



**STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT**

## **SGI VARIA 154**

UTVECKLING AV APPARAT FÖR MÄTNING AV  
RADONEXHALATION

Bengt Rosén

STU Projektnr 84-4724  
SGI Diariernr 1-241/84

**Linköping 1985**

## STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT

### FÖRORD

Projektet initierades genom en rad enkla försök i SGI:s laboratorium där radonexhalationen från jordprover studerades som funktion av vattenkvoten.

Genom internfinansiering och ett anslag från Styrelsen för teknisk utveckling har en förbättrad exhalationsutrustning utvecklats och testats.

Utrustningen har byggts upp av civilingenjör Sten Kullberg som också satt upp teorin för den matematiska beräkningsgången. Civilingenjör Per-Evert Bengtsson har tagit fram mjukvaran för datahanteringen och forskningsingenjör Olov Lindholm har kopplat ihop de elektroniska delarna. Bergsingenjör Alf Lindmark har stöttat projektet i viktiga principdiskussioner. Ett varmt tack riktas till alla som bidragit till att projektet har kunnat genomföras.

Linköping i november 1985

Bengt Rosén

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	sid
SAMMANFATTNING	3
1. INLEDNING	4
2. APPARATENS UPPBYGGNAD	5
3. KALIBRERING	9
4. LÄCKAGE	9
5. TEORI	10
6. MÄTNING OCH UTVÄRDERING	14
7. MÄTRESULTAT	14
8. RESULTATANALYS	16
9. REFERENSER	17
FOTOBILAGA	

## SAMMANFATTNING

Projektet har syftat till att utveckla en apparat för mätning av exhalerat radon från radioaktivt material såsom jordprover innehållande radium -226. Metoden är ett hjälpmedel för att bedöma radonavgången från mark.

Med exhalationsapparaten mäts den förhöjda radonhalten som orsakas av instängt radiumhaltigt material i en burk. Genom att jämföra radonhaltens förändring i tiden, med respektive utan exhalerande material, beräknas exhalationen.

Utvecklingen har lett till att man kan göra repeterbara mätningar med apparaten. Läckaget är fortfarande relativt stort vilket försämrar noggrannheten.

Rapporten pekar på att bakdiffusion kan påverka mätresultaten liksom eventuell förekomst av radondöttrar i mätcellen. Mätresultat på olika jordar ger dock rimliga resultat vid variation av vattenkvoten och i förhållande till teoretisk maximal exhalation.

Apparaten är färdig att kalibreras mot annan likvärdig utrustning. Vissa modifieringar kan leda till att apparaten får en enklare utformning och att radonläckaget minskas.

## 1. INLEDNING

### 1.1 Bakgrund

Radium -226 finns i både berggrunden och jorden. Genom spontant sönderfall bildas radon -222 som är en gas. Gasen kan genom såväl konvektion som diffusion förflytta sig genom marken och byggnaders grundkonstruktioner fram till boenderymmen. Vid fortsatt sönderfall bildas radondöttrar (partiklar) som vid långvarig exponering utgör en lungcancer risk för människan.

För att undvika skador av radon finns enligt Svensk Byggnorm 1980 ett gränsvärde avseende högsta tillåtna radon dotterhalt inomhus ( $70 \text{ Bq/m}^3$  i nybyggnad). Redan i plan- och projekteringsskedet är det angeläget att kunna bedöma om och i så fall vilka motåtgärder som behövs för att gränsvärdet inte skall överskridas.

Genom markundersökningar där bestämningen av markradonhalten är ett viktigt moment görs radonriskbedömningar i tre klasser motsvarande lämpliga byggnadstekniska skyddsåtgärder.

Exhalationsmätningar på jordprover är tänkt som ett komplement till nuvarande undersökningsmetoder in situ. Detta är speciellt värdefullt när sådana mätningar inte kan genomföras på grund av ytligt berg, högt grundvatten eller andra hinder. Metoden kan också användas för att påvisa långtransporterad radongas såsom djupgas. Man jämför då markradonhalter och andra jordegenskaper med exhalation från jordprover. Det är dock inte klarlagt om och hur radontransport över längre sträckor förekommer i jord- och berggrund.

### 1.2 Syfte

Syftet har varit att utveckla en apparat för laboratoriebestämning av jordprovers radonexhalation. Med utgångspunkt från en mycket enkel mätanordning ställdes följande krav på den nya utrustningen:

- o instrumentet för mätning av radonhalt måste ha tillräcklig noggrannhet
- o apparaten måste göras så gastät som möjligt så att läckagefaktorn blir liten och konstant (reproducerbarhet)
- o förhållandet mellan jord- och luftvolym beaktas så att inte radonets begränsade diffusionslängd inverkar menligt

- o möjlighet att göra mätningar även på fuktiga jordprover som normalt kladdar ihop.

### 1.3 Genomförande

Eftersom läckaget förväntades få stor betydelse för mätresultaten genomfördes en serie försök med olika burktyper. Det visade sig då vara nödvändigt att öka den noggrannhet man kunde få genom att mäta på diskreta luftprover. Genom att övergå till upprepade mätningar på den inneslutna luften i burken ökades mätnoggrannheten. Samtidigt ökade läckagemöjligheterna då luften i burken skulle cirkuleras över en mätcell utanför burken.

