 juni - 5 september. Detektorerna byttes varje måndag och torsdag, varför mätperioderna, totalt 18, blev omväxlande 3 och 4 dygn. Under varje mätperiod har 2 - 5 detektorer exponerats.

I tabell A-18 har resultaten sammanställts. För de enskilda mätperioderna har medelvärdet av detektorernas mätvärden varierat mellan 5 % lägre och 40 % högre än medelvärdet av radonhalten under mätperiodens sista dygn enligt registrering med jonkammare. I fig A-57 illustreras radonhalt enligt jonkammare och grupp av detektorer baserade på aktivt kol för 16 perioder.



— Horisontell del markerar radonhaltens medelvärde under mätperiodens sista dygn

\*\* Medelvärde för mätvärden erhållna med detektorer baserade på aktivt kol

Fig A-57 Radonhalt bestämd med grupper av detektorer baserade på aktivt kol och medelvärde av radonhalt bestämd med jonkammare för exponeringens dygn för 16 mätningar under tiden 30 juni - 5 sept

Detektorer baserade på aktivt kol ger ett mätvärde som är mer beroende av radonhalten under mätperiodens slutskede än dess inledning, beroende på att radon som adsorberas tidigare delvis hinner sönderfalla samt att vid varierande radonhalt i detektorns omgivning en anpassning sker mot den radonhalt som föreligger vid mätperiodens slutskede genom adsorption eller desorption. Detektorer baserade på kol är därför inte integrerande.



Period	Detektorer med 90 g kol				Detektorer med 100 g kol				Radonhalt jonkammare **	Radonhalt enl kol CM-gavvikelse från jonkammare, %
	typ CDV, avläsn efter antal tim	radon Bq/m <sup>3</sup>	antal detektorer	antal radior	typ Picalif, avläsn efter antal tim	radon Bq/m <sup>3</sup>	antal detektorer	antal radior Bq/m <sup>3</sup>		
830630-0704	97	1553	2	-					1111±166	+40
830704-11	97	1156	3	-				1030±65	+12	
830711-14	97	922	3	-				968±112	- 5	
830714-18	3,7	1244	3	-				1072±153	+16	
830718-21	97	1172	3	-				1230±43	- 5	
830721-25	3,7	1405	2	-				1072±42	+31	
830725-28	97	1149	3	-				1129±82	+ 2	
830728-0801	3,7	1219	3	-				1181±49	+ 3	
830801-04	97	1326	2	-				1278±26	+ 4	
830804-08	3,7	1484	2	-				1095±166	+36	
830808-11	97	1215	3	-				1261±57	- 4	
830811-15	3,7	1376	3	1511				1058±165	+30	
830815-18	97	1045	2	-	97	892		778±122	+34	
830818-22	3,7	1565	2	-	3,7	1403	1375(118)	1247±200	+26	
830822-25	97	1485	3	-	97	1007		-	-	
830825-29	3,7	1335	3	-	3,7	1093		1034±59	+29	
830829-0901	97	1169	3	1160	97	920	955(128)	1043±139	+12	
830901-05	97	938	3	1046	97	832	951(188)	-	-	

\* Bestämning av radonhalt utförd så att aktivitetens sönderfall följts genom flera ommätningar. Resultaten vid periodens mittpunkt har viktats varvid punkter med flest counts givits störst betydelse.

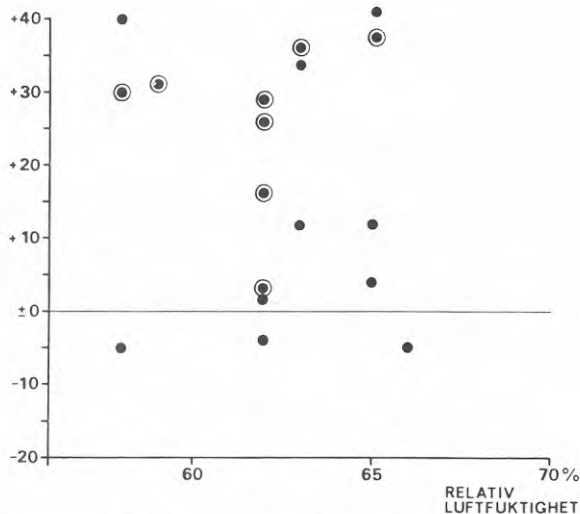
\*\* Radonhaltens medelvärde enligt jonkammare för mätperiodens sista dygn.

medelvärde samtliga standardavvikelse  
avläsn efter 3,7 h medelvärde ±11 %  
standardavvikelse  
avläsn efter 97 h medelvärde ±10 %  
standardavvikelse

Tabell A-18 Sammanställning av resultat av mätning med detektorer från SSI, baserade på aktivt kol

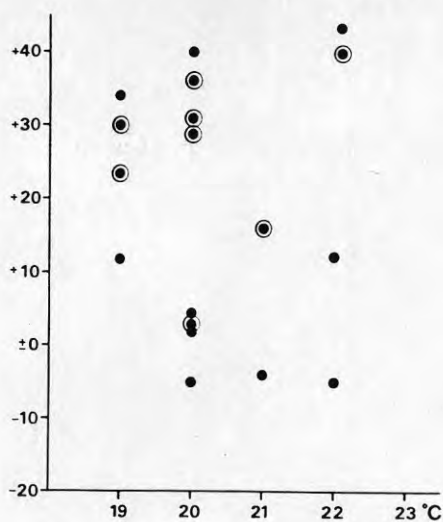
Detektorerna analyserades efter 3,7 eller 97 timmar efter avslutad mätning. Trots att mätvärdena korrigerats för det sönderfall som ägt rum fram till avläsning kan man se en skillnad i resultat relaterat till efter hur lång tid efter avslutad mätning som detektorn avlästs. För de grupper som avlästs efter 3,7 h blev medelvärdet 24 % högre än jonkammarens registrering med standardavvikelsen +11 %. De grupper av detektorer som avlästs först 97 h efter det att mätningen avslutats visade i medeltal 10 % högre radonhalt än jonkammaren. Standardavvikelsen var i detta fall +17 %. Detta indikerar att mängden radon i detektorn minskar snabbare än genom radioaktivt sönderfall och att minskningen varierar något från detektor till detektor.

För att illustrera eventuell betydelse av relativa luftfuktighet och temperatur har avvikelsen mellan medelvärdet av mätvärdet för resp grupp av detektorer och radonhaltens medelvärde under sista dygnet av mätperioden enligt jonkammaren avsatts mot relativ luftfuktighet i fig A-58 och mot temperatur under mätperiodens sista dygn i fig A-59.



- Avläsning 97 h efter avslutad mätning
- ⊙ " " 3 h " " " "

Fig A-58 Avvikelse mellan radonhalt bestämd med en grupp detektorer baserade på aktivt kol och radonhaltens medelvärde enligt jonkammare under exponeringens sista dygn som funktion av relativ luftfuktighet under sista dygnet av exponeringstiden



• Avläsning 97 h efter avslutad mätning  
 ● " 3 h " " " "

Fig A-59 Avvikelse mellan radonhalt bestämd med en grupp detektorer baserade på aktivt kol och radonhaltens medelvärde enligt jonkammare under exponeringens sista dygn som funktion av temperaturens medelvärde under sista dygnet av exponeringstiden.

#### A.5 Resultat av exponering av enstaka detektorer vid låg radon/radondotterhalt

Enstaka detektorer exponerades i ett rum i ett annat hus vid avvikande låg radon/radondotterhalt.

Mätningarna i detta rum har givit följande resultat:

Mätmedel	Tid	Koncentration Bq/m <sup>3</sup>	
		radon	radondöttrar
Gilbert Jönsson Öppen film	79-12-04--80-03-08		59
TLD-burk från SP nr B18	82-10-28--12-01	110	(55)
nr B19	82-10-28--12-01	60	(30)
Terradex typ M nr 08071	83-06-13--09-05	200	(100)
Terradex typ F nr 08674	83-06-13--09-05	113	(56)
Gilbert Jönsson Öppen film test 6	83-06-16--09-05		41 <sub>9</sub>
Gilbert Jönsson Detektor typ H nr 48	83-06-16--09-05		35 <sub>7</sub>
SIG Öppen detektor nr A125	83-06-16--09-05		52
Strålskyddstjänst Öppen film nr 806	83-06-20--09-05		80

Allmänt kan konstateras att samtliga mätvärden leder till ungefär samma bedömning, även om relativa avvikelserna mellan mätvärden från olika detektorer är betydande. Jämfört med övriga detektorer förefaller det som om detektor Terradex M och öppen film från Strålskydds tjänst, liksom vid högre halter, överskattat radondotterhalten med 100 resp 40 % jämfört med ett troligt värde ca 50<sub>15</sub> Bq/m<sup>3</sup> radondöttrar.

KALIBRERING AV KONTINUERLIGA RADON-/RADONDOTTERINSTRUMENTET RGA-400 nr 003, EDA INSTRUMENTS INC.

B.1 Beskrivning av radon-/radondotterinstrumentet RGA-400/003

Instrumentet samlar radondöttrar på ett 0,8  $\mu$ m milliporfilter. Den alfastrålning, som avges från sönderfallande radondöttrar på filtret, detekteras av en ytbarriärdetektor. Efter denna filtrering når den radondotterfria luften en 3 l stor radonkammare. Luftflödet är 1 l/min, varför luftens medeluppehållstid i denna kammare motsvarar en halveringstid för den första sönderfallsprodukten radium A (Polonium-218).

Kammarens väggar har en potential av +1500 V gentemot en elektriskt jordad ytbarriärdetektor. Detta elektrostatiske fält får till följd att positiva joner av radium A, som bildas vid radonets sönderfall, transporteras mot och fastnar vid ytbarriärdetektorn. Detektorn registrerar radium A's fortsatta sönderfall. Antalet registrerade alfapartiklar per tidsenhet i de två ytbarriärdetektorerna är ett mått på radon- respektive radondotterhalten.

B.2 Problemställning

Instrumentet har tidigare utnyttjats av Statens Provingsanstalt (SP) när man i form av Byggeforskningsrådets mätcentral för radon på uppdrag av andra forskningsprojekt mätt radonhalten i syfte att spåra inflöde av markradon eller verifiera effekten av genomförda åtgärder.

SP har under det gångna året haft instrumentet under intrimning och kalibrering.

Instrumentet har efter vissa inkörningsproblem av SP ansetts mäta med en onoggrannhet enligt tabell B-1. Instrumentet levererades till AIB i slutet av maj 1983 utan några kalibreringsvärden. Detta innebar att mätningarna fick igångsättas utan vetskap om de uppmätta halternas nivå.

Radonhalt Bq/m <sup>3</sup>	Mätfel %	Radondotterhalt Bq/m <sup>3</sup>	Mätfel %
- 100	>+15	- 100	+15
100- 500	+15	100- 500	+15
500- 1000	+10	500- 1000	+10
1000-10000	+ 5	1000-10000	+10
10000-	>+ 5	10000-	>+10

Tabell B-1 Mät-onoggrannhet för RGA-400 enligt SP (inkl systematiska och stokastiska fel)

Jämförande mätning med SSIs referensinstrument har enligt uppgift förekommit 2 gånger i Statens Strålskyddsinstitutets (SSI) radonkammare; den sista i mars 1983.

SP har därefter utvärderat resultatet och givit oss kalibreringsvärden för radon och radondöttrar i enlighet med tabell B-2. Dessa siffror lämnades ett par veckor efter det att denna jämförande mätning startats.

När de första veckornas halter analyserades med dessa kalibreringsvärden erhöles en jämviktsfaktor som varierade mellan 0,5 och 1,0. Detta ansågs som orimligt och kan hypotetiskt orsakas av 3 faktorer.

- Förekomst av sönderfallsprodukter av thoron (radon-220) så att dotterhalten överskattas
- Radondotterkanalen mäter fel (ger för högt värde)
- Radonkanalen mäter fel (ger för lågt värde).

Efter att punktprov på luften med avseende på radon- och radondotterhalten tagits av SSI och spårning av toron genomförts av Studsvik återstod endast den sistnämnda faktorn. Studsviks mätning visade endast obetydliga toronhalter. Det punktprov som SSI tog visade god samstämmighet beträffande koncentration av radondöttrar i luften men visade ca 70 % högre radonhalt än vad som erhöles med RGA-400, se fig B-1.

