



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.



BERTIL CLAVENSJÖ  
BENGT E ERIKSON

# Radonätgärders beständighet

R50: 1993

V-HUSETS BIBLIOTEK, LTH



15000

400129289

BYGGFORSKNINGSRÅDET

R50:1993

LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA  
VÄG- OCH VATTENBYGGNAD  
BIBLIOTEKET

## **RADONÅTGÄRDERS BESTÄNDIGHET**

**Bertil Clavensjö  
Bengt E Erikson**

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 890951-6  
från Byggeforskningsrådet samt Statens Strålskyddsinstituts  
forskningsanslag P 577.90 till B & D Radon- och  
ventilationsforskning i Ängelholm.**

## REFERAT

Syftet med utredningen har varit att studera huruvida de efter i radonsänkande syfte vidtagna åtgärderna kommer att stå sig i längden. Kommer nivåerna på radonet att ligga på samma nivå som den som uppmättes strax efter det att åtgärd vidtagits, kommer den att sjunka eller kommer den att öka? Att forskningsprojektet varit nödvändigt att starta upp finns klara bevis för redan efter den första undersökningsomgången. Ungefär en fjärdedel av det undersökta husbeståndet har visat sig ha radonhalter som börjat stiga efter den tid som förflutit sedan dess att åtgärder för att sänka nivåerna vidtagits. Det är därför viktigt att projektet fullföljs med mätningar vart tredje år under en 10-års period, helt enligt de ursprungliga planerna.

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

Denna skrift är tryckt på miljövänligt, oblekt papper.

**R50:1993**

**ISBN 91-540-5589-X**  
**Byggforskningsrådet, Stockholm**

**gotab** 98796, Stockholm 1993

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

### FÖRORD

1	SAMMANFATTNING	7
1.1	Sammanfattning	7
1.2	Summary	9
2	URVAL AV HUS	11
2.1	Bestämmelser rörande radonhalter	11
2.2	Urval av hus för radonmätningar	11
2.3	Urval av hus för luftväxlingsmätningar	13
3	MÄTMETODER	15
3.1	Beskrivning av metoder för radonmätningar	15
3.2	Mätmetodernas betydelse för bedömning av uppmätta radonhalter	17
3.3	Gammastrålningsmätningar	22
3.4	Luftväxlingsmätningar	23
4	RADONPÅVERKANDE FAKTORER	29
4.1	Radonkällor	29
4.2	Ventilationens betydelse	31
4.3	Väderförhållanden under kontrollmättningsperioden	32
5	RESULTAT	37
5.1	Installation av mekaniskt frånluftssystem.	38
5.2	Installation av mekaniskt till- och frånluftssystem	41
5.3	Åtgärder vidtagna i husets kryppgrund	44
5.4	Tätning av platta mot mark	45
5.5	Installation av luftkuddesystem	46
5.6	Installation av mekaniskt frånluftssystem samt tätning	48
5.7	Installation av mekaniskt till- och frånluftssystem samt radonsug	49
5.8	Installation av mekaniskt frånluftssystem och radonsug	51
5.9	Installation av radonsug	52
5.10	Installation av radonbrunn	55
5.11	Förbättrad självdragsventilation	57
5.12	Installation av mekaniskt frånluftssystem m m	59
6	SLUTSATSER, FÖRSLAG TILL FORTSATT FORSKNING	61
6.1	Slutsatser	61
6.2	Förslag till fortsatt forskning	62
	LITTERATUR	63
	BILAGA 1: Analyser över radonhalter före och efter åtgärd samt enligt kontrollmätning	65
	SEPARATA BILAGOR: Data från husundersökningar.	



## FÖRORD

Många hus har vid det här laget åtgärdats mot alltför höga radonhalter i inomhusluften. Resultaten av åtgärderna har i de flesta fall medfört en rejäl sänkning av de ursprungliga värdena. Vad vi dock inte vet är hur dessa åtgärder står sig i längden. Det är naturligtvis viktigt att radonhalterna inte börjar stiga igen efter något eller några år.

För att kontrollera de sanerade husens radonhalter några år efter verkställda åtgärder har denna undersökning igångsatts. Avsikten är också att mätningarna i de olika objekten skall upprepas vart tredje år under en 10-årsperiod.

De studerade metoderna för att sänka radonhalterna har varit 10 stycken. Dessutom har mätningar utförts i ett antal hus som har sanerats med hjälp av en kombination av åtgärder. Förutom radonhalterna så har även gammastrålningen mätts i alla objekten samt luftväxlingen i 48 objekt. Sammanlagt har 105 bostäder studerats varav 14 är lägenheter i flerbostadshus. De mätningar som företagits i denna utredning benämns kontrollmätningar och är i princip utförda under 1991, vilket är något eller några år efter det att åtgärder för att sänka de alltför höga radonvärdena har vidtagits. Undersökningarna har genomförts i Gävle, Sandviken, Falun samt i Stockholms norra förorter.

I objekt där värdena stigit sedan åtgärd vidtagits kommer noggranna undersökningar att göras för att försöka spåra orsaken till att en ökning har skett. Dessa undersökningar kommer att göras inom ett särskilt forskningsprojekt bekostat av Byggforskningsrådet (BFR) och Strålskyddsinstitutet (SSI).

Projektets uppläggning och genomförande har diskuterats med en referensgrupp bestående av Astrid Mäkitalo/Martin Eriksson från Socialstyrelsen, Ewa Rydén, Boverket, Gun Astri Swedjemark och Gustav Åkerblom, Statens strålskyddsinstitut samt Alice Thiberg, Konsumentverket. Till dessa och till alla dem som upplåtit sina bostäder för radon- och luftväxlingsmätningar riktar vi ett varmt tack. Vi vill också rikta ett speciellt tack till Gun Astri Swedjemark och Gustav Åkerblom som skrivit avsnittet 3.2 om olika metoders tillförlitlighet vid mätning av radon.

För utredningsarbetet svarar Bertil Clavensjö, Bjerking Ingenjörbyrå AB i Uppsala, samt Bengt E Erikson, B&D Radon och Ventilationsforskning i Ängelholm, som också har ansvarat för ledning av projektet.





## 1 SAMMANFATTNING

### 1.1 Sammanfattning

Det är av naturliga skäl viktigt att de åtgärder som vidtas för att sänka förhöjda radonhalter i inomhusluften också står sig i framtiden. Avsikten med detta projekt har därför varit att undersöka vilken effekt ett antal olika åtgärder har på radonhalten några år efter saneringens utförande.

Utredningen har omfattat totalt 105 bostäder, varav 91 utgörs av småhus, fördelade på 12 olika åtgärder och åtgärdskombinationer gällande såväl radon från byggnadsmaterialet som från marken. Radonhalterna har mätts i samtliga bostäder och luftväxlingen i ungefär hälften av dessa.

Denna undersökning är, så vitt vi känner till, den första större undersökningen i sitt slag. Från andra länder har rapporterats resultat från studium av något enstaka objekt (Varas et al, 1992), men inte någon mer omfattande undersökning.

Resultatet av undersökningen visar att i cirka 25% av de kontrollerade objekten har radonhalterna stigit med mer än 30% några år efter det att åtgärder för att minska halterna har genomförts. 15 bostäder uppvisar minst dubbelt så höga radonhalter som efter åtgärd. Som framgår av tabell 1.1 är denna förändring inte speciell för någon enstaka åtgärdsgrupp utan ganska jämnt fördelad mellan de olika grupperna. Utredningens resultat visar på nödvändigheten av att förnyade kontrollmätningar utförs ett antal år efter det att radonsanerande åtgärder har utförts.

Varför har då radonhalterna stigit igen? Den frågan kan inte besvaras förrän ytterligare och mera ingående studier har gjorts av de utförda radonåtgärderna. I den nu genomförda undersökningen ingick endast att mäta upp husens radonhalter samt i hus där ventilationstekniska åtgärder vidtagits även ventilationens storlek.

Före och efter saneringsåtgärdernas utförande har man i en del hus använt öppen spårfilm, TLD eller koldosor för uppmätning av radonhalter. I andra hus har kontinuerligt registrerande radondottermätare använts. Dessa värden har omräknats till radonhalter genom att divideras med F-faktorn 0,5. Samtliga kontrollmätningar är utförda med hjälp av spårfilm. Eftersom mätningarna har gjorts med olika typer av instrument och under olika långa perioder kan resultaten inte utan vidare jämföras med varandra. I kapitel 3.2 redovisas de olika mätmetodernas mätnoggrannhet. I kapitlet görs också beräkningar och jämförelser av resultatet från mätningar enligt de olika metoderna.

Avsikten är att mätningar av radonhalter skall företas vart tredje år under en 10-års period i de i projektet ingående bostäderna. Mätningarna skall då utföras med samma metoder som använts vid denna kontrollmätning. Mätresultaten i de

kommande mätomgångarna skall därmed bli helt jämförbara med de som redovisas i denna rapport.

Tabell 1.1. Resultat av åtgärder. Procentuell förändring av radonhalter vid kontrollmätningen jämfört med radonhalter efter åtgärd.

Åtgärd nr	beskrivning hus	Antal mätta hus <sup>3)</sup>	Antal hus med procentuell förändring <sup>1) 2)</sup>						
			>50%	-50- -31%	<b>-30- +30%</b>	31- 50%	51- 100%	101- 400%	>400%
01F	Från S till F	2			<b>2</b>				
01		6			<b>2</b>	1		3	
02	Från S till FTX	21	2		<b>12</b>	1	3	3	
03	Krypgrund	2			<b>1</b>			1	
04	Tätning mot mark	6			<b>4</b>		2		
05	Luftkuddemetod	3			<b>2</b>			1	
06F	F och tätning	1			<b>1</b>				
07	FT och radonsug	7			<b>6</b>		1		
08	F och radonsug	1			<b>1</b>				
09	Radonsug	19	1	1	<b>14</b>		1		2
10	Radonbrunn	14	1	1	<b>8</b>			3	1
11	Förbättrat S	12		1	<b>7</b>	2	1		1
12F	Från S till F m m	5			<b>5</b>				
Σ	Lägenheter (F)	8			<b>8</b>				
	Småhus	91	4	3	<b>57</b>	4	8	11	4

1) Om den vid kontrollmätningen uppmätta radonhalten avvek högst 30% från radonhalten närmast efter åtgärd återfinns huset eller lägenheten i kolumnen med fet stil i tabellens mitt. Var den däremot mindre än  $0,7 \cdot$  radonhalten vid eftermätningen finns huset i någon av kolumnerna till vänster i tabellen. Var den mer än 1,3 gånger större finns huset i någon av kolumnerna till höger om kolumn  $-30\% - +30\%$ .

2) Radonhalter under  $140 \text{ Bq/m}^3$  har behandlats enligt följande:

- Är båda mätvärdena mindre än  $140 \text{ Bq/m}^3$  har förändringen klassats som 0%.
- Är endast det ena mätvärdet mindre än  $140 \text{ Bq/m}^3$  har förändringen beräknats från/till  $140 \text{ Bq/m}^3$

3) Radonmätning i anslutning till åtgärd har inte utförts i 6 lägenheter, vilket förklarar differensen mellan antalet i projektet ingående lägenheter och antalet mätta.

## 1.2 Summary

This investigation has been commissioned and funded by Swedish Radiation Protection Institute and The Swedish Council of Building Research.

The object of this project was to investigate how effective the different number of radon reduction methods would be with time. It is important that the radon levels do not increase in dwelling where measures have been taken to decrease this content. New measurements of the radon content are to be taken every third year over a 10 year period.

The investigation has comprised 105 dwellings, 91 of which were detached houses. 12 different radon reduction methods and method combinations were used. The radon sources were building materials as well as sub-soils. The radon levels have been measured in all of the dwellings and the air change rates in about half of them.

The result of the study showed that in about 25% of cases the radon content had risen by more than 30% only a few years after reduction actions had been taken. 15 dwellings showed at least double so high radon content after the same measures. This change was not specific to any given method but seemed to be evenly distributed over whole subject matter. The investigation results showed the necessity for continued measuring where counter measures have been taken.

Why had radon levels risen? This question can only be answered after further investigation of reduction methods.



## 2 URVAL AV HUS

### 2.1 Bestämmelser rörande radonhalter

Enligt nuvarande bestämmelser gäller gränsvärdena radondotterhaltens årsmedelvärde i utrymmen där personer stadigvarande vistas. Enheten är becquerel per kubikmeter luft, Bq/m<sup>3</sup>.

För nybyggnad gäller enligt Nybyggnadsregler, NR 1 (BFS 1988:18), värdet 70 Bq/m<sup>3</sup> som högsta tillåtna radondotterhalt. Denna bestämmelse infördes redan i Svensk byggnorm och har gällt för byggnader som uppförts med byggnadslov daterat efter den 1 januari 1981.

För äldre bebyggelse gäller gränsvärdet för sanitär olägenhet, som den 1 juni 1990 sänktes från 400 Bq/m<sup>3</sup> till 200 Bq/m<sup>3</sup>. I nästan alla andra länder, som har gränsvärden för radon, är de givna som radonhalt, ej radondotterhalt.

Hus med källare har oftast högre radonvärden i källaren än i det övriga huset. Finns inga lek- eller sovrum i källardelen skall heller inga mätningar företas där. Radonmätningar görs normalt i vardagsrummet och föräldrasovrummet i ett enplanshus med källare.

#### **Radon- och radondotterhalter: samma enhet – olika storheter.**

Mätvärdena i denna utredning avser radongashalter och skall multipliceras med en faktor 0.5 för att motsvarande radondotterhalt skall erhållas. Alltså

- 140 Bq/m<sup>3</sup> i radongashalt motsvarar 70 Bq/m<sup>3</sup> i radondotterhalt
- 400 Bq/m<sup>3</sup> i radongashalt motsvarar 200 Bq/m<sup>3</sup> i radondotterhalt

### 2.2 Urval av hus för radonmätningar

Projektet skulle omfatta cirka 100 bostadshus som hade blivit föremål för radonsanerande åtgärder. Huvudparten av dessa hus skulle vara småhus. Villkoren för att komma med i undersökningen var att radonhalten hade dokumenterats såväl före som efter åtgärd samt att huset var sanerat enligt någon av följande metoder:

01. Husets självdragssystem (S-ventilation) har konverterats till mekaniskt frånluftssystem (F-ventilation).
02. Huset har försetts med mekaniskt till- och frånluftssystem med värmväxlare (FTX-ventilation) eller värmepump (FTVp-ventilation)
03. Åtgärd mot markradon har vidtagits i kryppgrunden i hus på denna typ av grundläggning.
04. Husets bottenplatta har tätats mot markradon.

05. Anläggning för att utbilda en luftkudde under husets betongplatta har installerats.
06. Kombination av installation av F-ventilation samt tätning av rör genomföringar i golvgröp och befintliga frånluftsdon.
07. Kombination av installation av FTX-ventilation och radonsug
08. Kombination av installation av F-ventilation och radonsug.
09. Installation av radonsug.
10. Installation av radonbrunn.
11. Husets befintliga självdragsventilation har justerats och förbättrats.
12. Kombination av konvertering av husets S-ventilation till F-ventilation samt förbättrad källarventilation och tätning av kulvertintag.

Miljö- och hälsoskyddskontoren i Gävle, Sandviken och Falun samt ett antal kommuner i stockholmstrakten tillskrevs med en förfrågan om adresser på radonsanerade hus som uppfyllde ovanstående villkor. Utöver adresser, uppmätta radonhalter och vilken metod som använts för saneringen skulle också för respektive hus anges hustyp, byggnadsår och eventuell förekomst av alunskifferbaserad lättbetong.

Även om radonproblematiken varit känd under ganska lång tid så finns det än så länge inte så många objekt att välja bland. Efter den första förfrågan om det in

Tabell 2.1. *Fördelning av radonmätningar på bostäder i flerbostadshus och småhus samt antal bostäder (inkl småhus) med alunskifferbaserad lättbetong.*

Åtgärd nr beskrivning	Antal bostäder i flerbostads- småhus hus		Varav bostäder med blå lättbtg
01 Från S- till F-ventilation	6	6	5
02 Från S- till FTX-ventilation	0	21	12
03 Åtgärdade hus med krypgrund	0	2	0
04 Tätning mot mark	0	6	0
05 Inst av luftkuddesystem	0	3	0
06 Från S- till F-vent samt tätning	1		0
07 Från S- till FTX-vent samt radonsug	0	7	3
08 Från S- till F-vent samt radonsug	0	1	0
09 Installation av radonsug	0	19	5
10 Installation av radonbrunn	0	14	0
11 Förbättrad S-ventilation	0	12	5
12 Från S- till F-vent samt förbättrad källarventilation inkl tätning	7	0	0
<b>Totalt antal</b>	<b>14</b>	<b>91</b>	<b>30</b>

listor med sammanlagt cirka 90 adresser på hus för vilka ovan uppräknade parametrar var angivna. Eftersom projektet skulle omfatta ca 100 hus togs nya kontakter med de tidigare tillskrivna kommunerna samt ytterligare ett par miljö- och hälsoskyddskontor, vilket resulterade i ytterligare ett tjugotal adresser. Detta innebär att så gott som samtliga adresser med kompletta uppgifter har tagits med i utredningen. Något statistisk urval är det således inte fråga om.

Totalt ingår i projektet 105 bostäder varav 14 är lägenheter i flerbostadshus och 91 är småhus. Fastighetsägarna kontaktades och erbjöds gratis kontrollmätning av radonhalter i inomhusluften samt i vissa fall luftväxlingsmätningar. Deras motprestation skulle vara att ställa huset till förfogande för även kommande radonkontroller eller, om de då inte längre skulle vara ägare till fastigheten, informera den nya innehavaren om projektet. Husen är belägna i Gävle, Sandviken och Falun samt i Upplands Väsby, Sollentuna och Täby. Husens fördelning på olika radonåtgärder framgår av tabell 2.1.

### 2.3 Urval av hus för luftväxlingsmätningar

I ungefär hälften av de bostäder där radonmätningar utförts skulle också luftväxlingen kontrolleras. I första hand utsorterades för luftväxlingsmätningarna hus byggda av alunskifferbaserad lättbetong med gammastrålning på  $> 0.30 \mu\text{Sv/h}$ , eftersom radonhalten står i stark relation till luftväxlingen i bostäder där byggnadsmaterialet är den dominerande radonkällan. Detta resulterade i att 20

Tabell 2.2 *Fördelning av luftväxlingsmätningar för bostäder i flerbostadshus och småhus samt antal bostäder med alunskifferbaserad lättbetong.*

Åtgärd nr beskrivning	Antal bostäder i		Varav bostäder med blå lättbtg stadshus
	flerbo- stadshus	småhus	
01 Från S- till F-ventilation	4	6	5
02 Från S- till FTX-ventilation	0	14	8
03 Åtgärdade hus med kryppgrund	0	1	0
05 Inst av luftkuddesystem	0	1	0
06 Från S- till F-system samt tätning	1	0	0
07 Från S- till FTX-vent samt radonsug	0	3	2
08 Från S- till F-vent samt radonsug	0	1	0
11 Förbättrad S-ventilation	0	10	5
12 Från S- till F-ventilation m m	7	0	0
<b>Totalt antal</b>	<b>12</b>	<b>36</b>	<b>20</b>

småhus av de 30 som var uppförda i blå lättbetong valdes. Av de övriga 10 husen hade 5 åtgärdats genom installation av radonsug. Denna åtgärd påverkar inte den del av radonhalten som orsakas av radon från byggnadsmaterialet. Ändock var radonhalterna efter åtgärd så låga att marken måste ha varit den huvudsakliga radonkällan. Resterande 5 hus föll bort av diverse olika anledningar. Det andra urvalskriteriet var att bostaden skulle vara åtgärdad på sådant sätt att radonhalten till avgörande del var beroende av ventilationen inomhus. Här prioriterades bostäder med ett ventilationssystem som inte ger en stabil luftväxling, t ex F-system, där mängden tilluft bestäms av att fönster och tilluftsdon hålls öppna, eller förbättrade självdragssystem. Det 67 procentiga urvalet i åtgärdsgrupp 2, d v s småhus med FTX-system som radonåtgärd, gjordes helt på måfå. Denna urvalsprincip gav ytterligare 12 lägenheter i flerbostadshus och 16 småhus. Totalt undersöktes luftväxlingen i 12 lägenheter och 36 småhus fördelade på åtgärdsgrupper enligt tabell 2.2.