Med den utarbetade mätfilosofin byggdes exhalationsapparaten upp av olika (standard) komponenter som kopplades ihop till en fungerande enhet. Huvudkomponenterna som beskrivs närmare i kapitel 2 är

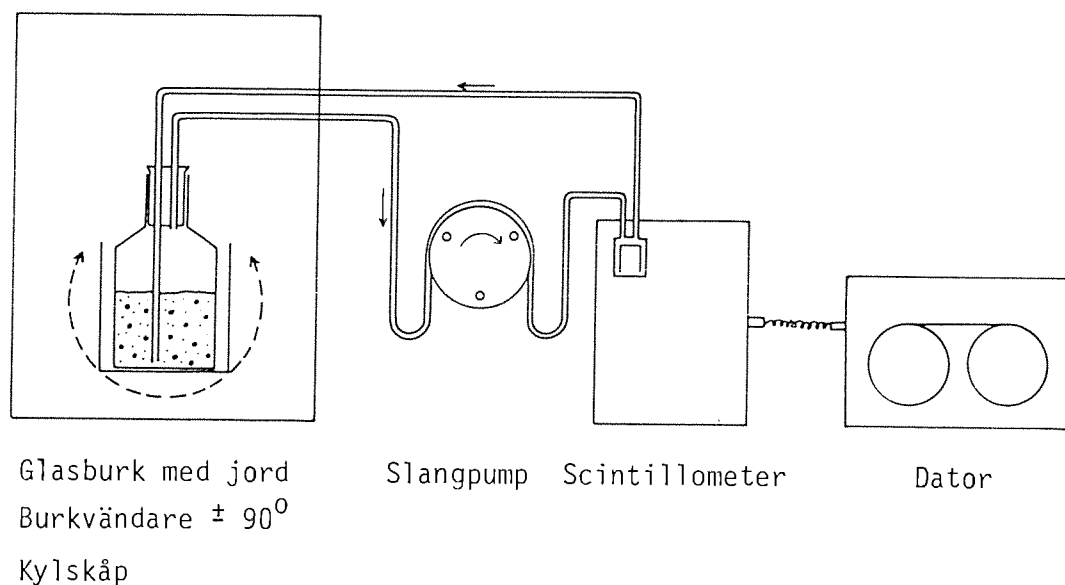
- o glasbehållare för jordprov
- o slangpump
- o förbindelseslangar med filter
- o scintillometer
- o persondator

Läckagefaktorn bestämdes genom försök beskrivna i kapitel 4. Den nya mätprincipen ledde till en matematisk anpassning av ekvationen för exhalation, detta beskrivs i kapitel 5. Mätserierna blev av sådan omfattning att mätinstrumentet måste anslutas till en dator för lagring och bearbetning av mätdata.

En serie försök genomfördes på jordprover vid olika vatteninnehåll. Resultaten redovisas i kapitel 7.

## 2. APPARATENS UPPBYGGNAD

Exhalationsapparaten bygger på följande princip, Fig 1. Radioaktivt material exhalerar radon i en burk. Radongasen pumpas runt i en slinga förbi en mätcell som ger utslag proportionellt mot radonhalten. Jämför också med fotobilagan.



Figur 1. Principfigur av exhalationsapparat och mätvärdesinsamling.

## 2.1 Burk för jordprov

En lämplig burk måste uppfylla två krav. Den måste vara tät men också möjlig att öppna och stänga för utbyte av jordprover. Kraven står i motsats till varandra och vi har därför kompromissat. Valet föll på en 500 ml glasburk. En slipad glaspropp  $\varnothing 45$  mm insmord med silikonfett ger en relativt tät burk. Ingjutna i locket sitter ett långt och ett kort glaströr med avstängningskranar av teflon.

Radon har en kort halveringstid (3,82 dygn) och därmed en begränsad diffusionslängd. Det innebär att radon har sönderfallit till 10% av den ursprungliga halten efter en transport av 5 cm i vatten, 5 m i luft eller ca 2 m i jord. För att minska effekten av att radongas innesluts i tjocka jordprov tas frånluften via det korta glaströret medan tilluften mynnar nertill i jordprovet.

Alternativt kunde man ha valt ett mindre jordprov men då minskar den totala exhalationen och därmed noggrannheten i mätresultatet. Burkar med en stor bottenyta i relation till volymen är också ett alternativ men sådana måste specialtillverkas.

## 2.2 Slangpump

Slangpumpar har fördelen att kunna pumpa gas utan att gasen kommer i direkt kontakt med pumpen (peristaltiska principen). Vi har därför valt en sådan (märke Rhone-Poulenc för medicinskt bruk) med låg flödeskapacitet, max 0,5 l/min. Flödesinställningen har varit låg vid försöken, 0,06 l/min, för att inte skapa onödiga tryckskillnader och därmed högt läckage.

Flödet har kontrollerats med den så kallade såpbubblemetoden där man mäter sträcka/tid för en såpbubblas förflyttning genom ett glasrör.

## 2.3 Förbindelseslangar med filter

Slangarnas uppgift är dels att transportera den inneslutna luften, dels att stoppa fukt och toron från burken till mätcellen. Vi har valt slangar av silikontyp som är både täta och smidiga. Genom slangpumpen är slangens dimension 8 x 12 mm, i övrigt 6,5 x 10 mm.

Fukt från burken stoppas i ett rörfilter fyllt med Drierite ( $\text{CaSO}_4$ ) som vid fuktmättnad ger färgomslag. I röret sitter också ett skumgummifilter som avskiljer stoft ur luften.

Eftersom mätinstrumentet ger utslag för alfastrålning vid sönderfallet av både radon-222 och radon-220 (toron) måste toronet avskiljas mellan jordprovet och mätcellen. Genom att toronets sönderfallstid (55,6 s) är väsentligt kortare än radonets (3,82 d) kan man med lämplig transporttid se till att det mesta toronet hinner sönderfalla före mätcellen. Slanglängden och flödes hastigheten har anpassats så att mindre än 3% av ursprunglig torongas når mätcellen.

Före ingången till scintillometern finns också ett mikroporfilter med avsikten att avskilja radondotterpartiklarna. Det är emellertid osäkert om det räcker att avskilja radondöttrarna med filter eftersom sönderfallet av radon fortsätter bakom filtret.

## 2.4 Scintillometer

Som mätinstrument används en scintillometer typ Bondar-Clegg RE 279 (Ramsey REC Ltd, Kanada). Vid mätning suges den radonhaltiga luften in i en cell (volym 140 cm<sup>3</sup>) som på insidan är täckt med ett fluorescerande ämne av silveraktiverad zink-



sulfid, ZnS (Ag). När detta träffas av alfapartiklar, som avges vid radonets och radondöttrarnas sönderfall omvandlas den absorberade strålningens energi till ljusblixtar, scintillationer. Behållaren är ansluten till ett fotomultiplikatorrör, som omvandlar ljusblixtarna till mätbara elektriska pulser, och registrerar dem i en räknare. Antalet registrerade pulser per tidsenhet är ett mått på radonhalten i den luft som passerat mätcellen.