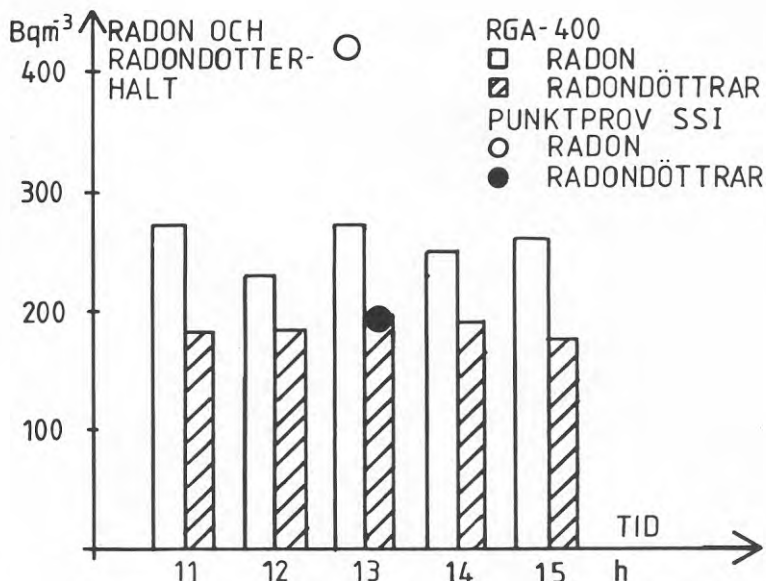


Fig B-1 Registrering av radon- och radondotterhalt med RGA-400 beräknade med av SP uppgivna kalibreringsfaktorer timmarna före och efter SSIs momentana bestämning, 27 juni

Typ	Område	Kalibreringsvärde		
Radon	hela	$1,26 \cdot 10^{-2}$	$\frac{\text{CPM (RA)}}{\text{Bq m}^{-3}}$	<====> 79,4 $\frac{\text{Bq m}^{-3}}{\text{CPM (RA)}}$
Radondöttrar	hela	0,189	$\frac{\text{MWL}}{\text{Bq m}^{-3}}$	<====> 5,29 $\frac{\text{Bq m}^{-3}}{\text{MWL}}$

Tabell B-2 Kalibreringsvärden för RGA-400, 003, enligt SP, juni 1983

### B.3 Jämförande mätningar i SSI:s radonkammare

För att verifiera om avvikelser verkligen förelåg gjordes en jämförande mätning hos SSI 11 - 12 juli 1983, varvid man konstaterade följande:

För radon gav RGA-400 mellan 50 och 35 % för låga värden.

För radondöttrarna gav RGA-400 mellan 5 och 30 % för låga värden.

Typ	Område $\text{Bq m}^{-3}$	Kalibreringsvärde		
Radon	25-250	$1,68 \cdot 10^{-2}$	$\frac{\text{CPM (RA)}}{\text{Bq m}^{-3}}$	<====> 59,5 $\frac{\text{Bq m}^{-3}}{\text{CPM (RA)}}$
	250-1000	$1,43 \cdot 10^{-2}$	$\frac{\text{CPM (RA)}}{\text{Bq m}^{-3}}$	<====> 69,9 $\frac{\text{Bq m}^{-3}}{\text{CPM (RA)}}$
	1000-5000	$1,53 \cdot 10^{-2}$	$\frac{\text{CPM (RA)}}{\text{Bq m}^{-3}}$	<====> 65,4 $\frac{\text{Bq m}^{-3}}{\text{CPM (RA)}}$
Radon- döttrar	0-100	0,220	$\frac{\text{MWL}}{\text{Bq m}^{-3}}$	<====> 4,54 $\frac{\text{Bq m}^{-3}}{\text{MWL}}$
	100-500	0,190	$\frac{\text{MWL}}{\text{Bq m}^{-3}}$	<====> 5,26 $\frac{\text{Bq m}^{-3}}{\text{MWL}}$
	500-1000	0,193	$\frac{\text{MWL}}{\text{Bq m}^{-3}}$	<====> 5,18 $\frac{\text{Bq m}^{-3}}{\text{MWL}}$
	1000-5000	0,189	$\frac{\text{MWL}}{\text{Bq m}^{-3}}$	<====> 5,29 $\frac{\text{Bq m}^{-3}}{\text{MWL}}$

Tabell B-3 Kalibreringsvärde för RGA-400, 003, enligt SP juli 1983

Detta tillsammans medförde att jämviktsfaktor enligt RGA-instrumentet varierade mellan 0,5 och 0,9, för perioden i SSIs radonrum. För samma period kunde en jämviktsfaktor varierande mellan 0,4 och 0,5 härledas ur den kontinuerliga registreringen av radon- och radondotterhalt med SSIs referensinstrument.

Efter denna jämförelsemätning erhöles från SP kompletterande kalibreringsvärden enligt tabell B-3.

Dessa kalibreringsvärden som enligt uppgift från SP baseras på en jämförande mätning hos SSI i mars ger snarare ännu sämre utfall för instrumentet RGA-400.

Trots detta beslutade vi oss för att fortsätta använda instrumentet samt genomföra upprepad jämförande mätning i SSIs radonrum i förhoppning att få fram ett underlag för att i efterhand rekonstruera kalibrerings samband med rimlig noggrannhet.

Detta ledde till ytterligare två jämförande mätningar; en den 20 - 22 juli och ytterligare en efter det att den jämförande mätningen i Sollentuna avslutats 14 - 16 sept.

Vid mätningen i juli ville SP jämföra resultatet med ett systerinstrument men detta råkade dagen före ut för ett haveri, vilket medförde att det inte kunde delta. Vid denna mätning fann man, att gränserna för de energinivåer hos alfapartiklarna som registrerades för de olika radondöttrarna hade en placering, som gjorde att ca 20 % av RA och RC' pulserna gick förlorade och istället registrerades i kanalen för thoron.

Då toron i någon anmärkningsvärd mängd inte var närvarande, kunde man genom att kalkylera som följer minska avvikelserna till -10 %.

$$\left| \frac{RC' + TA}{RC'} \right| \text{MWL} \times 3,7 \implies \text{RnD (Bq/m}^3\text{)} \quad \text{B-1}$$

Den återstående avvikelsen är troligen ett instrumentberoende fel. Efter dessa korrigeringar ansågs radondotterhalten kunna erhållas med godtagbar noggrannhet.

För radonhalten däremot kunde vi inte finna någon direkt godtagbar förklaring.

SPs uppfattning var dock att instrumentets registrering av radonhalten var temperaturberoende.

Vid dessa diskussioner framkom att EDA påpekat att instrumentet var fukt känsligt vid radonregistrering och meddelat SP hur detta skulle korrigeras. SP hade vid de i tabell B-2 och B-3 angivna kalibreringsfaktorerna inte tagit hänsyn till fukt känsligheten. Den av EDA lämnade fuktkorrigeringen, se tabell B-4, gav dock inte något tillfredsställande resultat.



Då EDA antog att fuktkorrekturen var beroende av relativa fukthalten och SP ansåg att instrumentet var temperaturberoende, var det naturligt att anta att fuktkänsligheten vara relaterad till i första hand mängden vattenmolekyler, dvs absolut fuktighet ( $\text{kg/m}^3$ ), vilket erhålles just ur dessa två parametrar.

Tabell B-4 Fuktkorrigeringsfaktor för radon för RGA-400 enl EDA

RH (%)	$K_1$	RH (%)	$K_1$
0	1,00	35	1,68
5	1,06	40	1,85
10	1,13	45	2,04
15	1,212	50	2,17
20	1,30	55	2,32
25	1,40	60	2,30
30	1,53		

#### B.4 Kalibrering av RGA-400, 003 (radonhalt)

Efter 4 jämförande mätningar i SSIs radonrum behandlades dessa mätvärden av oss för att om möjligt kunna erhålla ett kalibreringssamband som gjorde radonregistringen användbar. Kalibreringsfaktor för 1 eller 3 h jämfördes med resultat från SSIs jonkammare för dessa 4 jämförande mätningar mot temperaturen ( $^{\circ}\text{C}$ ), relativ fuktighet (%) och absolut fuktighet ( $\text{kg/m}^3$ ), se figur B-2, B-3 och B-4.

Resultatet visar att instrumentet är klart mer beroende av absolut fuktighet ( $x$ ) ( $\text{kg/m}^3$ ) än av temperaturen eller relativa luftfuktigheten. Ett kalibreringssamband för radon kunde härigenom erhållas med en uppskattad maximal avvikelse på ca +35 % vid en fukthalt på mellan  $3,0$  och  $12,0 \cdot 10^{-3}$  ( $\text{kg/m}^3$ ). Sambandet blev:

$$C_{\text{Ra}} = 23,8 + 12371 (x) \text{ Bq m}^{-3} / \text{CPM} \quad \text{B-2}$$

$$r = 0,9230 \text{ (korrelationskoefficient enligt minsta kvadratmetoden)}$$

$$\text{där } x = \text{absoluta fuktigheten} = \frac{Mv \cdot Ps \cdot RH}{M \cdot T} \text{ (kg/m}^3) \quad \text{B-3}$$

$$\begin{aligned} Ps &= \text{Vattenångans mättnadsstryck} = \\ &= \frac{\exp(77.3450 + 0,0057 T - 7235/T)}{T^{8,2}} \text{ (Pa)} \quad \text{B-4} \end{aligned}$$

RH = Relativa fuktigheten

T = Absolut temperatur =  $(273 + t)$  (t i  $^{\circ}\text{C}$ )

M = Allmänna gaskonstanten = 8314,7

Mv = Molekylvikten vattenånga = 18,01

För temperaturområdet 0-50°C erhålles approximativt

$$\begin{aligned}
 P_s = & 0,2785571 \cdot 10^{-5} t^5 + 0,2645214 \cdot 10^{-3} t^4 + \\
 & + 0,2702514 \cdot 10^{-1} t^3 + 0,1404119 \cdot 10^1 t^2 + \\
 & + 0,4389009 \cdot 10^2 t + 0,6027707 \cdot 10^3 \quad (\text{Pa})
 \end{aligned}$$

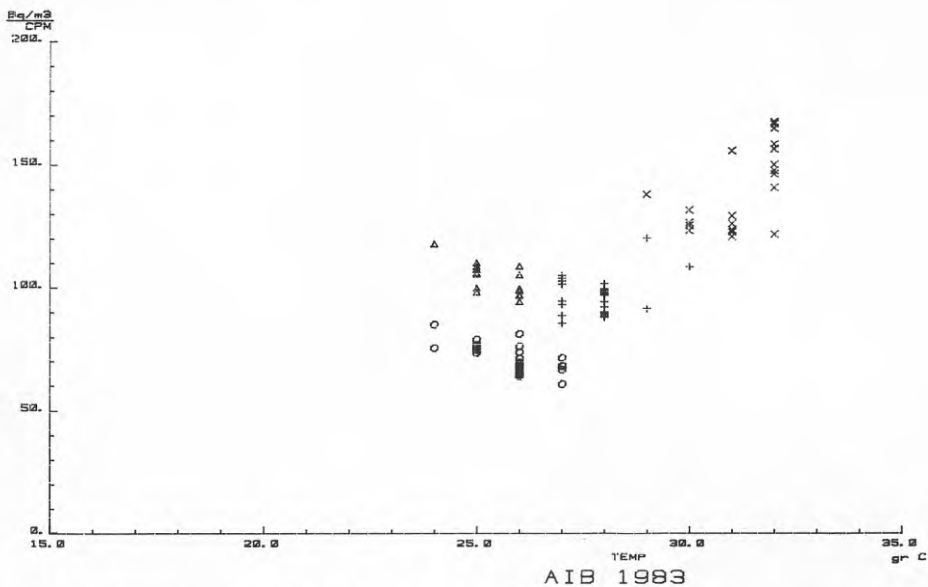


Fig B-2 Kalibreringsfaktor som funktion av temperaturen (°C) för RGA-400, 003

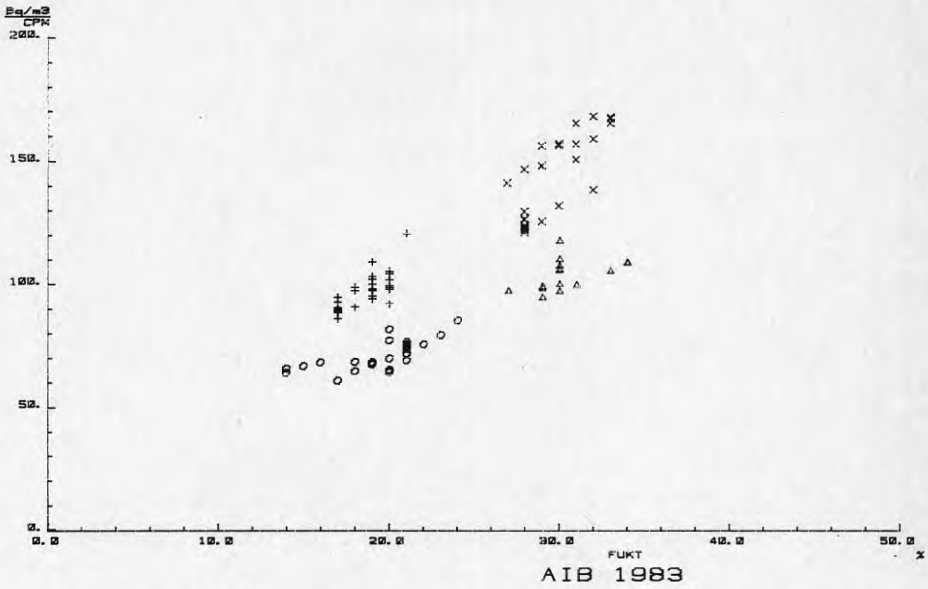


Fig B-3 Kalibreringsfaktor som funktion av relativa fuktigheten (%) för RGA-400, 003