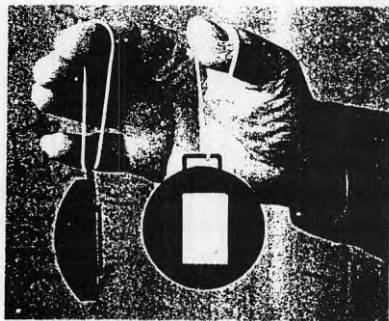
### 3 MÄTMETODER

#### 3.1 Beskrivning av metoder för radonmätningar

Radonmätningar före saneringsåtgärderna har i huvudsak utförts av miljö- och hälsoskyddskontorets personal i respektive kommun. Mätmetoderna har varierat, men de vanligaste har varit öppen spårfilm med tre månaders mättid och WLM 300 med något eller några dygns mättid. Eftersom mätningarna före åtgärd i de flesta fall har utförts innan Strålskyddsinstitutets metodbeskrivningar kom ut, uppfylls till viss del inte de däri angivna villkoren. Spårfilmsmätningarna har dock gjorts enligt Statens provningsanstalts anvisningar SP A2 601.

Mätningar, som utförts efter det att husen har radonsanerats, har med något undantag utförts av kommunens miljö- och hälsoskyddskontor. Bland mätmetoderna dominerar två nämligen WLM 30 eller dess föregångare WLM 300, som båda mäter radondotterhalter, och TLD-instrument kallade IRMOR, som mäter radonhalter.

Kontrollmätningarna, som ingår i detta projekt, har utförts med spårfilm i dosa enligt SSIs metodbeskrivning i88-04 nr 1. Figur 3.1. Detektorerna har levererats och analyserats av SGAB i Luleå. Utplacering i rummen och intagning har ombesörjts av Bengt E Erikson för husen i Gävle, Sandviken och Falun och av personal från Bjerking Ingenjörbyrå AB vad gäller husen i Upplands Väsby, Sollentuna och Täby. Mättiden har varit cirka tre månader och infallit under perioden december 1990 till och med april 1991.



Figur 3.1. Spårfilm i dosa.

I kapitel 3.2 görs en jämförelse mellan olika metoders tillförlitlighet och i vad mån avvikelser i radonhalter mellan eftermätning och kontrollmätning kan vara avhängigt mätmetoderna. Relativt stora skillnader mellan mätresultat kan uppstå

p g a att vissa mätningar har utförts med radonmätande instrument och andra med metoder som mäter radondotterhalter. Vid omräkning av de uppmätta radondotterhalterna har F-faktorn 0.5 använts. Eftersom F-faktorn kan variera kan fel uppstå i beräkning av radonhalt, se kapitel 3.2

### Aktivt kol

Aktivt kol i burkar eller dosor är en "integrerande" mätmetod som mäter halten av radongas. När koldosan öppnas diffunderar radon in i burken och adsorberas på kolet. Den adsorberade mängden är proportionell mot radonhalten i luften i rummet. Mätningen avslutas när locket tillsluts. Den radonhalt som koldosan har vistats i bestäms genom att man mäter gammastrålningen från de radondöttrar som bildas när radonet sönderfaller. Denna typ av dosa "minns" endast de 2-3 sista dygnens radonhalt. Enligt SSI:s metodbeskrivning är därför mättiden med koldosan 3 dygn. Genom att mättiden är så kort lämpar sig koldosor dåligt för bestämning av årsmedelvärdet vid mätningar där radonhalten varierar, t ex i de fall då radonet kommer från marken.

Tillverkarna har använt olika mättider (3-7 dygn) under den aktuella perioden 1982-89. Den effektiva mättiden är endast tre dygn. Mätning har utförts i minst två rum med minst en koldosa per rum.

### Spårfilm

Öppen spårfilm är en integrerande mätmetod som mäter såväl radonhalt som radondotterhalt. Den fungerar så att alfapartiklar från såväl radon som radondöttrar träffar ytskiktet på en film av cellulosanitrat eller polyester och ger upphov till skador (spår). Genom att kemiskt etsa filmen blir spåren synliga och kan räknas i mikroskop. Mängden spår per ytenhet är proportionell mot halten av de alfastrålande isotoperna i den luftvolym som finns inom radien för alfapartiklarnas räckvidd och mot mättiden.

Spårfilmen fick under 1980-talets första hälft dåligt rykte på grund av att vissa detektorer kraftigt överskattade eller underskattade radondotterhalten. Numera finns det spårfilmer som mäter med god precision. Detta även vid så låga radonhalter som  $10 \text{ Bq/m}^3$ . Med de bästa typerna av spårfilm kan man vid 3 månaders mättid mäta med en så liten mätosäkerhet som  $\pm 10\%$  vid en radongashalt på  $60 \text{ Bq/m}^3$ . Att man nått så god mätnoggrannhet kan tillskrivas Strålskyddsinstitutet som för den stora radonepidemiologiska undersökningen tog fram en spårfilm i dosa med mycket goda mätegenskaper. Spårfilmerna analyseras i speciella instrument som avläser nära 100% av den detekterade ytan på filmen.

Mättiden har varit mellan mindre än en månad och fem månader. Mätning har skett i minst två rum med vanligtvis en spårfilm per rum.

### TLD-instrument (IRMA)

TLD-instrumenten är också en integrerande mätmetod som mäter halten av radongas. Metoden har framtagits av Strålskyddsinstitutet. IRMAN består av en mätkammare där radongasen sönderfaller. Radondöttrarna, som därvid bildas, dras med hjälp av ett elektriskt fält till en TL-dosimeter. I denna lagras under mättiden energi från radondöttrarna. TL-dosimeterna avläses sedan i speciellt laboratorieinstrument.

Mättiden för TLD-mätningarna har varit 14 dygn. Mätningarna har utförts i minst två rum.

### WLM 30, WLM 300 (Working Level Monitor)

Dessa instrument är kontinuerligt registrerande filtermätare som mäter radondotterhalten i rummet. De pumpar luft kontinuerligt med ett känt luftflöde genom ett filter. På detta fastnar de radondöttrar som finns i den passerande luften. Radondotterhalten bestäms genom att man mäter alfastrålningen från radondöttrarna på filtret. Alfadetektorn är placerad på ett sådant sätt att den kontinuerligt kan detektera alfasönderfallen på filtret. Mätaren ger såväl integrerande radondotterhalter för perioder av valfri längd som medelvärde från start.

Mättiderna för WLM-mätningarna har varit mellan 23 timmar och 5 dygn. Mätningarna har utförts i minst två rum och under minst 24 timmar i vardera rummet. Vanligen har ett instrument flyttats mellan mätplatserna.

## 3.2 Mätmetodernas betydelse för bedömning av uppmätta radonhalter

En bedömning av mätmetodernas betydelse för uppmätta och beräknade årsmedelvärden har gjorts av Gun Astri Swedjemark och Gustav Åkerblom, Strålskyddsinstitutet, och redovisas här nedan.

Tabell 3.1. Mätningar omedelbart efter åtgärd.

Mätmetod	Utförd i antal hus
WLM 30 eller WLM 300	61
TLD-instrument (IRMOR)	29
Aktivt kol	8
Öppen spårfilm	3

Mätningarna före och omedelbart efter åtgärd i totalt 89 hus utfördes mellan 1982 och 1989. Resultaten har uppgivits som årsmedelvärdet av radondotterhalten. Vanligen har SPs metodbeskrivningar följts till och med 1987, varefter uppgiften överfördes till SSI som publicerade nya metodbeskrivningar 1988.

### Osäkerheter i mätmetoderna

Den korta mättiden vid användning av aktivt kol, som inte medger kontroll av radonhaltens *tidsvariationer*, ger i de flesta fall en relativt osäker information om hur den genomsnittliga halten är under en längre tid, t ex ett år. Detta gäller även i viss mån WLM 30 och WLM 300. Särskilt stor är osäkerheten när radonet kommer från marken, då skillnaden kan vara en faktor 2–5 mellan resultatet från en korttids- och en långtidsmätning, t ex med spårfilm. Kommer radonet från byggmaterialet är avvikelserna i de flesta fall mindre än en faktor två. Dessa avvikelser beror på att koncentrationen av radonet och dess sönderfallsprodukter varierar med tiden i ett hus. Variationerna beror på förändringar i radoninflödet från marken, vilket i sin tur beror på tryckskillnaden ute och inne, samt på skillnader i luftomsättningen. De flesta av variationerna hänför sig till väderförhållanden. I ett hus där radonet kommer från blå lättbetong blir radonhalten lägre, när luftväxlingen ökar. Då radonet kommer från marken är bilden mera komplicerad.

För 2/3 av husen inom projektet jämförs resultatet av spårfilm som mäter halten av radon med en radonhalt som beräknats från mätning av radondotterhalt,  $d$  v s med WLM 30 eller WLM 300. Förhållandet mellan radondotterhalt och radonhalt (*F-faktorn*) i ett rum kan ligga mellan 0.2 och 0.8, men oftast mellan 0.3 och 0.5. Vid omräkning från radondotterhalt till radonhalt användes *F-faktorn* 0.5. Detta kan ge en underskattning av radonhalten beräknad ur den mätta radondotterhalten.

Mätningarna i husen kan ha utförts i *olika rum* vid de olika tillfällena, vilket kan ge olika resultat. Därtill kommer att *boendevanorna* kan ha ändrats mellan de båda tillfällena.

Mätningarna utförda mellan 1982 och 1989 har större osäkerheter i årsmedelvärden än 1991 års mätningar. Tabell 3.2 ger en grov uppskattning av mätfelen, betingade av instrumenten och av tidsvariationerna, samt kombinationen,  $d$  v s osäkerheten i årsmedelvärdet av radongashalten, med en 65% konfidensnivå. Särskilt värdena på säkerheten betingad av tidsvariationerna är svåra att kvantifiera.

Osäkerheterna på grund av instrumenten har baserats på uppgifter från fabrikanterna eller mätfirmen, osäkerheterna i kalibreringarna på rapporter av Falk et al 1982 och 1990, och osäkerheterna på grund av tidsvariationer på de metoder som beskrivs i SSIs metodbeskrivningar från 1988.

Tabell 3.2. Grov uppskattning av osäkerheterna i procent (1 SD) för respektive mätmetod.

$\Delta_{per}$  = Osäkerheten för mätperioden (1 SD)

$\Delta_{år}$  = Osäkerheten p g a tidsvariationen (1 SD) enligt SSIs Bakgrunds-  
information till metodbeskrivningar"

$\Delta_{tot}$  =  $\Delta_{per}^2 + \Delta_{år}^2$  = osäkerheten i årsmedelvärde (1 SD)

S = Självdragsventilation

F = Mekanisk frånluftsventilation

FT = Mekanisk till- och frånluftsventilation

Metod	Rn- halt	$\Delta_{per}\%$	$\Delta_{år}\%$ S	F	FT	$\Delta_{tot}\%$ S	F	FT
Spårfilm 1991	60	10	38	28	23	40	30	25
	100	7	38	28	23	40	30	25
	200	6	38	28	23	40	30	25
	400	5	38	28	23	40	30	25
WLM 300, WLM 30 <sup>a)</sup>	10	48	38	33	50	40	35	
TLD		10	42	32	27	45	35	30
Öppen spårfilm <sup>b)</sup>		15	36-41	26-31	21-26	40-45	30-35	25-30
Aktivt kol <sup>c)</sup>		10	50	40	35	50	40	35

a) Mäter radonhalter. Radongashalten beräknas genom division med 0.5. Detta ger en ytterligare osäkerhet av  $\pm 20\%$  i denna undersökning.

b) Mäter både radon- och radonhalter. Radongashalten beräknas genom division med 0.5. Detta ger en ytterligare osäkerhet av  $\pm 20\%$  i denna undersökning.

c) Om radonhalten varierar kraftigt under mättiden kan  $\Delta_{per}$  vara  $>50\%$ . Kalibreringen görs med konstant radonhalt under 3 dygn.

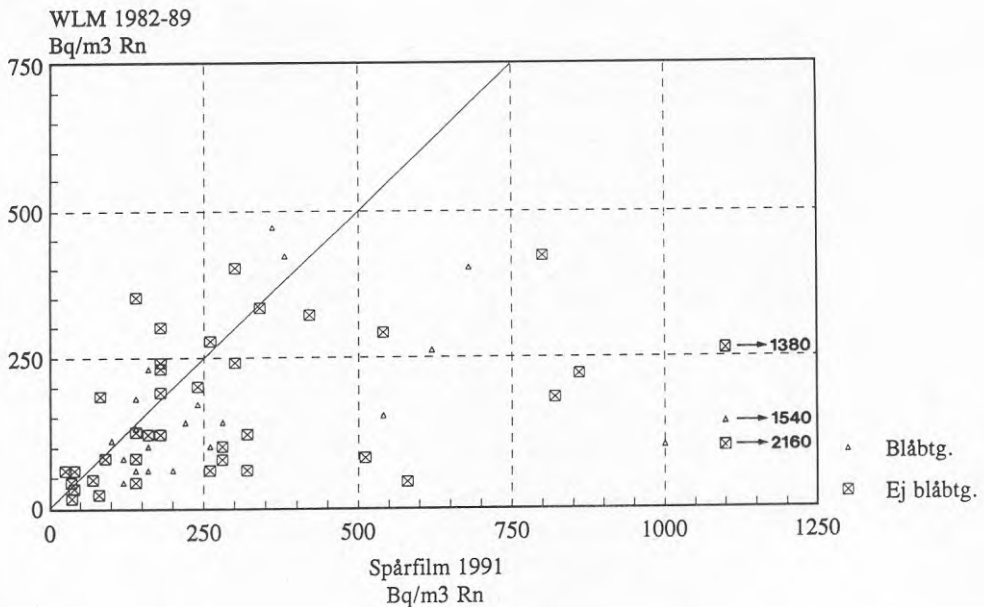
Kalibreringen av instrumenten har kontrollerats i SSIs radonrum både för perioden 1982-89 och 1991. SSI har jämfört sina normaler med bland annat Environmental Measurement Laboratory i USA, med överensstämmelse inom 10% (Falk et al 1982, Falk et al 1990). Sedan 1982 har OECD och EG organiserat internationella jämförelsemätningar. SSI har också deltagit i en jämförande mätning av radon för de etablerade radonlaboratorierna i världen organiserade av National Institute of Standards and Technology (NIST), USA, med gott resultat. Kalibreringsfaktorn före och efter de ombyggnader och förändringar som har förekommit sedan 1982 har hållits under kontroll och endast medfört några få procents ändring av kalibreringsfaktorn.

### Jämförelse mellan mätresultaten för respektive mätmetod

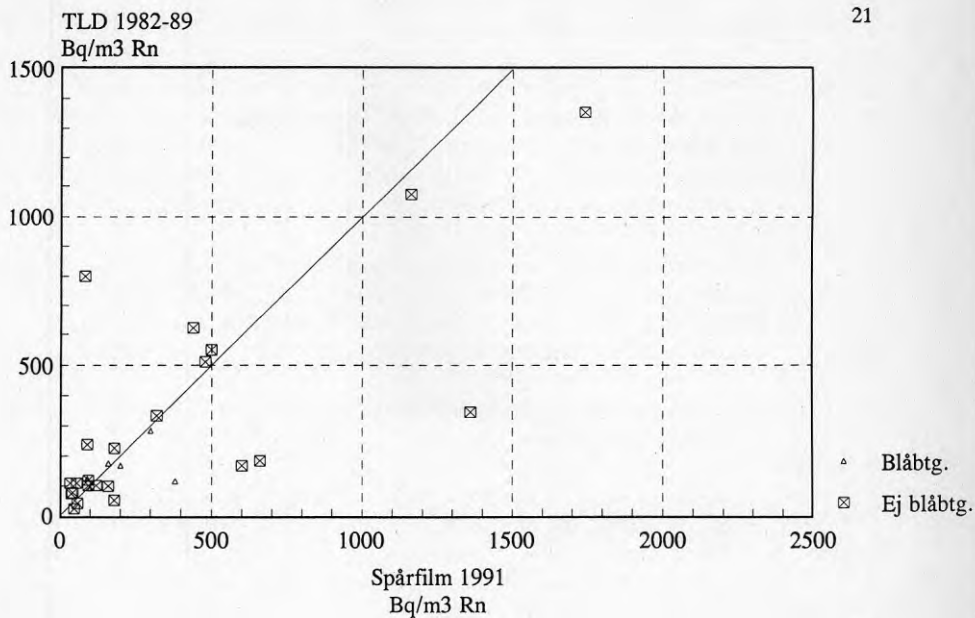
Ett sätt att bedöma osäkerheten i mätresultaten är att jämföra mätresultat från 1991 års mätningar med de mätresultat som erhöles med respektive mätmetod omedelbart efter åtgärden på respektive hus. Jämförelsen framgår av tabell 3.3 och figurena 3.2, 3.3 och 3.4.

Tabell 3.3. Radongashalter uppmätta efter saneringsåtgärder jämförda med halter uppmätta med spårfilm i dosa vid kontrollmätningen 1991. (Mätresultat där båda värdena ligger under  $100 \text{ Bq/m}^3$  har förts till grupp 0-10%).

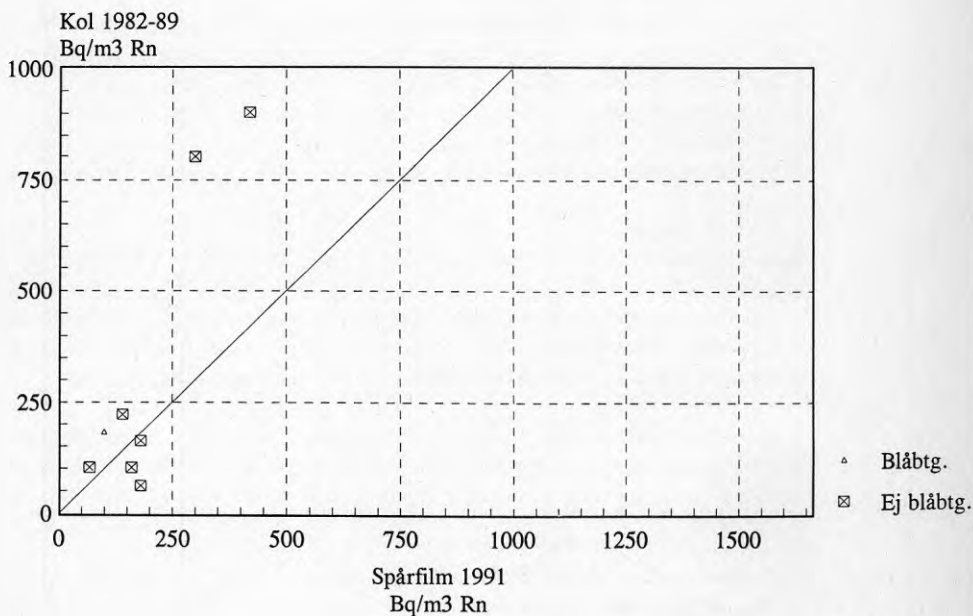
Mätmetod	Avvikelser från radonhalt uppmätt efter åtgärd			
	0 - 10%	11 - 20%	21 - 30%	>31%
WLM 30, 300	14 av 61 (23%)	3 av 61 ( 5%)	9 av 61 (15%)	35 av 61 (57%)
TLD-instr.	12 av 29 (41%)	3 av 29 (10%)	4 av 29 (14%)	10 av 29 (34%)
Kol	0 av 8 ( 0%)	3 av 8 (37%)	0 av 8 ( 0%)	5 av 8 (63%)



Figur 3.2. Jämförelse av radonhalter erhållna vid mätning med WLM 300 eller WLM 30 efter åtgärd och spårfilm i dosa vid kontrollmätningen.



