

SE 25.00/13

28-1982

BFR - R --

28 - 1982.

(BFR - R - 28 - 1982)

R28:1982

RADON I BOSTÄDER

Byggnadstekniska åtgärder för
att minska radonhalten i inomhusluft

Bertil Clavensjö
Sven-Olov Ericson
Bengt E Erikson
Bengt Håkansson
Gun Astri Swedjemark

Denna rapport hänför sig till följande forskningsanslag
från Statens råd för byggnadsforskning:

790410-5 till AIB - Allmänna Ingenjörbyrå AB, Stockholm
790411-0 till Bjerking Ingenjörbyrå AB, Uppsala
791173-2 till Statens strålskyddsinstitut, Stockholm.

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

R28:1982

ISBN 91-540-3658-5
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1982

INNEHÅLL

1	SAMMANFATTNING	7
2	BAKGRUND	9
3	MÅLSÄTTNING	10
4	RADON	11
4.1	Vad är radon	11
4.2	Varifrån och hur kommer radon in i våra bostäder . . .	11
4.3	Olika typer av strålning	11
4.4	Hälsorisker	11
5	MÄTMETODER	13
5.1	Översikt av metoder att mäta radon och radondöttrar i luft	13
5.2	I projektet använda metoder	13
5.3	Metodik vid provtagning och mätning	15
5.4	Feluppskattning	16
5.4.1	Väderlekens inverkan på radon och radondötterhalt . .	16
5.5	Problem vid påvisande av resultat av utförda åtgärder	17
5.6	Mätning av luftomsättning	19
5.6.1	Mätning enligt spårgasmetod	20
5.6.2	Mätning av flöde genom don	22
5.6.3	Mätning av flöde inne i ventilationsanläggningen . . .	24
6	BYGGNADSTEKNISKA ÅTGÄRDER, ALLMÄNT	26
6.1	Avlägsnande av radonalstrande material	27
6.1.1	Utbyte av byggnadsmaterial	27
6.1.2	Utbyte av jordmaterial	28
6.2	Utestängning av radon	29
6.2.1	Aluminiumfolie	30
6.2.2	Färgskikt	30
6.2.3	Isolering av mark under hus med kryppgrund	30
6.2.4	Tätning av sprickor och springor	31
6.3	Ventilation	32
6.3.1	Ventilationstekniska åtgärder i småhus	34
6.3.2	Ventilationstekniska åtgärder i småhus med kryppgrund .	36

6.3.3	Ventilationstekniska åtgärder i flerbostadshus	36
6.3.4	Ventilation av mark invid och under byggnad	38
6.3.5	Luftfilter	39
6.4	Ändrad lokalanvändning	40
7	BESKRIVNING AV OBJEKT OCH UTFÖRDA ÅTGÄRDER	41
7.1	Val av objekt	41
7.2	Hus på eller omgivna av aktivt jordmaterial	42
7.2.1	Byte av aktivt jordmaterial	45
7.2.2	Installation av ventilationsanläggning	47
7.2.3	Åtgärder i hus med kryppgrund	49
7.3	Hus med aktivt byggnadsmaterial	52
7.3.1	Beklädnad med aluminiumfolie	52
7.3.2	Installation av ventilationsanläggning	56
7.4	Värmeväxlare	59
7.4.1	Värmeväxlare luft-luft	59
7.4.2	Service på fläktar och aggregat	62
8	UPPHANDLING, GENOMFÖRANDE	64
8.1	Förfrågningsunderlag	64
8.2	Upphandling	65
8.3	Arbetets genomförande, kontroll	65
8.4	Kostnader för olika åtgärder	66
9	RESULTAT AV UTFÖRDA ÅTGÄRDER	69
9.1	Marken som huvudsaklig radonkälla	69
9.1.1	Radoninflöde från marken	69
9.1.1.1	Radiumhalter i markprover	69
9.1.1.2	Radonhalt i jordluft	73
9.1.1.3	Jordluft - utomhusluft - inomhusluft	74
9.1.2	Gammastrålning	76
9.1.3	Effekt av fyllningsbyte	76
9.1.3.1	Radon och radondotterhalt inomhus	76
9.1.3.2	Radonexhalation	77
9.1.4	Effekt av installation av FTX-ventilation	79
9.1.5	Effekt av ventilation via kryppgrund	80
9.2	Byggnadsmaterialet som huvudsaklig radonkälla	82
9.2.1	Effekt av aluminiumfolie som tätningsmaterial	82
9.2.1.1	Resultat av laboratorieförsök	82
9.2.1.2	Radon och radondotterhalter inomhus	83
9.2.1.3	Radonexhalation	84
9.2.1.4	Gammastrålning	84
9.2.2	Effekt av installation av FTX-ventilation	84

9.3	Värmeförluster för ventilation och energibesparing . .	87
9.3.1	Värmeförbrukning vid FTX-installation	87
9.3.2	Värmeförbrukning mot s k kryppgrund	89
9.4	Beräkning av årskostnader	90
9.5	Diskussion	99
10	RESULTATENS ALLMÄNGILTIGHET - BEHOV AV FORTSATT ARBETE	102
BILAGA 1	Figurer B.1-B.24 och tabeller B.1-B.7	103
	FIGURFÖRTECKNING	143
	TABELLFÖRTECKNING	147
	LITTERATUR	149

1 SAMMANFATTNING

I tio småhus har olika åtgärder provats i syfte att begränsa koncentrationen av radon.

I fem enplansvillor med källare uppförda på mark, som utfyllts med skifferaska (rödfyr), ersattes skifferaskan med normala fyllningsmassor ut till ett avstånd av ca 4 meter. Härvid reducerades inflödet av radon till källarna med 30-90 %. Kostnaden för denna åtgärd var hög, ca 100.000 kronor per småhus. Det lyckade resultatet berodde troligen på att det inte fanns starkt radonavgivande material under husen. Den radioaktiva skifferaskan hade tillförts i ett ca 2 m tjockt lager över ursprunglig mark, som troligen ur radonsynpunkt var ganska normal. Det vanliga när radon kommer ur marken är att det material som är kraftigt radonavgivande även förekommer på större djup. I sådana situationer har man ingen anledning att vänta någon avgörande effekt av ett materialbyte utanför källarväggarna.

I ett av dessa fem hus prövades först en ventilationsanläggning som dimensionerades för ett relativt stort luftflöde. Det visade sig att när inflödet av markradon är mycket stort kan det krävas en mycket kraftig ventilation för att få ner radonhalten i källarplanet till rimliga nivåer. I detta fall krävdes ca 1000 m³/h, vilket bedömdes orimligt med hänsyn såväl till energiförbrukning, som drag och buller. En kombination av normal ventilation med 0,5 oms/h och fyllningsbyte utanför källarväggarna var i detta fall mycket effektiv och reducerade inflödet av radon med 90-99 % i olika delar av huset. Kostnaderna för denna kombinerade åtgärd är dock så hög som ca 130.000 kronor.

Ett hus är byggt med kryputrymme på mark som utfyllts med ett par meter skifferaska. Det visade sig vara möjligt, att genom att upprätthålla ett visst undertryck i kryputrymmet gentemot bostaden, begränsa radonhalten i bostaden till en nivå nära gränsvärdet för nybyggnad trots att radonhalten i kryputrymmet är mycket hög.

I två enfamiljsvillor med stomme av skifferbaserad gasbetong installerades FTX-ventilation. Radonhalten reducerades härvid i den utsträckning som var väntad, d v s fördubbling av luftomsättningen resulterade i en halvering av radonhalten o s v. De viktigaste resultaten av dessa installationer är att

- det krävs omsorgsfull dimensionering och injustering för att luftflödet skall bli det eftersträvade och kortslutningsströmmar mellan tilluft- och frånluftdon skall minimeras.
- ljudproblem kan undvikas om anläggningarna dimensioneras rätt och förses med ljuddämpare i tillräcklig utsträckning.
- energiverkningsgraden är avgörande för det totala ekonomiska utfallet.

I två småhus prövades möjligheterna att begränsa avgången av radon från husens stomme genom tapetsering med speciell aluminiumfolie. Genom dessa åtgärder kunde radonavgången från byggnadsmaterialet reduceras med upp till ca 60 %.

2 BAKGRUND

Problemet med radon i bostäder har länge studerats inom statens strålskyddsinstitut (SSI), främst under 1970-talet efter det att radonproblematiken i de svenska gruvorna uppmärksammats omkring 1970. Detta problem kan sägas ha blivit löst genom olika åtgärder under första hälften av 1970-talet.

År 1974 varnade strålskyddsinstitutet mot alltför långtgående minskning av luftomsättningen i samband med energisparande (SSI 1974). Denna varning upprepades under Energikommissionens arbete (SSI 1977 och Swedjemark 1978). Det material som härvid framkom indikerade att energibesparing genom minskad ventilation kunde innebära väsentligt större hälsorisker än produktion av motsvarande energimängd. Dessa risker bedömdes i första hand uppträda i hus byggda helt eller delvis av skifferbaserad gasbetong. Energikommissionens grupp för säkerhet och miljö (Dsi 1978) drog 1978 av detta slutsatserna att

- energibesparing genom minskad ventilation bör tillämpas i första hand i otäta hus med låg radonavgång.
- i vissa hus bör åtgärder vidtas i syfte att minska radonhalten.
- i framtiden bör byggnadsteknik modifieras så att radonhalten i nya hus blir så låg som möjligt till rimliga kostnader.

Efter att ha tillfrågats av Skövde kommun avrådde strålskyddsinstitutet från bebyggelse på avfall från skifferhantering. I samband härmed framkom dock att det redan fanns hus byggda på sådant avfall. Under hösten 1978 uppmättes mycket höga radon- och radonotterhalter i några hus med sådan grundläggning i Tidaholms kommun. Koncentrationerna var så höga att de motsvarade en exposition över gällande gränsvärde för gruvor och var sålunda högre än man dittills uppmätt i bostäder i Sverige. Dessa inledande mätningar rapporterades av strålskyddsinstitutet i januari 1979 (Swedjemark, Håkansson, Hagberg 1979). Resultaten ägnades stor uppmärksamhet av massmedia och de aktuella fastighetsägarna utpekades. Förhållandet diskuterades även av politiker.

Med motiveringen bl a att radonsituationen i de aktuella husen var av en allvarigare art än man tidigare känt till i Sverige och att de boende utpekats av massmedia beslutades att husen tillsammans med vissa andra hus skulle åtgärdas i ett forskningsprojekt, där olika metoder att minska radonhalten provades och utvärderades. De konkreta åtgärderna finansierades genom lån med villkorlig återbetalningsplikt. Dessa lån har avskrivits.

Arbetet med att dokumentera husen, välja och genomföra åtgärder samt dokumentera resultaten har pågått från våren 1979 till och med sommaren 1981. Inom projektet har mätningar av radioaktivitet utförts av statens strålskyddsinstitut, medan luftomsättning mätts av statens institut för byggnadsforskning (SIB).

3 MÅLSÄTTNING

Den huvudsakliga målsättningen med projektet var att genomföra åtgärder i sex hus i Ekedalen, Tidaholms kommun, så att radon-dotterhalterna inomhus varaktigt skulle reduceras till rimlig nivå utan att kostnader för underhåll eller energiförbrukning ökas.

När projektet påbörjades var det känt att även hus med hela eller nästan hela stommen av skifferbaserad gasbetong kunde ha mycket höga radonhalter om luftomsättningen var dålig. Projektet utvidgades därför till att även omfatta fyra enfamiljsbostäder i Storstockholm med varierande andel av skifferbaserad gasbetong i stommen. Anledningen till denna utvidgning var att man ville verifiera exempel på åtgärder mot samtliga påvisade typer av radonproblem.

Ur forskningssynpunkt skulle det ha varit intressant att pröva olika typer av i första hand billiga åtgärder som kunde bedömas ha viss möjlighet att lyckas. Eftersom emellertid fastighetsägarna av flera anledningar måste ha det slutliga avgörandet av vilken metod som skulle prövas visade det sig mest lämpligt att företrädesvis pröva metoder som medför stor sannolikhet för ett lyckat resultat.

4 RADON

4.1 Vad är radon?

Radon-222 är en radioaktiv ädelgas, som bildas av radium-226 som i sin tur bildas av uran-238. Av radon bildas de så kallade radondöttrarna, som består av radioaktiva metalljoner. Omedelbart efter det att de har bildats är de obundna, men de har stor benägenhet att fastna på dammpartiklar och andra ytor.

4.2 Varifrån och hur kommer radonet in i våra bostäder?

Uran och radium finns i marken och byggnadsmaterialet. Eftersom radon är en ädelgas, tränger en del av gasen ut ur väggar och mark. Radonhalten inomhus beror på radonexhalationen, ventilationen och radonhalten utomhus. Radon avges (exhaleras) från byggnadsmaterialet till rumsluften. På motsvarande sätt exhaleras radon från jord och berg till den markluft, som finns i porer i marken. Härifrån kan radon tränga in i byggnader genom diffusion eller med infiltrerande markluft. Troligen är det senare i allmänhet den mest betydande mekanismen. Dessutom kan hushållsvattnet innehålla radon, som vid hantering till stor del avgår till luften inomhus.

4.3 Olika typer av strålning

Radioaktiva ämnen sönderfaller under utsändande av olika typer av joniserande strålning. Den strålning, som har betydelse i en bostad, är huvudsakligen alfastrålning (α -strålning) från luftens radondöttrar och gammastrålning (γ -strålning) från byggnadsmaterialet. α -strålningen har kort räckvidd och kan endast ge människan en stråldos, när strålkällan finns i kroppen, t ex när radondöttrar har fastnat i lungorna. γ -strålning har lång räckvidd och tränger genom människokroppen där en del av strålningens energi avges. γ -strålningen kommer från det naturligt förekommande radioaktiva ämnet kalium-40 samt de radioaktiva sönderfallskedjorna, som börjar med uran-238 och torium-232. I de flesta svenska bostäder ger radondöttrarna en större stråldos än γ -strålningen.

4.4 Hälsorisker

När lungorna utsätts för en stråldos från radondöttrarna, kan det medföra en ökad risk för lungcancer. Man har ännu inte kunnat påvisa något exakt samband mellan cancerfrekvens och stråldos i bostäder. En undersökning i syfte att utreda förutsättningarna för att studera detta samband pågår inom Radonutredningen.

De hittills gjorda uppskattningarna av risken av exponering för radondöttrar i bostäder har huvudsakligen grundats på undersökningar av gruvarbetare, som under lång tid utsatts för höga radonhalter.

Riskkoefficienten för gruvarbetare visar stor spridning mellan olika undersökningar, ca en faktor fem mellan högsta och lägsta koefficient. Vid en överföring av dessa värden till befolkningen tillkommer många osäkra korrektioner, som innebär en mycket stor osäkerhet i de riskuppskattningar, som har gjorts.

I de flesta bostäder är den ökade risken från exponering av radondöttrar försumbar för individen i förhållande till hennes totala risksituation. Däremot kan den totala stråldosen till hela befolkningen vara så stor, att det kan finnas anledning för samhället att ingripa. Det finns dock bostäder där radon-dotterhalten är så stor, att den bör minskas även för individens skull.

Uppskattningar av risken från exponering av radondöttrar i bostäder har gjorts av bl a Energikommisionen 1978 och Radonutredningen 1979.

5 MÄTMETODER

5.1 Översikt av metoder att mäta radon och radondöttrar i luft

Statens provningsanstalt har sammanställt olika kommersiellt tillgängliga metoder att mäta radon och radondöttrar i luft (Samuelsson 1980). Därtill kommer metoder som används av institutioner, t ex insamling av luftprover i behållare. Luftproverna kan föras över till jonisationskammare för mätning av halten av radon eller behållarna kan vara klädda invändigt med zinksulfid, varvid strålning från radon och radondöttrar ger upphov till ljusblixtar, som mäts med fotomultiplikator.