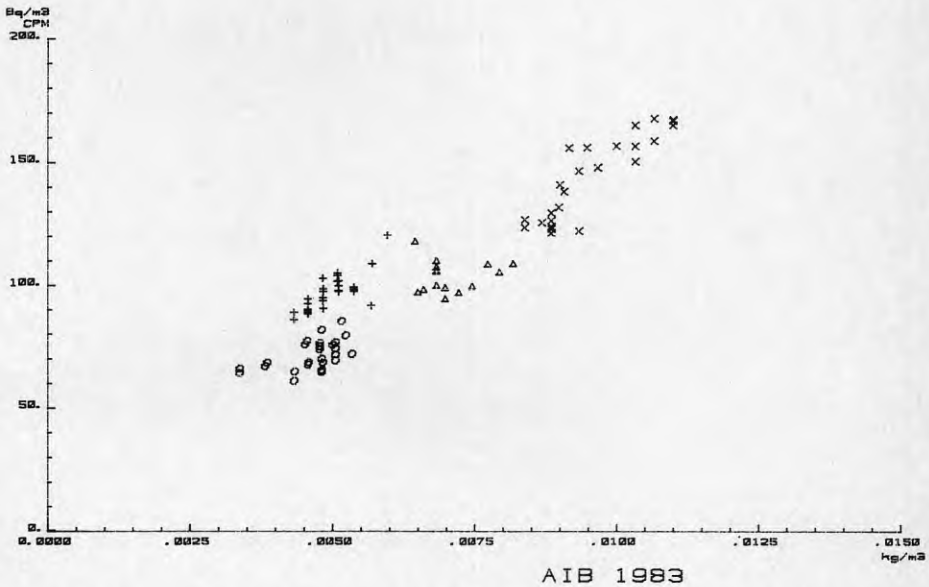


Fig B-4 Kalibreringsfaktor som funktion av absoluta fuktigheten ( $kg/m^3$ ) för RGA-400, 003

B.5 Inverkan av antalet signifikativa siffror på felet i kalibreringen

Instrumentet RGA-400 mäter både temperatur och relativ fuktighet och anger dessa med två signifikanta siffror, vilket ger en onoggrannhet på  $\pm 1^\circ\text{C}$  resp  $\pm 1\%$ .

För att erhålla maximala felet detta medför vid beräkningen av absoluta fuktigheten differentieras beräkningsuttrycket (B-4).

$$\Delta x_{\max} = \left| \frac{dx}{dt} \right| \Delta t + \left| \frac{dx}{dRH} \right| \Delta RH \quad \text{B-5}$$

Då polynomet för  $P_s$  använts vid differentiering blir avvikelserna i  $\text{kg/m}^3$  enligt tabell B-4, för några kombinationer av temperatur och relativ fuktighet.

$t^\circ\text{C}$	RH %	$\frac{\Delta t = +1^\circ\text{C}}{\left  \frac{dx}{dt} \right  \Delta t}$	$\frac{\Delta RH = +1\%}{\left  \frac{dx}{dRH} \right  \Delta RH}$	$\text{kg/m}^3$ $\Delta X_{\max}$
15	20	0,00015	0,00013	0,00027
	50	0,00037	0,00013	0,00050
	100	0,00074	0,00013	0,00087
20	20	0,00019	0,00017	0,00036
	50	0,00049	0,00017	0,00066
	100	0,00097	0,00017	0,00114
30	20	0,00033	0,00030	0,00063
	50	0,00082	0,00030	0,00112
	100	0,00164	0,00030	0,00194

Tabell B-4 Maximal onoggrannhet för absolut fuktighet på grund av trunkering av temperatur (t) och relativ fukt (RH) vid olika temperatur- och fuktnivåer

Den fukthalt som registrerats med RGA-400 i  $\text{kg/m}^3$  visade sig under jämförande mätningen i Sollentuna vara ca 0,7 ggr för lågt jämfört med mätvärden erhållna med termohygrografer från SMHI, figur B-5. Absolut fukthalt varierar således mellan 3 och 12  $\text{g/m}^3$  enligt detektorer i instrumentet RGA-400 i stället för mellan 4 och 17  $\text{g/m}^3$  enligt utslag på termohygrografer. Termohygrograferna angav således 1,43 gånger högre absolut fuktighet i luften än detektorerna i RGA-400.

Eftersom temperaturen varierade mellan 25 och  $32^\circ\text{C}$ , figur B-2 och relativa luftfuktigheten varierade mellan 20 och 50 %, figur B-3 samt korrektion jämfört med termohygrografer under de olika mätperioderna i SSI:s radonrum följer av tabell B-4 att absolutvärdet för felet i bestämningen av absolut fuktighet blir  $\Delta X_{\max} = 0,6 - 1,0 \text{ g/m}^3$ , där 50 - 85 % av felet beror

på temperaturens trunkering. Beroende på nivån på den absoluta luftfuktigheten motsvarar detta ett relativt fel på 4 - 25 %. Detta utgör ett bidrag till osäkerheten i det framtagna kalibrerings sambandet.

10 18 PM MON. 14 NOV. 1983

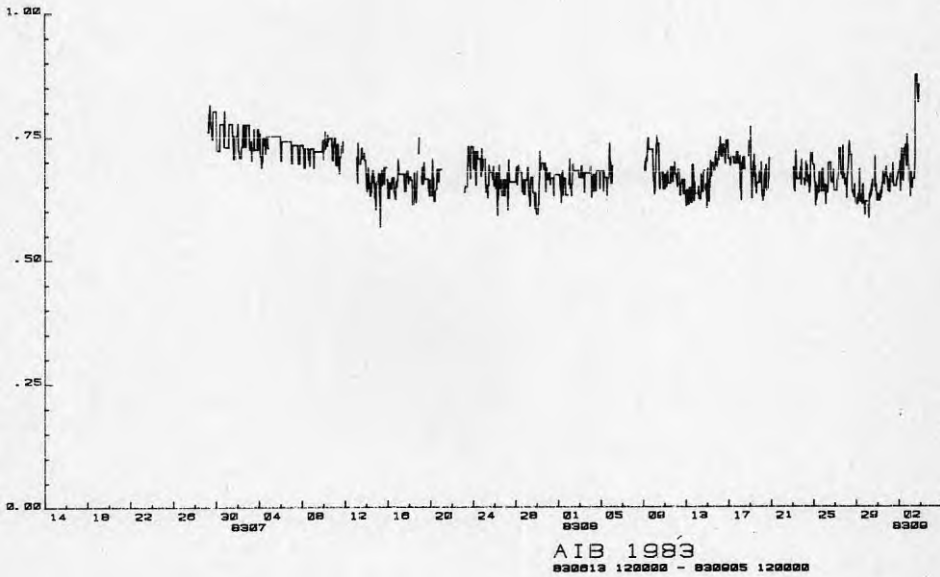


Fig B-5 Förhållandet mellan beräknad absolut fukt erhållen med termohygrograf och RGA-400

För kalibreringsvärdet för radonhalten medför detta att maximala felet är

$$C_{Ra} = 12,371 \times 0,001 = 12 \text{ Bq m}^{-3} / \text{CPM}$$

Härav följer att vid en låg absolut fuktighet  $2,0 \text{ g/m}^3$  blir felet så stort som ca 50 %, eftersom ovan angivet absolut fel utgör 50 % av kalibreringsfaktorn. Inom det intervall av absolut luftfuktighet varvid mätningarna har genomförts blir det relativa felet motsvarande 7 - 24 %, figur B-6.

11:01 AM FRI. 10 DEC. 1983

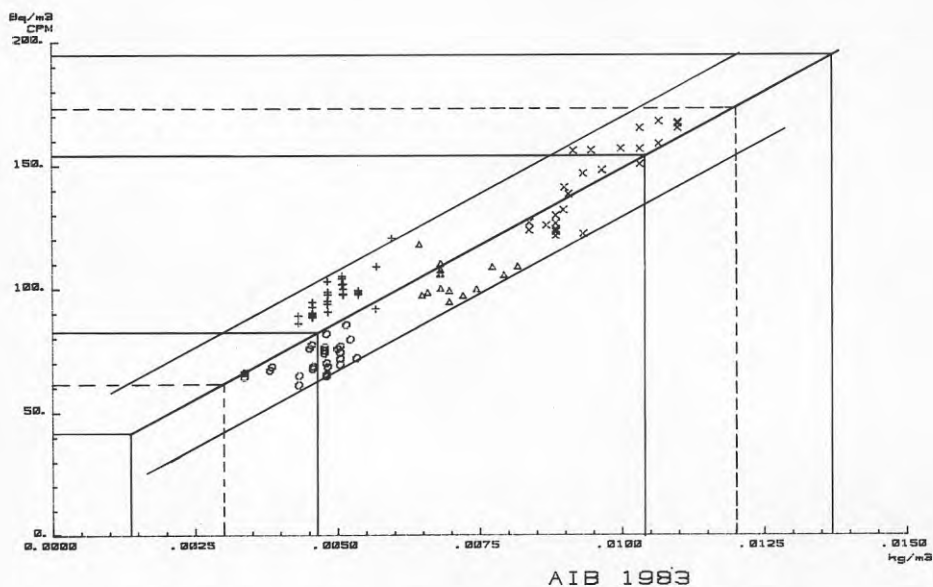


Fig B-6 Kalibreringsvärdets onoggrannhet på grund av temperatur och fuktregistreringens trunkering

#### B.6 Överlagrade beroenden för absolut fuktkorrigering

I figurerna B-7, B-6, B-7 och B-10 visas korrigerings-sambandets effekt på registrerad radonhalt i förhållande till SSIs värde för temperatur, relativ fuktighet, absolut fuktighet samt eventuellt koncentrationsberoende.