Figur 3.3. Jämförelse av radonhalter erhållna vid mätning med TLD-instrument efter åtgärd och spårfilm i dosa vid kontrollmätningen.



Figur 3.4. Jämförelse av radonhalter erhållna vid mätning med aktivt kol efter åtgärd och spårfilm i dosa vid kontrollmätningen.

Följande slutsatser kan dras:

- För *TLD- och WLM-mätningarna* relativt kontrollmätningarna är spridningen ungefär densamma med hänsyn tagen till skillnaden i antal data. Man kan vänta sig större spridning för WLM-resultaten dels på grund av att WLM mäter radondöttrar och kontrollmätningarna avser radongas, dels på grund av att WLM mäter under kortare tid än TLD-metoden.

Resultaten av WLM-mätningarna kan vara underskattade med ca 20% när de räknas om till radongas eftersom F-faktorn ofta är lägre än 0.5 (Swedje-mark 1983). De kan dock också vara överskattade när luftväxlingen är mycket låg eller partikelhalten är mycket hög.

- För *aktivt kol och öppen spårfilm* är mätningarna för få för att några slutsatser skall kunna dras.
- *Osäkerheten vid 65% konfidensnivå* i varje mätning är minst 30%. Därav följer att endast större skillnader kan anses bero på signifikanta förändringar i halten sedan åtgärden i huset gjordes. En förklaring till skillnaderna i mätresultaten kan vara att mätningarna har gjorts med olika mätmetoder, under olika väderförhållanden och under olika långa mättider. Man kan heller inte helt bortse från att felmätningar kan ha förekommit.

### 3.3 Gammastrålningsmätningar

För att få en uppfattning om byggnadsmaterialets innehåll av radioaktiva ämnen och därmed dess betydelse för radonhalterna i byggnaden mättes gammastrålningen från samtliga väggar och bjälklag i bostäderna. Mätningen ägde rum i samband med utplaceringen av radondetektorerna och gjordes med hjälp av scintillometrar av typerna Yellow Box och Scintrex BGS-4. Gammamätningen utfördes genom att instrumentet placerades direkt mot en fri väggyta eller bjälklagsyta.

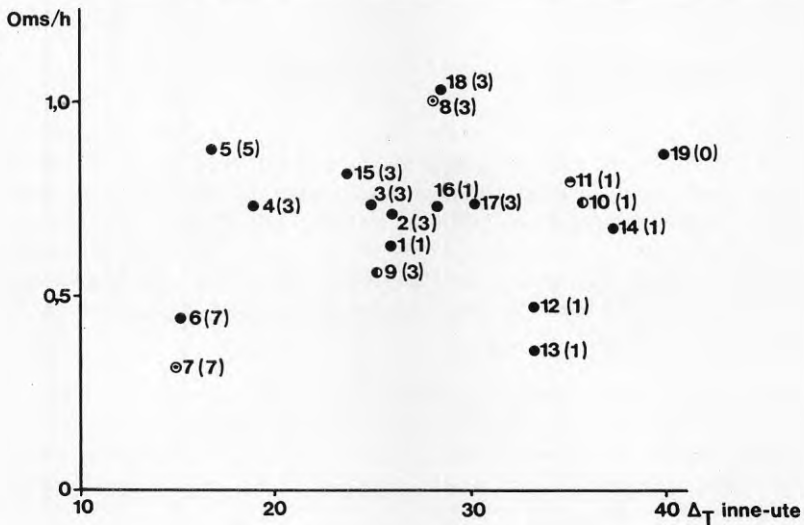
Scintillometern innehåller en kristall av natriumjodid (NaI), som har förmåga att scintillera, d v s utsända små ljusblixtar, när den utsätts för gammastrålning. Dessa blixtar registreras av en fotomultiplikator som omvandlar dem till elektriska pulser. Pulserna förstärks och matas till en räkneenhet som i sin tur lämnar en spänning vilken är proportionell mot den uppmätta gammastrålningen.

Yellow Box-instrumentet kalibreras fortlöpande mot ett känt toriumpreparat. I samband med projektet har jämförande mätningar med de båda instrumenten utförts på material med olika gammastrålningsnivåer och visat mycket god samstämmighet.



### 3.4 Luftväxlingsmätningar

Ventilationens storlek varierar med årstiderna särskilt när det gäller S-system, vilket visas i figur 4.2 i kapitel 4.2. En momentant utförd mätning på några timmar ger inte något sant värde för en längre period. Man har också att räkna med att de boende, helt logiskt, ändrar donen beroende på temperatur och vindförhållanden. Något klart samband mellan temperatur, vindhastighet och luftväxlingens storlek är svår att spåra. Detta framgår med önskvärd tydlighet av figur 3.5. Figuren redovisar resultatet av mätningar som har företagits med spår-gas med en mättid upp till ca 2 timmar. Lägenheten är belägen högst upp i ett



Figur 3.5. Mätning av specifikt flöde i lägenhet högst upp i ett fyravåningshus. Figuren visar skillnader i luftväxling vid olika temperaturdifferenser ute-inne samt, inom parentes, olika medelvindhastigheter. Donen har i viss utsträckning ändrats från mätning till mätning.

- Inventil öppen 50 mm, springventil öppen 17 mm, galler i WC öppet, övriga stängda. Vindhastighet m/s.
- Inventil fullt öppen, springventil öppen 5 mm, galler i WC öppet, övriga stängda. Vindhastighet m/s.
- Inventil fullt öppen, springventil stängd, galler i WC öppet, övriga stängda. Vindhastighet m/s.
- Inventil fullt öppen, springventil öppen 17 mm, galler i WC öppet, övriga stängda. Vindhastighet m/s.

fyravåningshus som ligger bland andra hus. Lägenheten är trots detta rätt utsatt för vindpåverkan. Den lägsta uppmätta luftväxlingen är ca 0.3 oms/h och den högsta 1.0, en skillnad på 300%. Mätningarna har utförts i december 1985 av SIB i Gävle, men har inte tidigare publicerats.

Radonhalterna har mätts under en längre period enligt kapitel 3.1. För att kunna mäta luftväxlingen under motsvarande period har inom projektet använts en ny metod för dessa mätningar. Metoden är amerikansk och kallas AIMS, vilket betyder "Air Infiltration Measurement Service". Med denna metod kan man på ett enkelt sätt under längre perioder, 1 vecka till 5 månader mäta luftväxlingen i alla typer av hus.

### **Tekniken bakom AIMS**

Genombrottet i skapandet av en lätt användbar metod, som till ett moderat pris gör det möjligt att mäta luftväxlingen under längre perioder, kom i och med upptäckten av en verksam teknologi med perfluorokolsparare (perfluorocarbon tracer, förkortat PFT) vid Brookhaven Laboratory år 1982.

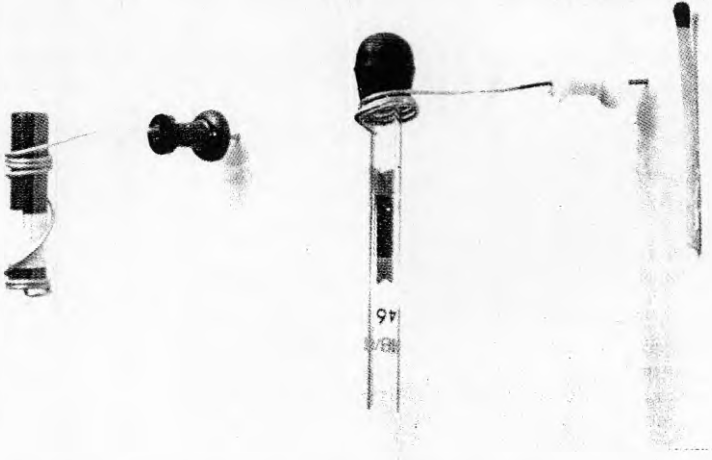
AIMS använder PFT-gaser för att kontrollera luftflödena. Mätningar kan genomföras både om huset är bebott eller obebott och under en tid från några dagar upp till fem månader.

Både sändare och mottagare är små och kan lätt sändas per post, se figur 3.6. Källsändaren, till vänster i figuren, innehåller PFT-gas. När sändaren är utplacerad, diffunderar gasen ut i inomhusluften med konstant hastighet. Sex olika gaser kan användas:

- perfluorodimetylcyklohexan (som har tre olika isomerblandningar PDCH-orto, PDCH-meta och PDCH-para)
- perfluorometylcyklohexan (PMCH)
- perfluorometylcyklopentan (PMCP)
- perfluorotrimetylcyklohexan (PTCH).

Detta gör det möjligt att utföra olika mätningar på flera ställen i huset samtidigt.

Utströmningshastigheten är temperaturberoende. Den ligger inom området  $1-4 \times 10^{-8}$  liter per minut. Gasen blandas lätt med inomhusluften och bildar homogen uppblandning av inomhusluften inom ett dygn. Den är helt ofarlig att inandas. Mottagaren, till höger i figuren, är ett kapilläradsorptionsrör (Capillary adsorption tube, förkortat CAT) som innehåller en liten mängd aktiverat Ambersorb (inregistrerat varumärke) för att fånga in perfluorokolet. Ingen test-pump eller vakuum behövs för att samla luftproven. När en av gummikapslarna tas bort, kommer luften in i mottagaren genom diffusion med en konstant mängd av 0.2 liter per dygn.



Figur 3.6. Testutrustning för luftinfiltration och en tändsticka för att jämföra storleken.

### Mätning

Sändare och mottagare är försedda med små hållare. De placeras ut i rummet ungefär 1 m från en yttervägg. De två enheterna, som var och en täcker en yta av upp till 50 m<sup>2</sup>, skall placeras åtminstone 2 m från varann. Sändarna monteras ett dygn före mottagarna.

Under mätperioden adsorberas gasen av mottagarna. Eftersom emissionsnivån är temperaturkänslig har de boende i huset eller lägenheten mätt rumstemperaturen ca en gång per vecka under olika tider på dygnet. Termometrarna har kontrollerats mot kalibrerade termometrar och deras eventuella felvisning har korrigerats. Vid mätperiodens slut beräknades medelvärdet för temperaturavläsningarna.

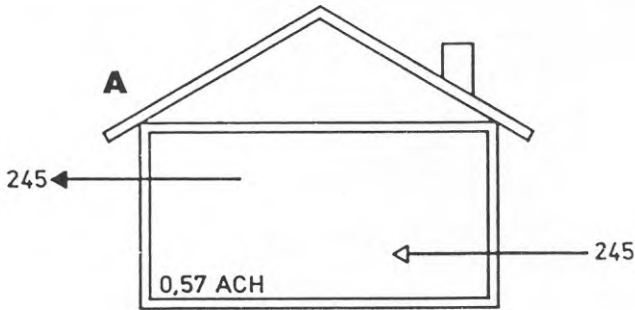
Laboratorieexperiment visar att mätfelet vid bestämning av luftväxlingen med AIMS kan bli ca 1.5 procent per grad Celsius som avviker från medeltemperaturen.

När mätningarna avslutats, återsänds mottagarna för analys tillsammans med ett formulär med ifyllda uppgifter om huset. Några dagar senare återsänds sändarna. De får inte återsändas samtidigt. Analyserna gjordes i USA.

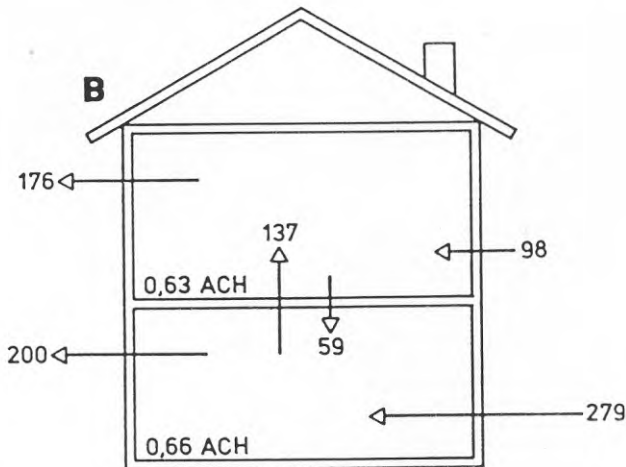
### Exempel på mätningar i två hus.

Figurema 3.7 och 3.8 visar två hus där luftväxlingen bestäms med AIMS-metoden. Dessa mätningar har medtagits för att komplettera beskrivningen av mätmetoden och ingår inte i projektet.

PDCH användes i hus A, se figur 3.7, vars totala volym är  $433 \text{ m}^3$ . Infiltrationsnivån bestämdes till  $245 \text{ m}^3/\text{h}$ . När hela huset behandlats som en zon blev



Figur 3.7. Fördelning av luftflöden ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) i hus A, ett envåningshus.



Figur 3.8. Fördelning av luftflöden ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) i hus B, ett hus med fler våningar.

exfiltrationsnivån lika med infiltrationsnivån. ACH (Air Changes per Hour) beräknades till 0.57. Dessa siffror återfinnes i figur 3.7.

I hus B, se figur 3.8, användes PMCH i bottenvåningen med en volym av 426 m<sup>3</sup> och PMCP användes på övervåningen med en volym av 156 m<sup>3</sup>. Genom att man använde två olika spårgaser blev det möjligt att bestämma inte bara ACH-värdet för varje våningsplan utan också luftflödesmönstren mellan de två våningarna. Detta i sin tur gjorde det möjligt att fastställa både infiltrations- och exfiltrationsnivån för varje våning.

Som visas i figur 3.8, var luftflödet från bottenvåningen till övervåningen 137 m<sup>3</sup>/h. Flödet neråt, 59 m<sup>3</sup>/h, var avsevärt mindre. I bottenvåningen var luftinfiltrationen 279 m<sup>3</sup>/h och exfiltrationen 200 m<sup>3</sup>/h. Infiltrations- och exfiltrationsvärdena i övervåningen var anmärkningsvärt olika och återspeglar mönstren hos luftflödet mellan botten- och övervåningen. ACH för de två våningarna var också olika, 0.66 för bottenvåningen och 0.63 för den övre.

Eftersom tre olika spårgaser kan användas är det möjligt att utföra samma slag av analyser för en tre-zonsbyggnad, t ex en tvåvåningsbyggnad med källare. Varje mottagare adsorberar alla tre gaserna, och koncentrationen av var och en av dessa gaser analyseras i gaskromatografen.



## 4 RADONPÅVERKANDE FAKTORER

### 4.1 Radonkällor

#### Marken

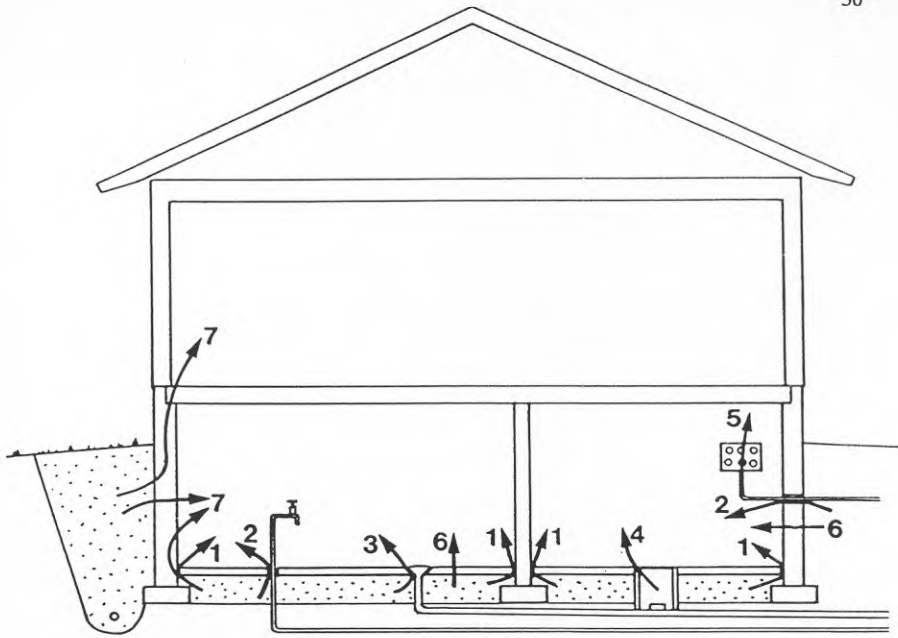
Radon från marken är den vanligaste orsaken till radon i byggnader. I nästan alla rum med markkontakt kan man räkna med att det finns radon som kommit från marken. Markradon kan ge upphov till mycket höga radonhalter i inomhusluften. Med mark avses i detta sammanhang inte bara jordlagret och berggrunden under och omkring byggnaden utan även dittransporterat material, som använts för utfyllnad före byggandet eller vid markplaneringen. Radonet kan även transporteras längs ett rörschakt och från detta läcka in i byggnaden. I detta fall avgår radonet från marken längs schaktväggarna och från grus och stenmaterial, som använts som återfyllning och dräneringslager i schaktet. Radon kan också avgå från grundvatten som rinner fram längs schaktbotten.

Radonet från marken transporteras in i byggnaden med jordluft, som sugts in genom otätheter i grundkonstruktionen, d v s golvet mot marken och eventuella källarytterväggar och bärande källarinnerväggar. Drivkraften för transporten är det undertryck som husets ventilation skapar inomhus i förhållande till atmosfärstrycket utomhus och i marken. Radonet kan även komma in i byggnaden med diffusion från marken genom grundkonstruktionen. För att diffusionen skall kunna orsaka förhöjd radonhalt i byggnaden fordras emellertid att betongplatta mot marken saknas eller att den är tunn och av mycket dålig kvalitet eller att radonhalten i jordluften är mycket hög, mer än ca 500 000 Bq/m<sup>3</sup>.

De småhus som ventileras med självdrag får sin drivkraft genom skillnaden i temperatur utomhus och inomhus samt genom vindpåverkan. Oftast är detta system kompletterat med spisfläkt som vid drift kan ge ett stort undertryck i huset, om inte någon typ av tilluftsdon öppnas. Ifall marken under huset är genomsläpplig för transport av jordluft, kan stora mängder jordluft sugas in i huset särskilt vid kyligt väder. I hus med F-ventilation, dvs mekaniskt frånluftssystem, skapas ett motsvarande undertryck året runt. Undertryck kan av olika anledningar också bildas i hus med FT-system (mekanisk till- och frånluftventilation). Några sådana orsaker kan vara att FT-systemet inte är injusterat så att det råder balans mellan de båda luftflödena, att filtret i tilluftskanalen satts igen av damm och att det på grund av otätheter i klimatskärmen sker en självdragsventilation vid sidan om det mekaniska systemet.

#### Byggnadsmaterialet

Alla stenbaserade byggnadsmaterial, t ex betong, tegel, klinker, lättbetong, gips, innehåller radium och avger därför radon. Normalt är radiumhalten så liten att radonavgången har liten betydelse för radondoterhalten inomhus, men det finns undantag. Ett sådant är den alunskifferbaserade lättbetongen som tillverkades



Figur 4.1. Schematisk skiss över vanliga otätheter i en byggnads grundkonstruktion.

1. Normala springor mellan golvplatta och vägg, då plattan har gjutits efter det att väggarna har murats upp. Dessa springor kan vara svåra att upptäcka okulärt, eftersom bland annat väggarnas invändiga putssocker täcker över springorna.
2. Otätheter vid rör genomföringar, t ex vatten- och avloppsrör, även i skyddsrör.
3. Otätheter vid golvbrunnar.
4. Otätheter vid lucka över rensbrunn.
5. Otätheter i inmurnings- eller ingjutningsshylsor vid inkommande el- eller teleledningar. Elledningen kan vara placerad i ett skyddsrör som mynnar i säkringsskåpet. Markluft kan strömma in även i detta rör.
6. Sprickor i golv eller vägg p g a sättningar.
7. Läckagevägar genom luftgenomsläppliga byggnadsmaterial, t ex betonghålsten och lättklinkerblock, eller via murfogar i kombination med tunn eller krackelerad puts. Under källargolv, och ofta även utvändigt under mark, saknas puts helt och hållet på grundmurarna.



under åren 1929–1975. Radiumhalten kan emellertid variera även i detta material (i storleksordning med en faktor 4) beroende på bl a tillverkningsort. I kombination med dålig luftväxling kan blå lättbetong i väggar och bjälklag orsaka radondotternivåer uppåt 500 Bq/m<sup>3</sup>. Vid mycket liten luftväxling och/eller förekomst av lättbetongkross kan radondotterhalten stiga ytterligare några hundra becquerel per kubikmeter inomhusluft.