Översiktligt kan metoderna delas upp i momentana och integrerande. Radon- och i ännu högre grad radondötterhalten varierar med väderlek och boendevanor (se kapitel 5.4.1). Vid användning av de momentana mätmetoderna kan boendevanor hållas under kontroll, men inverkan av väderleken är svår att uppskatta. Vid användning av de integrerande metoderna får man ett medelvärde under en period, när väderleken kan variera men i genomsnitt är representativ för årstiden, men får sämre kontroll över boendevanorna. Värden från en integrerande mätning får tolkas olika, om t ex familjen varit bortrest under en stor del av mätperioden och bostaden stått stängd eller om familjen varit hemma och fönstervädring har förekommit mer än vanligt, t ex på grund av varmt väder.

5.2 I projektet använda metoder

Provtagning för mätning av radonhalten i luft gjordes i evakuerade provbehållare. Luftprovet fördes sedan över till en jonisationskammare på laboratoriet för mätning. Osäkerheten i bestämningen av radonkoncentrationen inomhus varierar mellan 15 och 200 Bq/m³ beroende på aktivitetshalten. Osäkerheten i de högsta halterna som uppmätts (krypgrund) är ca 500 Bq/m³. Därtill kommer osäkerheten i kalibreringskonstanten ca 5 %.

Radonets dotterprodukter i luft uppsamlades på ett glasfiberfilter och den luftvolym, som passerat filtret mättes med volymeter. Efter provtagningen mättes α -strålningen från filtret med en scintillationsdetektor. Aktiviteten beräknas med Kusnetz's metod (Kusnetz 1956). Den räknestatistiska osäkerheten i bestämningen av radondötterkoncentrationen varierar mellan 2 och 10 % beroende på bl a aktivitetshalten. Därtill kommer osäkerheten i kalibreringskonstanten, ca 5 %, samt felet i den s k Kusnetz-metoden, vilket beror på det relativa förhållandet mellan halterna av de olika radondöttrarna. Mätning av radonets dotterprodukter grundar sig på mätning av energi men har i denna rapport omräknats till Equilibrium Equivalent Concentration of Radon förkortat EEC som uttrycks i Bq/m³ (ICRP 1977). I det följande används för enkelhetens skull beteckningen radondötterhalt i stället för EEC.

Metoderna att mäta koncentrationen av radon och dess dotterprodukter i luft används sedan flera år tillbaka för undersökningar och kontrollmätningar i svenska gruvor (Snihs, Ehdwall 1976).

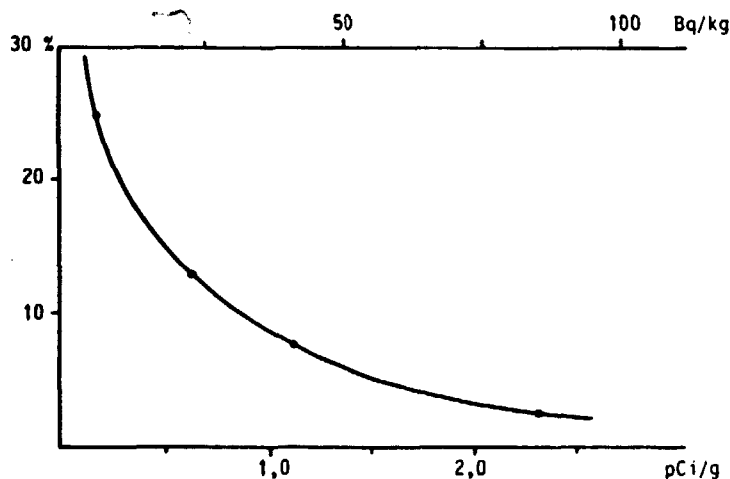
Kontinuerlig registrering av radon i inomhusluft har utförts med en jonisationskammare genom vilken luft passerar kontinuerligt (Swedjemark 1976). Radondöttrarna filtreras bort före passage genom kammaren.

De momentana mätmetoderna för bestämning av radonhalten i inomhusluft har kompletterats med integrerande mätningar med passiva radonmonitorer vid slutet av undersökningsperioden. Under våren 1980 användes SSI:s detektorer (IRMA) som kommer att beskrivas i en SSI-rapport. Under hösten 1980 och våren 1981 användes Studsviks detektorer (RM-1), som då blivit tillgängliga.

Enstaka momentanmätningar av radondotterhalt i inomhusluft och luftomsättning har gjorts av statens provningsanstalt (Samuelsson, Samuelsson 1980).

Mätning av radonhalt i jordluft har utförts med spårfilm av Fysiska institutionen vid Lunds universitet (Jönsson 1979). Filmen placerades i plastkoppar i rör på det aktuella djupet. Alfapartiklarna från radon och dess sönderfallsprodukter träffar plasten och skadar den. Efter kemisk behandling framträder hål i plasten, där den skadats. Antalet hål utgör ett mått på radonhalten i jordluften.

Mätning av markprover gjordes gammaspektrometriskt med NaI-detektor. Bestämningen av aktivitetshalterna har utförts av SSI genom gammaspektrometri med en NaI-kristall kopplad till en mångkanalsanalysator. Proverna har mätts omedelbart efter placering i mätkärl utan hänsyn tagen till, att det tar tre veckor innan jämvikt med radonets kortlivade dotterprodukter har uppnåtts med undantag av de prover, som togs vid den första undersökningen hösten 1978. Detta kan medföra en underskattning i radiumhalten, som kan uppgå till 20 %. Det räknestatistiska felet beror på aktivitetshalten och framgår av figur 5.1 (Hagberg, Möre 1978). Till detta kommer systematiska fel.



Figur 5.1. Räknestatistiskt fel (2σ) i radiumbestämningarna.

Gammastrålningen från byggnadsmaterialet och marken mättes med en tryckjonisationskammare konstruerad vid strålskyddsinstitutet. För bestämning av expositionsraten från den externa gammastrålningen mätt med jonkammaren och den därav beräknade stråldosen i benmärg och gonader har det totala mätfelet uppskattats till $\pm 10\%$.

5.3 Metodik vid provtagning och mätning

Som nämnts är det viktigt att hålla ventilationsförhållandena under kontroll speciellt vid momentana provtagningar av luft. De boende hade därför ombetts hålla fönster och ytterdörrar i möjligaste mån stängda från kl 21 kvällen före provtagningen och inte använda spisfläkten under samma tid.

Luftproverna togs mitt i rummen. Mätningarna av luftomsättningen har i en del fall utförts i samma stängda rum som radon och radondottermätningarna, i en del fall som medelvärde för t ex hela bottenvåningen, då dörrarna mellan rummen hållits öppna. I det senare fallet har luftprover för luftomsättningen tagits från alla rum, medan radon och radondotterprover har tagits i ett fåtal rum. När prover tagits på samma plan, medför det dock inte några stora fel. I samtliga fall har luftomsättningen mätts efter provtagningen för radon- och radondotterhalten. Provtagningen för de senare tar ca 5 min, medan luftomsättningsmätningen tar flera timmar.

Gammamätningarna gjordes intill varje typ av vägg och mitt i varje rum.

5.4 Feluppskattning

Osäkerheter i mätmetoderna har redovisats i samband med beskrivning av metoden. I de flesta fall har urval och tidpunkt för provtagningen större betydelse.

5.4.1 Väderlekens inverkan på radon och radondotterhalt

Vindstyrka, vindriktning och temperaturskillnad ute-inne påverkar luftomsättningen, som i sin tur påverkar halten av radon och radondöttrar. Väderleken påverkar också radonexhalationen.

Radonhalten $C(t)$ växer till i ett rum med konstant luftomsättning λ enligt ekvationen

$$C(t) = C(\infty) (1 - e^{-(\lambda + \lambda)t}) + C(0) e^{-(\lambda + \lambda)t} \quad (1)$$

där

$C(\infty)$ är radonhalten när $t \rightarrow \infty$, dvs mättnadsvärdet för luftomsättningen λ .

$C(0)$ är radonhalten vid tiden $t = 0$.

λ är sönderfallskonstanten för radon, $0,007560 \text{ h}^{-1}$.

För små λ behövs längre tid för att nå mättnadsvärdet än för stora λ . Mättnadsvärdet blir också högre för små λ än för stora vid samma radonexhalation.

För mättnadsvärdet gäller

$$C(\infty) = \frac{\lambda C_{in} + G/V}{\lambda + \lambda} \quad (2)$$

där

C_{in} är utomhusluftens radonhalt.

G är radonexhalationsraten.

V är bostadens volym.

Om $C_{in} \ll C(\infty)$ och $\lambda \gg \lambda$ fås $C(\infty) = \frac{G/V}{\lambda}$ och om G/V kan betraktas som konstant blir mättnadsvärdet omvänt proportionellt mot luftomsättningen.

När väderleken ändras under 12-timmarsperioden före provtagningen och luftomsättningen och/eller t ex infiltration av markluft därmed inte är konstant gäller inte ekv 1 eller 2 direkt för de uppmätta värdena på radonhalt och luftomsättning.

Det är svårt att korrigera för denna felkälla av flera skäl. Väderleksdata är ofullständiga och husen påverkas olika mycket av väderleken.

Väderleksdata har dels erhållits från SIB:s mätningar invid husen samtidigt med luftomsättningsmätningarna, dvs efter provtagningen för bestämningen av radon och radondöttrar, dels från SMHI:s närliggande stationer. SIB:s data ger ingen uppgift om eventuella förändringar under perioden före luftomsättningsmätningen. SMHI:s data mäts på långt avstånd från de aktuella husen och t ex vindstyrkan mäts 10 meter över marken som genomsnitt under 10 minuter var tredje eller sjätte timme. Eftersom lokala variationer förekommer, kan inte alltför långtgående slutsatser dras av dessa väderleksdata.

När påverkan är mycket stor, t ex stora skillnader i vindstyrkan, kan dock samstämmigheten i radon och luftomsättningsmätningarna bedömas med utgångspunkt från väderleksdata.

Väderleken inverkar inte bara på luftomsättningen utan också på radonexhalationen. Den mest betydelsefulla faktorn när radonkällan är byggnadsmaterialet är förändringar och främst minskning i lufttrycket. Mc Laughlin och Jonassen (1978) har visat att en minskning med 1 mbar kan medföra en ökning av radonexhalationen med ca 5 % och detta har styrkts av Stranden (Stranden, Berteig, Ugleweit 1979). I föreliggande utvärdering har ingen korrektion för förändringar i radonexhalationen gjorts, eftersom korrektionsfaktorn dels är osäker och dels i de flesta fall är mindre än övriga osäkerheter. Stora avvikelser har kommenterats i texten.

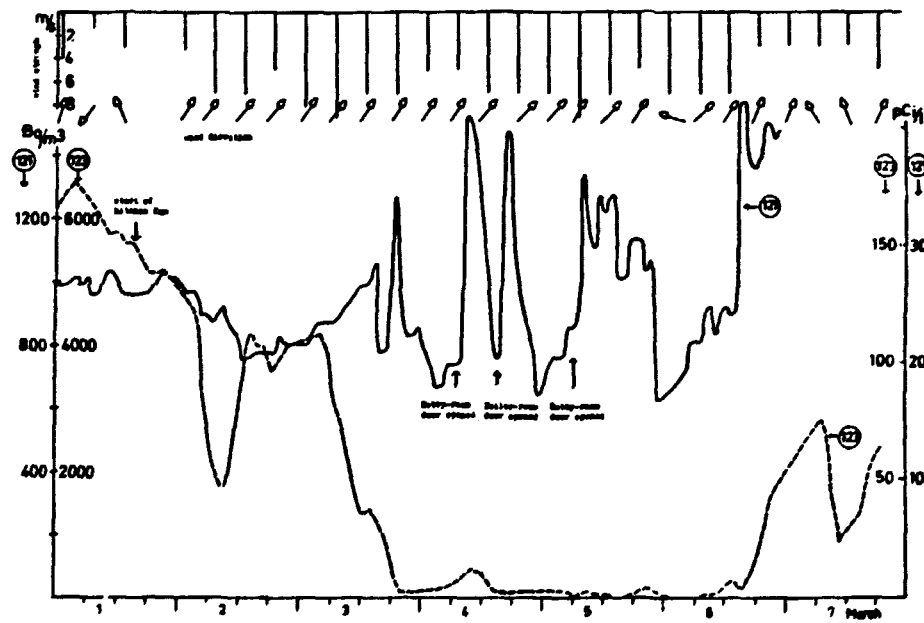
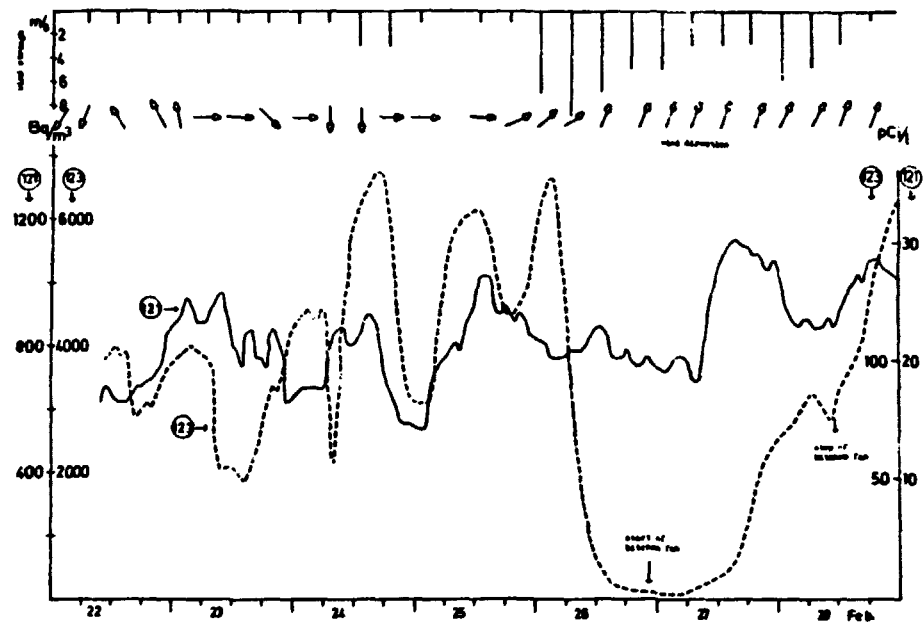
Med marken som huvudsaklig radonkälla har väderleken större betydelse. Hur mekanismerna för radonexhalationen från marken till bostadsluften fungerar vid olika väderlek, för olika typer av hus och för olika mark håller på att utredas.

5.5 Problem vid påvisande av resultat av utförda åtgärder

Vid projektets början fanns endast momentana mätmetoder för mätning av halten av radon och radondöttrar i luft. Dessa har använts både före och efter åtgärd. En fördel med en momentan mätning är att den kan göras i anslutning till en mätning av luftomsättningen. Valet av mätmetoder vid projektets början var således givet på grund av önskemålet att snabbt få ett svar på effekten av åtgärder.

Dessa metoder har kompletterats med integrerande mätning av radonhalten efter åtgärdernas genomförande. Under våren 1980 användes SSI:s passiva radonmonitorer (IRMA). Från hösten 1980 var dessa inte tillgängliga för detta projekt och Studsviks passiva radonmonitorer, som då fanns att köpa, användes.

Som tidigare nämnts är det huvudsakligen radondöttrarna i inandningsluften, som kan ge lungorna en stråldos. Förhållandet mellan halten av radondöttrar och radon varierar med flera parametrar varav luftomsättningen och partikelhalten är de mest väsentliga. Representativiteten i rummet vid provtagningen är större för radon än för radondöttrar. Med hjälp av uppgifter



Figur 5.2. Radonhaltens variation i två småhus byggda på olika sätt.

från samtidig mätning av luftomsättningen kan också radonexhalationen beräknas. Det är därför lättare att utvärdera effekten av åtgärder med hjälp av mätningar av radonhalten än vid mätningar av radondötterhalten. Å andra sidan är det halten av radondöttrar, som kan ge en stråldos till lungorna och som ingår i de provisoriska gränsvärdena. En kombination av bestämning av halten av radon och radondöttrar är därför att föredra.