2:48 PM FRI.. 18 DEC.. 1989

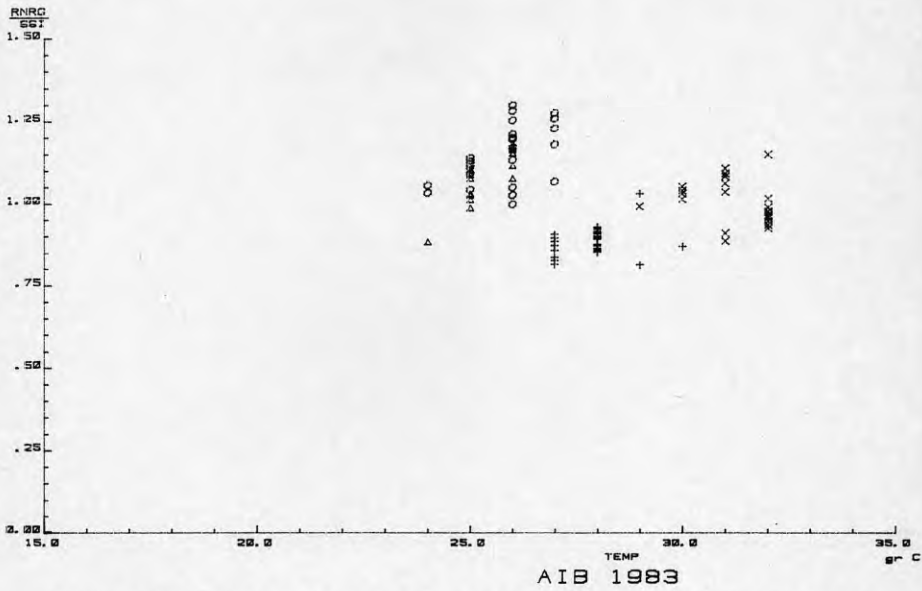


Fig B-7 Kalibrering av RGA-400, 003 i förhållande till temperaturen

2:58 PM FRI.. 18 DEC.. 1989

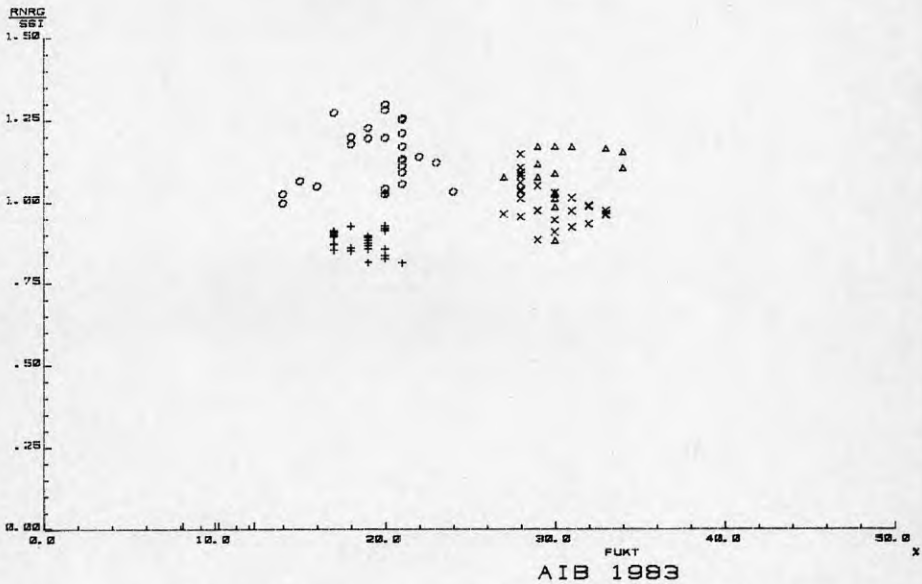
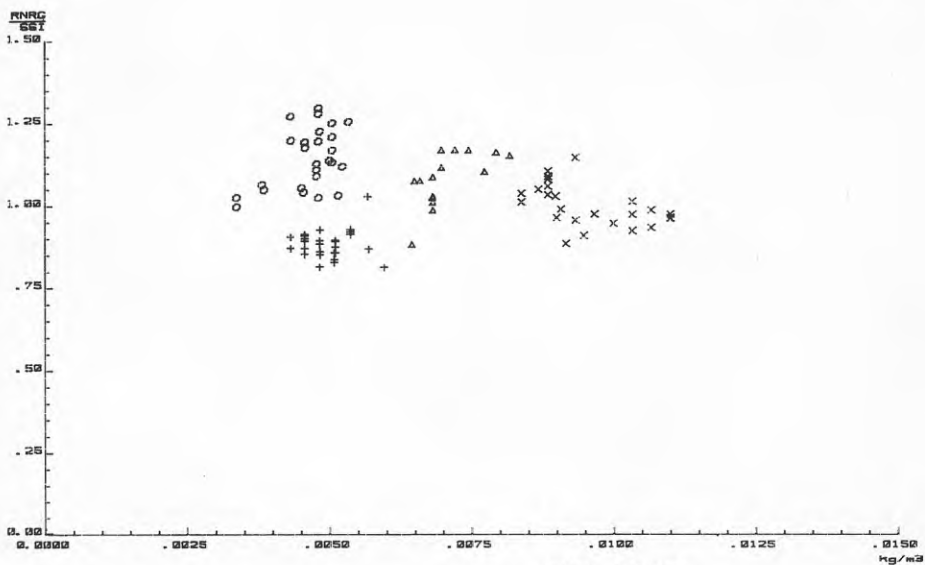


Fig B-8 Kalibrering av RGA-400, 003 i förhållande till relativa fukten

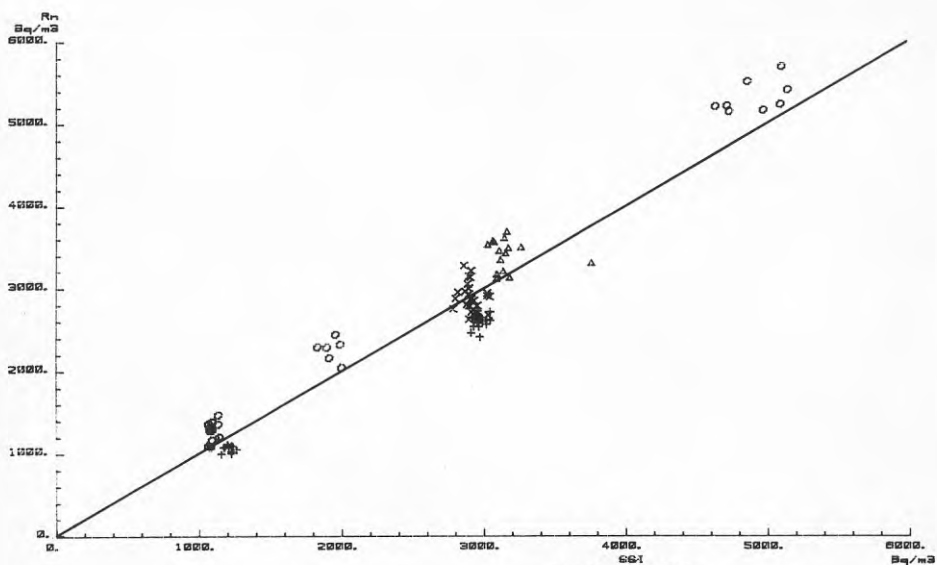
2:53 PM FRI.. 10 DEC.. 1983



AIB 1983

Fig B-9 Kalibrering av RGA-400, 003 i förhållande till absoluta fukten

2:21 PM FRI.. 10 DEC.. 1983



AIB 1983

Fig B-10 Kalibreringens koncentrationsberoende för RGA-400, 003



Dessa figurer visar att efter korrigeringen för absolut fuktighet är kalibreringsresultatet relativt gott samt att något koncentrationsberoende av betydelse saknas.

I figur B-7 finns antydning till kvarvarande samband. Denna antydning föreligger dock endast om respektive kalibreringsomgång betraktas separat och kan inte utläsas ur samtliga mätpunkter betraktade som en grupp.

Figur B-9 visar att inom varje kalibreringsomgång bildar mätpunkterna väl sammanhållna grupper. Dessa gruppers position sammanfaller dock ej fullständigt. Vid absolut luftfuktighet, 0,005 kg vattenånga per m<sup>3</sup> luft, har en omgång givit mätvärdet 100 - 125 % av SSIs referensvärde, medan en annan givit värden mellan 80 och 95 % av referensvärdet enligt SSIs jonkammare.

Slutsatsen av detta är att instrumentet under sommaren påverkats av någon icke dokumenterad faktor. En möjlig förklaring är att känsligheten hos någon detektor för temperatur, relativ fuktighet eller ytbarriärdetektion för radon, varierat mellan de olika mätomgångarna.

Efter korrigerings för absolut fuktighet finns det dock ingen tydlig kvarvarande överlagrad påverkan av temperatur eller relativ luftfuktighet.

### Diskussion

EDA har relativt tidigt, före jan 1982, uppmärksammat att effektiviteten i registreringen av sönderfall av radon och thoron är nästan linjärt beroende av relativa fuktigheten. EDA angav redan då att detta skulle kompenseras för vid mätningarna.

Till okt 1983 har instrumenten i Sverige inte haft denna funktion inbyggd i elektroniken utan EDA har skickat ut en kalibreringstabell våren 83 för en grovkalibrering.

I en teknisk information från okt 83 anger EDA att denna kalibrering bör göras i kända miljöer och därmed för varje instrument individuellt. Man hade funnit vid kalibreringsmätning att alfa-räkningens effektivitet var inverterat linjär mot relativa fuktigheten mellan 10 - 45 % men att det sedan planade ut och blev konstant. Detta resultat är i överensstämmelse med resultat rapporterade av Porstendörfer /Porstendörfer enl Bigu 83/. Watnick /Watnick 76/, har dock publicerat resultat som tyder på att känsligheten för relativ luftfuktighet är linjärt i hela intervallet 0 - 90 %.

## REFERENSER till Bilaga B

- Porstendörfer J et al;  
enl Bigu 83 "Radon and their decay products in- and outdoor" ref av Bigu J och Kaldenbach R:  
"Design and performance of a Microprocessor - Based Automated Continuous Monitor with Alpha Spectroscopy Capabilities for the Determination of Radon and Thoron and their Short-lived Decay Products"; presenterat vid International seminar on Indoor Exposure to Natural Radiation and Related Risk Assessment, Okt 3-5, 1983, Anacapri, Italien
- Watnich S et al;  
Watnich 76 "Environmental radon monitor varies with relative humidity", HASL Tech Memorandum 76-14, Dec 1976



BESTÄMNING AV RADONDOTTERHALTENS ÅRSMEDELVÄRDE I EN  
BOSTAD GENOM MÄTNING MED SPÅRFILM

SP A2 601

1. OMFATTNING OCH TILLÄMPNING

Denna metod avser integrerad mätning av radondotterhalt i bostäder med spårfilm, känslig för alfastrålning. Metoden är tillämpbar även i andra typer av byggnader där människor vistas under lång tid, t ex långvårdsinstitutioner.

Mätningen sker under så lång tid att korttidsvariationer utjämnas, medan långtidsvariationer måste beaktas.

Den erhållna exponeringen används för uppskattning av radondotterhaltens årsmedelvärde. Vid denna uppskattning måste hänsyn tas till påverkande faktorer såsom inneklimatförhållanden under mätningen.

Syftet med mätningen är i första hand att skilja ut bostäder med förhöjd radondotterhalt ( $> 400 \text{ Bq/m}^3$ ) från övriga. Skall lägre halter bestämmas blir osäkerheten större. Filmtyp och utvärderingsarea avgör noggrannheten i mätningen.

2. DEFINITION

Spårfilmen exponeras för alfastrålningen från radon respektive radondöttrars sönderfall i luften. Med radondotterhalt menas halterna av de enskilda döttrarna, så hopviktade att de svarar mot ekvivalent jämviktskoncentration av radon (Equilibrium Equivalent Concentration of Radon, EEC). Halten uttrycks i enheten  $\text{Bq/m}^3$ .

3. PROVNINGSFÖRFARANDE

3.1 Princip för mätning

Spårfilmen skall vara känslig endast för alfastrålning.

Spårfilmen placeras fritt i det rum där radondotterhalten skall mätas. Sönderfall av radon och radondöttrar i luften kring filmen detekteras.

Efter etsning eller motsvarande avläses spåren av alfastrålningen i mikroskop eller i mätapparat. Antalet spår per ytenhet är ett mått på den exponering för radon och radondöttrar som filmen erhållit.

Med kännedom om sambandet mellan antalet spår per ytenhet och radondotterhalten uttryckt i  $Bq/m^3$  kan radondotterhalten bestämmas. Detta samband skall vara känt genom kalibrering, jämförelsemätning eller på annat sätt.

### 3.2 Hantering

Filmen kan placeras ut av den boende efter medföljande instruktion. Denna instruktion skall innehålla val av mätplats i bostadsrum, mätpunkt och mättidens längd. Ventilationsförhållanden under mätningen skall noteras och bifogas filmen när den sänds för utvärdering.

Före och efter mätningen förvaras filmen på sätt som anges i instruktionen.

### 3.3 Mätplats

Mätningen skall utföras dels i sovrum, dels i det rum i bostaden där de boende tillbringar längst dagtid. I valet mellan flera sovrum väljes det rum som bedöms ha högst radondotterhalt, d v s rummet med störst andel byggnadsmaterial med hög radioaktivitet och/eller lägst luftomsättning.