Tabell 4.1. Radiumhalt i byggnadsmaterial och radonavgång från dess yta.

Byggnadsmaterial	Radiumhalt Bq/kg	Radonavgång Bq/m <sup>2</sup> h
Tegel	40– 150	1– 10
Sandbaserad lättbetong	10– 130	1– 3
Skifferbaserad lättbetong	600–2 600	50–200

I ett småhus kan lättbetong finnas i bjälklag och samtliga väggar. I flerbostadshus kan det däremot endast förekomma i ytterväggar och icke bärande mellanväggar samt som värmeisolering på betongbjälklag (lättbetongkross).

### Hushållsvattnet

I vissa områden med berggrund av bl a granit med förhöjd radiumhalt kan vattnet i djupborrade brunnar innehålla icke oväsentliga mängder radon, som vid vattnets hantering kan avgå till inomhusluften, t ex vid duschning eller vanlig tappning.

De i projektet ingående bostäderna är samtliga anslutna till kommunalt vattenledningsnät. Radonhalten i vattnet är låg och kontrolleras av respektive kommun, varför någon mätning av dessa halter inte har utförts inom projektets ram.

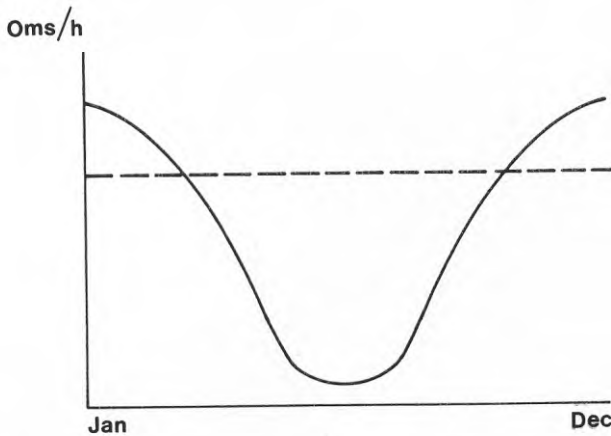
## 4.2 Ventilationens betydelse

Ventilationssystem typ S, självdragsventilation, ger som regel störst ventilation vid låga utetemperaturer samt vid kraftig vindpåverkan på en byggnad. Vår, sommar och höst, när temperaturdifferensen ute–inne är liten eller ingen alls, sjunker ventilationen i ett S-system kraftigt, varför man i stor utsträckning måste förlita sig till fönstervädning.

Ventilationssystem typ F, mekaniskt frånluftssystem, eller FT, mekaniskt till- och frånluftssystem, ger däremot en rätt så jämn ventilation under hela året under förutsättning att de är rätt utförda och rätt injusterade. Observera dock att F-systemen kräver god tillförsel av uteluft om undertrycket i ett hus inte skall

bli alltför stort. Risk finns annars att luft sugas in från marken genom otätheter i grundkonstruktionen, varvid radonhalten kommer att stiga.

Ventilationen har stor betydelse för radonhalten i en bostad. Det är därför viktigt att systemen hålls i driftdugligt skick. Att minska ventilationen är visserligen ett sätt att spara energi, men har huset radonproblem så bör man låta bli att vidtaga en sådan åtgärd.



Figur 4.2. Variationer i luftväxling under året. Diagrammet gäller för avsiktligt, genom donen utsuget flöde.

————— Ventilation typ S  
 - - - - - Ventilation typ F eller FT

### 4.3 Väderförhållanden under kontrollmättningsperioden

Nedanstående uppgifter om väderförhållandena under den tid projektets radonmätningar utfördes har inhämtats från SMHI Meteorologi i Norrköping. Mätningarna gäller lufttemperatur, vindhastighet och nederbörd och är uppmätta vid Stockholm-Bromma flygplats, Uppsala flygplats samt i Gävle och Falun.

Vinduppgifter för Gävle saknas eftersom vindhastigheten inte längre mäts på denna meteorologiska station.

För lufttemperaturen anges högsta resp lägsta dygnsmedeltemperatur samt månadens medeltemperatur.

Vindhastigheten mäts under 10 min vid 8 tillfällen under dygnet med 3 timmars mellanrum, i Falun dock endast 3 gånger per dygn. Hastigheten anges som

medelvärde för dessa 10 min. I tabellerna 4.2 – 4.5 finns uppgifter på under hur många dagar som vindhastigheten varit till övervägande del över 6 m/s samt medelvindhastigheten under månaden. Vid beräkning av medelvärden har inte tagits hänsyn till vindriktning.

Nederbörden är uppmätt 2 gånger per dygn, kl 07.00 och 19.00. Dygnsnederbörden, framräknad på dessa mätningar, anges i tabellerna dels som antal dygn med mer än 5 mm nederbörd, dels som totalmängd för månaden. Dessutom har medtagits uppgifter på antal dagar då marken har varit helt snötäckt.

Månadsmedelvärdena för normalåret under perioden 1961–90 har angetts för lufttemperatur och nederbördsmängd. SMHI beräknar inte medelvärden för lufthastighet under normalår, varför några sådana uppgifter inte har kunnat införskaffas.

Lufttemperaturens medelvärden är för samtliga månader högre än motsvarande månadsmedelvärden för åren 1961–90. Med några få undantag har det också varit betydligt mindre mängd nederbörd under kontrollmätningmånaderna än under jämförelseperioden.

Tabell 4.2. *Lufttemperatur, vindhastighet, nederbörd samt antal dagar med sammanhängande snötäcke i Gävle.*

Period	Lufttemperatur °C			Vindhast m/s		Nederbörd mm		Snötäcke
	Dygns-mv		Mån	Ant dag Mv		Ant dag Mv		Ant dag
	Max	Min	Mv	>6 m/s	>5 mm	>5 mm		
1990-91 (Mätperiod)								
December	5.4	-8.2	-0.3			2	27	25
Januari	3.6	-12.2	-1.2			1	36	0
Februari	5.4	-10.3	-3.8			0	14	0
Mars	6.3	-2.5	1.6			1	23	0
April	12.1	-1.9	5.2			1	16	0
1961-90 (Normalår)								
December			-3.3					51
Januari			-4.8					48
Februari			-4.5					35
Mars			-1.0					32
April			4.3					40

Tabell 4.3. *Lufttemperatur, vindhastighet, nederbörd samt antal dagar med sammanhängande snötäcke i Uppsala.*

Period	Lufttemperatur °C			Vindhast m/s		Nederbörd mm		Snötäcke
	Dygns-mv		Mån	Ant dag Mv		Ant dag Mv		Ant dag
	Max	Min	Mv	>6 m/s	>5 mm	>5 mm		
1990-91 (Mätperiod)								
December	5.1	8.6	-0.3	6	4.4	1	34	19
Januari	2.4	-10.3	-1.3	1	3.9	4	47	19
Februari	5.7	-11.2	-3.6	5	4.3	1	24	20
Mars	5.7	-1.7	1.8	2	3.6	1	33	6
April	11.3	-2.0	5.4	4	4.4	1	19	1
1961-90 (Normalår)								
December			-3.0					45
Januari			-4.5					39
Februari			-4.6					27
Mars			-1.1					30
April			3.7					29

Tabell 4.4. *Lufttemperatur, vindhastighet, nederbörd samt antal dagar med sammanhängande snötäcke i Stockholm.*

Period	Lufttemperatur °C			Vindhast m/s		Nederbörd mm		Snötäcke
	Dygns-mv		Mån	Ant dag	Mv	Ant dag	Mv	Ant dag
	Max	Min	Mv	>6 m/s		>5 mm		
1990-91 (Mätperiod)								
December	6.7	-7.7	0.6	5	3.7	4	37	5
Januari	3.1	-7.0	-0.7	1	3.7	4	40	5
Februari	6.3	-10.5	-3.0	1	3.7	2	30	20
Mars	5.8	-2.8	1.8	1	3.3	0	28	2
April	11.0	-1.3	5.2	0	3.6	0	15	0
1961-90 (Normalår)								
December			-1.9				42	
Januari			-3.7				33	
Februari			-3.8				24	
Mars			-0.5				25	
April			4.2				30	

Tabell 4.5. *Lufttemperatur, vindhastighet, nederbörd samt antal dagar med sammanhängande snötäcke i Falun.*

Period	Lufttemperatur °C			Vindhast m/s		Nederbörd mm		Snötäcke
	Dygns-mv		Mån	Ant dag	Mv	Ant dag	Mv	Ant dag
	Max	Min	Mv	>6 m/s		>5 mm		
1990-91 (Mätperiod)								
December	4.8	-13.9	-2.6	0	1.9	2	29	31
Januari	1.8	-18.5	-3.8	0	1.7	3	40	31
Februari	4.1	-16.5	-6.3	0	2.0	0	12	28
Mars	4.3	-6.7	0.5	1	1.5	2	37	31
April	10.6	-2.5	4.6	2	2.7	0	16	2
1961-90 (Normalår)								
December			-5.5				41	
Januari			-7.3				41	
Februari			-6.7				28	
Mars			-2.1				32	
April			3.1				38	



## 5 RESULTAT

Resultatet av de olika mätningarna och undersökningarna redovisas i nedanstående tabeller och diagram uppdelade på de olika åtgärdsmetoderna. I de bostäder där gammastrålningen är lägre än  $0.15 \mu\text{Sv/h}$  (markeras med - i tabellerna) anses radon från byggnadsmaterialet ha en mycket ringa betydelse.

I stapeldiagrammen över radonhalter finns två horisontella, streckade linjer. Den övre linjen markerar radongashalten  $400 \text{ Bq/m}^3$ , d v s gränsvärdet för sanitär olägenhet  $200 \text{ Bq/m}^3$  i radondotterhalt. Den nedre streckade linjen,  $140 \text{ Bq/m}^3$ , motsvarar gränsvärdet för nybyggda hus,  $70 \text{ Bq/m}^3$  i radondotterhalt.

De i tabellerna använda koderna är följande:

### Kommunkoder:

F = Falun

G = GävleN

S = Sandviken

N = Sollentuna (Norrort)

T = Täby

U = Upplands Väsby

### Hustyper:

#### 1-4 Enplanshus

1 Hus med platta på mark

2 Hus med kryppgrund

3 Hus med källarvåning

4 Hus med suterrängvåning

#### 11-14 1/2-pl hus el högre

11 Hus med platta på mark

12 Hus med kryppgrund

13 Hus med källarvåning

14 Hus med suterrängvån

#### 15-18 Flerbostadshus

15 Blå lättbetong, bostäder utan markkontakt (källarvån)

16 Blå lättbetong, bostäder med markkontakt

17 Ej blå lättbetong, bostäder utan markkontakt

18 Ej blå lättbetong, bostäder med markkontakt

### Diverse:

$\gamma$  = Gammastrålning

- = Streck i kolumn för gammastrålning betyder att strålningen är lägre än  $0.15 \mu\text{Sv/h}$

Luft = Luftväxlingsmätning

KV = Källarvåning eller suterrängvåning

BV = Bottenvåning

ÖV = Våning 1 trappa eller högre

Huskod+F = Lägenhet i flerbostadshus

Oms/h = Omsättning per timme

### 5.1 Installation av mekaniskt frånluftssystem.

Många befintliga självdragssystem har byggts om till mekaniskt frånluftssystem, som i några fall har kompletterats med värmepump för överföring av energi från frånluften till tappvarmvattnet.

Ett F-system kan inregleras till en viss luftväxling i huset i sin helhet men inte så noggrant i varje rum för sig. Det krävs dock att det kommer in tillräckligt med tilluft genom exempelvis otätheter i ytterväggar och/eller särskilda tilluftsdon. Huset kan vara så tätt att även med tilluftsdon ökar undertrycket inomhus på grund av fläktens sugkraft. Detta gör att installationen kan få en god effekt på den del av radonhalten, som orsakas av radon från byggnadsmaterialet, men ingen eller till och med negativ effekt på den markradonrelaterade delen.

Tabell 5.1. Från S- till F-ventilation.

Objekt nr	Hus- typ	Åtgärd år	Åtgärd mätn Radon Bq/m <sup>3</sup>		Kontrollmätning 1991 Radon Bq/m <sup>3</sup>			Luft oms/h
			före	efter	$\gamma$ $\mu$ Sv/h KV	BV	ÖV	
G.01.01F	17	1989	83		64		-	-
G.01.02F	17	1989	194		180		-	0.78
G.01.03F	17	1989	438	330	320		-	0.68
G.01.04F	17	1989			520		-	0.36
G.01.05F	17	1989	461	98	95		-	
G.01.06F	17	1989	186		280		-	0.75
G.01.07	11	1989	427	113	380		0.31 0.24	0.71
G.01.08	1	1989	1374	164	600		-	0.38
T.01.01	4	1983	700	170	240	0.70	0.20	0.33
T.01.02	4	1982	1500	420	380	0.85	0.65	0.67
T.01.03	4	1982	1780	470	360	0.90	0.70	0.45
T.01.04	4	1982	1480	260	620	0.90	0.65	0.45

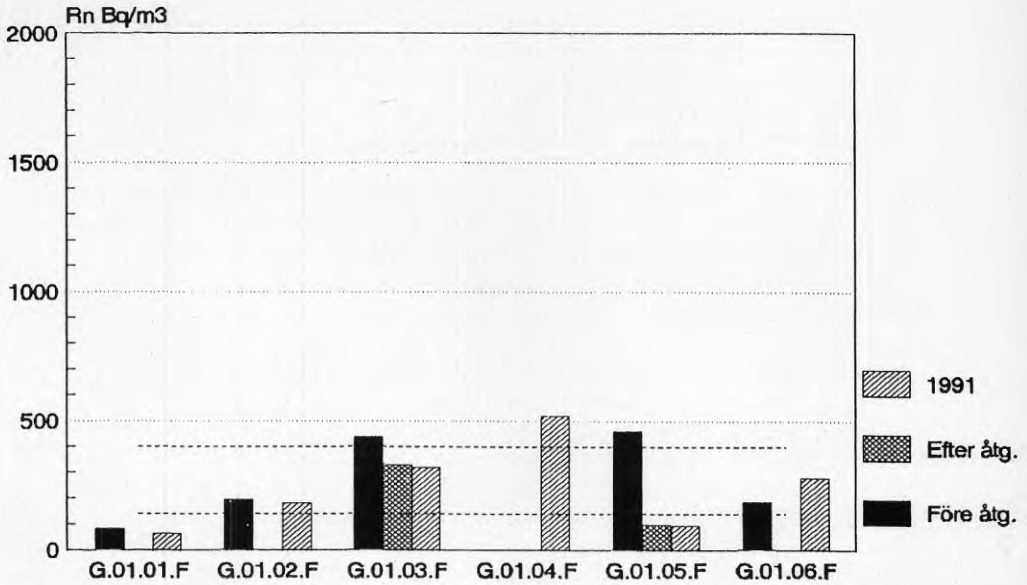
*Kommentar till G.01.04F:*

Efter detta projekts kontrollmätningar av radonhalter har en radonbrunn installerats i marken intill G.01.04F och G.12.01F - G.12.04F. Radonmätningar, som utförts med radonbrunnen i drift, visar att radonhalten i G.12.01F - G.12.04F sjunkit markant, se tabell 5.12. I G.01.04F har mätningar efter vidtagen åtgärd ej företagits.

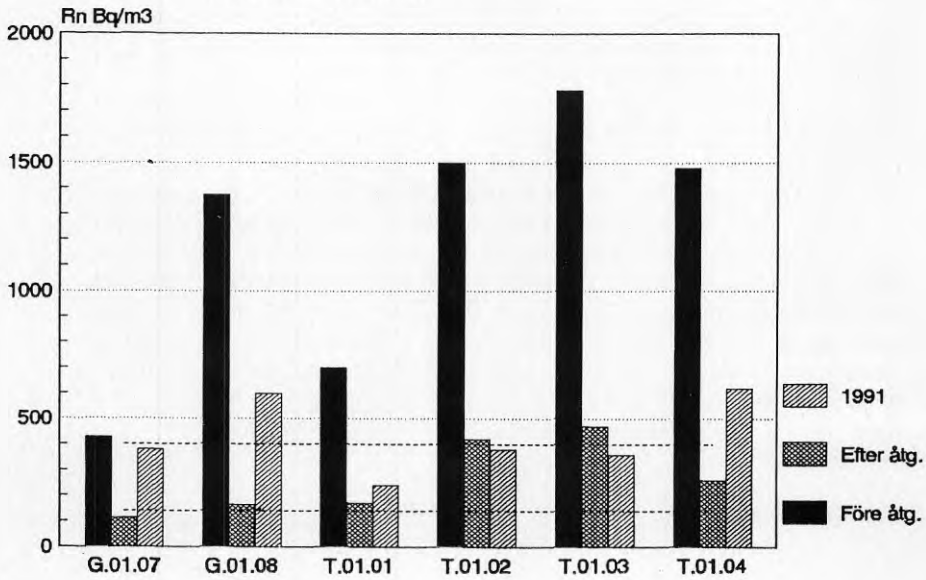
*Kommentar till T.01.02 - T01.04:*

Dessa tre objekt är bostäder i ett och samma enplans radhus med suterrängvåning. Alla tre bostäderna har åtgärdats på samma sätt. Några nya tilluftsdon har inte inmonterats.





Figur 5.1. Åtgärd 01. Från S- till F-ventilation. Radonhalter i hus G.01.01F - G.01.06F.



Figur 5.2. Åtgärd 01. Från S- till F-ventilation. Radonhalter i hus G.01.07 - T.01.04.

Det är således mycket viktigt att installationen även inkluderar insättning av tilluftsdon med litet tryckfall eller att flera tilluftsdon än brukligt inmonteras alternativt att tätningslister borttages, framför allt vid problem med markradon. Bland de i projektet ingående husen finns både hus där man kompletterat med nya tilluftsdon och andra där ingenting har gjorts på tilluftsvidan.

Installationen av F-ventilation har gett en liten effekt på radonhalten i lägenheterna i flerbostadshusen, G.01.01F - G.01.06F. Sänkningen är mindre än ca 25% för fyra lägenheter, men hela 79% i en bostad. Å andra sidan har radonhalten ökat i en lägenhet med drygt 50%. Noterbart för flerfamiljshusen är också att eftermätningar saknas för 4 av de 6 lägenheterna.

Reduktionen på radonhalten i småhusen är påfallande stor vid jämförelse mellan mätvärden före och efter åtgärd. I G.01.08 har till exempel halten sjunkit med 88% från nivån 1370 Bq/m<sup>3</sup>, vilket måste anses vara anmärkningsvärt mycket för den åtgärden i ett hus med enbart markradon (enplanshus med platta på mark, ingen blå lättbetong). Vid kontrollmätningen var dock halten åter betydligt högre eller 3.7 gånger halten vid eftermätningen. Detta är vad man kunde förvänta eftersom markradon inte bör åtgärdas med frånluftsventilation.

Radonhalten i bostäderna T.01.02 - T.01.04 var före åtgärd i stort sett lika, men efter åtgärd var den betydligt lägre i T.01.04 än i de två andra (420-470 Bq/m<sup>3</sup>). Vid kontrollmätningen var radonhalten i T.01.02 och T.01.03 oförändrad, medan den i T.01.04 har stigit med 240%. Källan till radonproblemet var i dessa hus i första hand byggnadsmaterialet, men med den ökade luftväxlingen har troligen andelen markradon i inomhusluften också ökat.