Instrumentet har modifierats så att pulserna överförs och lagras i en persondator.

### 2.5 Persondator

Datorsystemet består av en särskild pulsräknare (HP 5316 A) som styrs av en persondator (HP 85). Vi har valt att summera en minuts pulser från scintillometern varannan minut. Mätvärdena lagras på magnetband. Datorn kopplas sedan till en plotter för automatisk uppritning av mätvärdena i önskad diagramform. Ur diagrammet tolkas värden som används vid datorberäkning av exhalationen.

### 2.6 Temperatur

Burken med jordprov har vid pågående mätning varit placerad i ett kylskåp för att få en temperatur nära den som råder naturligt i jorden, 7-8°C.

### 2.7 Burkvändning

Rörmonteringen i burken är gjord för att få så god luftväxling som möjligt genom jordmaterialet i burken. Tanken var från början att dessutom vända burken kontinuerligt så att exhalerad radongas inte innesluts i tät jord. Genom att burken är kopplad till slangar har vi inte kunnat åstadkomma en sådan lösning. Vi har monterat burken i en vagga som tillåter svängning upp till  $\pm 90^\circ$  från vertikalläget. Vändningen ger dock ingen nämnvärd effekt på fuktig, finkornig jord.

### 3. KALIBRERING

Scintillometern används i andra sammanhang så att radonhaltig luft sugas in över mätcellen under en kort tid. Pulserna som alstras i mätcellen registreras under några minuter. Vid nästa mätomgång byts mätcellen ut mot en okontaminerad. För att få radonhalten uttryckt i sorten  $\text{Bq/m}^3$  multipliceras antalet pulser per minut med instrumentets kalibreringsfaktor, ca 125. Ett sådant mätförfarande lämpar sig inte för exhalationsapparaten främst på grund av dålig noggrannhet vid enskilda mätvärden.

Exhalationsapparaten har i stället byggts upp så att samma mätcell används hela tiden. Från mätstart med okontaminerad cell sjunker kalibreringsfaktorn med tiden. Vi har funnit att faktorn blir nära konstant efter ca 2,5 timmar och får då värdet 57,85. Värdet varierar något för skilda mätceller.

Absolutnivån har kalibrerats genom upprepade mätserier mot ett kontinuerligt radoninstrument tillverkat av Statens provningsanstalt med radonhaltig luft seriekopplad över instrumenten. Provningsanstaltens instrument var i sin tur kalibrerat mot det radonrum hos Statens strålskyddsinstitut vilket används som riksläkare.

### 4. LÄCKAGE

Det är önskvärt att ha så lågt läckage som möjligt i exhalationsapparaten, helst i nivå med radonets sönderfallskonstant  $0,007554 \text{ h}^{-1}$ . Stora ansträngningar har gjorts för att välja diffusionstätt material i slangar och kopplingar. Överallt där skilda apparatdelar möts har tätning gjorts med silikonfett eller silikongummi.

Läckaget har kontrollerats genom att släppa in radonhaltig luft i apparaten och sedan registrera radonhalten med tiden. I apparaten nybildas alltså inget radon genom exhalation från något jordprov. Radonkoncentrationen är definitionsmässigt

$$C = C_0 e^{-\lambda_{\text{eff}} t}$$

där  $C$  = koncentrationen vid tiden  $t$  ( $\text{Bq/m}^3$ )  
 $C_0$  = koncentrationen vid tiden 0 ( $\text{Bq/m}^3$ )  
 $\lambda_{\text{eff}}$  = effektiva sönderfallskonstanten ( $\text{h}^{-1}$ )