Råder tveksamhet i valet av sovrum väljes rummet med störst volym.

Spårfilmen skall placeras fritt i luften. Den kan t ex hänga i en taklampa. Avståndet till närmaste föremål, vägg-, tak- eller golvyta skall vara minst 0,3 m. Spårfilmen får inte stadigvarande utsättas för kraftig luftströmning vid till- och frånluftsdon, fönster eller balkongdörr varför spårfilmen normalt bör placeras minst 1,5 m från dessa.

Filmen får ej flyttas från mätplatsen under mättiden.

Filmen får ej utsättas för mekanisk eller kemisk åverkan.

Mätningen utföres i minst två mätpunkter per bostad. Vid önskemål om större säkerhet i mätresultatet används

fler filmer, utplacerade i olika rum, och helst minst två filmer per våningsplan. Normalt uppskattas årsmedelvärdet för hela bostaden, men kan även uppskattas för varje bostadsplan för sig. Om mätpunkterna härrör från mätningar på olika plan i en flerplansbostad, skall detta framgå när spårfilmerna återsänds.

Uppgift om var filmerna placerats måste alltid åtfölja filmen när den återsänds.

### 3.4 Mättidpunkt och mättid

Mättidpunkten bör väljas så att omfattande fönsterväd-ring undvikas under mättiden. Om i jämförelse med årsmedelvärdet onormal fönsterväd-ring förekommer, eller om luftomsättningen av andra skäl avviker från det normala, ökar mätningen onoggrannhet, se nedan. Normalt bör man undvika att mäta under juni-augusti.

Mättidens längd väljes dels med hänsyn till spårfilmens känslighet dels för att effekter av korttidsvariationer i klimat och boendevanor skall utjämnas. Lämplig mät-tid meddelas i den instruktion som medföljer filmen. Normalt skall mättiden vara ca 3 månader.

Uppgift om mättidpunkt och mättidens längd måste alltid åtfölja filmen när den återsänds för utvärdering.

### 3.5 Bedömning av luftomsättning

För uppskattning av årsmedelvärde måste för årstiden onormala klimatförhållanden meddelas när filmen skickas för utvärdering. Följande inomhusklimat anses normalt:

- luftväxling genom ventilationsfläktar, självdrags-ventilation och kortvarig fönsterväd-ring. Väd-rings-luckor och tilluftsdon skall vara öppna i normal omfattning. (OBS omfattande fönsterväd-ring avviker från normala förhållanden och skall meddelas. Var-aktig, invändig kondens mot fönsterrutor tyder på dålig luftväxling och skall meddelas om den inte har förorsakats av någon särskild fuktalstrande verksamhet).

## 4 UTVÄRDERING

### 4.1 Princip

Utvärderingen av den exponerade filmen sker i två steg:

1. Kemisk-teknisk bearbetning
2. Bestämning av årsmedelvärde

Metoden har tre dominerande osäkerhetskällor:

- a) filmens onoggrannhet, d v s förhållandet mellan antalet spår i filmen och verklig radondotterhalt
- b) analysens onoggrannhet, d v s den statistiska spridningen av spår på filmen i relation till avläsningsytans storlek. Ett stort antal spår medför mindre onoggrannhet i mätningen
- c) klimatbedömningens onoggrannhet

Onoggrannheten i bedömt årsmedelvärde innefattar alla dessa osäkerheter.

#### 4.2 Kemisk-teknisk bearbetning av exponerad film

Spårfilmen "framkallas" på laboratorium genom etsning eller motsvarande och spårräkning sker i mikroskop eller automatiskt i mätapparat.

Spridningen (en standardavvikelse) i resultaten från den kemisk-tekniska bearbetningen skall av den som tillhandahåller filmen för olika radondotterhalter garanteras understiga nedan angivna värden, vilka används vid beräkningen av den resulterande osäkerheten.

under 50 Bq/m <sup>3</sup>	±40 %
mellan 50 och 150 Bq/m <sup>3</sup>	±25 %
över 150 Bq/m <sup>3</sup>	±15 %

#### 4.3 Årsmedelvärde

En uppskattning av radondotterhaltens årsmedelvärde i bostaden eller i ett våningsplan i bostaden sker med hjälp av de båda (eventuellt flera) mätvärdena. Uppskattning kan göras om lägsta mätvärdet är större än en femtedel av högsta mätvärdet eller om samtliga mätvärden understiger 200 Bq/m<sup>3</sup>.

Det uppskattade årsmedelvärdet  $x_{\text{år}}$  anges som

$$x_{\text{år}} = \frac{\sum x_i + x_{\text{max}}}{n + 1}$$

värdet på  $x_{\text{år}}$  avrundas till närmaste 10-tal

där  $x_i$  = de olika mätvärdena (inklusive  $x_{\text{max}}$ )

$x_{\text{max}}$  = det högsta mätvärdet

$n$  = antalet filmer

Till den tidigare angivna kemisk-tekniska onoggrannheten skall läggas osäkerheten rörande om hur luftomsättningen under mättiden förhåller sig till medel-luftomsättningen under året.

I hus med kontinuerlig fläktventilation ökas onoggrannheten med  $\pm 10$  %.

För självdragsventilerade hus görs följande bedömning:

Om luftomsättningen ej bedöms ha avvikit alltför mycket under mätperioden i förhållande till luftomsättningen under året ökas onoggrannheten vid bedömning av årsmedelvärdet med  $\pm 24$  % vid mätning under en månads tid. För varje följande månad spårfilmen exponerats minskas onoggrannheten med 2 %. Bedöms luftomsättningen ha avvikit extremt mycket från den normala måste mätningen göras om.

## 5 MÄTRAPPORT

Rapporten skall innehålla:

- Mätmetod och identifiering av spårfilm
- Kontrollförfarande för kemisk-teknisk utvärdering
- Identifiering av bostad

- Mätplatser i bostaden
- Mättidpunkt och mättid
- Institution som utfört utvärderingen
- Mätresultat för varje mätplats uttryckt i  $\text{Bq}/\text{m}^3$
- Eventuella avvikelser under mätperioden från normalt inomhusklimat
- Uppskattat årsmedelvärde för bostaden, eller för våningsplan, i  $\text{Bq}/\text{m}^3$ . Mätvärde med felgränser (1 standardavvikelse) anges.
- Anledning till att årsmedelvärdet ej har kunnat bestämmas





Ingemar Samuelson, amb

1980-11-05

SP A2 601

EXEMPEL PÅ ANVÄNDNING AV SPÅRFILMMETOD VID BESTÄMNING  
AV RADONDOTTERHALTENS ÅRSMEDELVÄRDE

Hus 1, självdragsventilerat enplanshus

Sovrum 540 Bq/m<sup>3</sup>

Vardagsrum 312 Bq/m<sup>3</sup>

Normalt inneklimat, exponeringstid 3 månader

$$x_{\text{år}} = \frac{2 \times 540 + 312}{3} = 460 \text{ Bq/m}^3$$

Onoggrannhet  $\pm 15\%$  i kemisk-teknisk bearbetning

Onoggrannhet  $\pm 24-4 = \pm 20\%$  i klimat

Årsmedelvärdet uppskattas till  $460 \pm 160 \text{ Bq/m}^3$   
( $460 \pm 185$ )

Hus 2, fläktventilerat tvåplans suterränghus

Sovrum överplan 80 Bq/m<sup>3</sup>

Vardagsrum överplan 117 Bq/m<sup>3</sup>

Sovrum nederplan 225 Bq/m<sup>3</sup>

Allrum nederplan 160 Bq/m<sup>3</sup>

Normalt inneklimat, exponeringstid 3 månader

$$x_{\text{år}} = \frac{2 \times 225 + 160 + 117 + 80}{5} = 160 \text{ Bq/m}^3$$

Onoggrannhet  $\pm 15\%$  i kemisk-teknisk bearbetning

Onoggrannhet  $\pm 10\%$  i klimat

Årsmedelvärdet uppskattas till  $160 \pm 40 \text{ Bq/m}^3$

Hus 3, självdragsventilerat 1 1/2-planshus med källare

Mätning under 3 månader.

Sovrum överplan	40 Bq/m <sup>3</sup>
Vardagsrum överplan	32 Bq/m <sup>3</sup>
Sovrum bottenvåning	136 Bq/m <sup>3</sup>
Matrum bottenvåning	85 Bq/m <sup>3</sup>
Gillestuga källare	450 Bq/m <sup>3</sup>

Årsmedelvärdet för hela bostaden kan inte bestämmas eftersom  $32 < 0,2 \times 450$ .

$$\text{Årsmedelvärde överplan} = \frac{2 \times 40 + 32}{3} = 40 \text{ Bq/m}^3$$

Onoggrannhet  $\pm 40$  % i kemisk-teknisk bearbetning

Onoggrannhet  $\pm 24-4 = \pm 20$  % i klimat

Årsmedelvärdet uppskattas till  $40 \pm 25$  Bq/m<sup>3</sup>

$$\text{Årsmedelvärde bottenvåning} = \frac{2 \times 136 + 85}{3} = 120 \text{ Bq/m}^3$$

Onoggrannhet  $\pm 25$  % i kemisk-teknisk bearbetning

Onoggrannhet  $\pm 24-4 = \pm 20$  % i klimat

Årsmedelvärdet uppskattas till  $120 \pm 55$  Bq/m<sup>3</sup>

För källarvåningen kan årsmedelvärdesintervallet inte uppskattas på grundval av blott en mätning, men årsmedelvärdet måste bedömas vara relativt högt.

BESTÄMNING AV RADONDÖTTERHALTENS ÅRSMEDELVÄRDE I EN  
BOSTAD GENOM MÄTNING MED TLD-BASERAD RADONMÄTARE

SP A2 603

1 OMFATTNING OCH TILLÄMPNING

Denna metod avser integrerad mätning av radonhalten i bostäder med TLD-baserad radonmätare. (TLD = Termo-Luminiscens-Dosimeter). Metoden är tillämplig även i andra byggnader och anläggningar såväl ovan som under jord.

Mätningen sker under så lång tid att korttidsvariationer i radonhalt utjämnas, medan långtidsvariationer måste beaktas.

Det erhållna mätvärdet används för uppskattning av radondotterhaltens årsmedelvärde. Vid denna uppskattning måste hänsyn tas till påverkande faktorer såsom inneklimatförhållanden under mätningen.

2 DEFINITION

Radonmätaren mäter luftens radonhalt. Ur mätvärdet beräknas motsvarande radondotterhalt under antagandet att denna utgör 50 % av radonhalten. Med radondotterhalt menas halterna av de enskilda döttrarna, så hopviktade att de svarar mot ekvivalent jämviktskoncentration av radon (Equilibrium Equivalent Concentration of Radon, EEC). Radon- och radondotterhalt uttrycks i enheten Bq/m<sup>3</sup>.

3 PROVNINGSFÖRFARANDE

3.1 Princip för mätning

Radonmätaren är genom sin konstruktion selektiv med avseende på radon. Mätkammaren omges av ett filter, som utestänger de partikelbundna radondöttrarna i rummet, medan det gasformiga radonet lätt tränger genom filtret in i kammaren.

Radondöttrarna, som bildas av det i mätkammaren inneslutna radonet, samlas med hjälp av ett elektriskt fält upp på en folie. Intill folien finns en tablett av termoluminiscent material, som registrerar alfastrålningen från de uppsamlade radondöttrarna. Radonmätaren innehåller ytterligare en TLD-tablett för mätning av bakgrunds-(gamma-)strålningen, så placerad att den inte påverkas av alfastrålning.

Mätvärdet erhålls genom avläsning av TLD-tabletterna i en därför avsedd utrustning och utgörs av skillnaden i registerad stråldos i de båda tabletterna, vilken är ett mått på den exponering av radondöttrar, som den förstnämnda TLD-tabletten erhållit.

Med kännedom om sambandet mellan nettostråldos och radonhalt och under antagandet av ett visst förhållande mellan radondotterhalt och radonhalt kan radondotterhalten, uttryckt i Bq/m<sup>3</sup>, bestämmas. Dessa samband skall vara kända genom kalibrering, jämförelsemätning eller på annat sätt.

### 3.2 Hantering

Radonmätaren placeras ut av den boende efter medföljande instruktion. Denna instruktion skall innehålla val av mätplatser och mättidens längd.

Ventilationsförhållandena under mätningen skall noteras och bifogas radonmätaren när den sänds för utvärdering.