Som nämnts ovan är både momentana och integrerande mätningar av värde för utvärderingen av effekterna av åtgärderna för andra hus än de, som är byggda på kryppgrund. I dessa hus varierar halten av radon och radondöttrar inte bara med ventilationen inomhus utan i än större grad med ventilation i kryppgrunden, vilket framgår av en långtidsregistrering, som gjorts i hus 123 byggt på kryppgrund (figur 5.2) och hus 121 byggt med källare.

Vid påvisande av samband mellan halten av radium i jordprover, halten av radon i jordluft och halten av radon och radondöttrar i inomhusluft finns förutom nämnda problem för inomhusluften även problem vid provtagningen för att bestämma de övriga parametrarna.

5.6 Mätning av luftomsättning

Med luftomsättning menar man hur snabbt luftbytet sker i en bostad. Har man en luftomsättning per timme betyder det att lika mycket luft, som bostadens totala volym, tillförs byggnaden varje timme. Tar det två timmar att byta luften så har man 0.5 luftomsättningar per timme osv. Just 0.5 omsättningar per timme räknas som i de flesta fall fullt tillräckligt för att luften i bostaden skall vara hygieniskt acceptabel, samt att byggnaden skall må bra. Man anser också att 0.5 oms/h är förenligt med god energihushållning.

Man skiljer på avsiktlig och oavsiktlig ventilation. Avsiktlig ventilation är den ventilation, som sker genom att tillförd luft sugts ut genom frånluftsdonen på ett kontrollerat sätt. Oavsiktlig ventilation är luft som okontrollerat passerar in och ut genom bostaden. Den oavsiktliga ventilationen kan vara stor i självdragsventilerade hus, om dessa är otäta och ligger utsatta för blåst. I fläktventilerade hus byggs det ofta upp ett undertryck inne i huset i förhållande till atmosfärtrycket och den oavsiktliga ventilationen anses därför vara mindre i hus med dessa system än i hus med självdragssystem.

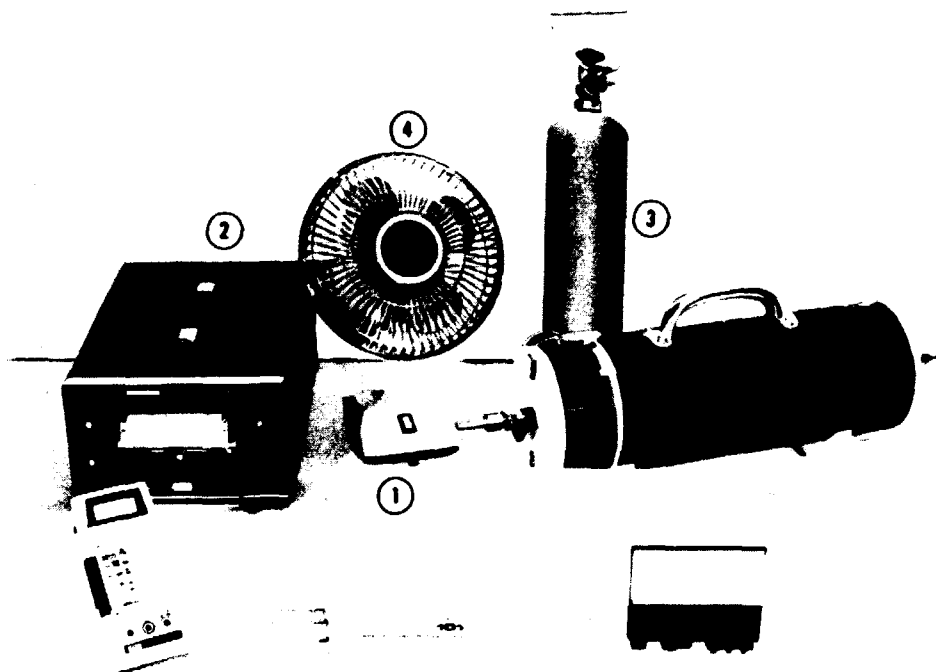
När man skall mäta luftomsättningens storlek är det viktigt att klarlägga hur pass exakta mätresultat man strävar efter att nå. Inte ens för vana personer med utbildning inom ventilationsområdet är det möjligt att med någon större säkerhet kunna bedöma hur bra eller dålig luftomsättningen är i en bostad. Vissa kriterier har man dock som hjälp vid en bedömning t ex iakttagelser av kondens på fönster eller dålig lukt, vilka båda tyder på att ventilationen kan vara dålig. Ofta måste man dock mäta för att fastställa hur det förhåller sig.

Det är när man skall börja mäta, som olikheterna mellan självdrags- och fläktsystem visar sig ha stor betydelse. I de fläktventilerade systemen kan man nämligen, om man inte bryr sig om

den oavsiktliga ventilationen, mäta per tidsenhet utsugen luftmängd i frånluftsdonen. Detta är lätt att utföra och mätproceduren går snabbt att genomföra. Annorlunda förhåller det sig i självdragssystemen. Det finns än så länge ingen enkel och pålitlig metod för mätningar i självdragssystem. Tryckfallet i donen i ett fläktsystem är så stort att flödet inte nämnvärt påverkas av att en mätstos ansluts runt donet. I ett självdragssystem är det tvärtom, därav skillnaden. Av resonemanget framgår att man än så länge inte har någon enkel mätmetod för att fastställa luftomsättningen i ett självdragssystem.

5.6.1 Mätning enligt spårgasmetod

En mätmetod, som går att använda för fastställande av luftomsättning i alla typer av bostadshus, är spårgasmetoden. Ordet spårgasmetod talar inte om någonting annat än att man mäter luftomsättning med hjälp av spårgas. Egentligen borde det heta luftomsättningsmätning med hjälp av spårgas, eftersom sätten på vilka man kan utföra mätningarna är flera. Metoderna är alltså flera och de är olika komplicerade. Vilken metod man bör välja beror på syftet med mätningen. Vill man veta den totala luftomsättningen för en hel lägenhet eller för ett småhus har man en metod. Vill man veta om det finns stagnationszoner, d v s ventilationseffektiviteten, får man välja en annan metod o s v. Grundutrustningen för mätningarnas genomförande är ungefär densamma för alla mätningar med spårgas, men sätten att utföra mätningarna varierar. Det finns mer eller mindre sofistikerade mätutrustningar från mätinstrument, som relativt långsamt registrerar förändringar i spårgaskoncentrationen till mikrodatorstyrda utrustningar, där man kan mäta från rum till rum och snabbt bestämma luftomsättningen i respektive rum. En intensiv metodutveckling pågår för att få fram olika metoder användbara både för forskning och för enklare fältundersökningar, där större krav måste ställas på snabbheten i mätningarna utan att därför ge alltför stort avkall på mätnoggrannheten. De mätmetoder, som här diskuteras, är momentanmätningar d v s luftomsättningen vid en viss tidpunkt. Beskrivning på mätutrustning och mätmetod, som använts för luftomsättningsmätningarna i denna utredning redovisas i figur 5.3.



Figur 5.3. Utrustning för mätning enligt spårgasmetod.

- ① Gasanalysator
- ② Skrivare
- ③ Spårgas (N_2O)
- ④ Fläkt (1-2st)

Innan undersökningen startade kontrollerades att ventilationsanläggningen fungerade på avsett vis.

Spårgas, i vårt fall lustgas (N_2O), släpptes ut i samtliga utrymmen i huset. Fläktarna, minst en i varje rum, två i stora rum, som t ex vardagsrum, startades för att sprida gasen. Denna fick därefter diffundera under så lång tid att en fullständig omblandning hunnit ske. Under tiden kontrollerades att gaskoncentrationen var någotsånär lika i alla rum. Påspädning av mer gas gjordes där så erfordrades. Den gaskoncentration som används vid mätstarten, har legat på ca 40 ppm. Det finns än så länge inget stipulerat gränsvärde för lustgas men det anses från arbetarskyddshåll, att halten klart bör understiga 100 ppm vid längre tids vistelse.

När gasblandningen blivit homogen och jämt fördelad i huset påbörjades mätningen. Luft sögs nu genom smala slangar till en blandningsbox och därefter in i gasanalysatorn. En skrivare kopplad till gasanalysatorn registrerade utspädningsförloppet.

Vid $\frac{1}{e}$, d v s ca 37 % av begynnelsevärdet, har man uppnått en luftomsättning. Ofta mäter man tills en luftomsättning erhållits. Formeln för beräkningen av luftomsättningen fritt vald inne i mätserien är:

$$L = \frac{\ln \frac{C_0}{C_1}}{t_1}$$

där

L = luftomsättningen per timme

C_0 = spårgaskoncentrationen vid tiden $t = 0$

C_1 = spårgaskoncentrationen vid tiden $t = t_1$

t_1 = provets längd i timmar

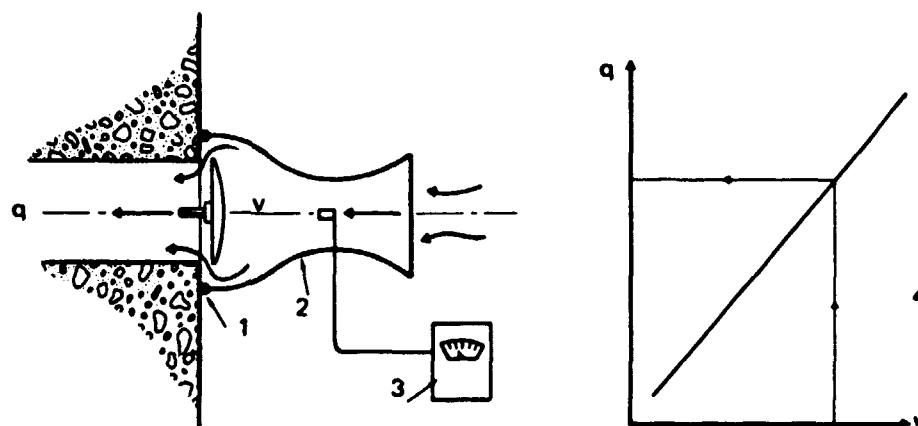
Sannolikt mätfel beroende av bl a mättiden och luftväxlingens storlek är ca ± 4 %.

Mätresultaten framgår av bilaga 1.

5.6.2 Mätning av flöde genom don

Som tidigare nämnts har man än så länge inte någon acceptabel metod med vilken man kan mäta utsuget flöde i don ingående i självdragsventilationssystem. I fläktventilationssystem går det dock mycket bra att mäta i frånluftsdonen.

De instrument, som numera används, är nästan uteslutande varmtrådsinstrument. Instrumentet består av en stos med inbyggd givare samt en mottagardel bestående av ett visarinstrument, som via sladd är anslutet till givaren i stosen. Varmtråden i givardelen ändrar sin temperatur med ändrad lufthastighet förbi givaren. Hur stort luftflödet är kan alltså avläsas på visarinstrumentet.



Figur 5.4. Varmtrådsinstrument.

1. Tätning
2. Mätstos
3. Visarinstrument graderat i t ex m/s
4. Kalibreringskurva, som visar uppmätt luftflöde q , som funktion av registrerad hastighet v .

Som för all annan mätutrustning gäller även här att instrumentet måste ha genomgått en noggrann kalibrering och ha gällande kalibreringsintyg, så att avläst uppmätt värde skall kunna korrigeras till verkligt värde. En viss reduktion av flödet kan ske även i fläktsystem och denna strypning kan korrigeras enligt:

$$q = q_m \sqrt{\frac{\Delta_{ps}}{\Delta_{psm}}}$$

där

q = flödet genom donet vid tryckfallet Δ_{ps} då mätinstrumentet inte är anslutet till donet

q_m = flödet genom donet vid tryckfallet Δ_{psm} över donet då mätinstrumentet är anslutet till donet. (Δ_{psm} är statiska undertrycket efter donet minskat med tryckfallet över mätstosen).

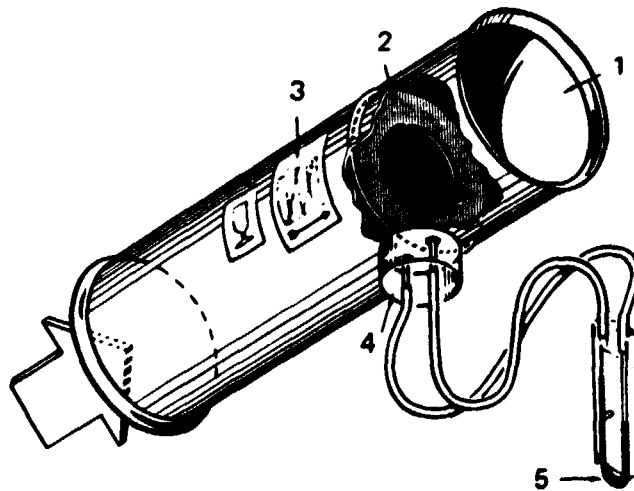
Observera att man erhåller ett väsentligt säkrare mätvärde, om instrumentet kalibrerats mot samma dontyp, som man företar mätningarna i. Ett väl kalibrerat instrument beräknas ge ett mätfel av - 5 %. Om instrumentet kalibrerats mot aktuell dontyp, bör mätfelet kunna minskas ytterligare.

5.6.3 Mätning av flöde inne i ventilationsanläggningen

Det kan ibland vara bra att kunna göra mätning av flödet inne i ett ventilationssystem. Detta inte minst vid kontroll och injustering. Vanliga metoder har tidigare varit att mäta med pitot- eller korsrör. Med pitotrör mäter man trycket i kanalen, som funktion av flödet. Metoden kräver inga fasta mätuttag i kanalerna men väl tilltagna raksträckor före och efter det ställe i kanalen där mätningen skall företas. Korsrörsmetoden, som även den kräver vissa raksträckor före respektive efter mätdonet, är en permanent installation, som används där kontinuerlig mätning är aktuell.

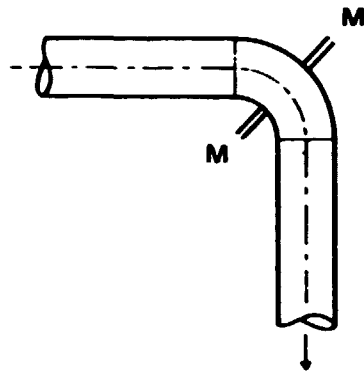
På senare tid har mätanordningar av annan typ blivit allt vanligare. Hit hör montage av don med strypfläns och kalibrerade rörböjar. Den förstnämnda mätanordningen fungerar i princip lika som en vanlig strypflänsanordning men är av väsentligt enklare utförande. Man mäter tryckfallet över en fläns monterad inne i mätdonet och via ett kalibreringsdiagram kan man sedan avläsa flödet. Kalibrerade rörböjar går också bra att använda. I centrum av rörböjens ytter- och innerdiameter monterar nipplar. Via slangar från nipplarna till en manometer avläses tryckskillnaden inne i rörböjen och man kan sedan gå in i ett kalibreringsdiagram och avläsa flödet.

Observera att det ofta är svårt att mäta flödet i ett tilluftsdon. Därför kan det vara bra att ha tillgång till mätdon i själva ventilationskanalen.



Figur 5.5. Strypfläns.
Principiell uppbyggnad av flödesmätdon EHBA.