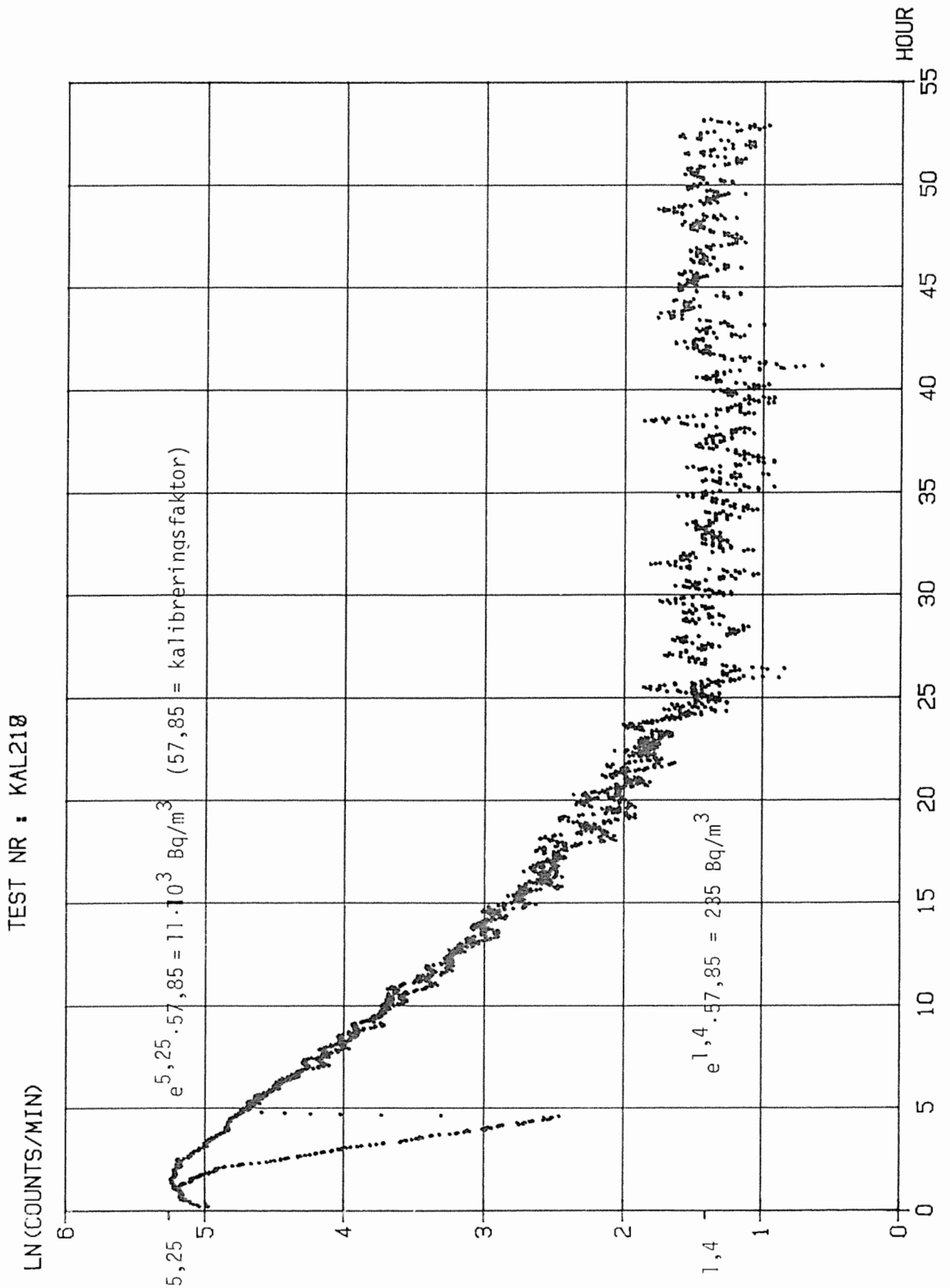
Effektiva sönderfallskonstanten är lika med summan av radonets sönderfallskonstant ( $\lambda_{\text{Rn}}$ ) och läckaget ( $\lambda_{\text{läck}}$ ).

Kontrollmätningar har visat att läckaget är relativt stort, ca  $0,15 \text{ h}^{-1}$ , trots den målmedvetna satsningen att göra apparaten tät. Upprepade mätserier har dock gett näraliggande resultat, se figur 2. Den plottade kurvan har ritats som ett successivt medelvärde av de tio närmaste enskilda mätvärdena. Kurvan skulle annars upplevas som orolig och svårtolkad, se figur 3.

Läckage- och sönderfallskurvan (LS-kurvan) antogs först vara en ren e-funktion, dvs en rät linje vid uppritning som i figur 2. Ekvationen är dock mer komplicerad och kan skrivas enligt följande för de första 20 timmarna

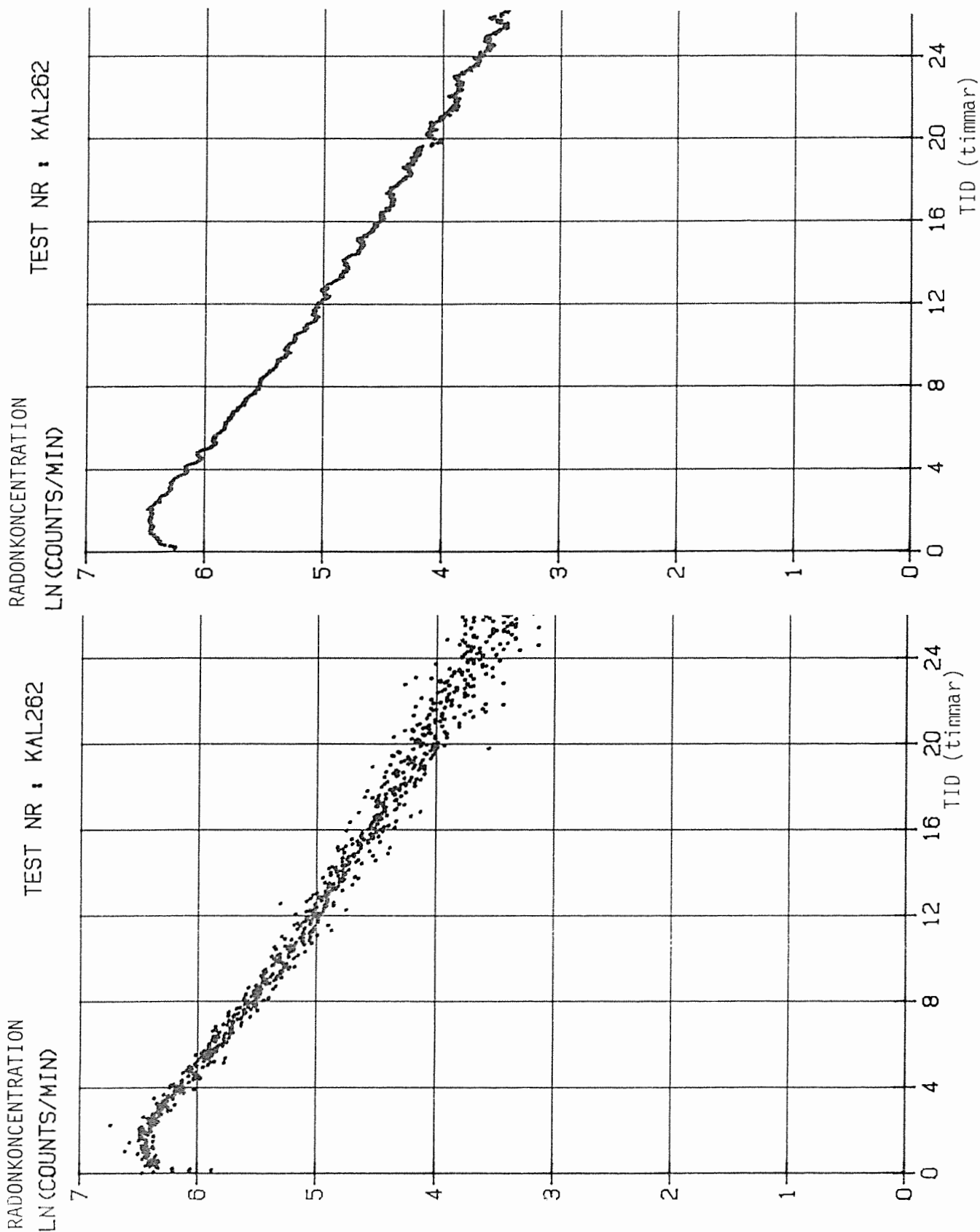
$$C = 865,2 e^{-0,0473 t} e^{(-0,2035 e^{-0,0265 t})t}$$