Radonmätaren placeras fritt i det rum där radonhalten skall mätas.

### 3.3 Mätplats

Mätningen skall utföras dels i sovrum, dels i det rum, dagrum, i bostaden där de boende tillbringar längst dagtid. I valet mellan flera sovrum väljs det rum som bedöms ha högsta radonhalten, dvs rummet med största andelen byggnadsmaterial med hög radioaktivitet och/eller lägsta luftomsättningen.

Radonmätaren placeras två veckor i sovrummet och där efter två veckor i dagrummet. Den skall stå fritt på ett bord, en bokhylla eller dylikt. Radonmätaren får inte stadigvarande utsättas för kraftig luftströmning vid till- eller frånluftsdon, fönster eller balkongdörr, varför den bör placeras minst 1,5 m från dessa.

Radonmätaren får ej utsättas för mekanisk eller kemisk åverkan.

Om så önskas kan flera radonmätare placeras ut samtidigt, varvid man kan erhålla ett noggrannare årsmedelvärde för hela bostaden eller, om bostaden har flera plan, ett årsmedelvärde för varje bostadsplan.

Uppgift om var radonmätaren placerats måste alltid uppges när den återsänds för utvärdering.

### 3.4 Mättidpunkt och mättid

Mättidpunkten bör väljas så att omfattande fönsterväd-  
ring undviks under mättiden. Om onormal fönsterväd-  
ring förekommer eller om luftomsättningen av andra skäl av-  
viker från det normala, ökar mätningens onoggrannhet.  
Man bör undvika att mäta under högsommaren.

Mättidens längd väljs så att effekter av korttidsvaria-  
tioner i klimat och boende utjämnas. Lämplig mättid  
meddelas i instruktionen, som medföljer radonmätaren.  
Normalt skall mättiden vara två veckor i sovrum och  
två veckor i dagrum, alltså totalt fyra veckor. Används  
fler än en radonmätare, måste den totala mättiden vara  
densamma för varje mätare.

Uppgift om mättidpunkter och mättider måste alltid åt-  
följa radonmätaren när den återsänds för utvärdering.

### 3.5 Bedömning av luftomsättning

För uppskattning av årsmedelvärde måste för årstiden  
onormala klimatförhållanden meddelas när radonmätaren  
skickas för utvärdering. Följande inomhusklimat anses  
 normalt:

Luftväxling genom ventilationsfläktar, själv-  
dragsventilation och kortvarig fönsterväd-  
ring. Vådringsluckor och tilluftsdon skall vara öpp-  
na i normal omfattning. (Obs! Omfattande fön-  
sterväd-  
ring avviker från normala förhållanden  
och skall meddelas. Varaktig, invändig kondens  
mot fönsterrutor tyder på dålig luftväxling  
och skall meddelas, om den inte har förorsa-  
kats av någon särskild fuktalstrande verksam-  
het.)

## 4 UTVÄRDERING

### 4.1 Princip

Utvärderingen av den exponerade radonmätaren innefattar:

- 1 Mätning av de i TLD-tabletterna lagrade in-  
formationerna och beräkning av radonhalt.
- 2 Uppskattning av radondotterhaltens årsmedel-  
värde.

Metoden har två dominerande osäkerhetskällor:

- a) mätförfarandets onoggrannhet, dvs variationer i förhållandet mellan avläst värde och verklig exponering.
- b) klimatbedömningens onoggrannhet.

Onoggrannheten i bedömt årsmedelvärde innefattar båda dessa osäkerheter.

#### 4.2 Mätning av TLD-tabletter

TLD-tabletterna avläses i speciell utrustning i laboratorium.

Spridningen (en standardavvikelse) i resultaten skall av den som tillhandahåller radonmätare garanteras ej nämnvärt överstiga 10 % vid radondotterhalter i området 50 Bq/m<sup>3</sup> eller högre vid exponering under fyra veckor.

#### 4.3 Årsmedelvärde

Genom att radonmätaren placeras i två punkter i bostaden, med lika lång mättid i de båda punkterna, ger mätvärdet direkt ett rum-tid-medelvärde för radonhalten i dessa punkter. Används fler än en radonmätare, beräknas årsmedelvärdet av bostadens radonhalt efter den formel som är tillämplig vid mätning med spårfilm /1/, nämligen

$$x_{\text{år}} = \frac{\sum x_i + x_{\text{max}}}{n + 1}$$

där  $x_i$  är rum-tid-medelvärdena för varje använd radonmätare,  $x_{\text{max}}$  det högsta erhållna värdet, och  $n$  antalet använda mätare.

Till den tidigare angivna onoggrannheten i analysen skall läggas osäkerheten rörande luftomsättningens avvikelse från årsmedelvärdet.

För hus med kontinuerlig fläktventilation ökas onoggrannheten med  $\pm 7$  %.

För hus med självdragsventilation ökas onoggrannheten med  $\pm 15$  %.

För omräkning från radonhalt till radondotterhalt används den s k dosfaktorn 0,5, dvs radondotterhalten erhålls genom att multiplicera radonhalten med 0,5.

## 5 KALIBRERING

Faktorn för omräkning mellan mätvärde och radonexposition skall bestämmas så att den framräknade radonhalten ej avviker mer än ca  $\pm 10\%$  från det mest sannolika värdet, alternativt, vid samtidig mätning med ett flertal radonmätare, att en gemensam omräkningsfaktor väljs så att de framräknade radonhalterna tillhör en fördelning med standardavvikelsen ca  $10\%$  och medelvärdet lika med det mest sannolika värdet på radonhalten.

## 6 MÄTRAPPORT

Rapporten skall innehålla:

- Mätmetod och identifiering av radonmätare
- Identifiering av bostad
- Mätplatser i bostaden
- Mättidpunkt och mättid för var och en av mätplatserna
- Institution som utfört utvärderingen
- Beräknat årsmedelvärde för radonhalten i bostaden eller delar av den
- Uppskattat årsmedelvärde för radondotterhalten i bostaden eller delar av den
- Uppskattad onoggrannhet i radondotterhaltens årsmedelvärde, angiven som en standardavvikelse i  $\%$
- Eventuella avvikelser under mätperioden från normalt inomhusklimat
- Om årsmedelvärde ej kunnat uppskattas anges orsaken härtill.

BESTÄMNING AV RADONDOTTERHALT GENOM INSAMLING AV  
RADONGAS PÅ AKTIVT KOL

SP A2 609

1. OMFATTNING OCH TILLÄMPNING

Denna metod avser integrerad mätning av radonhalt i bostäder med hjälp av insamling på aktivt kol. Mätcellen består av en behållare fylld med aktivt kol och ett luftgenomsläppligt filter, och insamlingen bygger på diffusion av radongas som sedan adsorberas på kolet. Mätcellen kan även kompletteras med torkmedel. Metoden är tillämpbar även i andra typer av utrymmen där människor vistas under lång tid.

Mätningen sker under så lång tid att korttidsvariationer skall utjämnas, men långtidsvariationer måste beaktas.

Den erhållna exponeringen i bostäder kan användas för uppskattning av radondotterhaltens årsmedelvärde för jämförelse med gränsvärden. Vid denna uppskattning måste hänsyn tas till påverkande faktorer såsom inneklimatförhållanden under mätningen.

2. DEFINITION

Med radondotterhalt menas halten av de enskilda döttrarna, så hopviktade att de svarar mot ekvivalent jämviktsskoncentration av radon (Equilibrium Equivalent Concentration of Radon, EEC). Radon och radondotterhalten uttrycks i enheten Bq/m<sup>3</sup>. Luftens radonhalt erhålls vid mätningen. Ur mätvärdet beräknas motsvarande radondotterhalt under antagandet att denna utgör 50 % av radonhalten.

3. PROVNINGSFÖRFARANDE

3.1 Princip för mätning

Transport av behållaren med aktivt kol sker med slutet lock. Behållaren placeras fritt i det rum där radonhalten skall mätas varefter behållarens lock öppnas. Radongasen diffunderar in i det aktiva kolet och fastnar på dess yta. (Adsorptionen är temperaturberoende.) Gasen sönderfaller till radondöttrar. Sedan insamlingen av radongasen är avslutad tillsluts locket till behållaren. Mätning sker genom att placera behål-



laren i en blygrotta över en gammadetektor för bestämning av gammastrålningen från radondöttrar som är fästa på kolets yta. Med kännedom om sambandet mellan radonhalt och gammastrålningens aktivitet kan radonhalten i rummet bestämmas. Detta samband skall vara känt genom kalibrering, jämförelsemätning eller på annat sätt.

### 3.2 Hantering

Behållaren med aktivt kol kan placeras ut av den boende efter medföljande instruktion. Denna instruktion skall innehålla val av bostadsrum, mätpunkt och mättidens längd. Ventilationsförhållanden under mätningen skall noteras i hanteringsföreskriften som bifogas behållaren när den sänds för utvärdering.

Före och efter mätningen förvaras behållaren på sätt som anges i instruktionen.

### 3.3 Mätplats

Mätningen skall utföras dels i sovrum, dels i det rum i bostaden där de boende tillbringar längst dagtid. (I valet mellan flera sovrum väljes det rum som ligger närmast marken och/eller det rum som är byggt av radioaktiva byggnadsmaterial och som har låg luftomsättning.

Råder tveksamhet i valet av sovrum väljes rummet med störst volym.

Behållaren med aktivt kol skall placeras så att öppningen är fri mot luften. Behållaren får inte stadigvarande utsättas för kraftig luftströmning vid till- och frånluftsdon, fönster eller balkongdörr varför behållaren normalt bör placeras minst 1,5 m från dessa. Den får heller inte placeras nära ett värmeelement eller annan värmekälla.

Behållaren med aktivt kol får ej flyttas från mätplatsen under mättiden.

Behållaren med aktivt kol får ej placeras i kraftigt fuktiga miljöer såsom toalett, tvättrum, kök eller motsvarande. Ej heller i miljöer med kraftiga luftföroreningar.

Mätningen utföres i minst två mätpunkter per bostad. Vid önskemål om större säkerhet i mätresultatet används fler behållare, utplacerade i olika rum, och helst minst två behållare per våningsplan. Normalt uppskattas årsmedelvärdet för hela bostaden, men kan även uppskattas för varje bostadsplan för sig. Om mätpunkterna härrör från mätningar på olika plan i en flerplansbostad, skall detta framgå när behållarna återsändes.

Uppgift om var behållarna placerats måste alltid åtfölja dessa när de återsändes.

### 3.4 Mättidpunkt och mättid

Mätningen bör göras så att omfattande fönstervädning undvikas. Om i jämförelse med årsmedelvärdet onormal fönstervädning förekommer, eller om luftomsättningen av andra skäl avviker från det normala, öka mätningens onoggrannhet, se nedan. Normalt bör man undvika att mäta under juni-augusti.

Mättidens längd väljes dels med hänsyn till behållarens egenskaper dels för att effekter av korttidsvariationer i klimat och boendevanor skall utjämnas. Lämplig mättid skall meddelas i den instruktion som medföljer behållaren. Normalt skall mättiden vara högst en vecka.

Uppgift om mättidpunkt och mättidens längd måste alltid åtfölja behållaren när den återsändes för utvärdering.

### 3.5 Bedömning av luftomsättning

För uppskattning av årsmedelvärde måste för årstiden onormala klimatförhållanden meddelas när behållaren skickas för utvärdering. Följande inomhusklimat anses normalt

- luftväxling genom ventilationsfläktar, självdragsventilation och kortvarig fönstervädning. Vådringsluckor och tilluftsdon skall vara öppna i normal omfattning. (OBS omfattande fönstervädning avviker från normala förhållanden och skall meddelas. Varaktig, invändig kondens mot fönsterrutor tyder på dålig luftväxling och skall meddelas om den inte har förorsakats av någon särskild fuktalstrande verksamhet).

## 4. UTVÄRDERING

### 4.1 Princip

Utvärderingen av den exponerade behållaren sker i två steg

- 1 Gammalspektrometrisk bearbetning
- 2 Bestämning av årsmedelvärde

Metoden har två dominerande osäkerhetskällor

- a) behållarens onoggrannhet, dvs förhållandet mellan gamma aktiviteten erhållen genom mätning med gammadetektorn och verklig radonhalt

- b) analysens onoggrannhet, dvs den statistiska spridningen av pulser från gamma aktiviteten i relation till tiden för utvärderingen. Ett stort antal pulser medför större noggrannhet i mätningen.