1. Hölje
2. Strypfläns
3. Flödesdiagram
4. Nipplar för anslutning av mätslang
5. Tryckmätare



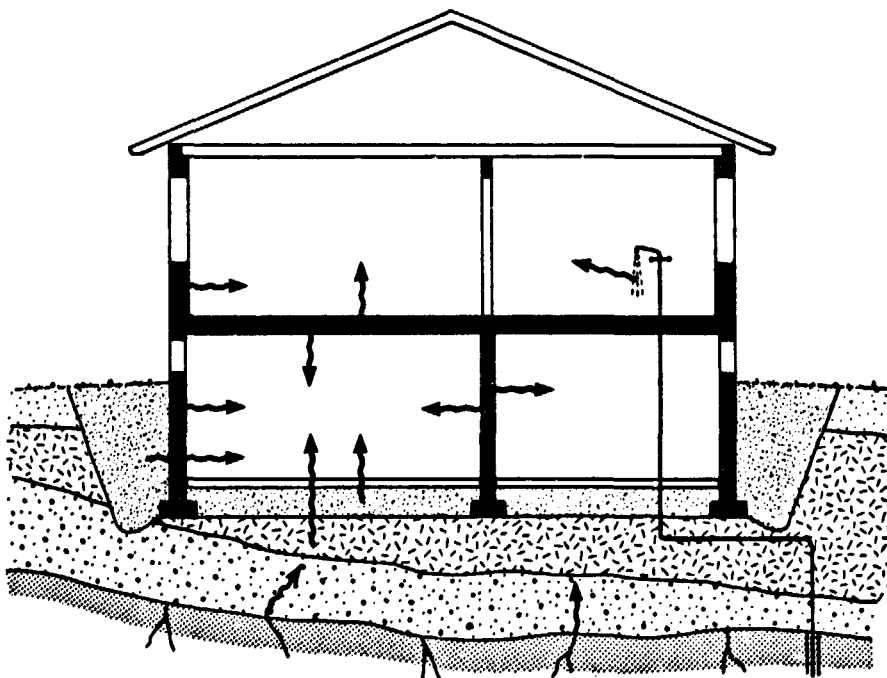
Figur 5.6. Rörböj med mätuttag.

Närmare beskrivningar av mätmetoder framgår av byggforskningens informationsblad B4:1977 "Metoder för mätning av flöden i ventilationsinstallationer".

6 BYGGNADSTEKNISKA ÅTGÄRDER, ALLMÄNT

Radonet kan, som beskrivits i kapitel 4.2, komma från

- . byggnadsmaterialet
- . marken under eller vid sidan om huset
- . hushållsvattnet från vissa djupborrade brunnar



Figur 6.1. Radonkällor.

I denna rapport behandlas ej hushållsvattnet som radonkälla, eftersom detta är föremål för ett särskilt forskningsprojekt vid Chalmers tekniska högskola.

Åtgärder för att sänka radonhalter inomhus, när denna orsakas av radon från byggnadsmaterialet eller marken, kan indelas i följande grupper:

- 1 Utbyte av det radonavstrande materialet.
- 2 Tätning för att hindra eller dämpa utströmningen av radon i bostadsluften.
- 3 Ventilation.
- 4 Ändrad lokalanvändning.

Ett antal åtgärder ur resp grupp kommer att redovisas i kapitel 6.1 - 6.4. En del av dessa åtgärder har utförts inom detta projekts ram och behandlas utförligare under kapitel 7. Dessa åtgärders inverkan på radonhalter, liksom kostnader för dessa, kommer även att redovisas i kommande kapitel. Somliga

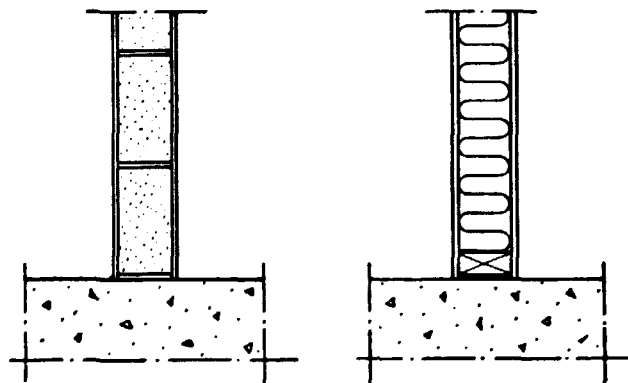
åtgärder har i mer eller mindre modifierad form tillämpats i utlandet, främst i USA och Kanada, medan övriga är helt oprövade åtminstone vad det gäller deras inverkan på radonhalter.

6.1 Avlägsnande av radonstrande material

Att byta ut det material, som ger upphov till den förhöjda radonhalten, är naturligtvis den effektivaste åtgärden, men är tyvärr ofta inte tekniskt-ekonomiskt realistiskt. Ibland kan ett partiellt utbyte kombinerat med t ex en förbättrad ventilation vara den bästa lösningen.

6.1.1 Utbyte av byggnadsmaterial

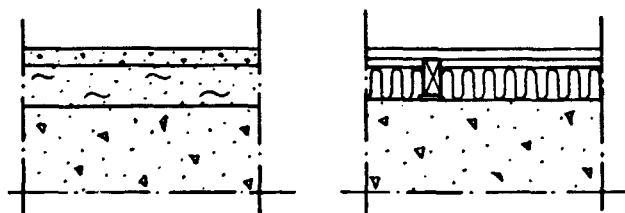
De byggnadsdelar, som i första hand kan tänkas vara möjliga att byta, är de icke bärande mellanväggarna. Dessa är ofta i stenhus och i källarvåningar i småhus utförda av gasbetong i form av block eller rumshöga element. Om väggen är av skifferbaserad gasbetong kan kontrolleras antingen med en gammastrålningsmätare eller genom ett borrhprov (blå till blågrå färg på bormjöllet). Nya mellanväggar kan utföras av t ex gipsskivor på en regelstomme.



Figur 6.2. En icke bärande vägg av skifferbaserad gasbetong kan ersättas med en regelvägg, t ex gipsskivor på regler av trä eller plåt. Väggens ljudisoleringsförmåga förbättras, om mineralullsskivor placeras mellan reglarna.

Överslagsmässigt bör man kunna räkna med att denna åtgärd sänker radonhalten ungefär i proportion till dessa väggars sammanlagda yta i förhållande till samtliga gasbetongväggars yta (exklusive ytterväggarnas utsidor) under förutsättning att väggarna är den enda radonkällan av betydelse och att aktiviteten i gasbetongen är i stort sett densamma i alla väggar. Radiumhalten är dock vanligen lägre i mellanväggs-element än i oamerade produkter.

Värmeisolering av krossad skifferbaserad gasbetong kan förekomma i källar- och vindsbjälklag i framför allt flerbostadshus. Eftersom gasbetongen är krossad i mindre bitar, kan radonavgången härifrån vara betydande. Fyllningen i källarbjälklaget är oftast täckt med en 4-5 cm armerad betongplatta, vilket gör ett byte mera besvärligt och kostsamt. Krossad gasbetong på ett betongbjälklag under ett oinrett vindsutrymme har sannolikt ingen nämnvärd inverkan på radonhalterhalten inomhus och kan därför bortses ifrån.



Figur 6.3. Värmeisolering av skifferbaserad gasbetongkross i ett bjälklag kan ersättas med t ex ett övergolv av spånskivor på reglar. Mineralullsskivor läggs in mellan reglarna dels för värmeisolering och dels för att dämpa det trumljud, som kan uppstå vid gång på golvet.

6.1.2 Utbyte av jordmaterial

Enligt kapitel 9 kan en god effekt erhållas på radonhalterhalten inomhus genom att byta ut ett aktivt fyllningsmaterial runt en källarvåning. Detta förutsätter dock att marken under byggnaden inte är kraftigt radonavgivande. Möjligen kan, om så är fallet, radon under källargolvet ventileras bort enligt kapitel 6.3.4. Att byta jordmaterialet på 3-4 m:s bredd runt en villa är förenat med såväl en relativt hög kostnad som med rent praktiska svårigheter, eftersom det kommer i ett skede då finplaneringen är utförd och vegetationen till stor del är uppvuxen, se figur 6.4. En annan svårighet kan vara att finna ett nytt, lämpligt fyllningsmaterial inom rimligt transportavstånd. Atgärden beskrivs närmare i kapitel 7.2.1. Att byta eller avlägsna ett aktivt jordmaterial under en byggnad är tekniskt möjligt, men förenat med mycket höga kostnader och stora risker för sättningar i huskroppen.



Figur 6.4. Färdigplanerad trädgård med delvis uppvuxen vegetation.

6.2 Utestängning av radon

Genom att täta ytan på t ex en vägg av skifferbaserad gasbetong med ett skikt, som är så tätt att radongasen inte kan diffundera igenom, kan radonet till viss del förhindras att komma ut i rumsluften. Att skyddet inte kan bli 100 %-igt beror på svårigheten att få tätt vid dörr- och fönsterkarmar, vid golv- och takvinklar samt på g a i väggen infällda dosor och rör för den elektriska installationen, vilka kan ventileras stora delar av väggen, framförallt om de står i förbindelse med dåligt utfyllda fogar i murverket.

Sådana radontäta skikt kan vara

- . en speciell typ av aluminiumfolie
- . målning med epoxifärg eller annan liknande färg

Eftersom ett skikt, som är radontätt, även är diffusionstätt för vattenånga, får det inte appliceras på en yta, där det kan förhindra uttorkning av byggfukt eller utifrån kommande fukt eller ge upphov till kondensering av vattenånga i den aktuella byggnadsdelen. Försiktighet i användandet av sådana skikt på källarytterväggar och golv på mark tillråds därför.

Sprickor i källarytterväggar och golv, liksom otätheter vid rörgenomföringar och rensluckor är ställen där markradon lätt tar sig in i ett bostadshus. Dessa bör därför tätas med t ex ett elastiskt fogkitt av god kvalitet eller annat lämpligt material (figurer 6.5 och 6.6).

6.2.1 Aluminiumfolie

I detta projekt har provats en aluminiumfolietapet, som Gränges Aluminium specialtillverkat härför. Tapeten består av fem skikt, nämligen

- . papper (s k journalpapper) 45 g/m²
- . polyester, tjocklek 12,5 µm
- . aluminiumfolie, tjocklek 25 µm
- . polyester, tjocklek 12,5 µm
- . papper, 45 g/m²

Tapeten sätts upp som en vanlig tapet med våderna kant i kant. Bakom varje skarv sätts en aluminiumremsa. På tapetens diffusionsstäthet måste den limmas med ett vinyltapetlim (våtrumslim), vilket inte innehåller så mycket vatten, som ett normalt tapetklister. Ytan tapetseras eller målas därefter i likhet med en vanlig väggyta.

Metallfolier, som tapet, anses kunna vålla brandrisk eller risk för spridning av farlig spärning med möjlighet att spänningsförande del blir åtkomlig för beröring. Arbetet med uppsättning av metallfolietapet är därför förbjudet. Dispens för uppsättning i de i detta projekt ingående fastigheterna har lämnats av arbetarskyddsstyrelsen.

6.2.2 Färgskikt

I USA har man försökt att isolera golv- och väggytor genom behandling med epoxifärg. För att få erforderlig tjocklek fordras 4-5 strykningar. Resultaten har dock varit högst varierande. Ett färgskikt är bl a känsligt för rörelser i underlaget. Uppstår en spricka i väggen eller golvet, spricker ofta även färgen.

Målning med epoxifärg är förenat med hälsorisker och skall därför utföras enligt de anvisningar, som arbetarskyddsstyrelsen har utfärdat.

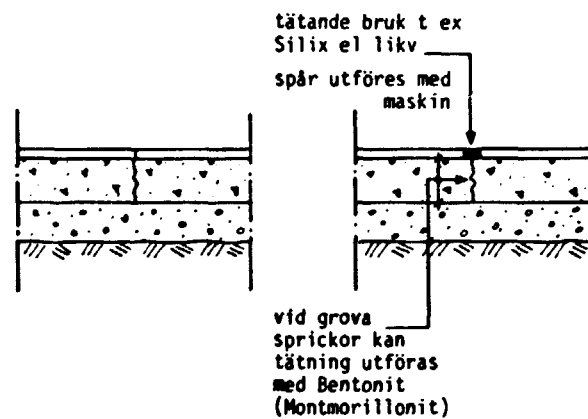
6.2.3 Isolering av mark under hus med krypgrund

Radonavgången från markytan i ett kryputrymme kan minskas genom att en betongplatta gjuts som ett lock mot marken. Betongkvalitet och armering väljs så att total sprickvidd blir minimal. Mot anslutande grundmurar och vid rör genomföringar görs lämpligen en ca 20 mm bred ursparing, som sedan tätas med ett elastiskt fogkitt eller polyuretanskum. Denna åtgärd har provats tillsammans med mekanisk ventilation av krypgrunden och beskrivs närmare i kapitel 7.2.3.

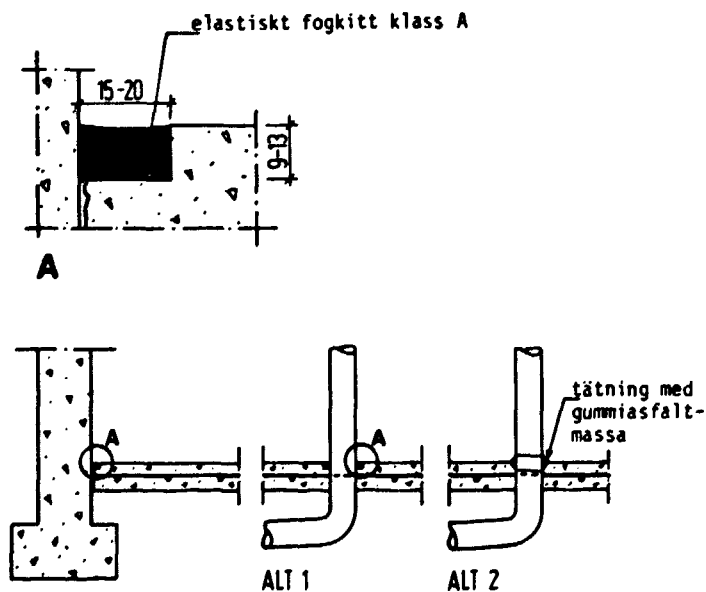
Undersökningar i USA visar att mycket god isolering mot radon i mark kan erhållas genom att markytan beläggs med en viss typ av asfaltemulsion, som ger en elektrostatisk bindning till underlaget, eller "gummiasfalt". Detta skulle betyda att det i framtiden kan vara tillfyllest att spruta en sådan emulsion på mark och grundmurar i kryplådan för att stoppa markradonet. Den ursprungliga ventilationen av bostaden bör dock förbättras i förekommande fall, inte minst för att minska undertrycket i denna.

6.2.4 Tätning av sprickor och springor

Om radon tränger in i huset från omgivande mark kan denna transport minskas genom tätning av de synliga sprickor, springor och andra skador, som kan finnas i golv och väggar mot mark. Vid rörgenomgångar och framförallt vid rensluckor i golv kan relativt stora mängder radon komma in. Likaså bör ett träbjälklag över en kryplåda med hög radonhalt ses över och tätas i görligaste mån. Alla tätningar måste göras på sådant sätt, att de inte orsakar framtida fuktproblem. Huvudprincipen bör vara att tätningen görs på den varma sidan av konstruktionen.



Figur 6.5. Tätning av spricka i betonggolvet.

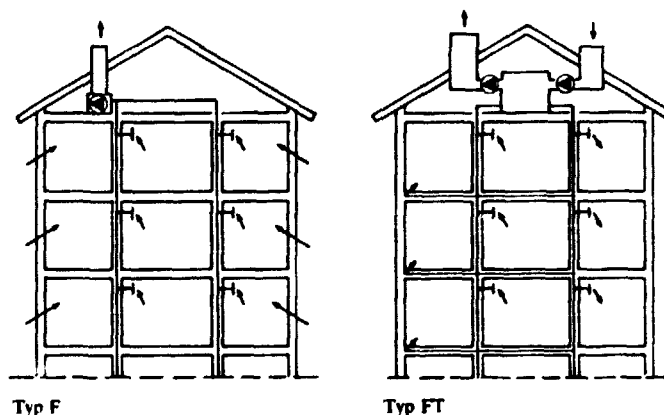


Figur 6.6. Tätning av spricka mellan golv och vägg samt av otätheter vid rörgenomföringar.