För att nedbringa läckaget krävs ytterligare förbättringar. Vi har emellertid inte haft möjlighet att fullfölja uppgiften som kan vara svårlöst och framför allt mer tidsödande än beräknat. Slangen i slangpumpen är särskilt utsatt för läckage genom ständig deformation och nötning. Möjligen kan man få ett bättre resultat med annan slangkvalitet.



Figur 2. Uppföljning av sönderfall och läckage för radongas (ingen exhalation) i exhalationsapparaten. Radonhalten är ca  $11 \text{ kBq/m}^3$  efter 2 h. Efter 25 h är radonhalten i jämvikt med omgivningen, ca  $235 \text{ Bq/m}^3$ .

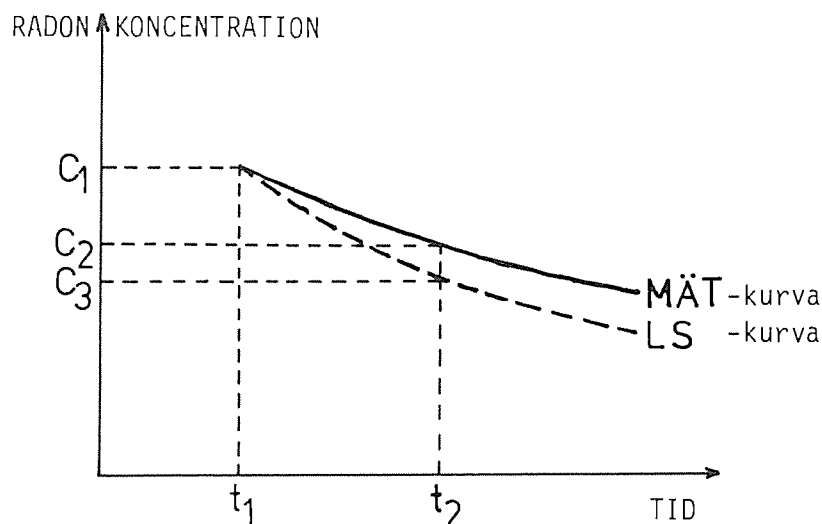
Två mätomgångar har plottats över varandra för att visa reproducerbarheten. Ommätningen bröts efter 26 h. Avvikelsen mellan 2-5 h är orsakad av ett elektriskt fel.



Figur 3. Redovisning av samma mätserie med olika teknik. I det vänstra diagrammet anges varje registrerat mätvärde med en punkt. I det högra plottas successivt medelvärdet av tio enskilda mätvärden.

## 5. TEORI

Exhalationsapparatus läckage- och sönderfallskurva (LS-kurva) har bestämts genom mätningar på radonhaltig luft enligt föregående kapitel, jämför figur 4.



Figur 4. Exhalationsapparatus mätprincip.

Exhalationsmätningar med apparaten inleds med att jord läggs i glasbehållaren som sedan hålls stängd i ca två dygn. Radonkoncentrationen i burken blir då relativt hög på grund av exhalation och endast litet läckage.

Registreringen av radonhalten i apparaten inleds samtidigt med att burkens kranar öppnas och den radonhaltiga luften pumpas runt över mätcellen. Därmed fås den så kallade MÄT-kurvan, se figur 4.

Punkten  $(t_1; C_1)$  i figur 2 väljs godtyckligt efter 2,5 timmar då mätcellens kalibreringsfaktor blivit stabil. MÄT-kurvan sjunker då med tiden, eftersom läckaget normalt är större än exhalationen, men inte lika snabbt som LS-kurvan. Skillnaden mellan MÄT-kurvan och LS-kurvan vid en viss tidpunkt är ett mått på exhalationen. Vi kallar skillnaden nettoexhalation,  $C_2 - C_3$  vid tiden  $t_2$ , eftersom radonet som frigörs vid exhalationen också påverkas av sönderfall och läckage. Vi söker bruttoexhalationen.

**Bruttoexhalationen** ( $E_B$ ) är definitionsmässigt den radonaktivitet som frigörs per tidsenhet.  $E_B$  är konstant över tiden. Sorten är vanligen  $Bqkg^{-1}h^{-1}$  eller  $Bqm^{-3}h^{-1}$ .

Nettoexhalationen ( $E_N$ ) ger under tidsintervallet  $t_1-t_2$  en resulterande radonhalt av  $C_2-C_3$  (se figur 4). Sort  $Bqkg^{-1}h^{-1}$  eller  $Bqm^{-3}h^{-1}$ .