Noggrannheten i bedömt årsmedelvärde innefattar förutom dessa två osäkerheter även osäkerheten i bedömningen av klimatet under mätningen i förhållande till medelförhållandena under året.

#### 4.2 Gammalspektrometrisk bearbetning av exponerad behållare med aktivt kol

Kolets aktivitet mätes gammalspektrometriskt med NaI-detektor eller motsvarande. Det stokastiska felet vid mätningen skall vara mindre än 10 % vid radondotterhalter över 100 Bq/m<sup>3</sup>.

#### 4.3 Årsmedelvärdesberäkning för bostäder

Radondotterhalten bestäms genom att multiplicera radonhalten med jämviktsfaktorn 0,5. En uppskattning av radondotterhaltens årsmedelvärde i bostaden eller i ett våningsplan i bostaden sker med hjälp av de båda (eventuellt flera) mätvärdena.

$$x_{\text{år}} = \frac{\sum x_i}{n}$$

där  $x_i$  = de olika mätvärdena av radondotterhalt i Bq/m<sup>3</sup>  
 $n$  = antalet behållare

Värdet på  $x_{\text{år}}$  avrundas till närmaste 10-tal.

Till den tidigare angivna gammalspektrometriska onoggrannheten skall läggas osäkerheten rörande om hur luftomsättningen under mättiden förhåller sig till medel-luftsomsättningen under året.

I hus med kontinuerlig fläktventilation ökas onoggrannheten med ±10 %.

För självdragsventilerade hus görs följande bedömning

Om luftomsättningen ej bedöms ha avvikit alltför mycket under mätperioden i förhållande till luftomsättningen under året ökas onoggrannheten vid bedömning av årsmedelvärdet med ±25 % vid mätning under en vecka. Bedöms luftomsättningen ha avvikit extremt mycket från den normala kan ej årsmedelvärdet bedömas.

## 5. MÄTRAPPORT

Rapporten skall innehålla

- Mätmetod och identifiering av behållaren med aktivt kol
- Kontrollförfarande för gammaspektrometrisk utvärdering
- Identifiering av bostaden
- Mätplatser i bostaden
- Mättidpunkt och mättid
- Institution som utfört utvärderingen
- Antagen jämviktsfaktor mellan radon och radondotterhalt (= 0,5 som normalt värde)
- Radondotterhalt för varje mätplats uttryckt i Bq/m<sup>3</sup>
- Medelvärde för bostaden
- Eventuella avvikelser under mätperioden från normalt inomhusklimat
- Uppskattat årsmedelvärde av radondotterhalt för bostaden anges som ett intervall.

Bilaga 3  
till avtal mellan  
SP och ABEM

## KONTROLL

Track Etch - detektorernas utvärdering och laboratorievärdena uttryckes i:  $Bq/m^3$  av radondöttrar när  $Bq/m^3$  (döttrar) =  $Bq/m^3$  (radon), utgående från  $WLR = 0,5$ , dvs equilibrium equivalent concentration of radon (EEC) när jämviktsfaktorn  $F = 0,5$ .

Kontroll av material och utvärdering sker i två steg, här kallat kontroll A och kontroll B.

Då SP erhåller en sändning från Terradex, reserverar SP dels 4 satser om 5 detektorer vardera för kontroll A (här kallade A1, A2, A3 och A4) samt en sats om 10 detektorer (här kallad B1) för kontroll B. Sammanlagt 30 detektorer reserveras alltså av SP för varje sändning från Terradex. Kontrollexponering av A1 och B1 påbörjas samtidigt som exponering påbörjas hos SP:s kunder. A2, A3 och A4 förvaras av SP (enl bilaga 2) för eventuella extra kontroller.

SP skall meddela ABEM och Terradex resultatet av varje kontrollmoment inom en vecka efter mottagen utvärderingsrapport. Om inget resultat meddelas, är kontrollen godkänd.

### Kontroll A (konstanskontroll radondöttrar)

- 1.1 Sats A1 exponeras hos Statens Strålskyddsinstitut (SSI) i känd, hög radonmiljö, (lägsta radondotterexponering 1 000 ( $Bq/m^3$ ) x månad) varefter de av SP snarast returneras till Terradex för utvärdering.
- 1.2 Terradex rapporterar resultatet av utvärderingen till SP. Inom en vecka efter mottagen utvärderingsrapport skall SP meddela ABEM och Terradex resultatet av kontroll A1.
- 2.1 Om aritmetiska medelvärdet av de 5 detektorerna A1 avviker med högst  $\pm 35\%$  från av SSI angivet värde, är utvärderingen godkänd.
- 2.2 Om aritmetiska medelvärdet av de 5 detektorerna A1 faller utanför i pkt 2.1 angivna gränser, sker extra kontroll enligt följande:
  - 3.1 5 detektorer (sats A2) skickas av SP till annat av SP och Terradex överenskommet laboratorium för exponering i känd, hög radonmiljö, (lägsta radondotterexponering 1 000 ( $Bq/m^3$ ) x månad). SP ombesörjer att detektorerna därefter sänds direkt till Terradex för utvärdering.
  - 3.2 Terradex rapporterar resultatet av utvärderingen till SP. Inom en vecka efter mottagen utvärderingsrapport skall SP meddela ABEM och Terradex resultatet av kontroll A2.

- 4.1 Om aritmetiska medelvärdet av de 5 detektorerna A2 avviker med högst  $\pm 35\%$  från av laboratoriet angivet värde, är utvärderingen godkänd. SP svarar för att SSI undersöker om fel begåtts av dem och om dessa kan åtgärdas.
- 4.2 Om aritmetiska medelvärdet av de 5 detektorerna A2 faller utanför angivna gränser, underkänns utvärderingen. Terradex undersöker vilka fel som begåtts och meddelar SP, när och hur dessa åtgärdats.
- 4.2.1 Är felet att hänföra till bristfälligt material, översänder Terradex nya detektorer i samma antal som aktuell sändning till SP.
- 4.2.2 Är felet att hänföra till bearbetning eller utvärdering, sker en tredje kontroll enligt följande.
- 5.1 Sats A3 exponeras hos SSI på i pkt 1.1 angivet sätt. Sats A4 exponeras samtidigt hos annat, överenskommet laboratorium på i pkt 3.1 angivet sätt. SP ombesörjer att detektorerna därefter returneras till Terradex för utvärdering.
- 5.2 Terradex rapporterar resultaten av utvärderingen till SP. Inom en vecka efter mottagen utvärderingsrapport skall SP meddela ABEM och Terradex resultatet av kontrollerna A3 och A4.
- 6.1 Om kontroll A4 visar godkänt resultat, godkänns utvärderingen.
- 6.2 Om kontroll A4 visar underkänt resultat äger SP rätt att häva avtalet.
- 7.1 I ett inledningsskede - vars längd SP bestämmer - kan kontroll A utökas med eller utbytas mot konstanskontroll radon. Tillvägagångssättet överensstämmer med konstanskontroll radondöttrar utom på följande punkter.
- Spårfilmen placeras i en kopp med radonfilter.
  - Avvikelsen, punkterna 2.1 och 4.1, får uppgå till högst 20%.

När den utökade kontrollen tillämpas skall både radondotterkontroll och radonkontroll vara godkända.

KONTROLL B (spridningskontroll)

Kontroll B genomföres efter godkänd kontroll A.

- 8.1 De tio detektorerna B1 exponeras på ett standardiserat sätt i ett bostadsrum med jämn radonfördelning på sätt som motsvarar normal mätning. Därefter returneras de av SP till Terradex för utvärdering tillsammans med detektorer som exponerats hos SP:s kunder.
- 8.2 Terradex rapporterar resultatet av utvärderingen till SP. Inom en vecka efter mottagen utvärderingsrapport skall SP meddela ABEM och Terradex resultatet av kontroll B.
- 9.1 Utvärderingen godkänns om standardavvikelsen av de tio detektorernas resultat ligger inom nedan angivna gränser:

<u>Aritmetisk medelvärde</u> <u>(Bq/m<sup>3</sup>) x månad</u>	<u>Standardavvikelse i</u> <u>enskild mätning (%)</u>
200	36
500	25
1000	20

- 9.2 Faller standardavvikelsen i en enskild mätning utanför angivna gränser är utvärderingen underkänd. SP meddelar Terradex vilka utvärderingsarbeten som skall stoppas. Terradex undersöker, vilka fel som har begåtts och meddelar SP, när och hur dessa åtgärdats.
- 10.1 SP låter därefter utvärdera nästa sändning. Ger utvärderingen av B1 i denna sändning godkänt resultat, återupptas utvärderingsarbetet av inneliggande sändningar. Terradex gör om utvärderingen av föregående sändning eller ersätter SP med nya detektorer i samma antal som den underkända sändningen.
- 10.2 Om tre på varandra följande sändningar underkänns i kontroll B, äger SP rätt att häva avtalet.

**STATENS INSTITUT  
FÖR BYGGNADSFORSKNING**

Avd för energihushållning  
Mätenheten för energi och  
inneklimat  
Carl Axel Boman, IKI

1984-01-20

MÄTNING AV LOKAL LUFTOMSÄTTNING I  
ENFAMILJSHUS I SAMBAND MED RADON-  
STUDIER. 1983-09-02



1984-01-20

## INNEHÅLL

1. INLEDNING
2. MÄTNINGAR
  - 2.1 Lokal luftomsättning
  - 2.2 Mätpunkter
  - 2.3 Resultat
    - 2.3.1 Sovrum
    - 2.3.2 Hobbyrum
3. SAMMANFATTNING

1984-01-20

## 1. INLEDNING

Uppdragsgivarens uppgift i enfamiljsfastigheten, Vikingavägen 27A Sollentuna, är att göra jämförande mätningar med olika typer av radonmätinstrument. I detta sammanhang har uppdragsgivaren, Allmänna Ingenjörbyrå (AIB), Stockholm, givit SIB i uppdrag att bestämma den lokala luftomsättningen i två rumsenheter i fastigheten. Dessa rumsenheter som utnyttjats som provrum, är ett sovrum på bottenplan och ett hobbyrum 2 trappor ned. Ventilationen i fastigheten är s k självdragssystem med den avvikelser att hobbyrummet har en egen frånluftsfäkt med okänt flöde, monterad i en av ytterväggarna.

Luftomsättningsmätningen utfördes 1983-09-02 av SIB-personal, CA Boman (delvis), Stig Skogberg samt, i studiesyfte, Ulf Vallenor. Från AIB deltog Hannes Schmied.

Vädersituationen vid mättillfället var:

	Temp °C	Vindrikt.	Vindhast. m/s
1983-09-02 kl. 07	18.0	SO	6
kl. 13	25.9	S	7
kl. 19	20.9	S	4

Uppgifterna hämtade från Stockholm-Bromma.

Fastigheten bedöms ha ett öppet läge.

## 2. MÄTNINGAR

2.1 Lokal luftomsättning

Vid mätningarna för att bestämma den lokala luftomsättningen i de båda rummen har den s k spårgastekniken använts. Dvs en mängd spårgas ( $N_2O$ ) sprids in i byggnadsvolymen och väl blandas med rumsluften. Därefter registreras avklingningen av spårgas i takt med ventilationens verkan.

2.2 Mätpunkter

I det ena provrummet, sovrummet på bottenplan, placerades tre stycken mätpunkter centralt i rummet på nivåerna 0.1, 1.2 och 1.7 m över golv. Dvs i ett vertikalt snitt mitt i befintliga radonmätenheter. I det andra provrummet, hobbyrummet två trappor ned (suterränghus) placerades mätpunkterna i ett längsgående snitt med 2 grupper av mätpunkter på 0.1, 1.2 och 1.7 m över golv, också här med radonmätenheterna placerade mellan

1984-01-20

### 2.3 Resultat

#### 2.3.1 Sovrum

Resultaten från varje mätpunkt redovisas nedan, och utgör den lokala luftomsättningen,  $r$  [ $\text{h}^{-1}$ ], i varje mätpunkt med sovrumsdörren öppen.

Mätpunkt 3; 1.7 m ö g	$r = 0.16 \text{ h}^{-1}$
" 2; 1.2 m ö g	$r = 0.15 \text{ h}^{-1}$
" 1; 0.1 m ö g	$r = 0.14 \text{ h}^{-1}$

#### 2.3.2 Hobbyrum

Resultaten från hobbyrummet motsvarar den lokala luftomsättningen i varje punkt med stängd dörr, och enligt iakttagelser inströmmande luft genom dörrspringan in i hobbyrummet.