6.3 Ventilation

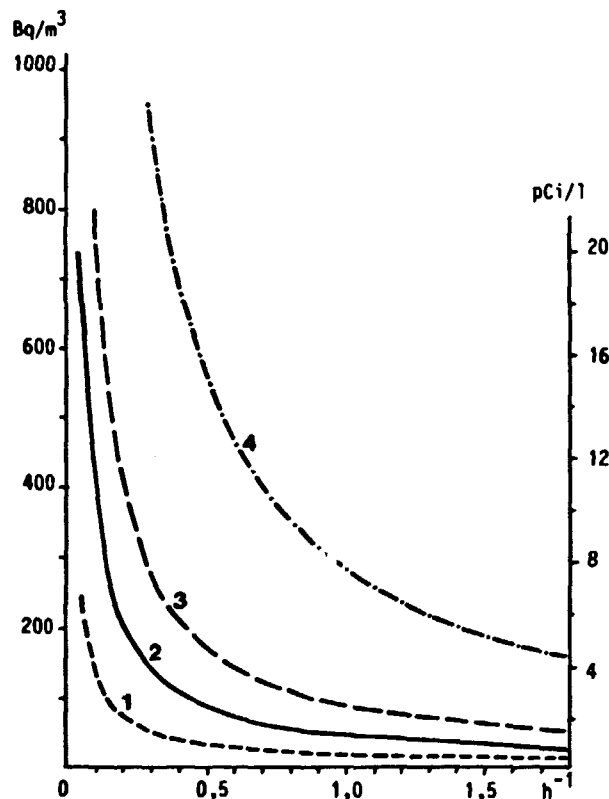
Luftväxlingen i våra bostäder sker enligt något av följande tre ventilationssystem

- . S-system - ventilation genom självdrag
- . F-system - ventilation med fläktstyrda frånluftsflöden
- . FT-system - ventilation med fläktstyrda till- och frånluftsflöden



Figur 6.7. Ventilation med fläktstyrda frånluftsflöden (F) respektive med fläktstyrda till- och frånluftsflöden (FT).

Av dessa system är typ S det vanligast förekommande, framför allt i småhus och äldre flerbostadshus. S- och F-systemen förutsätter att tilluften kommer in genom öppningsbara fönster, vädringsluckor eller springventiler, men även otätheter t ex mellan fönsterbåge och -karm och mellan fönsterkarm och vägg har stor betydelse för luftväxlingen. Med kraftigt stigande energipriser har följt en omfattande tätning av bl a fönster, vilket naturligtvis försämrar ventilationen vid dessa system. Ur hygienisk synpunkt föreskrivs en luftväxling på ca 0,5 oms/h, men mätningar visar, att många hus har så liten luftväxling som 0,1-0,2 oms/h. Eftersom radonhalter, när dess förhöjning orsakas av radon från byggnadsmaterial, är ungefärligen omvänt proportionell mot luftomsättningen kan denna halt i många hus minskas till en nivå under det provisoriska gränsvärdet för ombyggnad enbart genom att öka ventilationen till ca 0,5 oms/h. Denna luftväxling skall givetvis i första hand säkerställas i utrymmen, där man vistas under den största delen av dygnet.



Figur 6.8. Radonhalten som funktion av luftomsättningen för hus byggda av olika material. Teoretiska beräkningar anpassade till ett begränsat antal samtidiga mätningar av radonhalt och luftomsättning.

- 1 trä utan källare
- 2 trä med betongkällare eller flerbostadshus av betong eller tegel
- 3 skifferbaserad gasbetong, medelvärde
- 4 exempel på hus med extra hög radonhalt

Om huset är grundlagt på eller är omgivet av mark, som har en förhöjd radonavgång, måste man tillse att ventilationssystemet skapar ett så litet undertryck som möjligt i förhållande till lufttrycket i marken. Ett undertryck inomhus kan åstadkomma en stor radontransport från marken in i byggnaden genom springor i den omgivande konstruktionen. Å andra sidan finns en viss risk att övertryck inomhus kan ställa till med fuktproblem i ytterväggar och bjälklag, där inomhusluft kan pressas ut genom otätheter.

I Svensk Byggnorm (SBN) finns föreskrifter och anvisningar om hur ventilationen i bostäder skall ordnas i samband med nybyggnad eller ombyggnad. Att ändra eller komplettera befintligt ventilationssystem kan vara byggnadslovspliktig handling. I SBN finns också bestämmelser på hur hög ljudnivå, som bostadens installationer får alstra.

6.3.1 Ventilationstekniska åtgärder i småhus

Många hus kan få en bättre luftomsättning efter en översyn av befintligt ventilationssystem oavsett om detta är av typ självdrag eller fläktstyrt. Kanaler kan vara mer eller mindre igensatta av damm och fett eller av utifrån kommande löv och kvistar och mycket annat, varför en rensning kan vara erforderlig. Vid F- och FT-ventilation är det särskilt viktigt att kanalväggar och anslutningar till don, luckor m m är täta. Befintliga tilluftsdon skall hållas öppna och vara i sådant skick, att de släpper in luft i huset. I småhus är det vanligt, att det endast finns tilluftsdon, typ tallriksventil, i något eller några få utrymmen i källarvåningen. Dessa ventiler skall givetvis vara öppna, eller på glänt när det är som kallast ute, men det är också nödvändigt, att luften kan komma vidare in i huset från dessa utrymmen genom springor vid dörrarna, om de oftast står stängda, eller genom särskilda överluftsdon.

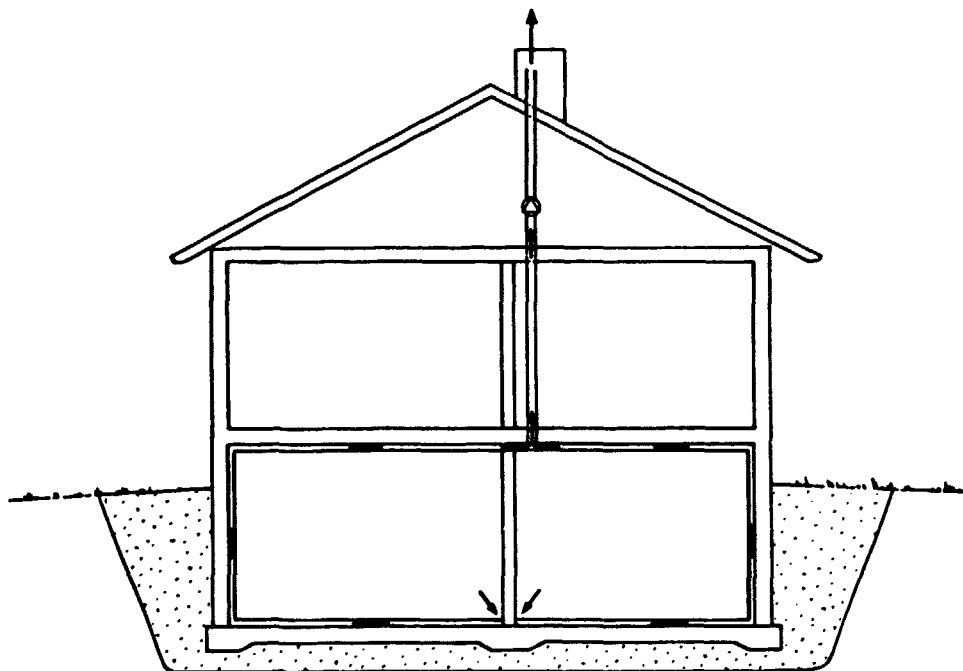
En enkel åtgärd för att snabbt förbättra ventilationen i hus med S- eller F-system, där lufttillförseln är för låg, är att skära bort 15-20 cm av tätninglisten i fönsternas överkant. Denna åtgärd kan sedan förbättras genom montering av sk springventiler, som lämpligen monteras i fönsterkarmens överstycke i de rum, där man i första hand vill höja luftomsättningen. Placeringen i fönstrets övre del är bl a betingat av att minska obehaget av drag.

Ett S-system är svårt att reglera. Dess effekt är beroende av temperaturskillanden inomhus-utomhus, vindförhållanden m m. Vintertid kan det ge god ventilation, sommartid ingen alls. I de flesta småhus kan ett befintligt S-system ändras till F-system genom en sammandragning av frånluftskanalerna och komplettering med en fläkt. Härigenom erhålls en ventilation som kan regleras in till önskad luftomsättning i huset som helhet under förutsättning att tillräcklig mängd tilluft erhålls genom ventiler och otätheter. Det kan dock vara förenat med vissa svårigheter att få önskad omsättning i varje enskilt rum.

Om den förhöjda radondotterhalten beror på inströmning av radon från omgivande mark är det nödvändigt att husets ventilationssystem är så balanserat som möjligt för att inte skapa för stort undertryck i jämförelse med marklufttrycket. Detta kan åstadkommas genom att såväl tilluft som frånluft drivs med fläktar, typ FT-system. För hus med krypgrund se kapitel 6.3.2. Ur energisynpunkt är det lämpligt att komplettera ett sådant system med en värmeväxlare. Även då byggnadsmaterialet utgör radonkällan kan ett FT-system med värmeväxlare (FTX-system) vara önskvärt framför allt vid luftomsättningar över 0,5 oms/h. Vid såväl F- som FT-system kan fläkten resp fläktarna förses med varvtalsregulator för att minska luftomsättningen under tider då ingen vistas i huset.

Kanaler och aggregat placeras företrädesvis ovanpå vindsbjälklaget, där detta är möjligt. Några andra placeringar visas i kapitel 7.3.2. Vid val av plats för fläktar-värmeväxlare bör man ta hänsyn till det (o)-ljud dessa alstrar samt åtkomlighet för service och rengöring. Tillufts- och frånluftsdonen skall placeras så att största möjliga del av rumsluften omsätts. Det är alltför lätt att erhålla stagnationszoner och kortslutnings-effekter, d v s den nya luften blandas ej med luften i vissa delar av rummet utan tar närmaste vägen mellan tilluftsdon och frånluftsdon.

En metod, som bör ha en god effekt på radondotterhalten i förhållande till den omsatta luftmängden, är att bygga luftspalter utmed de vägg- och golvytor, som avger radon. Rumsluften passerar in genom dessa luftspalter och sugs därefter ut tillsammans med det exhalerade radonet med hjälp av en frånluftsfläkt. Metoden kräver ett relativt stort ingrepp, framför allt om även golven måste förses med en luftspalt, samt måste utföras på sådant sätt att inga större ytor med stillastående luft bildas.



Figur 6.9. Ventilerade luftspalter längs golv och väggar anslutna till en frånluftsfläkt.

Att bygga ventilerade luftspalter över golv på mark i hus med eller utan källare och längs insidan på källarytterväggar kan vara ett bra alternativ till åtgärder enligt kapitel 6.3.4, då svårighet föreligger att sänka markluftrycket på erforderligt stor yta genom sugnig på ett fåtal ställen.

6.3.2 Ventilationstekniska åtgärder i småhus med kryppgrund

De åtgärder, som behöver vidtagas i ett hus på s k kryppgrund eller torpargrund, skiljer sig på intet sätt från åtgärder i andra hustyper, om byggnadsmaterialet enbart är källan till en förhöjd radonotterhalt. Står byggnaden däremot på mark, som har en förhöjd radonavgång, kan denna radontransport förhindras genom åtgärder i själva kryplådan. En metod har prövats i projektet och finns redovisad i kapitel 7.2.3. Denna går i korthet ut på att husets uteluftsventilerade kryppgrund ändrades till inneluftsventilerad genom att ventilerna i grundmurarna sattes igen, murarna värmeisolerades på insidan, varefter frånluften från bostadsutrymmena släpptes ned i kryplådan. En fläkt installerades för att underlätta luftväxlingen i lådan och säkerställa ett undertryck i denna gentemot bostaden. För att dämpa radonavgången från markytan och därmed få en extra säkerhet göts en betongplatta på marken i kryplådan.

Ventilationen i en uteluftsventilerad kryplåda kan förbättras genom att flera ventiler sätts in i grundmurarna, alternativt kan en mindre fläkt monteras. Denna måste dock installeras så, att den suger luft från kryplådan, annars kan ännu mera radon tränga upp i bostadsplanet. Ökas ventilationen i kryplådan genom att mer uteluft får passera denna, måste man vara observant på dels risken för uppfrysning av marken under grundsulorna och dels risken för sönderfrysning av de vatten- och avloppsledningar, som finns i kryplådan. Dessutom sänks temperaturen i bjälklaget vintertid med kallare golv som följd, om det inte samtidigt tilläggsisolerats.

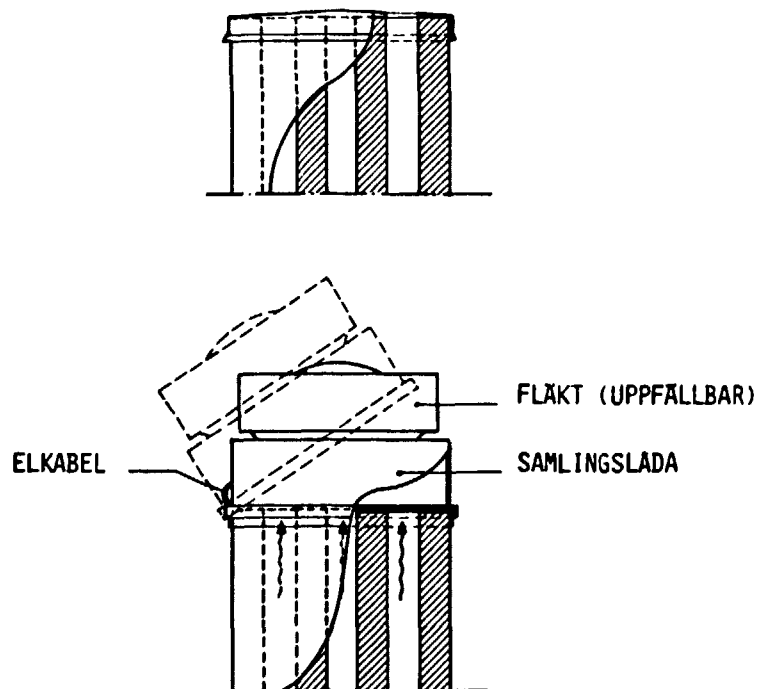
6.3.3 Ventilationstekniska åtgärder i flerbostadshus

I flerbostadshus av gasbetong är det vanligt att endast ytterväggar och icke bärande mellanväggar är uppförda i detta material. Lägenhetsskiljande väggar och trapphusväggar är p g a främst ljudisoleringskrav tillverkade av betong eller annat tungt material. Bjälklagen består av platsgjutna eller prefabricerade betongplattor. Detta gör att andelen byggnadsmaterial, som kan ha en hög radonexhalation är relativt liten, vilket delvis förklarar att högre radonotterhalter endast uppmätts i få fall i flerbostadshus. Bostäder i nedre planet i källarlösa flerbostadshus kan dock påverkas av radon från marken på samma sätt som småhus.

Många flerbostadshus har idag F-system, d v s luften sugs mekaniskt ut ur lägenheterna. Det torde i de allra flesta fall vara tillräckligt ur radonsynpunkt, att befintlig anläggning ses över och justeras, så att den verkligen ger 0,5 oms/h i lägenheterna, framför allt i sovrummen. Detta kan kräva att ventiler monteras in, där sådana saknas. En nedvarvning av fläktar nattetid bör ej få förekomma, om radonotterhalten i sovrummen därmed stiger till en oacceptabel nivå.

Ventilationen i många hus med självdrag kan förbättras genom en enkel ombyggnad av skorstenstoppen, som därvid också kompletteras med en fläkt. Kanalerna ses över, rensas och tätas, om så erfordras. För att möjliggöra en inreglering av systemet måste befintliga ventiler bytas ut mot moderna frånluftsdon med större tryckfall än de som finns i S-systemet. Dessutom måste

man se till att erforderlig mängd luft kan komma in för att ersätta den, som sugts ut. Detta kan liksom vid F-system, kräva att tilluftsventiler monteras i lämpliga rum.