Analogt med radonkoncentrationen (sid 9) ansätts

$$E_N = E_B e^{-\lambda_{eff}t}$$

Integrering av nettoexhalationen över tiden  $t_1-t_2$  ger den uppmätta koncentrationsskillnaden  $C_2-C_3$ .

$$C_2 - C_3 = \int_{t_1}^{t_2} E_B e^{-\lambda_{eff}t} dt$$

Efter integrering fås bruttoexhalationen

$$E_B = \frac{\lambda_{eff} (C_2 - C_3)}{1 - e^{-\lambda_{eff} (t_2 - t_1)}}$$

där  $\lambda_{eff}$  löses ur MÄT-kurvan dvs  $C_2 = C_1 e^{-\lambda_{eff} (t_2 - t_1)}$  och

$$\lambda_{eff} = \frac{-1}{t_2 - t_1} \ln \frac{C_2}{C_1}$$

Den sökta exhalationen ( $E$ ) beräknas slutligen med hänsyn till aktuell jord- och luftmängd i apparaten

$$E = \frac{E_B \cdot k \cdot V}{m} \quad \text{där}$$

$k$  = scintillometerns kalibreringsfaktor (dimensionslös)

$m$  = jordprovets torrsvikt (kg)

$V$  = total luftvolym i apparaten ( $m^3$ )

## 6. MÄTNING OCH UTVÄRDERING

När burken med radioaktivt material varit tillstängd minst två dygn ansluts den till slangpump och scintillometer. I datorn lagras kontinuerligt summan av en minuts pulser varannan minut. Mätningen bör pågå minst fyra timmar gärna längre för att få en acceptabel noggrannhet vid tolkning och beräkning.

Ett exempel på plottning av mätresultaten visas i figur 5. En linje ritas automatiskt med hjälp av exponentiell regression för valt tidsintervall. Om den beräknade linjen ansluter väl till den plottade kurvan, bestäms ett beräkningsintervall dvs läget för  $C_1$ ,  $C_2$  och  $C_3$ . Principen för beräkningen av exhalationen ges i teoriavsnittet.

## 7. MÄTRESULTAT

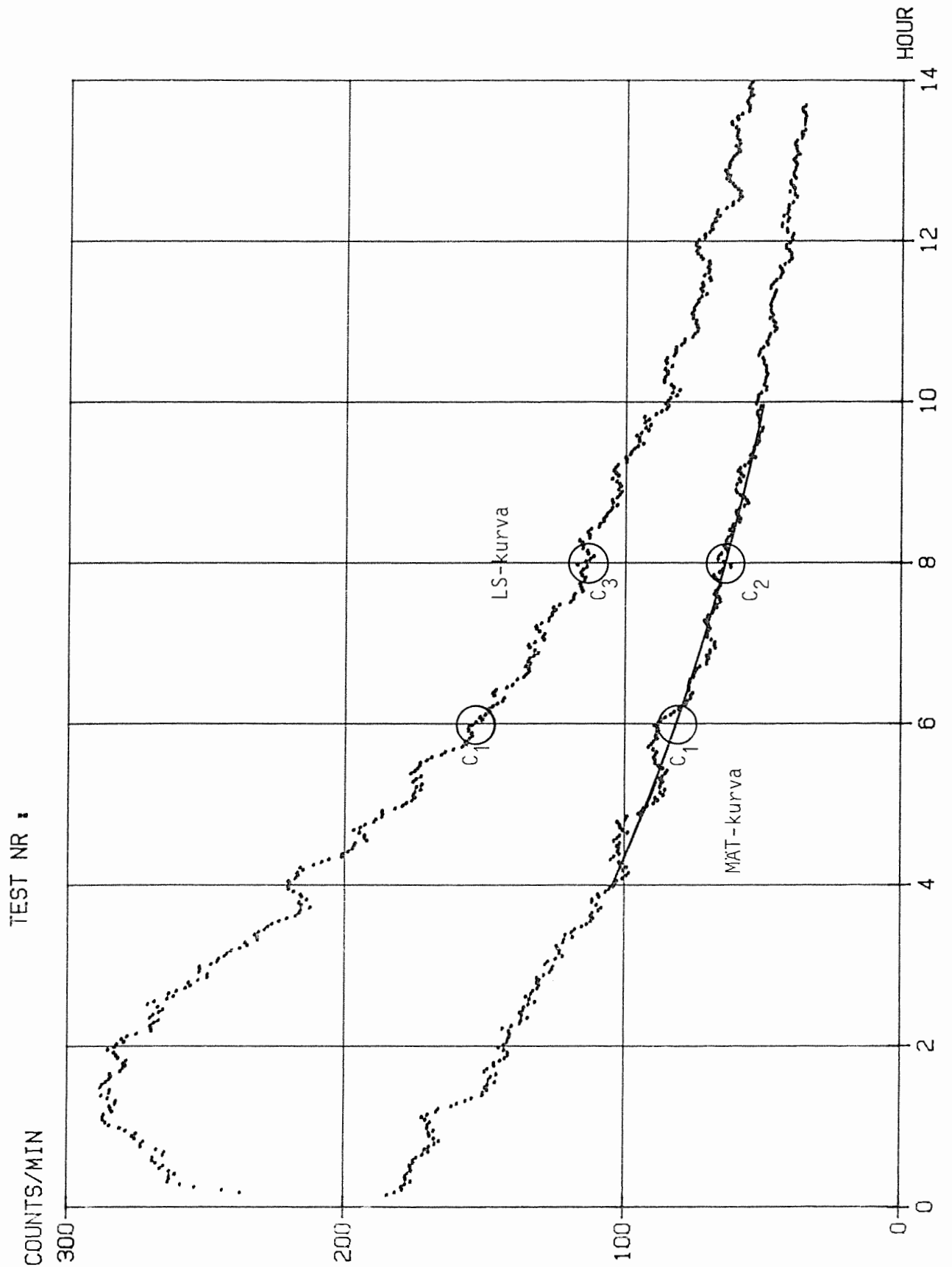
Fyra naturliga jordar har valts ut för mätning av exhalationen, se tabell 1. Jordarterna benämns efter huvudfraktionen. Radiuminnehållet har bestämts med gammaspektrometri vid Risölaboratoriet i Danmark. Radonhaltsvariationerna i jorden där jordproverna hämtats har följts upp under 1,5 år i annat sammanhang (Lindmark, Rosén 1984). Här anges "normala" radonhalter på 0,5 m djup under vegetationsperioden.

Tabell 1. Uppgifter om jordar som undersökts m a p exhalation.