Mätpunkt 6; 1.7 m ö g	$r = 0.35 \text{ h}^{-1}$
" 5; 1.2 m ö g	$r = 0.36 \text{ h}^{-1}$
" 4; 0.1 m ö g	$r = 0.32 \text{ h}^{-1}$
" 3; 1.7 m ö g	$r = 0.36 \text{ h}^{-1}$
" 2; 1.2 m ö g	$r = 0.36 \text{ h}^{-1}$
" 1; 0.1 m ö g	$r = 0.35 \text{ h}^{-1}$

Mätpunkterna 1-3 är placerade närmast dörr medan 4-6 är placerade närmast frånluftsfläkt.

Mätningarna är utförda med en noggrannhet av  $\pm 12\%$ .

### 3. SAMMANFATTNING

Som synes av resultaten finns ej några stora variationer i den lokala luftomsättningen i respektive rum.

Däremot registreras skillnader mellan rummen. Den låga nivån för sovrumsrummet beror sannolikt på väderleksbetingelserna. Trots relativt kraftig vind finns ej några termiska krafter. Utetemperaturen var vid mättillfället ca  $+25^{\circ}\text{C}$ .

## Fotobilaga

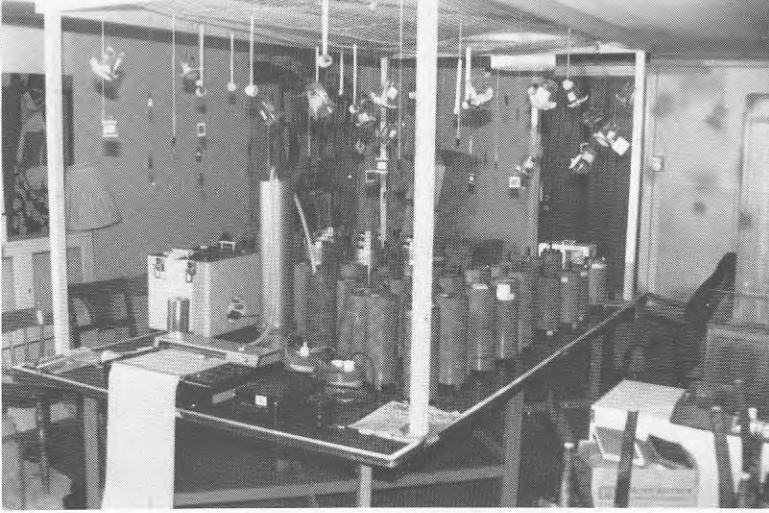


Bild 1 Det nedre rummet, samtliga detektorer, i förgrunden SSIs jonkammare



Bild 2 Det nedre rummet, samtliga detektorer, i förgrunden SMHIs termohygrograf. I bakgrunden syns frånluftfläkt som under hela mätperioden sög luft ur rummet.

Bild 3  
Det nedre rummet,  
med TLD-instru-  
ment på bordet  
och olika typer  
av filmer hängande  
i hönsnätet.  
S-O Ericson i bak-  
grunden.



Bild 4  
Det övre rummet  
sett från passa-  
gen, dörren stod  
öppen under hela  
mätperioden.



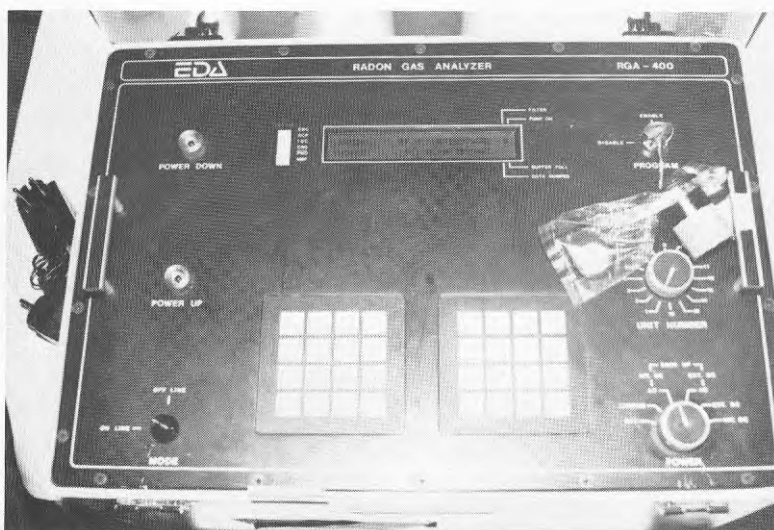


Bild 5 Kontinuerligt radon- och radondotterinstrument RGA-400, EDA Instruments Inc. Referensinstrument i det övre rummet gällande radondotterhalt.



Bild 6 Kontinuerligt radondotterinstrument WLM-300, EDA Instruments Inc. Referensinstrument i det nedre rummet gällande radondotterhalt.

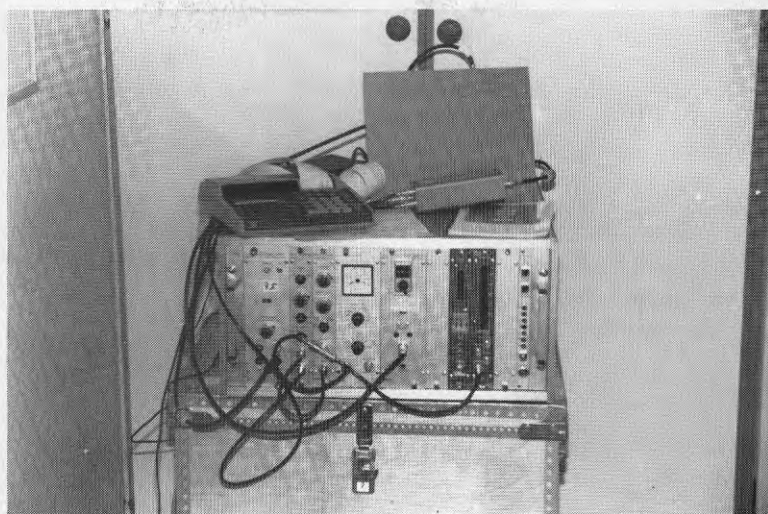


Bild 7 Kontinuerligt radoninstrument, Studsvik Energiteknik AB

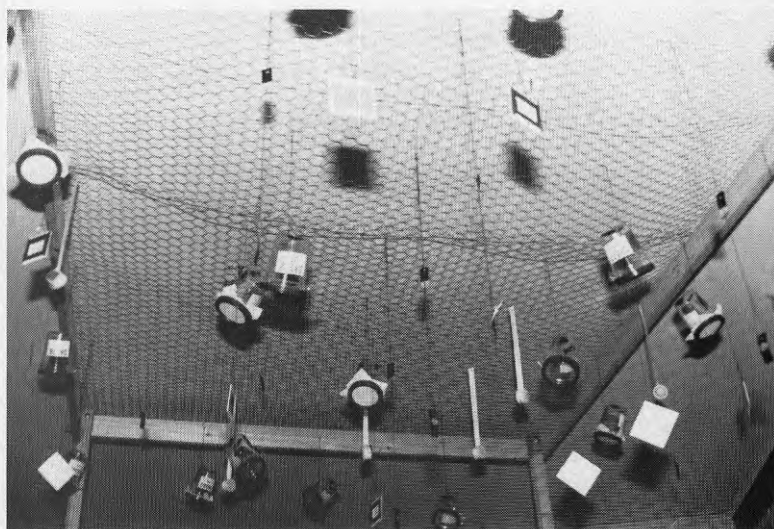


Bild 8 Integrerande detektorer baserade på film Kodak LR, typ II, samt Trac etch upphängda i ett hönsnät vid taket

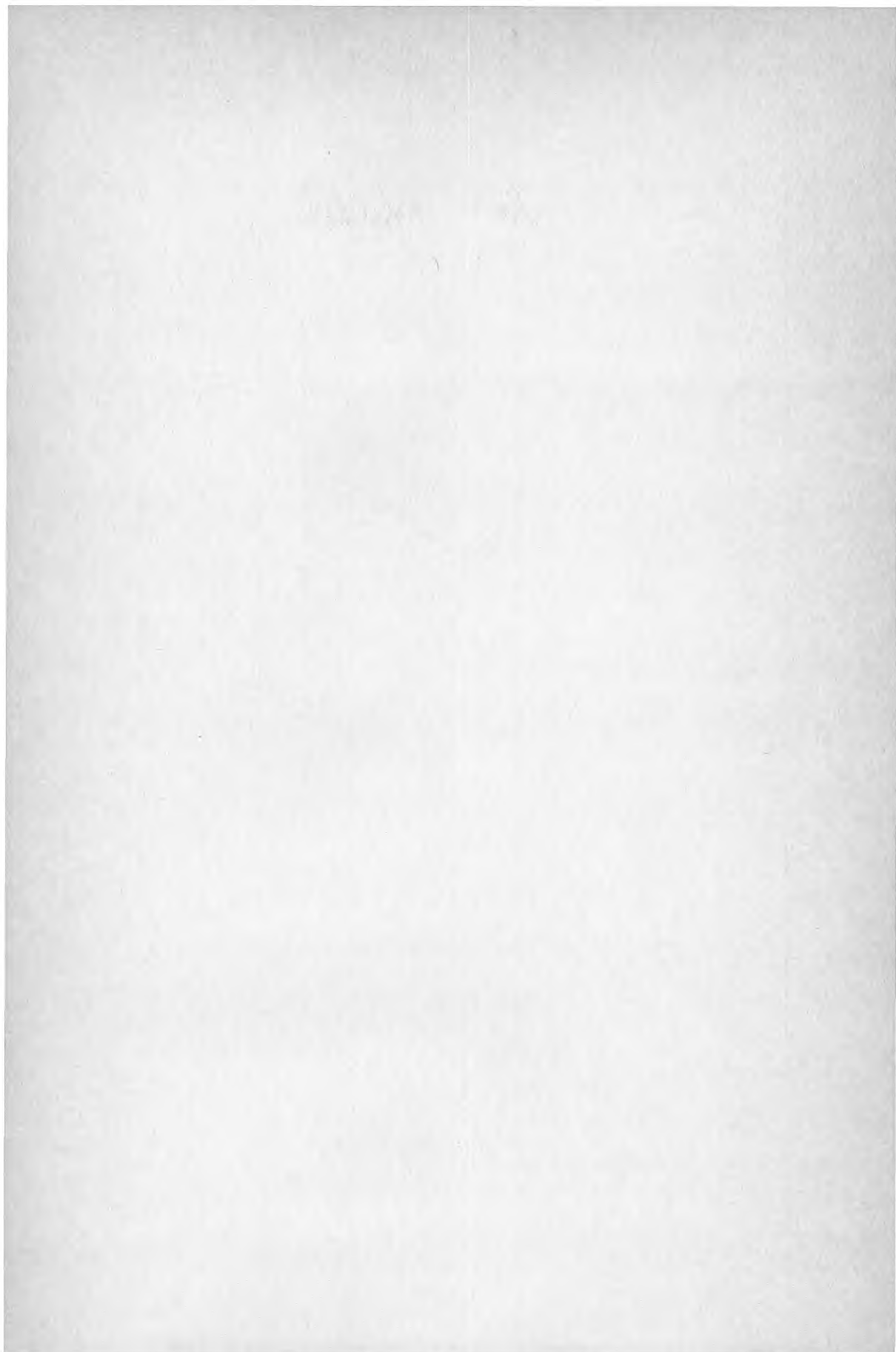
Bild 9  
Integrerande de-  
tektorer baserade  
på film, i för-  
grunden Terradex  
Trac etch, typ B  
samt typ M, till  
höger typ SF.



Bild 10  
Integrerande de-  
tektorer basera-  
de på TLDosimet-  
rar, s k TLD-in-  
strument. På  
bilden visas  
RM-1 från  
Studsvik Energi-  
teknik AB.









**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag  
820463-9 från Statens råd för byggnadsforskning  
till AIB, Allmänna Ingenjörbyrån, Solna.**

**R159: 1984**

**ISBN 91-540-4250-X**

**Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Art.nr: 6704159**

**Abonnemangsgrupp:  
Z. Konstruktioner och material**

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

**Cirka pris: 50 kr exkl moms**