Figur 6.10. Takfläkt monterad på skorstenstopp för att förbättra ventilationen i ett hus med tidigare S-system.

Många människor har dörrarna stängda mellan olika rum eller mellan rum och hall framför allt på natten. Därför måste man kontrollera att ventilationen fungerar tillfredsställande även i tillstängda rum. Om så ej är fallet kan en ventilations-springa fräsas upp i dörrkarmens övre del, karmöverstycket, eller ett separat överluftsdon fällas in i väggen på lämpligt ställe.

I bostäder, där markradon påverkar radondotterhalten, förfars lämpligen på samma sätt som i småhus med motsvarande problem d v s

- undertrycket i lägenheterna minskas så långt möjligt genom tillförsel av tilluft genom ventiler eller helst genom mekanisk inblåsning.
- eventuella, synliga sprickor och andra otätheter i betongplattan, tätas enligt kapitel 6.2.4.
- lufttrycket i marken under plattan minskas genom åtgärd enligt kapitel 6.3.4.

6.3.4 Ventilation av mark invid och under byggnad

Luftrycket inomhus är ofta lägre än i den omgivande marken. Detta är mest markant i hus med F-system och under eldnings-säsongen i hus med självdragsventilation. I dessa hus skapas ett undertryck genom fläktens sugkraft respektive genom luftens termiska stigkraft betingat av temperaturdifferensen inne-ute. Denna luftrycksskillnad kan förorsaka att luft sugas in från marken genom sprickor och andra otätheter, t ex vid rör genomgångar och rensluckor, i golv och källarytterväggar. I vilken grad radonhalten inomhus påverkas av markradonet beror på

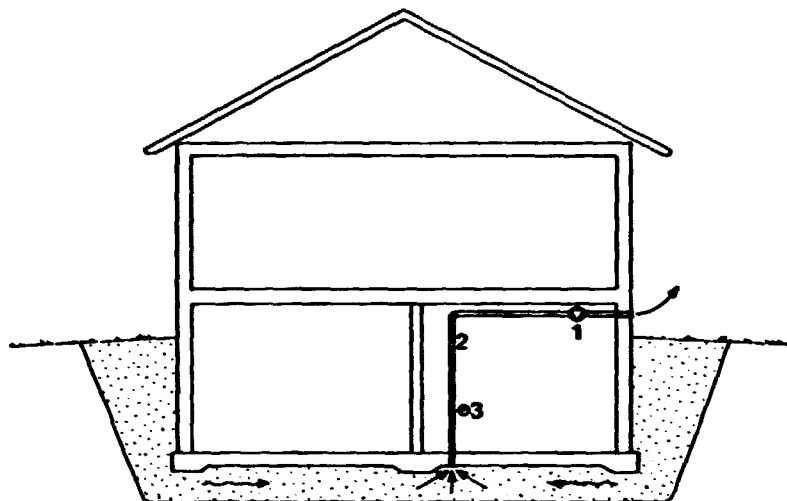
- . luftomsättningen inomhus
- . tryckdifferensen markluft-inomhusluft
- . omfattningen av och storleken hos sprickor och andra otätheter
- . markens luftgenomsläplighet
- . markluftens radoninnehåll

Lämpliga åtgärder mot radoninträngning från mark bör därför riktas mot en eller flera av dessa förhållanden. Första åtgärd bör vara att täta de synliga sprickor och andra otätheter, som kan finnas i golvet vid bl a rör genomgångar och längs bärande källarväggar samt sprickor och skador i källarytterväggar.

En ökning av luftomsättningen genom installation av balanserad ventilation, d v s FT-system med lika tillufts- och frånluftsflöden, sänker även tryckdifferensen markluft-inomhusluft och har därför en god inverkan på radoninströmningen. Är radon-dotterhalten mycket hög, är det dock svårt att med rimlig luftomsättning få ner den till acceptabel nivå.

En annan metod att sänka tryckdifferensen eller till och med skapa ett undertryck under betongplattan är att på ett eller flera ställen dra ner en ventilationskanal, som med sin övre ände får mynna i hussockeln över mark. Kanalen förses med en mindre kanalfläkt, som säkerställer den erforderliga sugkraften i kanalen. Effekten av denna åtgärd beror på hur det undertryck, som uppstår vid kanalmynningen, kan fortplantas vidare ut under betongplattan. Djupt neddragen grundläggning av bärande väggar kan t ex vara effektiva spärrar mot denna tryckutjämning under plattan. Om risk för tjälskjutning föreligger, måste man vara observant på hur mycket luft som på detta sätt dras ner till grundläggningsnivån framför allt vid suterränghus och källarlösa hus. Även vatten- och avloppsledningar under golvplattan kan skadas, om marken kyls ner allt för kraftigt.

Radon från aktiv mark utanför en källarvägg bör kunna förhindras att tränga in genom väggen genom att denna utvändigt förses med antingen ett tätt skikt av asfaltemulsion enligt kapitel 6.3.2 eller en luftspalt, som kan utbildas med en skiva på distans från väggen t ex typ Platon. Luftspalten måste sannolikt anslutas till en fläkt för att erforderligt undertryck skall erhållas mellan vägg och mark.



- 1 Kanalfläkt
- 2 Rund kanal av förzinkad plåt eller PVC
- 3 Manometer

Figur 6.11. Att sänka lufttrycket under en betongplatta på mark kan vara en effektiv metod mot radoninträngning underifrån. En manometer för mätning av lufttrycksdifferensen kanal-rum bör monteras.

Ett alternativ till ovanstående metoder kan den under kapitel 6.3.1 omnämnda åtgärden, att invändigt bygga en ventilerad luftspalt, vara.

6.3.5 Luftfilter

Radondöttrarna är metallatomer, som har stor benägenhet att fastna på dammpartiklar i luften. Vanliga dammfilter i en ventilationsanläggning samlar därför upp de radondöttrar, som är bundna till dammet. Även fria radondöttrar kan samlas upp i ett filter.

I luft med mycket litet damm kommer andelen fria radondöttrar att vara större, då det tar längre tid, innan dessa fastnar på dammpartiklarna i luften. Eftersom de fria radondöttrarna anses ha större betydelse ur risksynpunkt, kan en filtrering av luften inte med säkerhet minska riskerna.

6.4 Ändrad lokalanvändning

I många småhus används ett eller flera rum i källarvåningen som bostadsrum framför allt till barn och ungdom. Detta är givetvis olämpligt, om ventilationen inte är anpassad för detta användningssätt eller om radonhalterhalten är för hög.

När källan till ett radonproblem i ett småhus finns i byggnadsmaterialet i dess källarvåning eller i marken däromkring, bör radonhalterhalten i bostadsplanet kunna sänkas, genom att luften i källarvåningen förhindras tränga upp i våningsplanet. Detta kan ske genom tätning av springor och andra otätheter i bjälklaget samt med en tättslutande dörr mellan planen. Källaren kan sedan ventileras förslagsvis genom att uteluft tas in genom befintliga ventiler och sugts ut med hjälp av en liten fläkt, som monteras i en källaryttervägg på en plats där största möjliga del av källaren blir ventilerad. I moderna småhus med sin öppna planlösning kan det dock vara svårt att skärma av källarvåningen.

7 BESKRIVNING AV OBJEKT OCH UTFÖRDA ÅTGÄRDER

7.1 Val av objekt

När projektet startades hade man inte identifierat andra hus med höga radonhalter orsakade av marken än de här beskrivna. Den lilla by, där dessa hus var belägna, utpekades i massmedia och frågan blev även delvis politisk. Det var därför helt naturligt att dessa sex hus togs med i programmet. Det var inte aktuellt att söka andra hus med markproblem av annan natur och det fanns inte någon organiserad inrapportering av eventuella uppmätta höga halter till de centrala myndigheterna.

Syftet var att projektet skulle ge exempel på lösningar användbara i största möjliga andel av de byggnader, som har förhöjd radonhalt. Genom strålskyddsinstitutets mätningar var det känt att i småhus med en stor del av stommen av den mer aktiva skifferbaserade gasbetongen och luftomsättning betydligt under 0,5 oms/h kunde radonhalten stiga till höga nivåer. Det låg mycket nära till hands att förutsätta att en ökad luftomsättning skulle leda till motsvarande reduktion av radonhalten. Syftet med att inkludera fyra småhus av skifferbaserad gasbetong i projektet var därför inte primärt att studera den ökade luftomsättningens betydelse på radonhalten utan att studera praktiska problem och möjligheter att lösa dessa i de fall man önskar installera mekanisk ventilation i hus, där planlösning och konstruktion gör det svårt att finna lämpliga utrymmen för kanalsystem, fläktar och värmeväxlare.

Installation av FTX-ventilation prövades i två hus där det saknades möjlighet att placera fläktar och värmeväxlare i vindsutrymme. Dessa placerades i ett vidbyggt garage respektive i källaren. Kanalerna kunde i det ena fallet dras i det trånga vindsutrymmet, men i den andra villan var detta omöjligt och kanalerna drogs under innertaket, som samtidigt sänktes. I hus 154, som är ett tvåvånings radhus med platta på mark, fanns varken vindsutrymme eller biutrymme där ventilationsaggregat kunde placeras. Kanaldragnings skulle dessutom ha blivit synlig i bostadsrummen. Eftersom detta hus inte hade skifferbaserat material i bjälklagen befanns det lämpligt att pröva möjligheten att minska radonavgången från väggarna genom tapetsering med aluminiumfolie. Folien är diffusionstät och det kan därför finnas risk för fuktskador, om den monteras på insidan av källarväggar. I syfte att belysa dessa risker i ett hus med bevisligen väl fungerande dränering och yttre fuktskydd användes aluminiumfolie på insidan av källarväggar av skifferbaserad gasbetong i hus 187.

Från början övervägdes även att inkludera något flerfamiljshus av skifferbaserad gasbetong i projektet. De mätresultat som successivt kom fram från andra projekt tydde på att det i allmänhet inte förekommer så höga radonhalter i flerfamiljshus, varför detta projekt begränsades till småhus.

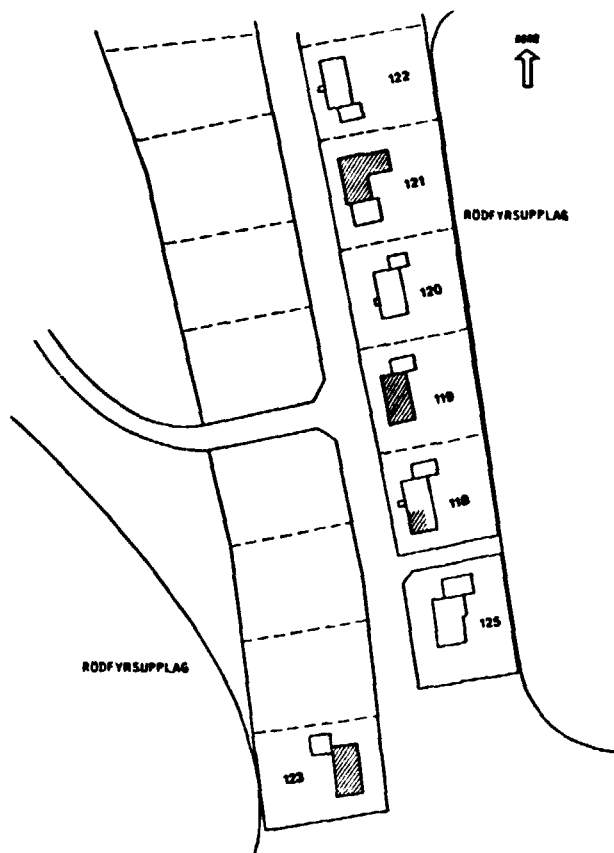
7.2 Hus på eller omgivna av aktivt jordmaterial

Hus 118-123 och 125 är belägna inom samma område och uppförda i början av 1970-talet med undantag av hus 125, som byggdes 1978.

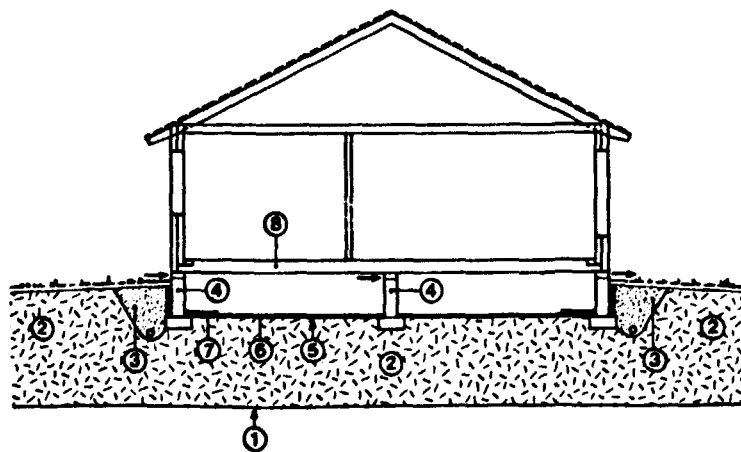
Väster om landsvägen på situationsplanen, figur 7.1, fanns ett antal ugnar för kalkbränning. Avfallet härifrån, s k rödfyr, placerades i en stor tipp strax intill vägen och senare även på ett område öster därom. Mellan dessa deponeringsplatser gick en dekåvilljärnväg på en bank uppfyllt med rödfyr tvärs över den senare bildade fastigheten med hus 123. Området omedelbart öster om landsvägen låg 2-3 m lägre än denna och fylldes därför upp, innan det avstyckades till ett antal villatomter. Denna uppfyllning skedde med det material, som fanns på platsen i överflöd, nämligen rödfyr. När husen 118-122 skulle byggas, krävde en förutseende kontrollant, att det lager rödfyr, som fanns under respektive hus grundläggningsnivå, skulle schaktas bort och ersättas med grus. Detta var dock betingat av risken för sättning i den relativt nyligen utplanerade fyllningen och ej av eventuella radonproblem. Hus 123 grundlades däremot i rödfyrslagret, som där var mycket bättre packat, eftersom det dels var en betydligt äldre utfyllnad och dels använts som transportväg.

Ägaren till hus 125 var vid detta hus uppförande medveten om radonrisken och schaktade därför bort all rödfyr under grundläggningsnivån samt återfyllde med grus mot grundmurarna.

Samtliga hus utom hus 123 är uppförda i ett plan och med hel källarvåning. Hus 123 är också i ett plan men med s k krypgrund. Inget av husen är byggda i blå gasbetong eller annat aktivt material. Ventilationen är av typ självdreg plus spisfläkt utom i hus 125, som har mekanisk frånluftssystem.