En jämförelse med gränsvärdet för sanitär olägenhet visar att samtliga lägenheter i flerbostadshus ingående i denna grupp hade radonhalter som vid åtgärdstillfallet låg klart under det då gällande gränsvärdet 400 Bq/m<sup>3</sup> i radondotterhalt. Av småhusen var det två vars årsmedelvärde understeg gränsvärdet. Vid mätningar efter åtgärd uppfylldes kravet på att radondotterhaltens årsmedelvärde skulle understiga 400 Bq/m<sup>3</sup> i samtliga bostäder. Däremot skulle två bostäder inte godkännas efter nu gällande gränsvärde. Vid kontrollmätningen översteg radondotterhalten 200 Bq/m<sup>3</sup> i 3 bostäder, 25% av mätta bostäder. Ytterligare 3 småhus hade värden alldeles under gränsvärdet. Alltså hade 50% av de i denna grupp ingående bostäderna radondotterhalter från 180 Bq/m<sup>3</sup> och högre, d v s halter som låg över eller intill gränsvärdet för sanitär olägenhet.

## 5.2 Installation av mekaniskt till- och frånluftssystem

Husen har försetts med mekaniskt till- och frånluftssystem, dvs även tilluften till huset är fläktstyrd. Detta är en vanlig saneringsmetod i hus med förhöjda radonhalter. Värmeåtervinning erhålls vanligtvis genom värmeväxlare av typen korsströmsväxlare, som är en konstruktion där uteluft och frånluft passerar på ömse sidor om tunna plåtar, se figur 5.3.

I hus med relativt stort inflöde av radonhaltig jordluft kan FT-systemets inverkan på radonhalten vara mycket beroende av skillnaderna mellan inne- och utetemperatur. Vid låg utetemperatur erhålls p g a den termiska stigkraften en

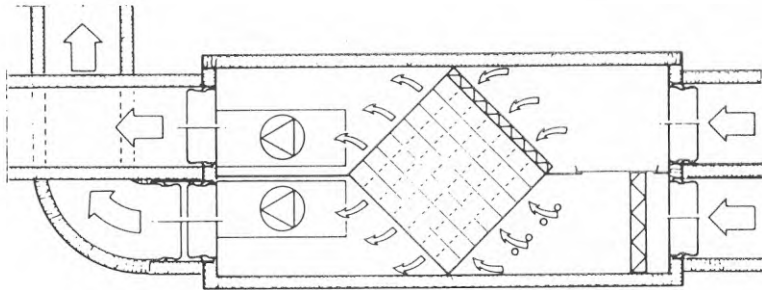
Tabell 5.2. Från S- till FTX-ventilation

Objekt nr	Hus- typ	Åtgärd år	Åtgärd mätn		Kontrollmätning 1991				Luft oms/h
			Radon Bq/m <sup>3</sup> före	Radon Bq/m <sup>3</sup> efter	Radon Bq/m <sup>3</sup>	$\gamma$ $\mu$ Sv/h KV	BV	ÖV	
G.02.01	3	1986	707	140	180	0.25	0.36		0.33
G.02.02	13	1989	918	120	320	-	-	-	1.22
G.02.03	3	1990	3600	796	82	-	-		
G.02.04	1	1990	1574	620	440		-		
G.02.05	3	1983	1140	280	300	0.28	0.33		0.94
F.02.06	3	1989	1520	800	300	-	-		0.49
S.02.07	3	1987	574	106	34	-	-		0.40
N.02.01	13	1987	500	40	35	0.18	-	-	
N.02.02	1	1988	820	60	320		-		0.55
N.02.03	11	1990	900	130	140		0.50	0.45	
U.02.04	1	1988	1250	290	540		-		0.48
T.02.05	3	1989	650	40	120	0.65	-		
T.02.06	1	1982	520	80	120		0.20		0.38
T.02.07	11	1982	810	80	120		0.50	0.40	1.07
T.02.08	4	1989	870	140	220	0.70	-		0.52
T.02.09	14	1982	1080	140	280	0.30	0.30	0.15	0.56
T.02.10	4	1988	910	100	160	0.60	0.60		1.10
T.02.11	3	1984	1900	150	540	0.80	-		0.48
T.02.12	4	1982	1200	100	260	0.85	-		
T.02.13	11	1989	1040	60	140		0.45		0.99
T.02.14	4	1986	700	20	80	0.15	0.30		

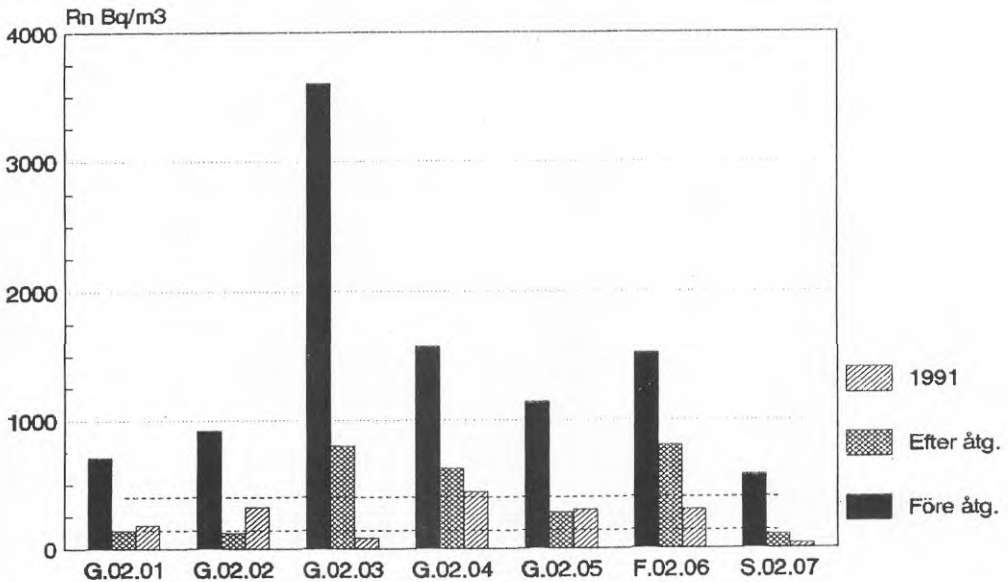
### Kommentar till G.02.04:

Huset har haft fuktskador som åtgärdats genom att den befintliga golvventilationen har utökats i hopp om att därvid även kunna sänka radonvärdena. Inga nya mätningar har gjorts efter denna åtgärd.

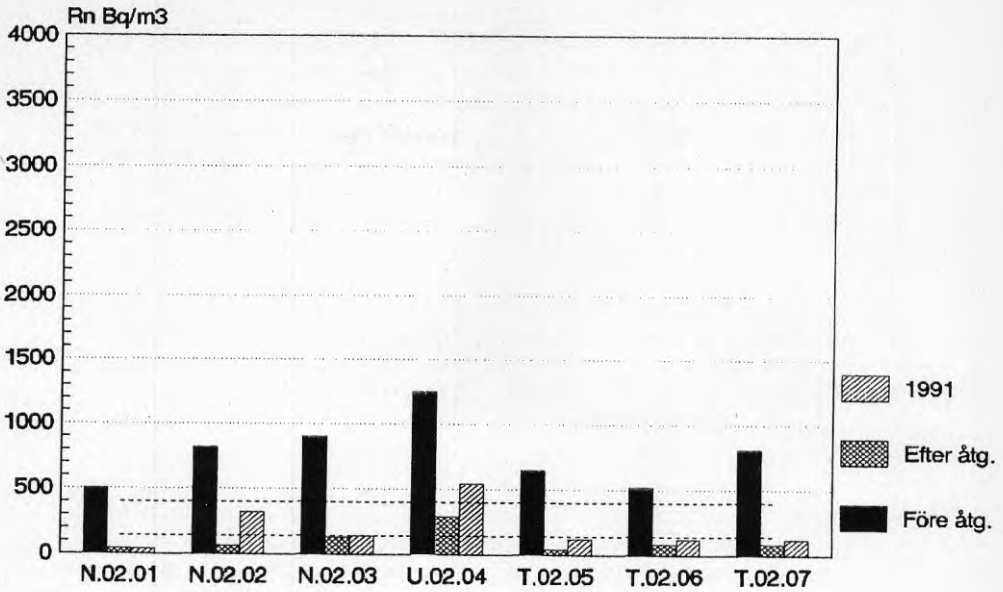
självdagsventilation vid sidan om FT-ventilationen, under förutsättning att huset är normalt otätt i ytterväggar och vindbjälklag. Stor betydelse för inläckning av jordluft har injusteringen av ett FT-system. Det bör vara så injusterat att minsta möjliga undertryck råder i huset. Ligger huset inte vindskyddat kommer den oavsiktliga ventilationen att öka vid blåsig väder. Detta förhållande bör dock inte förhöja inläckningen av jordluft.



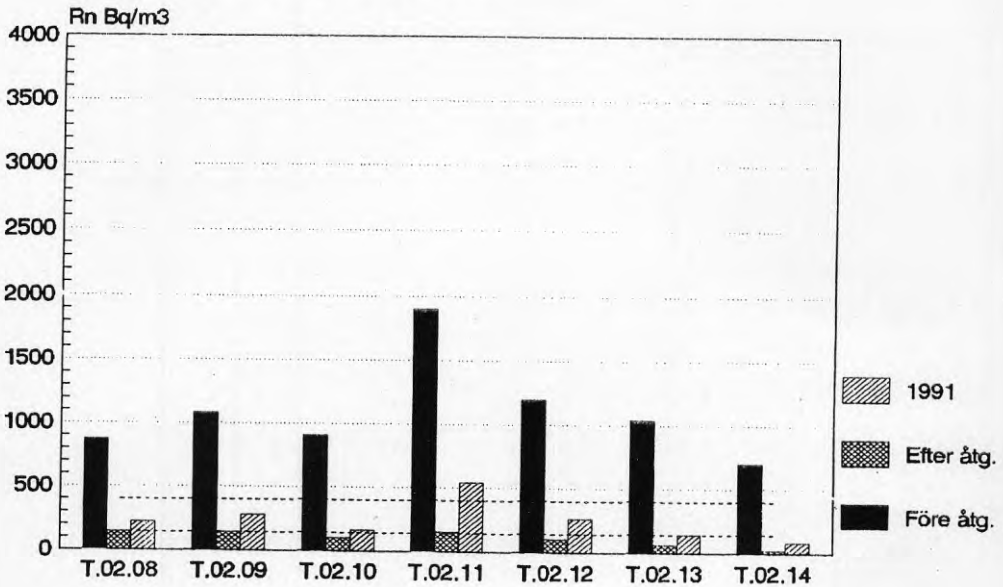
Figur 5.3. Luftväxlar av typen korsströmsväxlare.



Figur 5.4. Åtgärd 02. Från S- till FTX eller FT med värmepump. Radonhalter i hus G.02.01 - S.02.07.



Figur 5.5. Åtgärd 02. Från S- till FTX eller FT med värmepump. Radonhalter i hus N.02.01 - T.02.07.



Figur 5.6. Åtgärd 02. Från S- till FTX eller FT med värmepump. Radonhalter i hus T.02.08 - T.02.14.

Reduktionen av radonhalter efter installation av FT-system är i stora drag olika i Gävle-Falun-området jämfört med Sollentuna-Täby-området. I det förra området har mätningar efter åtgärd i huvudsak gjorts med radonmätare i likhet med före åtgärd. Minskningen i radonhalter ligger här på ca 80% utom i två hus där reduktionen är 61% och 47%. Vid kontrollmätningen har dessa värden dock ökat till 80% (F.02.06) respektive 72% (G.02.04). I samtliga dessa hus är det marken som är den helt överskuggande radonkällan. Mest anmärkningsvärda objektet är G.02.03 där radonhalten har sjunkit med 98%.

Flertalet av husen i stockholmsområdet är byggda av mer eller mindre mängd blå lättbetong. Radonhaltens minskning genom saneringsåtgärden är enligt eftermätningarna mycket god, 85-97% med ett undantag (U.02.04). Mätningarna efter åtgärd är utförda med WLM 30 alternativt WLM 300, radondottermätningar således. Kontrollmätningarna (radonmätningar) visar mera "normala" reduktioner, 61-89% med 2 undantag.

G.02.02 är enligt uppgift byggt under år 1984 och skall således uppfylla gränsvärdet för nybyggnad 70 Bq/m<sup>3</sup>. Ytterligare ett hus, G.02.04 är byggt efter detta gränsvärdes ikraftträdande, men det är osäkert om byggnadslovets har beviljats efter 1981-01-01. 6 av de 21 husen, 29%, har åtgärdats trots att radondotterhalten i huset inte översteg det vid åtgärdens genomförande gällande gränsvärdet. I 3 hus, 14%, gav inte åtgärden tillfredsställande effekt på radonhalten enligt eftermätningen. Vid kontrollmätningen överskreds det nu gällande gränsvärdet för sanitär olägenhet i 3 hus samt nybyggnadsvärdet i det under 1984 byggda huset, alltså var radonhalten alltför hög i 4 bostäder eller 19%.

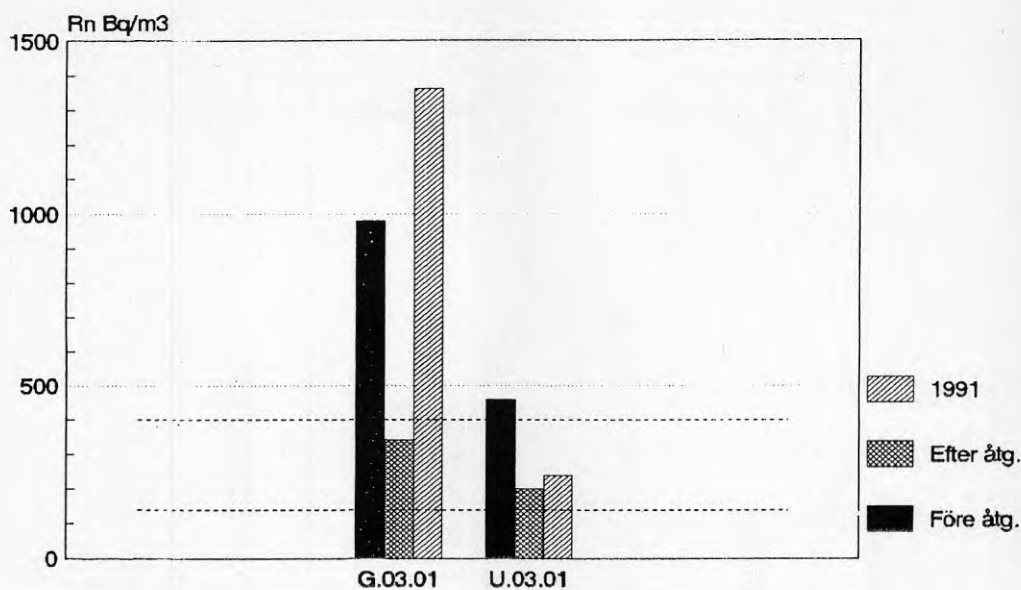
### 5.3 Åtgärder vidtagna i husets kryppgrund

De åtgärder som har utförts är i huvudsak tätning av bjälklaget över krypprummet, t ex i U.03.01 där tätningar har utförts vid golvsocklar.

Åtgärdernas utförande och omfattning är inte i detalj dokumenterade. Mätserien för hus G.03.01 är dock mycket intressant.

Tabell 5.3. Åtgärdade hus med kryppgrund.

Objekt nr	Hus- typ	Åtgärd år	Åtgärd mätn Radon Bq/m <sup>3</sup>		Kontrollmätning 1991 Radon $\gamma$ $\mu$ Sv/h			Luft oms/h	
			före	efter	Bq/m <sup>3</sup>	KV	BV		ÖV
G.03.01	13		980	342	1360	-	-	-	0.30
U.03.01	12		460	200	240		-		



Figur 5.7. Åtgärd 03. Åtgärdade hus med kryppgrund. Radonhalter.

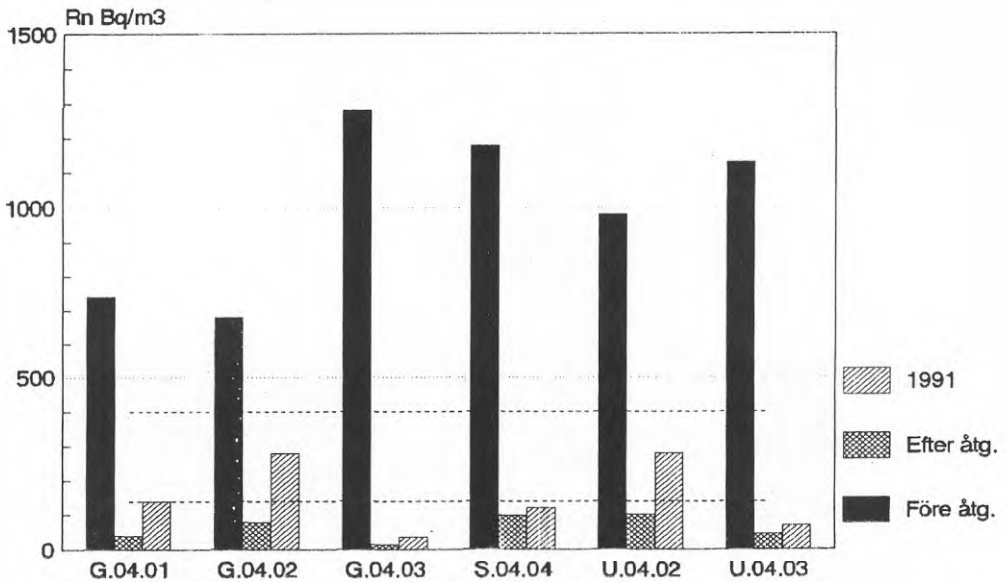
#### 5.4 Tätning av platta mot mark.

Åtgärderna i denna grupp är snarlika de i åtgärdsgrupp 3. Tätningar har i huvudsak utförts av konstaterade läckor vid rensluckor i betongplattor och vid inkommande vattenserviser.

Tabell 5.4. Tätning mot mark.

Objekt nr	Hus- typ	Åtgärd år	Åtgärd mätn Radon Bq/m <sup>3</sup>		Kontrollmätning 1991 Radon Bq/m <sup>3</sup>			Luft oms/h
			före	efter	KV	BV	ÖV	
G.04.01	4	1989	740	40	140	-	-	
G.04.02	4	1988	680	78	280	-	-	
G.04.03	13	1987	1280	14	36	-	-	-
S.04.04	3	1986	1178	98	120	-	-	
U.04.01	4	1983	980	100	280	-	-	
U.04.02	4	1987	1130	45	70	-	-	

Är läckaget av radonhaltig jordluft in i huset lokaliserat till några få ställen och dessa läckor är åtkomliga för tätning kan åtgärden vara både billig och effektiv. I dessa objekt har åtgärderna varit mycket effektiva med 90% eller mera i reduktion. Kontrollmätningarna visar dock på betydligt högre radonhalter i flera hus än vad som uppmättes vid eftermätningen. Detta kan bero på att nya läckor, t ex sprickor, har uppstått.



Figur 5.8. Åtgärd 04. Tätning av platta mot mark. Radonhalter.

### 5.5 Installation av luftkuddesystem

Luftkuddemetoden går ut på att skapa en luftkudde under huset, d v s öka lufttrycket i marken. En del av husets frånluft suges genom ett dammfilter och trycks därefter ner i en eller flera punkter under husets bottenplatta. Genom att den radonhaltiga jordluften närmast under huset till viss del trycks undan och späds ut med inneluft sjunker radonhalten kraftigt i denna jordvolym. Det gör därför inte så mycket att luftflödet från marken till huset ökar något. Förutom större luftväxling inomhus ger luftkuddemetoden också varmare golv. Åtgärden utförs normalt av specialföretag, men i minst ett fall hade ägaren själv komponerat och installerat anläggningen.