Nr	Jordart	Ra -226 (Bq/kg)	Radonhalt 0,5 m u my (kBq/m <sup>3</sup> )	Anmärkning
1	Lera	155	41	alunskifferfragment
2	Sand	24,6	5	
3	Sand	32,0	12	
4	Grus	48,0	27	

Exhalationen redovisas vid olika vattenkvoter för jordproverna dels i tabell 2, dels i diagram figur 6. Den maximala exhalationen brukar beräknas (t ex Hildingson 1984) som radiumkoncentration multiplicerad med radonets sönderfallskonstant och anges här som jämförelse.

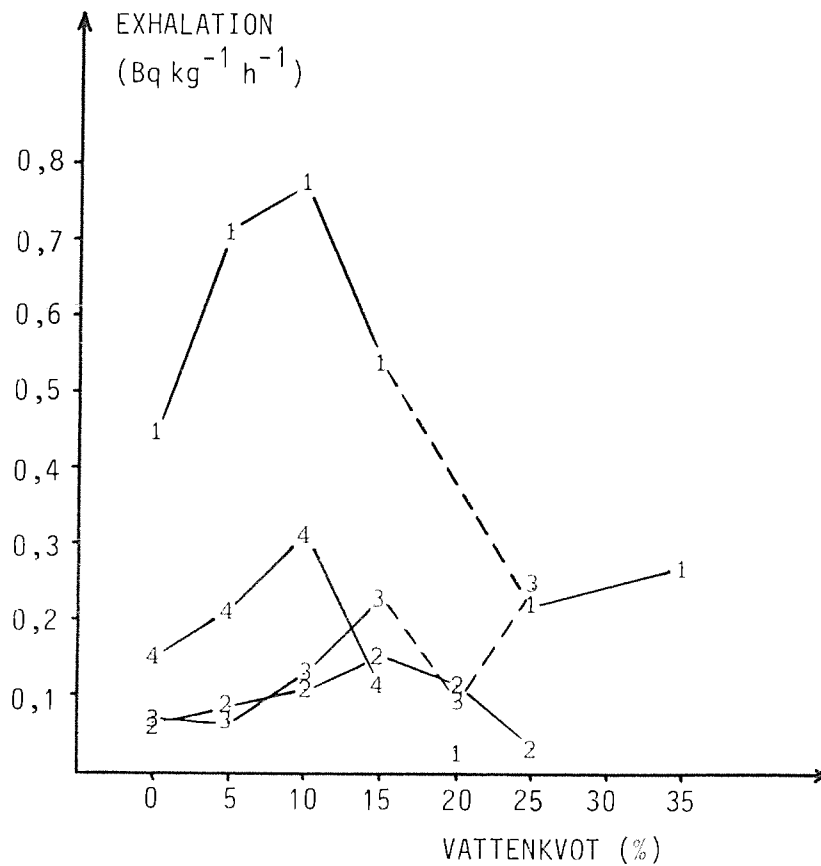




Figur 5. Exempel på mätresultat. I den undre MÄT-kurvan har 4-10 h valts för exponentiell regression. Beräkningsintervallet omfattar 6-8 h vilket ger  $C_1$  och  $C_2$ . Den övre LS-kurvan har lagts in extra som jämförelse. Observera att mätkurvan faller långsammare pga exhalation.

Tabell 2. Resultat av exhalationsmätning. Sort  $Bqkg^{-1}h^{-1}$ .

Jord (nr)	Vattenkvot (%)							Maximal exhalation
	0	5	10	15	20	25	35	
1	0,444	0,712	0,770	0,544	0,031	0,222	0,272	1,17
2	0,065	0,087	0,111	0,153	0,117	0,035		0,186
3	0,073	0,068	0,131	0,234	0,094	0,244		0,242
4	0,155	0,220	0,318	0,119				0,363



Figur 6. Uppmätt exhalation som funktion av jordens vattenkvot. Siffrorna i diagrammet motsvarar numreringen enligt tabell 1. Streckad linje vid osäkerhet.

## 8. RESULTATANALYS

Apparatutvecklingen har lett till att man kan mäta till synes rimliga resultat. Onoggrannheten kan vara stor i enskilda mätresultat till följd av grövre fel vid mätningen såsom dåliga blandningsförhållanden jord-vatten eller alltför kort mättid. Ommätning hade varit önskvärd där sådana fel finns/misstänks. Då mätningarna fungerat som vi önskar ligger onoggrannheten förmodligen under 30%. Svagheten ligger bl a i den matematiska kurvpassningen till den verkliga mätkurvan. En gemensam LS-kurva har använts i stället för olika sådana anpassade till radonhalten i samband med exhalation. Ett annat mätförfarande där radonhalten alltid är densamma vid mätstart har diskuterats men inte hunnit testas.

Exhalationsapparaten skiljer sig från liknande utrustning i litteraturen (Pettersson 1982, Hildingsson 1984 och Damkjär 1985). Vi tillämpar principen att jämföra den resulterande radonhalten med resp utan exhalation i apparaten. I litteraturen beskrivs utrustningar där man mäter uppbyggnaden av radonhalt sedan burken stängts och med dessa värden beräknar exhalationen.

Vi har inte haft tillfälle att jämföra resultaten med vad man skulle få på samma jord med annan utrustning. Det finns osäkerheter med mätningarna som gör att absolutnivån kan ligga något fel. En detalj som nämns i denna rapport är möjligheten att det finns radondöttrar i mätcellen vilket skulle ge för höga exhalationsvärden. Pettersson m fl (1984) beskriver fenomenet bakdiffusion som att exhalationen avtar med ökande radonkoncentration. Radongasen i apparaten skulle då transporteras tillbaka till jordmaterialets porvolym. Om bakdiffusion har betydelse för apparaten i det här projektet skulle exhalationsvärdena vara för låga.

Apparaten har förmodligen gjorts alltför komplicerad. Enstaka jämförelsemätningar pekar på att låg temperatur och burkvändning har liten inverkan på slutresultatet. Likaså har vi genom att sänka flödes hastigheten kunnat eliminera toronfiltret (lång slang). Sådana modifieringar förenklar apparaten men vi har inte haft resurser att därefter göra tillfredsställande kalibrerings- och exhalationsmätningar på alla jordprover. Försöken att få ner läckaget har inte lyckats men detta uppvägs av att apparaten har god repeterbarhet.