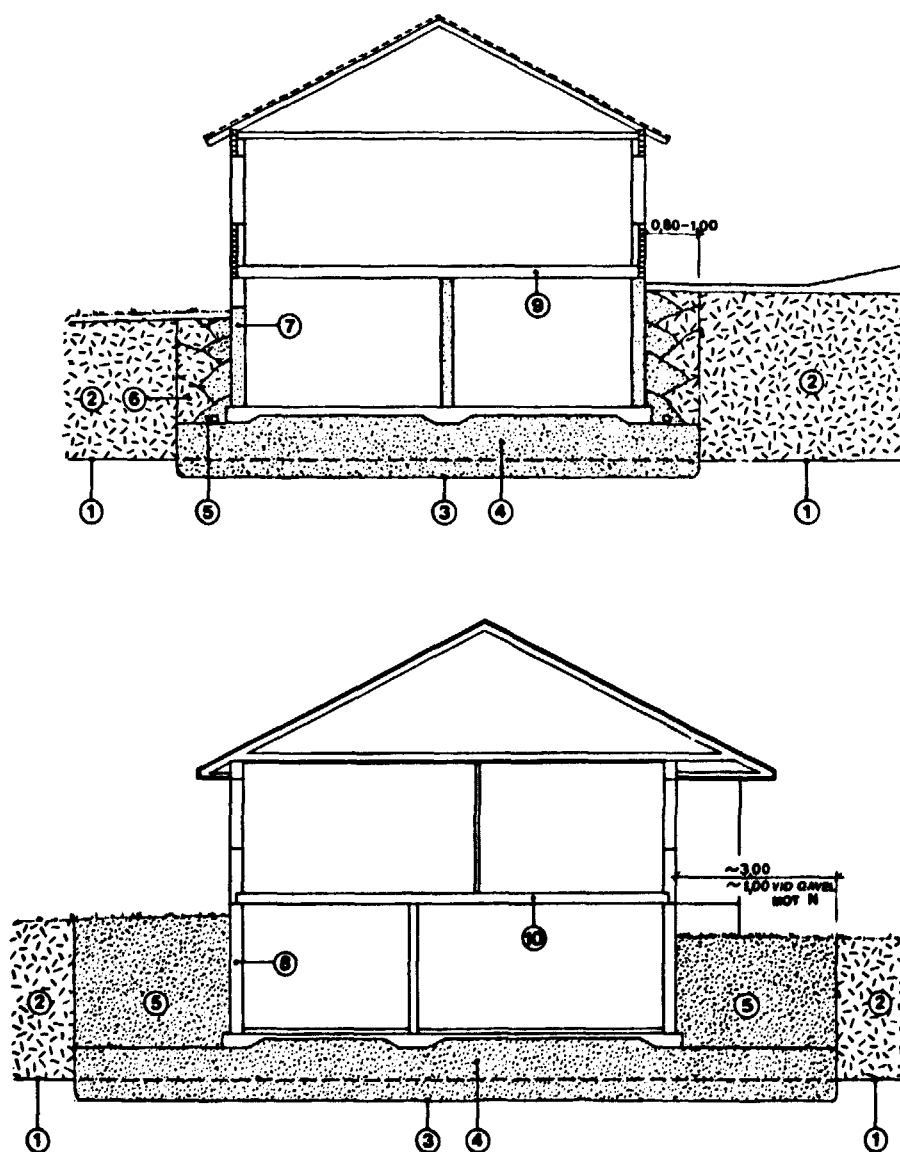


Figur 7.1. Situationsplan över området med hus 118-123 och 125.



Figur 7.2. Sektion genom hus 123.

- | | | | |
|---|--|---|-------------------|
| ① | Ursprunglig marknivå | ⑤ | Plastfolie |
| ② | Uppfyllning med rödfyr | ⑥ | Sand |
| ③ | Återfyllning med grus | ⑦ | Mineralullsskivor |
| ④ | Grundmur av betonghålsten
med ventilationsöppningar | ⑧ | Träbjälklag |



Figur 7.3. Sektion genom hus 118-122 respektive hus 125.

- | | | | |
|---|--|---|--|
| ① | Ursprunglig marknivå | | |
| ② | Uppfyllning med rödfyr (utfört innan husen byggdes) | | |
| ③ | Schaktbotten (fast mark under tidigare vegetationställe) | | |
| ④ | Uppfyllning med grus | | |
| ⑤ | Aterfyllning med grus | | |
| ⑥ | Aterfyllning med rödfyr (troligt utförande) | | |
| ⑦ | 2 strykningar med kallasfalt + slänning med | | |
| | | ⑧ | cementbruk + 250 mm betonghålstén (hus 121 lättklinkerblock) + puts |
| | | ⑨ | 2 strykningar med kallasfalt + slänning med cementbruk + 300 mm sandbaserad gasbetong + puts |
| | | ⑩ | Träbjälklag Sandbaserad gasbetongbjälklag |

Styrgruppen för projektet föreslog fastighetsägarna att deras hus skulle åtgärdas i två etapper, där den första skulle omfatta

- ett hus åtgärdas genom installation av FTX-ventilation med tillräcklig kapacitet för att sänka radonhalter i källarvåningen under det provisoriska gränsvärdet för o:byggnad (200 Bq/m³), men med villkoret att energikostnaden inte skulle bli högre än om hela huset haft en luftomsättning på 0,5 oms/h utan värmeåtervinning.
- ett hus åtgärdas genom byte av fyllning inom erforderliga avstånd från grundmurarna.
- kryppgrundshuset åtgärdas genom mekanisk ventilation av kryplådan.
- försök med isolering mot radongasen genom att i något utrymme i en källarvåning bekläda insida yttervägg med aluminiumfolie.

Den andra etappen skulle sedan omfatta resterande hus med åtgärder, som skulle bestämmas med ledning av de erfarenheter första etappen givit.

Programmet kunde inte på olika omständigheter genomföras helt efter detta förslag. Ex slopades försöket med isolering genom uppsättning av aluminiumfolie, eftersom risk fanns för framtida fuktproblem i de aktuella utrymmena.

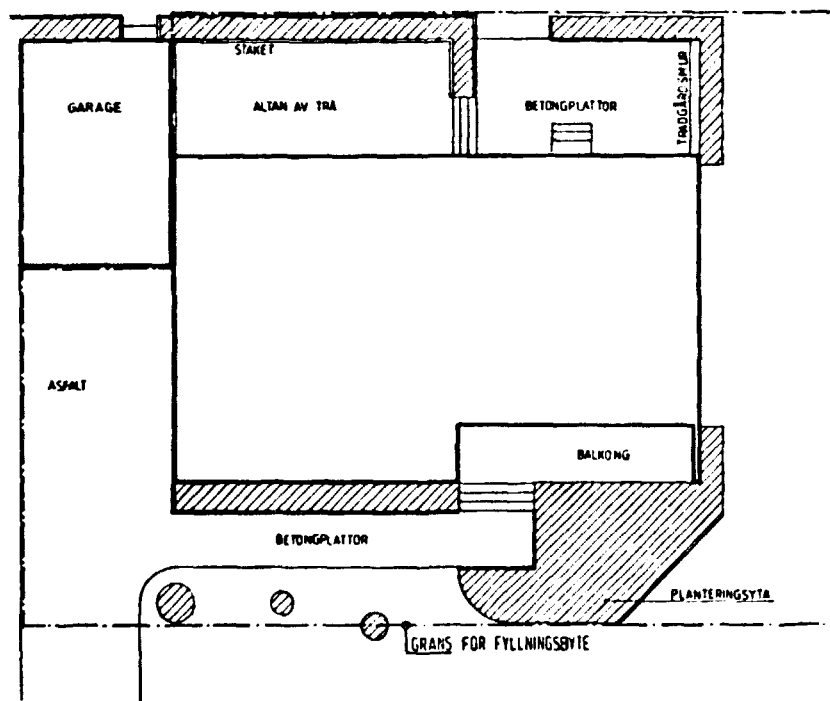
De åtgärder, som sedermera blev utförda i respektive hus, finns redovisade i kapitel 7.2.1-7.2.3.

7.2.1 Byte av aktivt jordmaterial

Hus 118-120 och hus 122 åtgärdades genom att fyllningen runt bostadshuset schaktades bort och ersattes med icke aktivt material. Rödfyren runt garagebyggnadens källarvåning och vid källaryttertrappan fick vara kvar, eftersom radonet därifrån ej bedömdes påverka radonhalten i bostaden nämnvärt.

Innan entreprenören påbörjade arbetena besiktigades området av en opartisk besiktningsman, som därvid upprättade ett besiktningsutlåtande. Därefter utfördes entreprenadarbetena omfattande

- upptagning av perenna växter och buskar, som rotslogs på annan plats.
- flyttning av betongplattor och trätrall från gångväg och uteplats
- nedmontering och flyttning av utstickande byggnadsdelar som entrétrappa och trädgårdsmur
- schaktning och borttransport av all fyllning (480-530 m³ fast mått) intill fyra meters avstånd från grundmurarna och ner till ursprunglig markyta



Figur 7.4. Område för fyllningsbyte vid hus 120.



Figur 7.5. Fyllningsbyte.

- . anskaffning av finkornig morän och återfyllning med erforderlig vibro-packning för att minska eftersjunkning. Prov på återfyllningsmaterialet insändes till SSI för godkännande, innan det fick användas.
- . omläggning av dräneringsledningar runt huset
- . återmontering entrétrappa och trädgårdsmur
- . finplanering omfattande ytor för gångväg och uteplats samt planterings- och gräsytor.

Slutbesiktning av opartisk besiktningsman.

I hus 121 installerades i första etappen FTX-ventilation, som beskrivs i kapitel 7.2.2. Efter utvärdering av denna åtgärds resultat företogs även vid detta hus byte av fyllning, vilket dock begränsades till husets baksida och runt hobbyrummet, som ligger i vinkel med källaren i övrigt. Detta läge gör att rummet har tre ytterväggar mot mark och därför i förhållande till sin volym är utsatt för betydligt större radoninträngning från marken än andra utrymmen i källarvåningen.

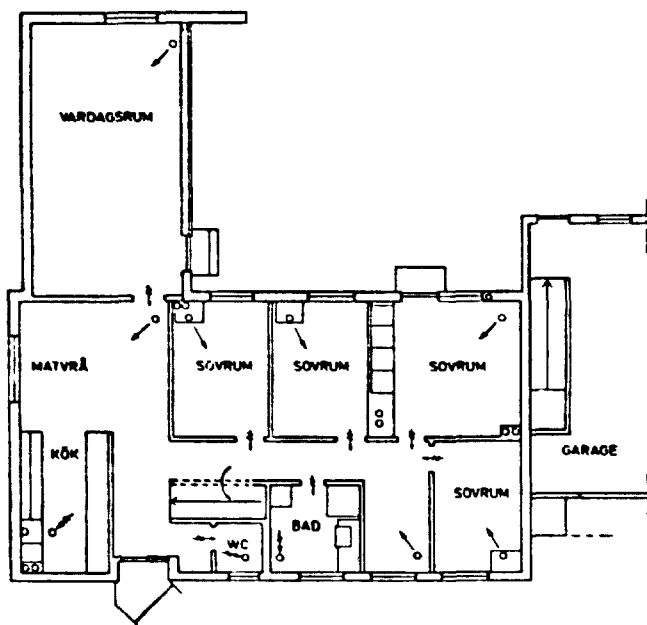
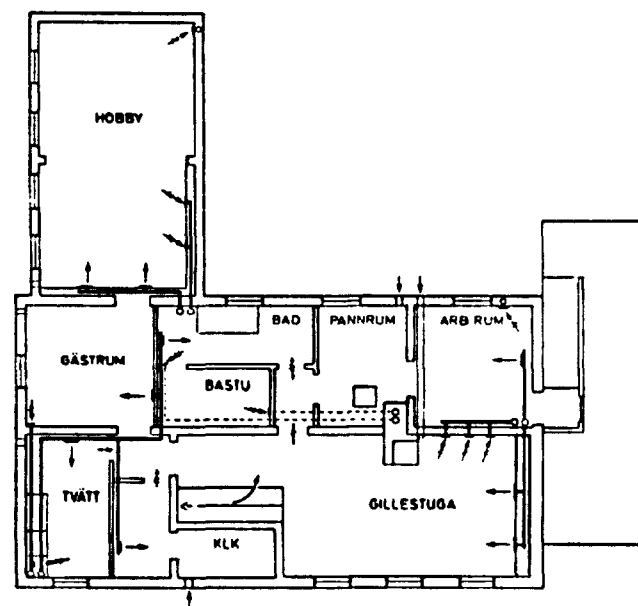
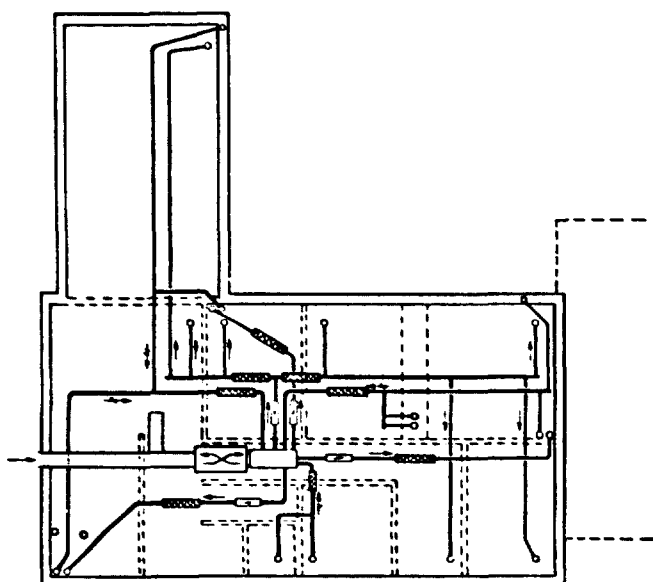
7.2.2 Installation av ventilationsanläggning

Hus 121 valdes för installation av FT-ventilation. Syftet med denna anläggning var att undersöka dels vilken effekt en balanserad ventilation skulle ha på radondotterhalten, eftersom denna orsakades av radon från marken, och dels om det var praktiskt möjligt att genom en forcerad ventilation i källarplanet hålla radondotterhalten såväl där, som i våningsplanet, på en acceptabel nivå.

Ventilationsanläggningen projekterades efter kraven att

- . luftsomsättningen i våningsplanet skall vara 0,5 oms/h
- . luftsomsättningen i källarplanet skall vara 3,0 oms/h i ett första skede, därefter skall den regleras in till 2,0 oms/h, 1,0 oms/h och slutligen 0,5 oms/h.
- . tilluft i första hand till samtliga sovrum
- . frånluft enligt Svensk byggnorm, d v s vissa bestämda flöden från kök, wc och badrum i våningsplanet. Över-skottsluften i detta plan sugs ned till i källarvåningen belägna gillestugan, som står i öppen förbindelse med matrum-allrum.
- . hobbyrum ventileras genom egna tillufts- och frånluftskanaler
- . värmeåtervinningsaggregat installeras för att begränsa energibehovet.

Ventilationsanläggningen, som levererades och installerades av AB Svenska Fläktfabriken, är av typ KDAM med roterande värmeväxlare och beskrivs i figur 7.6.



Figur 7.6. Ventilationsanläggning i hus 121.

Efter utförda mätningar och utvärdering av resultatet beslöts att ventilationsbehovet i första hand i hobbyrummet skulle minskas genom ett fyllningsbyte runt detta, se kapitel 7.2.1. Nya mätningar efter utfört fyllningsbyte visade att en luftomsättning på 0,5 oms/h skulle vara tillräckligt i hela huset. De för detta ventilationsbehov överdimensionerade fläktmotorerna byttes ut mot betydligt mindre och mera energisnåla motorer, som dessutom försågs med tyristor för reglering av varvtalet. Anläggningen justerades därefter in till 0,5 oms/h.

7.2.3 Åtgärder i hus med kryppgrund

Ett av husen i gruppen, hus 123, avvek från de övriga i sin konstruktion och grundläggning. Figur 7.2. Detta hus var uppfört på en uteluftsventilerad sk kryppgrund med grundmurar av betonghålsten på betongsulor ca 1,0 m under markytan. Avståndet från den nuvarande markytan till den ursprungliga under rödfyrslagret var 2-3 m, d v s detta lagers mäktighet under grundläggningsnivån var 1-2 m. Bjälklaget över kryppgrunden var av prefabricerade element med träbjälkar. Grundlådan ventilerades genom fyra ventiler i yttergrundmuren på respektive långsida i enlighet med Svensk Byggnorm, vilket dock var klart otillräckligt för att hålla radonhalten i lådan på rimlig nivå. Genom det undertryck ett vanligt självdragssystem skapar inomhus under eldningssäsongen, sögs radon upp genom bjälklaget. Denna radontransport ökades ytterligare, när spisfläkten användes för att ventilerast bostaden och tillräcklig mängd ersättningsluft inte kom in genom fönster eller ventiler.