Reduktionen av radonhalten har varit mycket god i alla tre objekten. Kontrollmätningen stämmer bra överens med eftermätningen utom i ett fall, där radon-



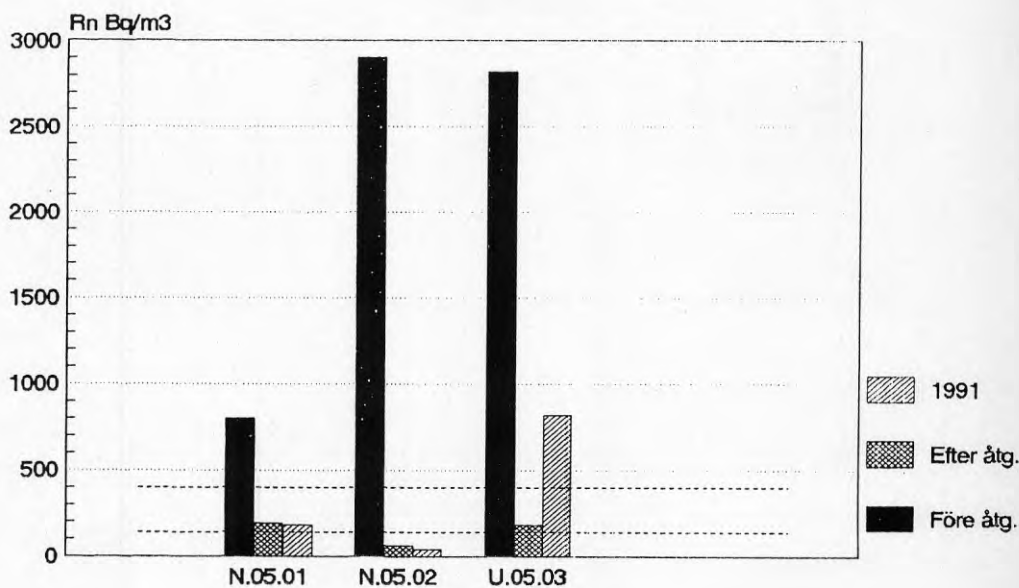
halten vid kontrollmätningen är 4.5 gånger så hög. Eftermätningarna i samtliga hus har utförts med kontinuerligt registrerande radondottermätare.

Tabell 5.5. Installation av luftkuddesystem.

Objekt nr	Hus- typ	Åtgärd år	Åtgärd mätn Radon Bq/m <sup>3</sup>		Kontrollmätning 1991 Radon γ μSv/h			Luft oms/h
			före	efter	Bq/m <sup>3</sup>	KV	BV	
N.05.01	4	1988	800	190	180	-	-	
N.05.02	13	1986	2900	60	40	-	-	
U.05.03	4	1987	2820	180	820	-	-	0.34

*Kommentar till U.05.03*

*Enplanshus med suterrängvåning beläget inom högradonmark, men ej på grusås.*



Figur 5.9. Åtgärd 05. Installation av luftkuddesystem. Radonhalter.

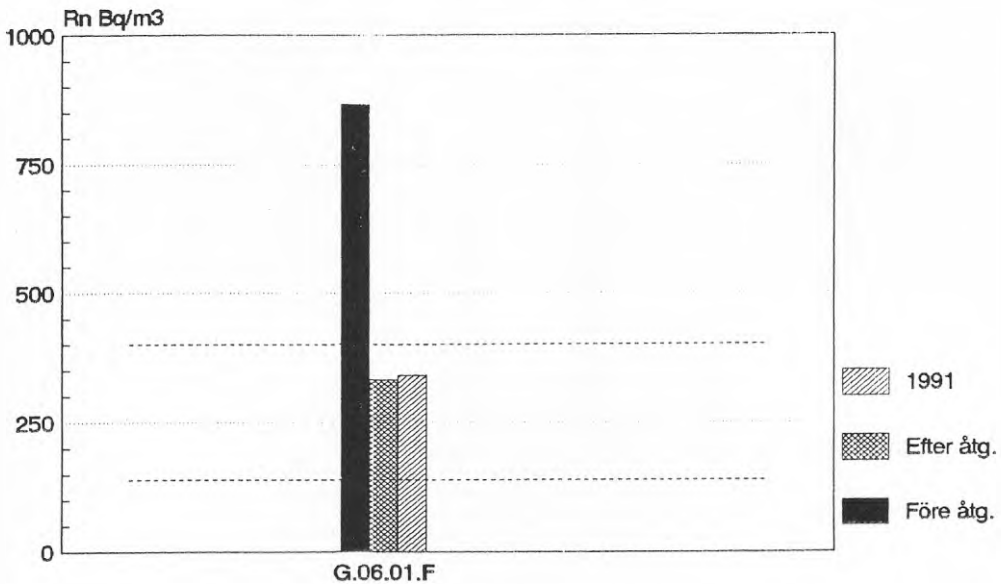
### 5.6 Installation av mekaniskt frånluftssystem samt tätning

I denna grupp finns endast en undersökt lägenhet i ett flerbostadshus. Åtgärderna är en kombination bestående av installation av F-system samt tätning av rörgångar i golvgröp och befintliga frånluftsdon i källarvåningen.

Åtgärden har gett en god reduktion (drygt 60%) med mycket god samstämmighet hos mätningen efter åtgärd och kontrollmätningen. Radonhalten efter åtgärd ligger under gränsen för godtagbar nivå men något högt för att anses vara helt lyckad.

Tabell 5.6. Från S- till F-ventilation samt tätning i källarvåningen.

Objekt nr	Hus- typ	Åtgärd år	Åtgärd mätn Radon Bq/m <sup>3</sup>		Kontrollmätning 1991 Radon Bq/m <sup>3</sup>			Luft oms/h
			före	efter	γ KV	BV	ÖV	
G.06.01F	15	1989	866	332	340		0.20	0.21



Figur 5.10. Åtgärd 06. Från S- till F-system samt tätning i källarvåningen. Radonhalter.

### 5.7 Installation av mekaniskt till- och frånluftssystem samt radonsug

Husen i denna grupp har radonsanerats genom en kombination av åtgärder. Det är dels en mekanisk ventilationsanläggning av typen FTX-system, dels en radonsug som har installerats, d v s samma typ av åtgärder som i husen i grupp 2 och i grupp 9. Åtgärderna beskrivs kortfattat i kapitel 5.2 respektive 5.9

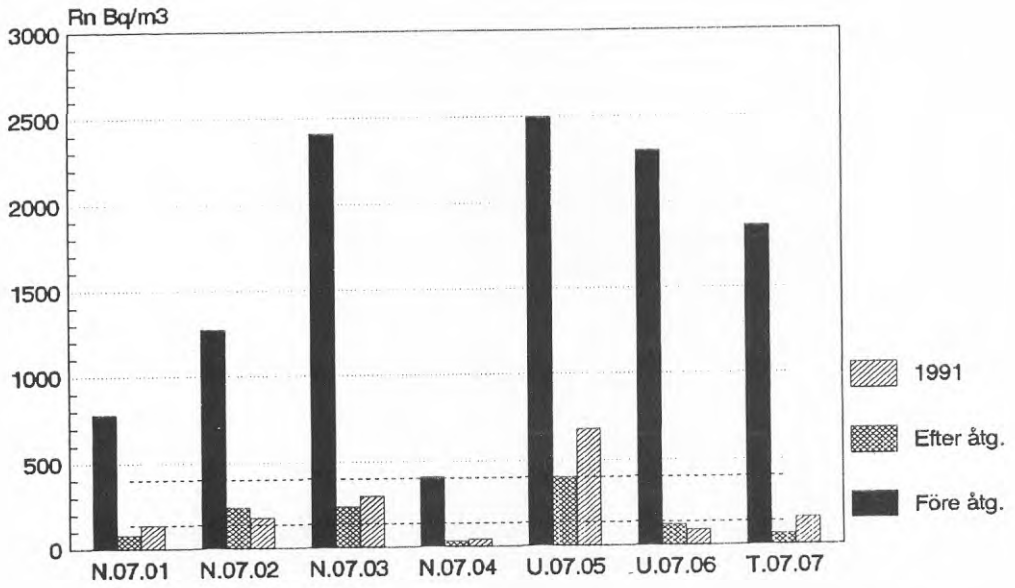
Installation av FTX-system och radonsug har gjorts vid samma tillfälle för vart och ett av 5 av de 7 objekten. I ett hus (N.07.01) har man först installerat F-system och radonsug och därefter kompletterat med mekaniskt tilluftssystem eftersom resultatet av den första kombinationen inte blev det önskade. I N.07.07 inmonterades först en FTX-anläggning och kompletterades senare med en radonsug av samma anledning.

N.07.03 är ett 1½-plans hus med suterrängvåning på Brunkebergsåsen. Huset innehåller inget byggnadsmaterial med förhöjd radiumhalt. Radonkällan är således marken. Det har åtgärdats genom att såväl FTX-ventilation som radonsug har installerats. Varför har inte effekten blivit bättre?

U.07.05 är ett enplanshus med källarvåning byggt av alunskifferbaserad lättbetong. Trots att luftväxlingen är god, 0.80 oms/h, och huset är försedd med radonsug är radonhalten i inomhusluften relativt hög.

Tabell 5.7. Från S- till FTX-ventilation samt installation av radonsug.

Objekt nr	Hus- typ	Åtgärd år	Åtgärd mätn Radon Bq/m <sup>3</sup>		Kontrollmätning 1991 Radon $\gamma$ $\mu$ Sv/h			Luft oms/h	
			före	efter	Bq/m <sup>3</sup>	KV	BV		ÖV
N.07.01	13	1989	780	80	140	0.17	0.16	-	
N.07.02	13	1983	1270	240	180	-	-	-	0.27
N.07.03	14	1986	2410	240	300	-	-	-	
N.07.04	3	1986	410	30	40	-	-		
U.07.05	4	1983	2500	400	680	0.55	0.40		0.80
U.07.06	4	1984	2300	120	90	0.70	-		0.90
T.07.07	4	1988	1860	60	160	0.50	-		



Figur 5.11. Åtgärd 07. Från S- till FTX-ventilation samt installation av radonsug. Radonhalter.

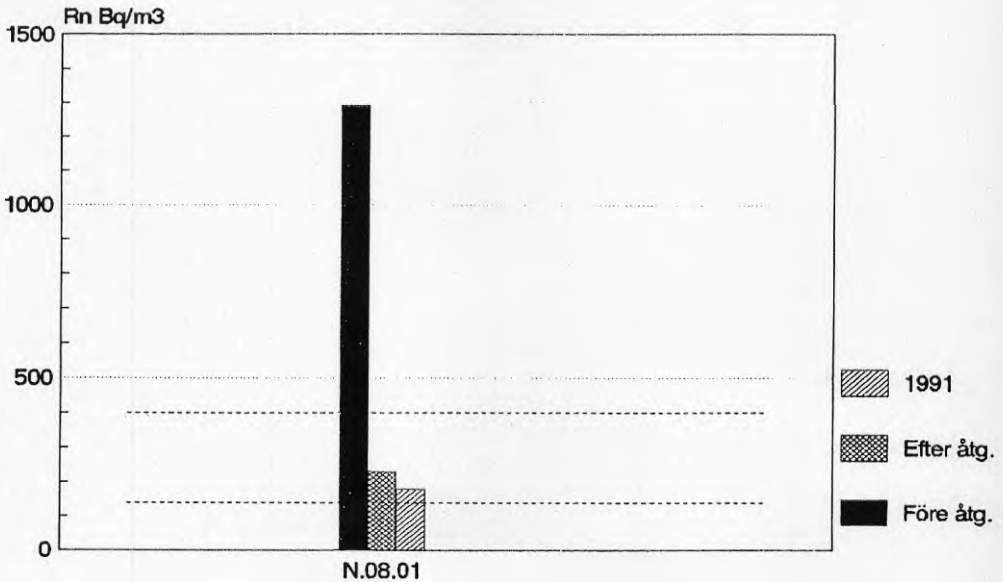
### 5.8 Installation av mekaniskt frånluftssystem och radonsug

Även i denna grupp ingår hus som har radonsanerats genom en kombination av åtgärder som kortfattat beskrivs i andra avsnitt, nämligen F-system, kapitel 5.1 och radonsug, kapitel 5.9.

Installationerna motverkar till viss del varandra genom att frånluftventilationen skapar ett större undertryck inomhus visavi marken. Detta skall kompenseras med hjälp av radonsugen för att förhindra att radonhaltig jordluft sugas in i huset.

Tabell 5.8. Från S- till F-ventilation samt installation av radonsug.

Objekt nr	Hus- typ	Åtgärd år	Åtgärd mätn Radon Bq/m <sup>3</sup>		Kontrollmätning 1991 Radon Bq/m <sup>3</sup>			Luft oms/h	
			före	efter	KV	BV	ÖV		
N.08.01	13	1986	1290	230	180	0.17	-	-	0.64



Figur 5.12. Åtgärd 08. Från S- till F-ventilation samt installation av radonsug. Radonhalter.

## 5.9 Installation av radonsug

Radonsugen fungerar på så sätt att ett undertryck skapas på ett eller flera ställen under betongplattan. Därigenom motverkar man att radongas kan transporteras från marken till huset. Undertrycket åstadkoms genom att man till dessa ställen drar ner ventilationskanaler, som ansluts till en mindre kanalfläkt, vilken säkerställer den erforderliga sugkraften i kanalen. Fläkten bör helst placeras utvändigt för att eliminera risken för läckage av radonhaltig jordluft inomhus på fläktens trycksida. Med denna placering måste dock hänsyn tas till att eventuellt kondensvatten kan rinna ut ur fläkthuset utan att skada vare sig fläkten eller underliggande hussockel.

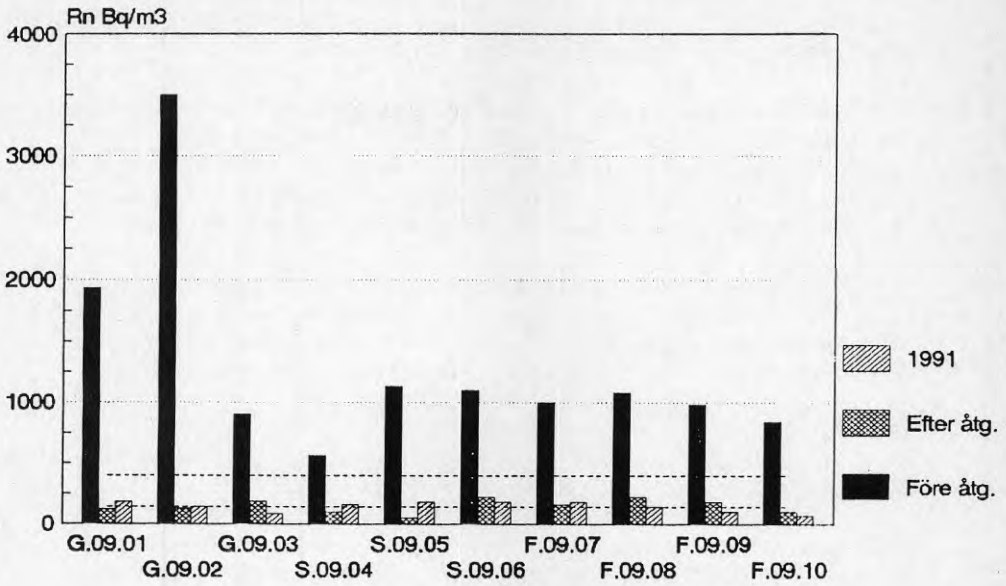
Effekten hos en radonsugsanläggning beror på hur det undertryck som uppstår vid kanalmyrningen kan fortplantas vidare ut under betongplattan. Den har

Tabell 5.9. Installation av radonsug.

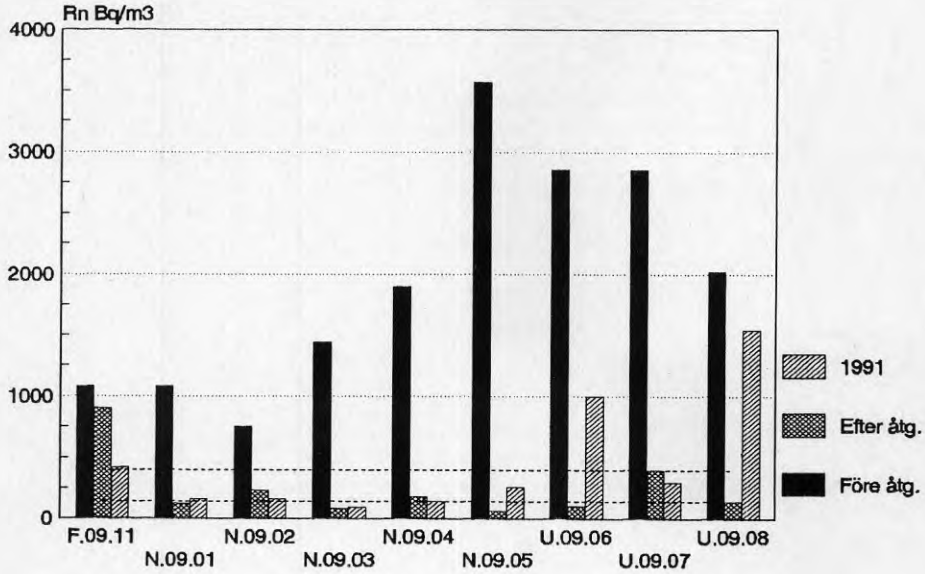
Objekt nr	Hus- typ	Åtgärd år	Åtgärd mätn Radon Bq/m <sup>3</sup>		Kontrollmätning 1991				Luft oms/h
			före	efter	Radon Bq/m <sup>3</sup>	$\gamma$ $\mu$ Sv/h	KV	BV	
G.09.01	13	1989	1928	120	180	-	-	-	
G.09.02	4	1984	3500	124	140	-	-	-	
G.09.03	13	1988	900	184	82	-	-	-	
S.09.04	13	1989	1562	96	160	-	-	-	
S.09.05	13	1987	1132	48	180	-	-	-	
S.09.06	13	1989	1100	222	180	-	-	-	
F.09.07	3	1989	1000	160	180	-	-	-	
F.09.08	13	1989	1080	220	140	-	-	-	
F.09.09	3	1989	980	180	99	0.38	-	-	
F.09.10	4	1989	840	<100	67	-	-	-	
F.09.11	3	1989	1080	900	420	-	-	-	
N.09.01	13	1990	1080	120	160	-	-	-	
N.09.02	4	1982	750	230	160	0.75	-	-	
N.09.03	13	1989	1440	80	90	0.17	0.15	-	
N.09.04	4	1981	1900	180	140	0.70	0.40	-	
N.09.05	3	1986	3570	60	260	-	-	-	
U.09.06	4	1983	2860	100	1000	0.40	-	-	
U.09.07	3	1983	2860	400	300	-	-	-	
U.09.08	4	1984	2020	140	1540	0.50	-	-	

### Kommentar till U.09.06:

Enplanshus med suterrängvåning. Nedre planet är byggt av alunskifferbaserad lättbetong. Husets radonförhållanden har undersökts i ett tidigare BFR-projekt. Mätningen efter åtgärd ingick även i det projektet.



Figur 5.13. Åtgärd 09. Enbart radonsug. Radonhalter i hus G.09.01–F.09.10.



Figur 5.14. Åtgärd 09. Enbart radonsug. Radonhalter i hus F.09.11–U.09.08.

ingen inverkan på radonhalter som orsakas av avgång (exhalation) från byggnadsmaterialet såvida inte luftväxlingen i huset samtidigt ökas genom att en frånluftskanal ansluts till radonsugen.

Effekten på radonhalten har varit god eller mycket god (80% eller högre) i samtliga hus utom i två stycken. Undantagen är F.09.11 och N.09.02. Noterbart är bland annat att radonhalten i hus N.09.04 var före åtgärd  $1900 \text{ Bq/m}^3$ ,  $180 \text{ Bq/m}^3$  vid eftermätningen och  $140 \text{ Bq/m}^3$  vid kontrollmätningen trots att huset är byggt av blå lättbetong och ingenting har gjorts åt ventilationen i byggnaden.