Apparaten är således med mindre modifieringar färdig att kalibreras mot annan liknande utrustning. Med känd exhalation för en viss jordart kan radonrisken bedömas för området. Möjligheter öppnar sig att mäta exhalationen på jordprover från olika jorddjup och göra en modellberäkning som underlag för riskbedömning.

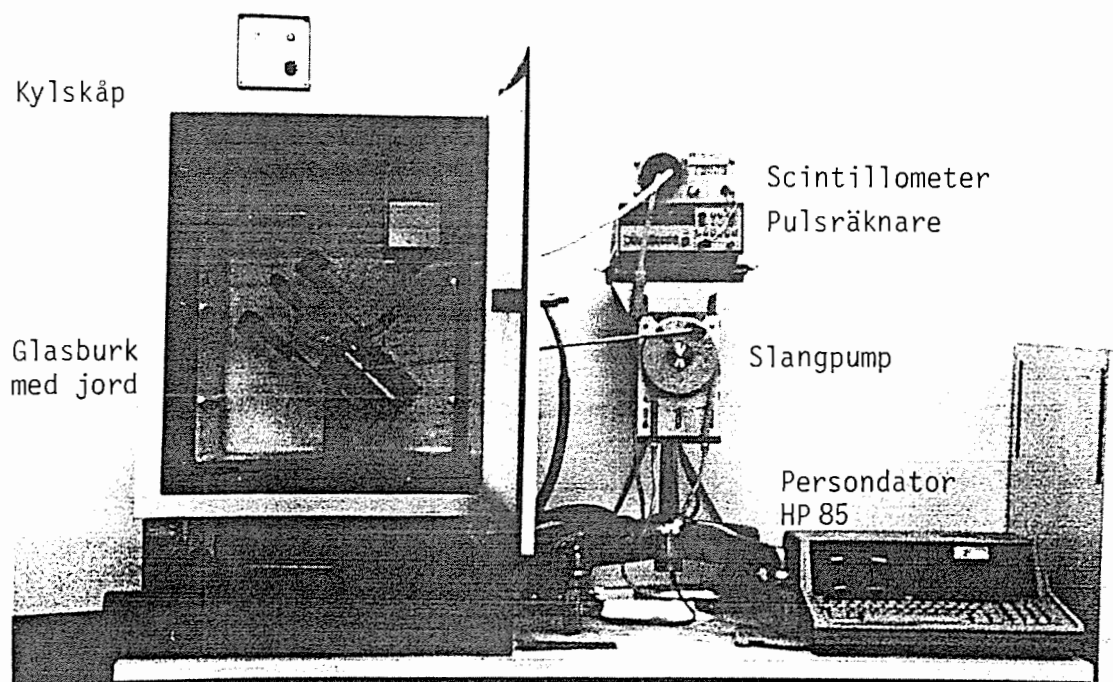
## 9. REFERENSER

Damkjær, A. och Korsbech, U., 1985. Measurement of the emanation of radon -222 from Danish soils. Seminar on exposure to enhanced natural radiation and its policy consequences. March 1985. Maastricht, The Netherlands.

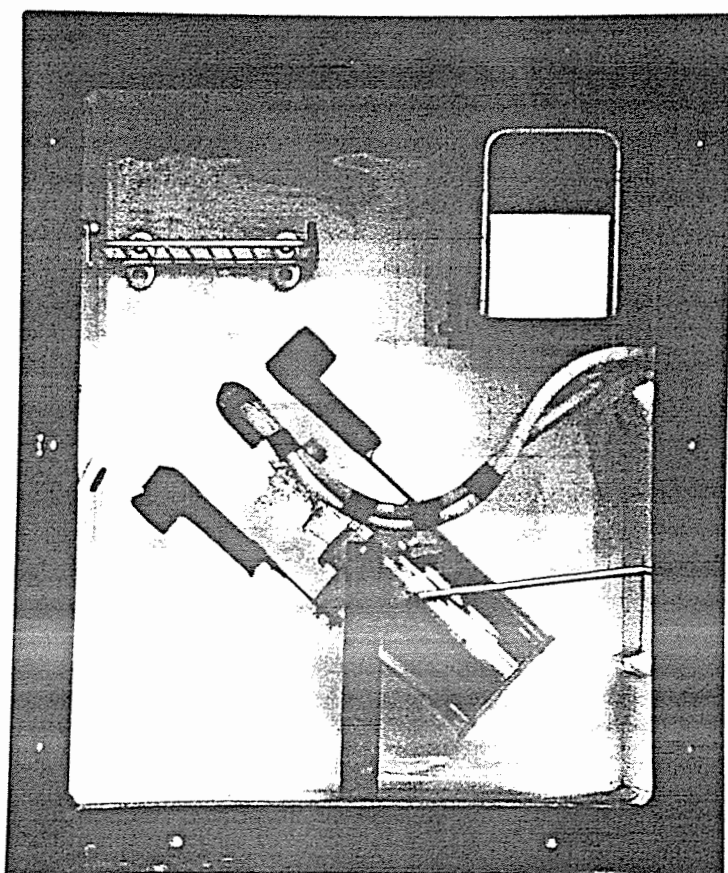
Hildingson, O., 1984. Radon från naturgrus och makadam. (Statens provningsanstalt). Teknisk rapport 1983:28, Borås.

Lindmark, A. och Rosén, B., 1984. Radon i jord. Exhalation - vattenkvot. Årstidsvariationer. Permeabilitet. (Statens geotekniska institut). Rapport No 24, Linköping.

Pettersson, H. m fl, 1982. Radonexhalation från byggnadsmaterial. (Statens provningsanstalt och Radiofysiska inst, Lund). Teknisk rapport 1982:32, Borås.



Översikt av exhalationsapparaten



Kylskåpet med burken upphängd i en vagga