F.09.11 är ett enplanshus med källarvåning. Det finns inget byggnadsmaterial med förhöjd radiumhalt i huset. Radonhalten minskade inte nämnvärt i huset efter den första saneringsåtgärden, vilken bestod i att installera ett FTX-system. Efter denna "eftermätning" har en radonsug installerats, vilket är förklaringen till att radonhalten vid kontrollmätningen mer än halverats.

N.09.02 har blå lättbetong i suterrängvåningens väggar vilket kan förklara den något högre radonhalten i inomhusluften efter åtgärd.

U.09.06 och U.09.08 är båda enplanshus med suterrängvåning, där nedre planet är byggt av alunskifferbaserad lättbetong. Båda husen visar en kraftig reduktion av radonhalterna vid eftermätningen (97% respektive 93%), men har vid kontrollmätningen halter som är minst 10 gånger så höga som vid eftermätningen.

En jämförelse med gränsvärden visar att alla utom ett hus hade radonhalter över det då gällande gränsvärdet för sanitär olägenhet, motsvarande  $800 \text{ Bq/m}^3$  i radongashalt, före åtgärd. Vid eftermätningen klarade alla utom två hus till och med det nuvarande gränsvärdet (ett av de två låg precis på gränsvärdet). Vid kontrollmätningen har radonhalten ökat i några hus så att 3 stycken, d v s 16% av de i denna grupp ingående husen, har värden överstigande gränsvärdet. I 2 av dessa har halterna ökat så mycket så att de är mer än dubbelt så höga som gällande gränsvärde för sanitär olägenhet.



## 5.10 Installation av radonbrunn

Radonbrunnen består vanligtvis av en glasfiberarmerad plast- eller plåtcylinder som är ca 4 m hög. Den nedre delen av cylindern är perforerad. I brunnen är en relativt kraftig fläkt installerad med vars hjälp några hundra upp till tusen kubikmeter jordluft sugas upp per timme. Eftersom brunnen placeras i marken utanför husen, behöver några ingrepp ej göras i dessa.

Tabell 5.10. Installation av radonbrunn.

Objekt nr	Hus- typ	Åtgärd år	Åtgärd mätn		Kontrollmätning 1991			Luft oms/h
			Radon Bq/m <sup>3</sup> före	Radon Bq/m <sup>3</sup> efter	Radon Bq/m <sup>3</sup>	$\gamma$ $\mu$ Sv/h KV	BV	
G.10.01	4	1989	702	38	58	-	-	
G.10.02	12	1988	2600	80	511	-	-	
S.10.03	13	1989	698	74	42	-	-	-
S.10.04	13	1989	886	70	38	-	-	-
S.10.05	3	1989	3164	106	55	-	-	
S.10.06	13	1986	880	234	90	-	-	-
S.10.07	3	1989	2434	116	94	-	-	
S.10.09	14	1986	1118	20	47	-	-	-
F.10.10	13	1988	2400	60	180	-	-	-
N.10.01	13	1988	1240	350	140	0.15	-	-
N.10.02	13	1988	1960	60	25	0.15	-	-
N.10.03	13	1989	7990	100	2160	0.18	-	-
N.10.04	13	1989	1560	220	860	0.15	-	-
U.10.05	13	1988	1880	40	580	-	-	-

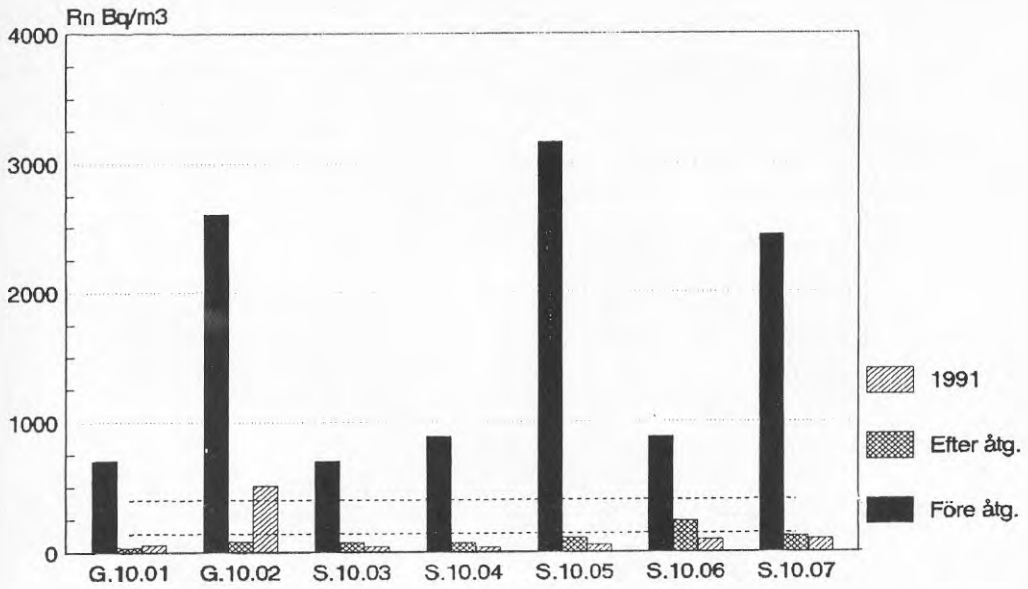
### Kommentar till G 10.02:

*1½-planshus med platta på mark. Ombyggnad av lokalerna har medfört att det ursprungliga ventilationssystemet kommit i obalans. Detta har ännu inte åtgärdats.*

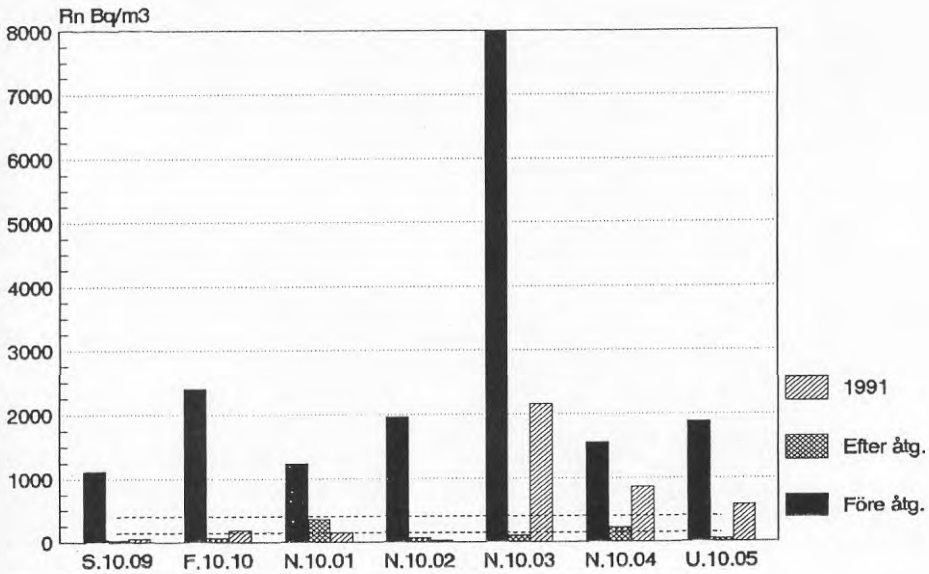
### Kommentar till N.10.03:

*1½-planshus med källarvåning högt upp på grusås i Sollentuna.*

De radonhalter som uppmätts efter installation av radonbrunn är med två undantag mycket låga, i 9 av 14 hus är reduktionen mellan 95% och 99%. Undantagen är S.10.06 och N.10.01 som uppvisar en reduktion på drygt 75%. Anmärkningsvärt är emellertid att 4 hus har betydligt högre radonhalter vid kontrollmätningen än vid eftermätningen med hus N.10.03 som ett extremfall. I detta hus har radonhalten reducerats från 7990 Bq/m<sup>3</sup> till 100 Bq/m<sup>3</sup> genom installation av radonbrunnen, men vid kontrollmätningen är den 2160 Bq/m<sup>3</sup>.



Figur 5.15. Åtgärd 10. Radonbrunn. Radonhalter i hus G.10.01 – S.10.07.



Figur 5.16. Åtgärd 10. Radonbrunn. Radonhalter i hus S.10.09 – U.10.05.

Före åtgärd hade 13 av de 14 småhusen radonhalter som låg över det då gällande gränsvärdet för sanitär olägenhet, i flera fall mycket över gränsvärdet. Vid mätning efter åtgärd var radonhalten i samtliga fall under gränsvärdet, t o m under nuvarande gränsvärde på 200 Bq/m<sup>3</sup> i radondotterhalt. Kontrollmätningen visar att radonhalten har ökat till värden över nuvarande gränsvärde i 4 småhus, 29% av totala antalet hus i denna grupp.

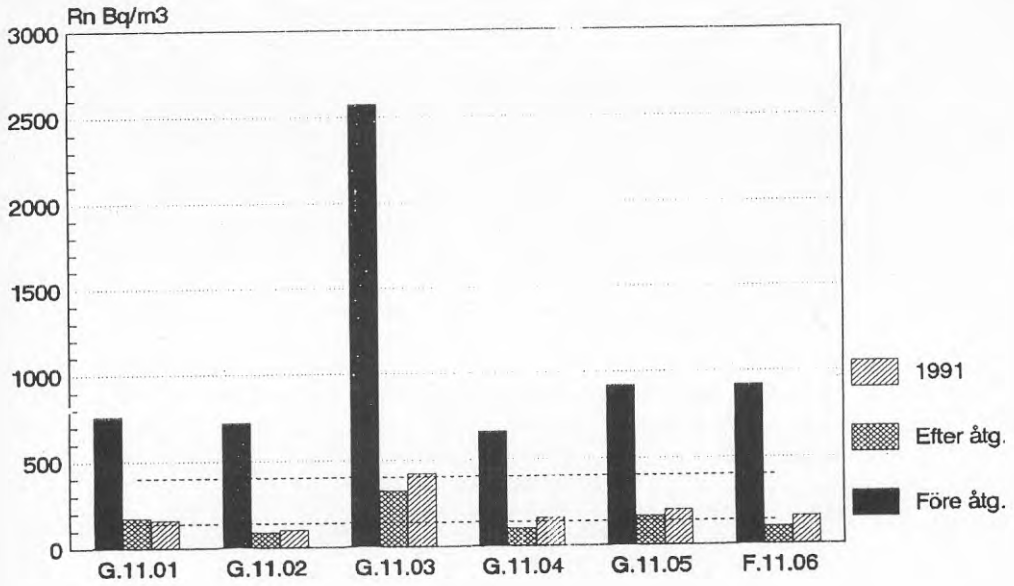
### 5.11 Förbättrad självdragsventilation

Den befintliga självdragsventilationen har förbättrats i huvudsak genom att huset försetts med mera tilluft utifrån. Detta har skett genom borttagning av tätningslister, inmontering av nya tilluftsdon och dyliskt. I åtminstone ett fall har förbättringen åstadkommit genom komplettering av ventilationsskorstenar enligt den sk Karl Magnusson-principen (hus U.11.06). Detta innebär att ett inblåsningsskydd bestående av en värmeisolerad huv monterats uppe på skorstenen för att förhindra kall luft att rasa ner i frånluftskanalerna, s k bakdrag. I metoden ingår också att tilluftsventiler monteras in i rummen.

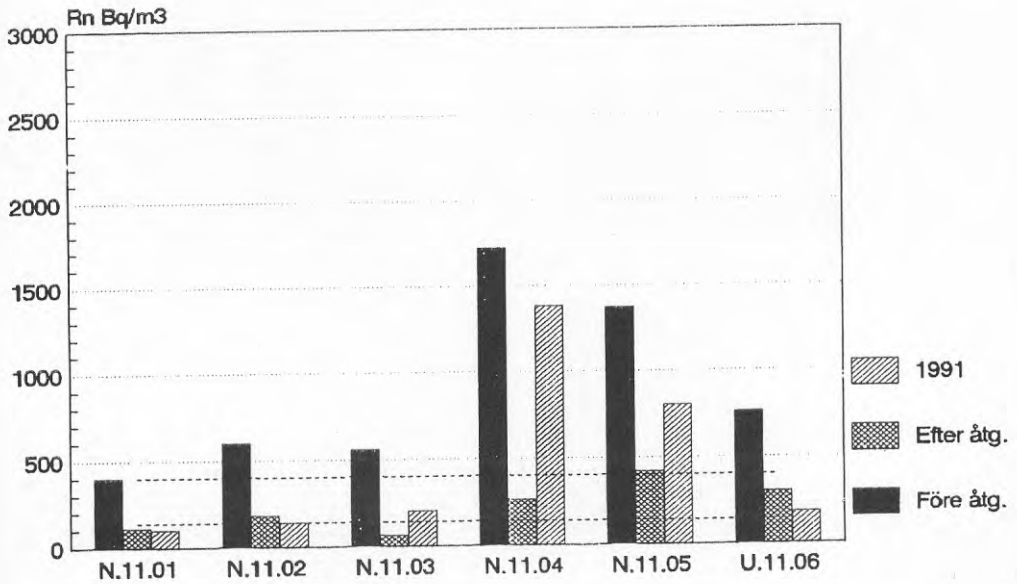
Tabell 5.11. Förbättrad S-ventilation.

Objekt nr	Hus- typ	Åtgärd år	Åtgärd mätn Radon Bq/m <sup>3</sup>		Kontrollmätning 1991				Luft oms/h
			före	efter	Radon Bq/m <sup>3</sup>	γ μSv/h KV	BV	ÖV	
G.11.01	13	1988	760	172	160	-	0.26	0.24	0.70
G.11.02	13	1988	720	88	100	0.18	0.21	0.20	0.66
G.11.03	13	1987	2574	320	420	-	-	-	
G.11.04	13	1989	660	100	160	0.19	0.32	0.38	0.47
G.11.05	13	1982	920	164	200	0.17	0.30	0.24	0.69- 0.85
F.11.06	3	1988	920	100	160	-	-		0.13- 0.15
N.11.01	12	1988	400	110	100		0.35	0.30	0.75
N.11.02	3	1985	600	180	140	0.60	-		0.41
N.11.03	4	1987	560	60	200	0.30	0.28		0.39
N.11.04	13	1985	1720	260	1380	-	-	-	0.46
N.11.05	3	1983	1370	420	800	-	-		0.44
U.11.06	11	1989	760	300	180		-	-	

Radonhalten var före åtgärd över det då gällande gränsvärdet för sanitär åtgärd i 5 av 12 hus, d v s 42%. Efter åtgärd var situationen den att radonhalten låg under samma gränsvärde i samtliga hus. I alla, utom ett hus, var radonhalten till och med under nuvarande gränsvärde. Vid kontrollmätningen låg dock radonhalten över nuvarande gränsvärde i 3 hus, d v s 25% av gruppens 12 småhus.



Figur 5.17. Åtgärd 11. Förbättrade S-system. Radonhalter i hus G.11.01 – F.11.06.



Figur 5.18. Åtgärd 11. Förbättrade S-system. Radonhalter i hus N.11.01 – U.11.06.

## 5.12 Installation av mekaniskt frånluftssystem m m

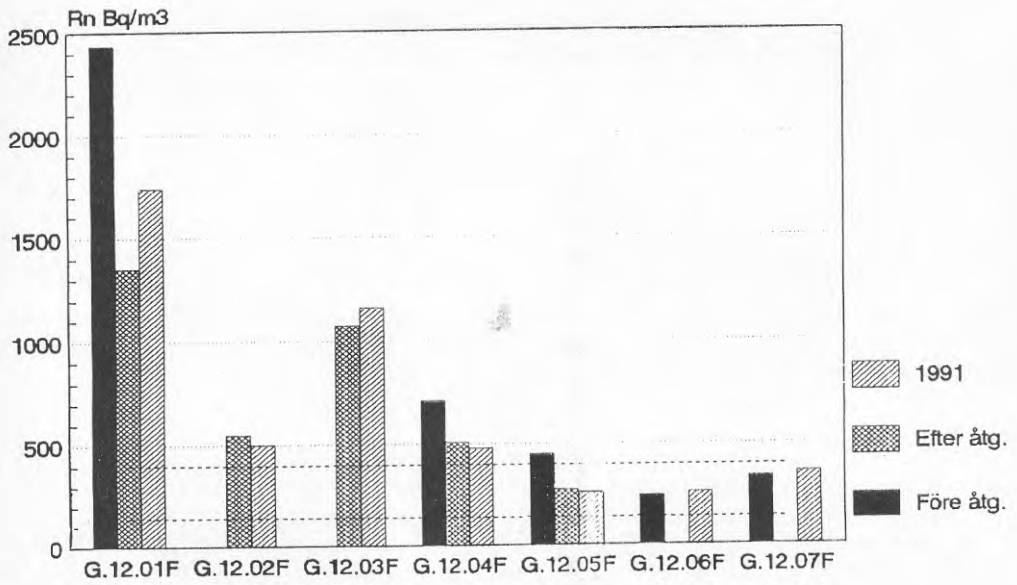
Samtliga objekt i denna grupp är bostäder i bottenvåningen i flerbostadshus. Bostäderna har inte markkontakt, eftersom det dessutom finns en källarvåning i varje hus.

Ventilationen i bostäderna har förbättrats genom att det befintliga självdrags-systemet har konverterats till mekaniskt frånluftssystem med en separat s k kryddhullefläkt i varje bostad och med frånluftsdon i kök och badrum. Tilluftsdon har också monterats in i bostäderna. Dessutom har ventilationen förbättrats i husets källarvåning genom installation av en separat frånluftsfälkt i detta plan. Otätheter vid kulvertintag i källargolv och andra läckor i byggnadsdelar mot mark har likaså tätats. I ett senare skede har en radonbrunn installerats i marken utanför flerbostadshusen G.12.01F - G.12.04F, varvid radonhalterna i dessa lägenheter sjönk till 70, 30, 160 respektive 148 Bq/m<sup>3</sup>.

Tabell 5.12. *Från S- till F-ventilation samt förbättrad källarventilation inklusive tätning av kulvertintag. Resultat efter installation av radonbrunn inom parentes.*

Objekt nr	Hus- typ	Åtgärd år	Åtgärd mätn		Kontrollmätning 1991		Luft oms/h
			Radon Bq/m <sup>3</sup> före	Radon Bq/m <sup>3</sup> efter	Radon Bq/m <sup>3</sup>	γ μSv/h BV	
G.12.01F	17	1989	2436	1352	1740 (70)	0.15	0.29
G.12.02F	17	1989		548	500 (30)	-	0.42
G.12.03F	17	1989		1074	1160 (160)	-	0.42
G.12.04F	17	1989	710	508	480 (148)	-	0.56
G.12.05F	17	1989	450	276	260	-	0.64
G.12.06F	17	1989	246		260	-	0.53
G.12.07F	17	1989	338		360	-	0.34

Någon större effekt på radonhalten har inte övergången till mekanisk frånluftsventilation haft. Reduktionen har varit från cirka 30% till 50%. I ett par lägenheter har radonhalten till och med ökat något. Anmärkningsvärt är att radonhalten har sjunkit kraftigt i tre lägenheter efter det att en radonbrunn har installerats, trots att lägenheterna inte har markkontakt. Radon bedöms därför ha läckt in från den underliggande källarvåningen eller via rörschakt.



Figur 5.19. Åtgärd 12. Från S- till F-system samt förbättrad källarventilation inklusive tätning av kulvertintag. Radonhalter i hus G.12.01F - G.12.07F.

## 6 SLUTSATSER OCH FÖRSLAG TILL FORTSATT FORSKNING

### 6.1 Slutsatser

Projektet visar att det är mycket viktigt att radonhalten i inomhusluften kontrolleras på nytt några år efter det att radonsanerande åtgärder har vidtagits. Därefter bör radonmätning göras med 10–15 års mellanrum. I inte mindre än vart fjärde småhus hade radonhalten ökat med mer än 30% vid kontrollmätningen jämfört med de radonhalter som uppmättes omedelbart efter radonsaneringen. 14 småhus och 5 lägenheter i flerbostadshus hade vid kontrollmätningen radonhalter som översteg gränsvärdet för sanitär olägenhet, motsvarande  $400 \text{ Bq/m}^3$  i radonhalt, trots att de tidigare hade radonsanerats. Högsta uppmätta radonhalt vid kontrollmätningen var  $2160 \text{ Bq/m}^3$ . Vid mätning efter åtgärd var radonhalten i detta hus  $100 \text{ Bq/m}^3$ .

Det finns också ett mindre antal hus där radonhalterna hade sjunkit med mer än 30% vid kontrollmätningen jämfört med efter åtgärd, nämligen 7 stycken. Detta kan möjligen bero på att fastighetsägaren har vidtagit ytterligare radonsänkande åtgärder efter det att resultatet av den första åtgärden blivit känt.

Exempel på småhus med mer än 30% förhöjd radonhalt vid kontrollmätningen finns i samtliga åtgärdsgrupper med mer än 1 objekt. De stabilaste radonförhållandena har naturligt nog bostäderna med såväl mekanisk ventilation som någon form av anordning för sänkning av lufttrycket i marken under huset. Mekanisk ventilation i hus med huvudsakligen radon från byggnadsmaterialet har inte heller några dramatiska förändringar, t ex flertalet hus i grupp 2. I några hus i denna grupp med en från början relativt stor mängd markradon, t ex U.02.04 och T.02.11, har däremot radonhalten fördubblats eller mer.

Det finns många orsaker till att en genom radonsanering erhållen låg radonhalt åter kan börja stiga efter några år. Effekten hos fläktar kan med tiden försämras på grund av att varvtalet minskas, t ex i energibesparande syfte, kanaler och filter sätts igen m m. Likaså kan funktionen hos lufttryckssänkande anordningar förändras genom att porer i marken täpps till av damm eller finare stoft eller genom omlagring av mineralkornen.

### 6.2 Förslag till fortsatt forskning

Resultatet från denna undersökning visar på att radonhalterna åter kan öka efter det att radonsanerande åtgärder har vidtagits och en låg radonhalt har mätts upp efter åtgärd. I 27 småhus har radonhalten ökat med mer än 30%. Orsakerna till ökningen skall undersökas och om möjligt klarläggas så att man i framtiden kan förebygga liknande effekter på radonhalten. Det finns i undersökningen också 7 hus där radonhalterna har minskat med mer än 30% mellan mätning efter åtgärd och kontrollmätningen. Även dessa hus skall ingå i forskningsprojektet, som kommer att utföras av Bjerking Ingenjörbyrå AB under hösten 1993. Projektet finansieras av Statens råd för byggnadsforskning och Statens strålskyddsinstitut.

Resultatet kommer att presenteras under våren 1994.

De bostäder som vid kontrollmätningen hade högre värden än 400 Bq/m<sup>3</sup> i radonhalt, vilket motsvarar gränsvärdet för sanitär olägenhet 200 Bq/m<sup>3</sup> i radondotterhalt, bör åtgärdas på lämpligt sätt. Förslag på sådana åtgärder bör ingå i orsaksutredningen.

Det är planerat att radonmätningar skall göras i de 105 bostäderna vart tredje år under en 10 års period, d v s totalt 4 mätomgångar. Eventuellt bör en extra mätomgång läggas in för de hus som nu erfordrar kompletterande radonåtgärder.

Tabell 6.1. Radonhalter i hus före och efter det att radonsanering utförts samt vid kontrollmätningen 1991.

F = Före åtgärd E = Efter åtgärd K = Kontrollmätning 1991

Åtgärd nr <sup>1)</sup>	Totalt antal hus	Antal hus med radonhalt Bq/m <sup>3</sup>														
		≤140			141-400			401-800			801-1600			>1600		
		F	E	K	F	E	K	F	E	K	F	E	K	F	E	K
1	12 <sup>2)</sup>	1	2	2	2	4	7	4	2	3	3	0	0	1	0	0
2	21	0	15	9	0	3	9	6	3	1	3	0	0	2	0	0
3	2	0	0	0	0	2	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0
4	6	0	6	4	0	0	2	2	0	0	4	0	0	0	0	0
5	3	0	1	1	0	2	1	1	0	0	0	0	1	2	0	0
6	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
7	7	0	4	3	0	3	3	2	0	1	1	0	0	4	0	0
8	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
9	19	0	10	7	0	8	9	1	0	1	11	1	2	7	0	0
10	14	0	11	9	0	3	1	2	0	2	5	0	1	7	0	1
11	12	0	5	3	1	6	6	6	1	2	3	0	1	2	0	0
12	7 <sup>3)</sup>	0	0	0	2	1	3	2	2	2	0	2	1	1	0	1
<b>Totalt</b>	<b>105</b>	<b>1</b>	<b>54</b>	<b>38</b>	<b>5</b>	<b>34</b>	<b>44</b>	<b>27</b>	<b>8</b>	<b>12</b>	<b>33</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>26</b>	<b>0</b>	<b>2</b>

1) Åtgärd nummer:

01. Husets självdragssystem har konverterats till mekaniskt frånluftssystem (F-system).
02. Installation av mekaniskt till- och frånluftssystem med värmeväxling (FTX-system.)
03. Åtgärd mot markradon har vidtagits i kryppgrunden.
04. Husets bottenplatta har tätats mot markradon.
05. Anläggning för att utbilda en luftkudde under husets betongplatta har installerats.
06. Installation av F-ventilation samt tätning av rörgenomföringar golvgröp och befintliga frånluftsdon.
07. Kombination av installation av FTX-ventilation och radonsug
08. Kombination av installation av F-ventilation och radonsug.
09. Installation av radonsug.
10. Installation av radonbrunn.
11. Husets befintliga självdragsventilation har justerats och förbättrats.
12. Konvertering av självdragsventilation till F-system, förbättrad källarventilation, tätning av kulvertintag.

2) Radonmätningar före åtgärd har utförts i 11 hus och efter åtgärd i 8 hus.

3) Radonmätningar före åtgärd har utförts i 5 hus och efter åtgärd i 5 hus.



## LITTERATUR

### Referenser

Falk R., Hagberg N., Håkansson B., Nyblom L. och Swedjemark G. A. 1982. Kalibreringsverksamhet, radon och radondöttrar i luft. SSI-rapport 82-22. Statens Strålskyddsinstitut.

Falk R., Möre H. and Nyblom L. 1990. Calibration of radon-222 reference instrument in Sweden. J. Res. Inst. Stand. Technol. Vol 95, No 2.

Swedjemark G. A. 1983. The equilibrium factor F. Health Physics Vol 45, No 2, 453-462.

Varas R. J., Roessler C. E. and Hintenlang, D. E. 1992. Durability of sub-slab radon mitigation systems in Florida houses. Paper presented at the Thirty-seventh Annual Meeting of the Health Physics Society, Columbus, Ohio, June 21-25 1992.

### Övrig litteratur

Clavensjö B. och Åkerblom G. 1992. Radonboken. Statens råd för byggnadsforskning. T5:1992. ISBN 91-540-5407-9.

Kulich J., Möre H. och Swedjemark G. A. 1988. Radon och radium i hushållsvatten. Statens strålskyddsinstitut, SSI-rapport 88-11. ISSN 0282-4434.

Mellander H. and Enflo A. 1991. The alpha track method used in Swedish radon epidemiological study. Paper presented at the Fifth International Symposium on the Natural Environment, Salzburg, Austria, Sept. 22-28, 1991.

Mjönes L., Burén A. och Swedjemark G. A. 1984. Radonhalter i svenska bostäder. Resultat av en landsomfattande undersökning. SSI a84-23. Statens strålskyddsinstitut.

Stråby A. 1990. Radon och radondöttrar. Artikel i skriftserien "Miljön på jobbet". Arbetarskyddsstyrelsens pocketserie. Skrift nr 5/90. Särtryck.

Åkerblom G., Pettersson B. och Rosén B. 1990. Radon i bostäder. Markradon. Statens råd för byggnadsforskning. R85:1988, reviderad utgåva 1990. ISBN 91-540-4937-7.

Att mäta radon i bostäder. 1992. Statens strålskyddsinstitut. Gratisbroschyr (< 6 ex).

Bakgrundsinformation till metodbeskrivningar. 1988. Statens strålskyddsinstitut. i 80-04.

Metodbeskrivningar. Strålning i bostäder. Radondotterhaltens årsmedelvärde. Statens strålskyddsinstitut. 9 olika metoder.

Radon. Faktablad nr 47. 1992. Konsumentverket.

Radon i bostäder. 1990. Boverket, Socialstyrelsen och Statens strålskydds-institut. Gratisbroschyr.

Radon - Information till kommuner m fl om bestämmelser och ansvarsför-delning. 1989. Boverket, Socialstyrelsen och Statens Strålskyddsinstitut. Boverket Dnr 604-1774/89.

Radon och din hälsa. 1990. Statens strålskyddsinstitut och Socialstyrelsen. Gratisbroschyr (< 6 ex).

Radon och hälsoskydd - Allmänna råd från socialstyrelsen 1990:5. Social-styrelsen. ISBN 91-38-11142.

Radonbidrag till egnahem. 1989. Boverket. Gratisbroschyr.

Åtgärder mot radon i bostäder. 1990. Boverket, Byggforskningsrådet, Social-styrelsen och Strålskyddsinstitutet. Statens råd för byggnadsforskning. G14:1990. Gratisbroschyr.

### **Video**

Radon i bostäder. 1991. 27 min. Byggforskningsrådet, Statens strålskyddsinstitut och Socialstyrelsen.

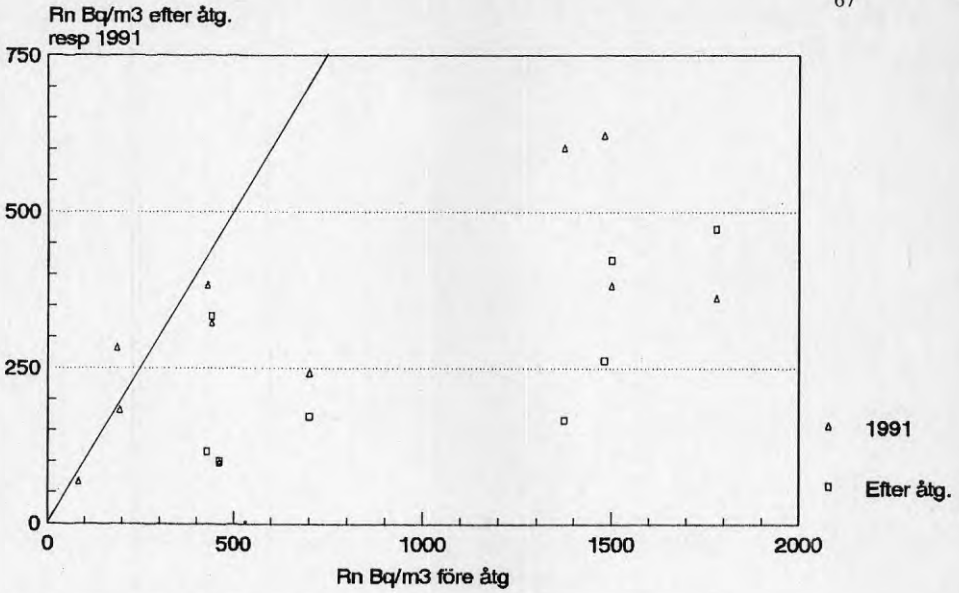
### **Radioprogram**

"Strålande hus". 1992. 2x30 min. Åström, L E. Utbildningsradion, Sveriges Radio.

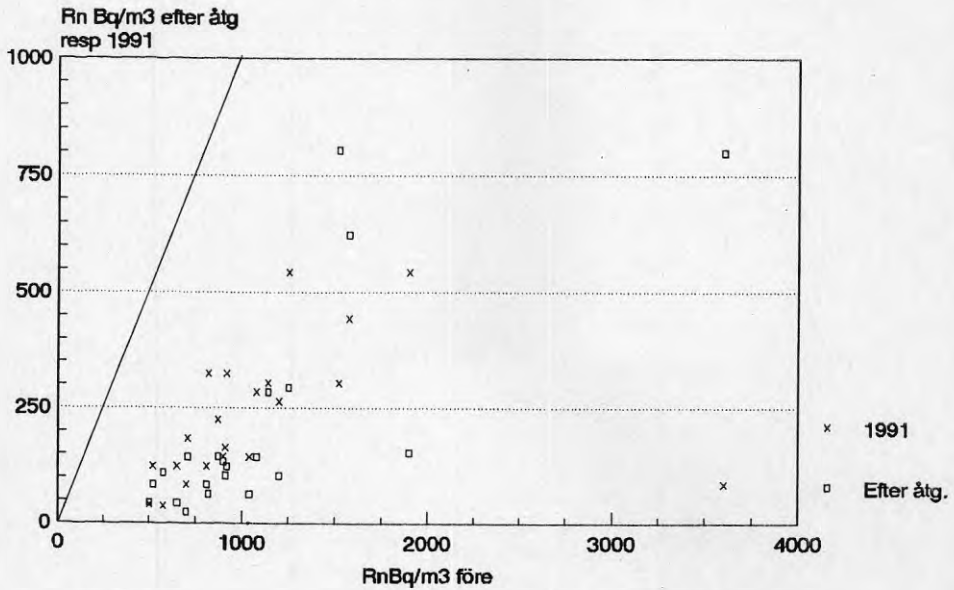
**BILAGA 1**

**Analyser över radonhalter före och efter  
åtgärd samt enligt kontrollmätning**

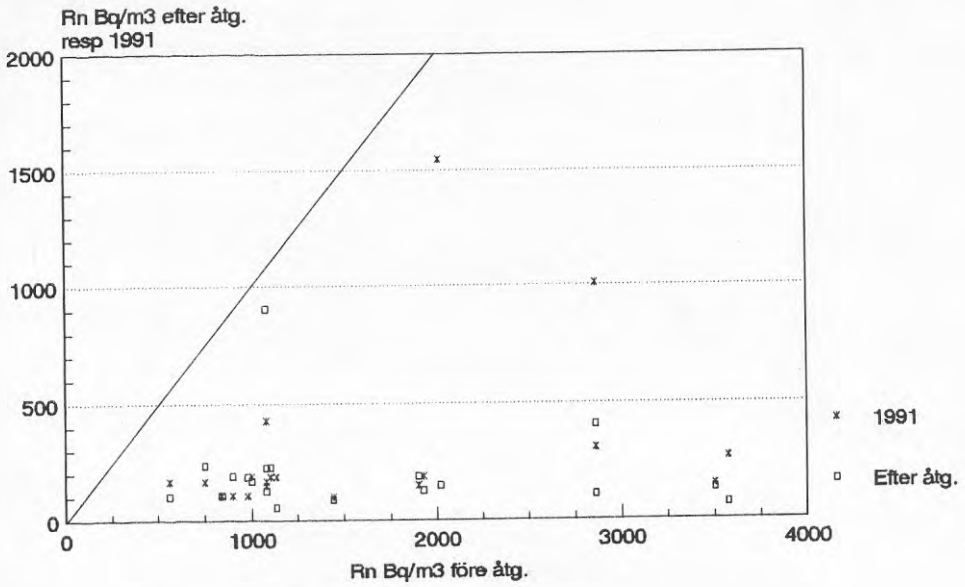




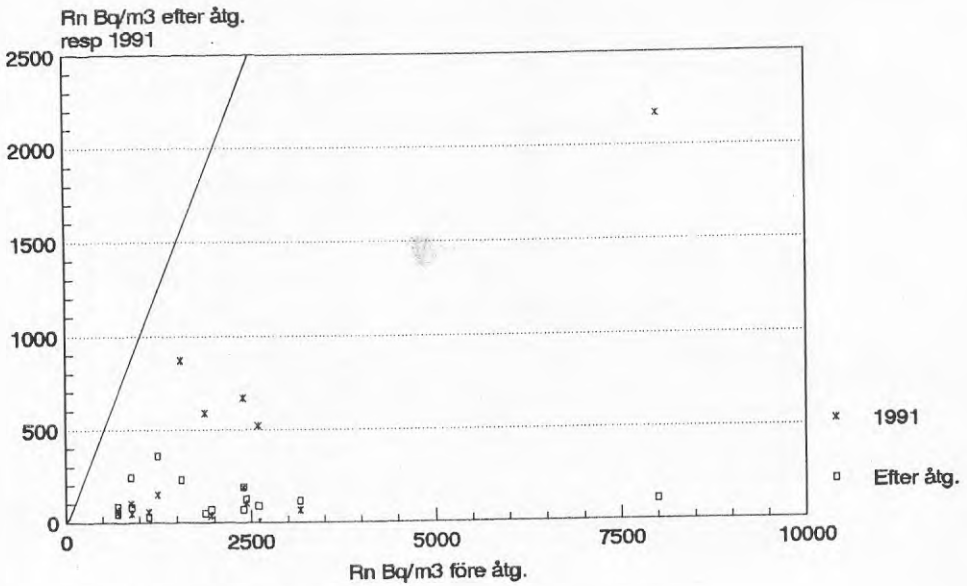
Figur B1.1 Åtgärd 01. Från S- till F-ventilation.  
Analys över radonhalter före och efter åtgärd.



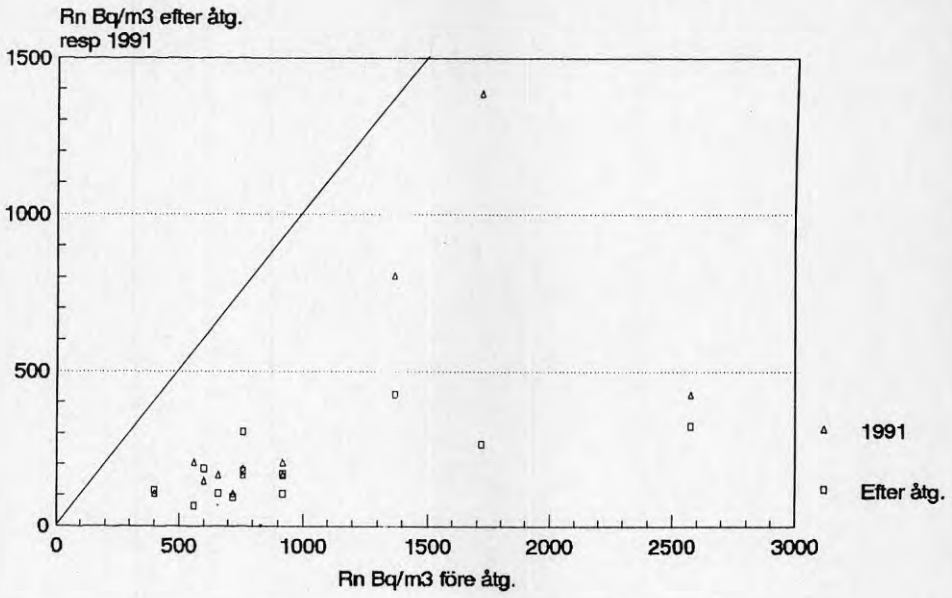
Figur B1.2 Åtgärd 02. Från S- till FTX eller FT med värmepump.  
Analys över radonhalter före och efter åtgärd.



Figur B1.3 Åtgärd 09. Enbart radonsug.  
Analys över radonhalter före och efter åtgärd.



Figur B1.4 Åtgärd 10. Radonbrunn.  
Analys över radonhalter före och efter åtgärd.



Figur B1.5 Åtgärd 11. Förbättrade S-system.  
Analys över radonhalter före och efter åtgärd.









**R50:1993**  
ISBN 91-540-5589-X  
Byggeforskningsrådet, Stockholm

Art.nr: 6813050  
Abonnemangsgrupp:  
W. Installationer

Distribution:  
Svensk Byggtjänst  
171 88 Solna

Cirkapris: 87 kr inkl moms