För att få ned radonhalterhalten inomhus i väntan på en överenskommelse om åtgärd, monterades en fläkt provisoriskt i grundmuren på husets ena gavel. De närmaste ventilerna sattes igen för att luften i så stor del av kryplådan som möjligt skulle omsättas. Att komplettera denna åtgärd och göra den permanent var i sig möjlig, men utfördes ej bl a beroende på dels risken för tjälning under grundsulorna vid för kraftig ventilation i kombination med låg utetemperatur och dels risken för kondensering av vattenånga i träbjälklaget, eftersom metoden förutsätter ett undertryck i kryplådan gentemot bostaden.

Ett fyllningsbyte under detta hus är tekniskt möjligt, men förenat med risker för sättningsskador i husstommen, eftersom urschaktning måste göras även under grundmurarna. Dessutom skulle en sådan åtgärd ställa sig mycket kostsam beroende på

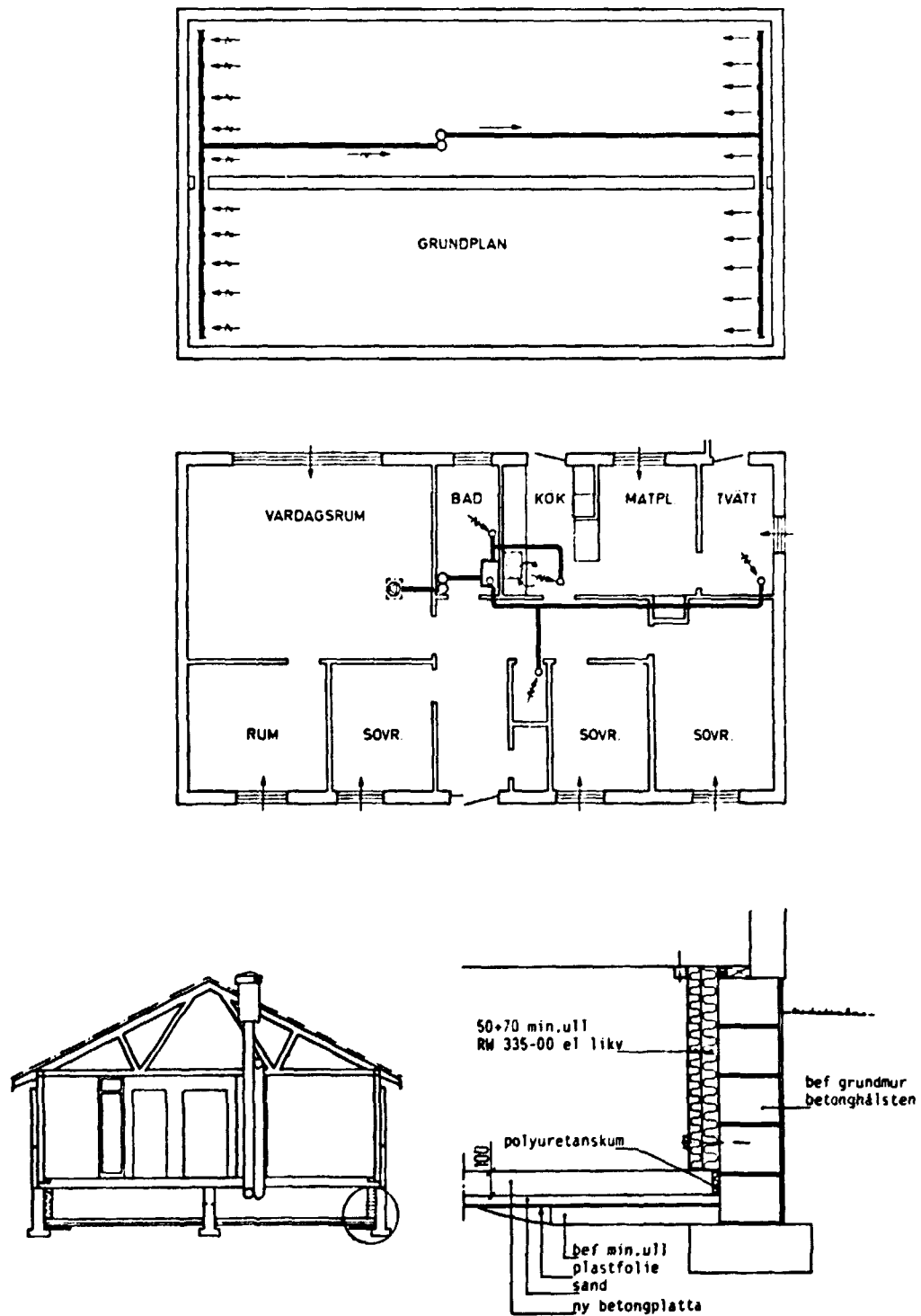
- . schaktning under befintligt hus
- . ny grundläggning på den ursprungliga marken, vilket måste utföras i etapper.
- . byte av fyllningen runt bostadshuset i ungefär samma omfattning, som vid de övriga husen i gruppen.

Den slutliga lösningen blev, att grundlådan byggdes om till ineluftsventilerat utrymme innebärande

- . igensättning av befintliga ventiler i grundmurarna
- . värmeisolering av yttergrundmurarnas insidor
- . installation av fläkt, som genom befintliga kanaler suger luft från badrum, wc och tvättstuga samt genom nytt frånluftsdon luft från köket. Denna luft fördelas ut i kryplådan längs ena gaveln.
- . installation av fläkt, som genom uppsamlingskanal längs motstående gavel i kryplådan suger ut luft från denna.

Fläktarna justerades in så att ett undertryck erhöles i kryplådan jämfört med bostaden samt kopplades samman över en gemensam tyristor för varvtalsreglering. Spisfläkten byttes mot en kolfilterfläkt, eftersom lufttrycksdifferensen skulle ändras på ett icke önskvärt sätt, när den användes. Tilluft till bostaden tas genom befintliga otätheter i ytterväggar och vindsbjälklag. Som en extra säkerhet mot radonexhalationen från markytan i kryplådan göts en betongplatta, som armerades med kamstål för att minska dess sprickbenägenhet. Mellan plattan och grundmurarna gjordes en 20 mm bred ursparing. Denna fylldes några dagar efter gjutningen med polyuretanskum. Dessutom tätades fogarna i träbjälklaget med tejp med god åldringsbeständighet. Figur 7.7. Den i kapitel 6.2.3 omtalade metoden att belägga markytan med en typ av asfaltemulsion, var vid denna tid ej tillräckligt känd.

Den av frånluften uppvärmda kryplådan ger en icke oväsentlig värmeåtervinning, eftersom värmetransmissionen genom bjälklaget, blir betydligt mindre, vilket bidrar till att minska energiökningen p g a fläktinstallationen och den ökade luftomsättningen.



Figur 7.7. Förbättrad ventilation i hus 123. Ombyggnad av kryplåda från uteluft- till inneluftventilerad låda.

7.3 Hus med aktivt byggnadsmaterial

Husen 154, 186-188 är helt, sånär som på vindsbjälklaget, eller delvis byggda i skifferbaserad gasbetong (även kallad blå gasbetong, blå lättbetong eller blåbetong). Dessa hus valdes för att

- . undersöka möjligheterna att installera en FT-ventilation i hus med begränsade utrymmen för trummor och aggregat samt kostnaderna i samband därmed
- . undersöka vilken effekt en isolering av väggytorna har på radondotterhalten, eventuella problem vid applicering samt kostnader härför.

7.3.1 Beklädnad med aluminiumfolie

Laboratorieprov visade att en viss typ av laminerad aluminiumfolie gav ett gott skydd mot radongenomträngning. Hus 154 och 187 ansågs lämpliga för prov med denna aluminiumfolietapet, eftersom endast väggarna var av aktivt byggnadsmaterial (blå gasbetong). Arbete med aluminiumfolie, som väggbeklädnad i bostadshus, är förbjudet i Sverige enligt meddelande 1975:31 från Arbetarskyddsstyrelsen. Dispens söktes hos Arbetarskyddsstyrelsen och erhöles för dessa två hus under förutsättning att

- . strömmen är avstängd medan man tapetserar.
- . kontroll och övervakning görs med hänsyn till ev strömförande folie och brandfara i samband med att strömmen åter kopplas till
- . den elektriska installationen i fastigheten till alla delar utförs enligt gällande starkströmsföreskrifter
- . alla fast monterade elkaminer är skyddsjordade och fast anslutna
- . elanläggningen i huset inkopplas över en eller flera strömkännande jordfelsbrytare
- . uppgift om regelbunden kontroll av jordfelsbrytarnas funktion anslås vid brytarna
- . vid gruppcentralen (-centralerna) anbringas en tydlig och hållbar varningsskylt mot åverkan med spik, skruv eller andra metallföremål genom metallfolien mot i väggen infällda elektriska starkströmsledning
- . personal från Statens elektriska inspektion, Stockholm, bereds tillfälle att närvara vid uppsättningen av metallfolierna, varvid förbehålles att kompletterande skyddsåtgärder vid behov kan föreskrivas

Hus 154 är ett tvåvånings radhus utan källarvåning. Samtliga väggar i byggnaden är av skifferbaserad gasbetong. Bjälklagen är tillverkade av betong (golv på mark), sandbaserad gasbetong (mellanbjälklag) och trä (vindsbjälklag-yttertak).

Hus 187 är en enplans friliggande villa med källarvåning (suttarrängvåning). Väggar i nedre planet är uppförda av skifferbaserad gasbetong med undantag av ett par mindre, icke bärande mellanväggar. Golv på mark är gjutet i betong. Bjälklaget över källarvåningen samt huset däröver är av typ prefabricerat trähus.

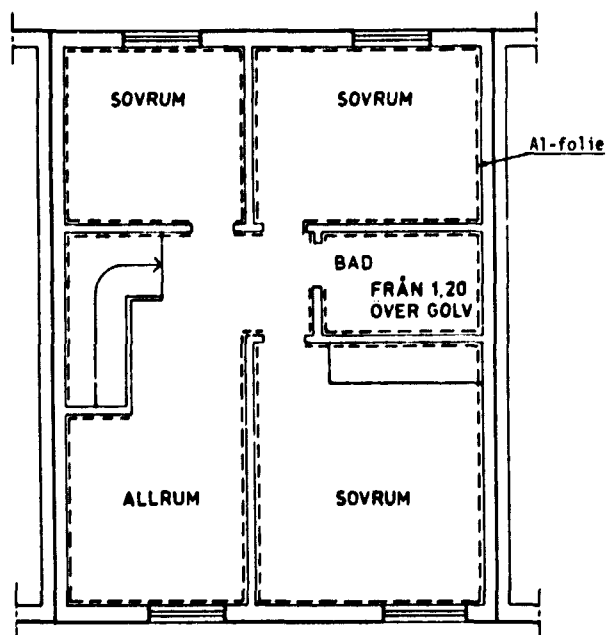
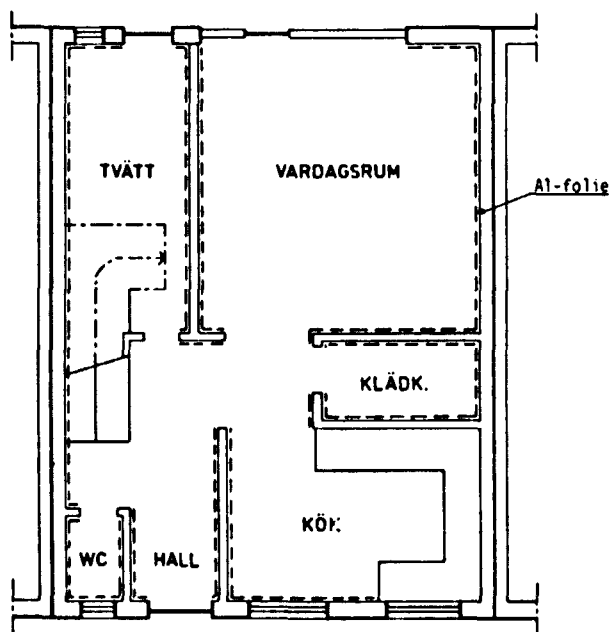
I dessa båda hus bekläddes invändiga, ej kakelsatta, ytor på gasbetongväggar med en typ av aluminiumfolietapet, som framtagits av Gränges Aluminium för detta ändamål, figurer 7.8 och 7.9. Tapeten beskrivs i kapitel 6.2.1.

Arbetsgången för uppsättning av folien var:

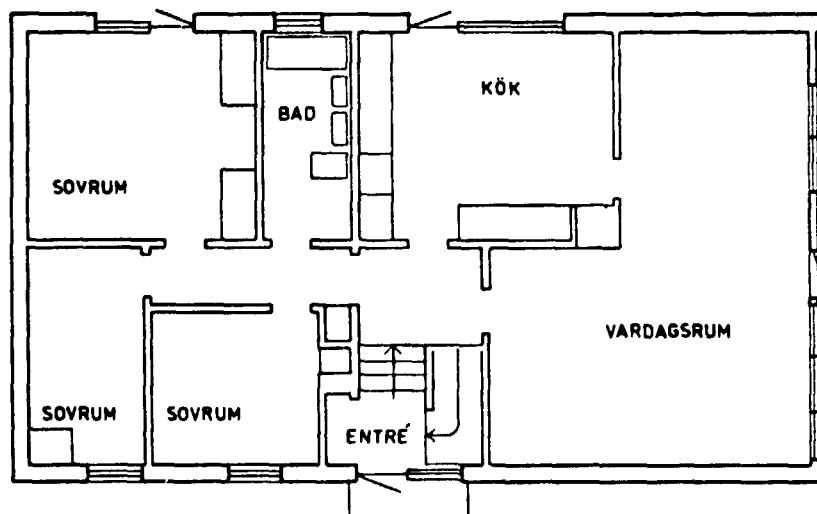
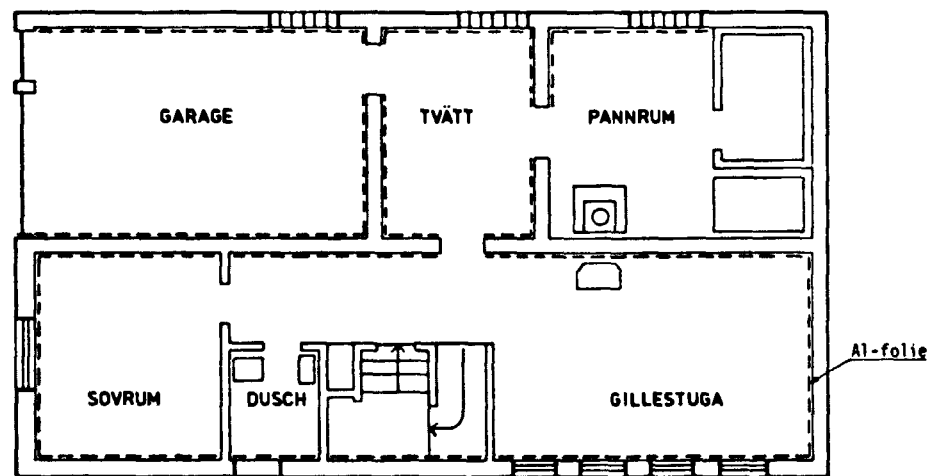
- 1 Garderobskåp, sockel- och foderlister togs bort. I hus 187 togs även porösa träfiberskivor på väggar i ett rum bort. Köksskåp avlägsnades ej.
- 2 Värmeradiatorer (el- i hus 154 och vatten- i hus 187) monterades ned.
- 3 Normal underbehandling för tapetsering utfördes. Vävkädda ytor bredspacklades. Eventuella skador och håligheter i golvvinklar lagades ut.
- 4 Aluminiumfolien sattes upp, varvid lim avsett för våtrumstapet användes. Under tapetskarvar sattes 90 mm breda aluminiumremсор. Tapetseringen var litet besvärlig i början för den ovane målaren, eftersom tapeten inte gick att sträcka eller töja som en vanlig pappers- eller vinyltapet. Stor omsorg måste också ägnas åt att få bort alla luftbubblor bakom våderna. Tapeten drogs ut några millimeter på dörr- och fönsterkarvar dock inte mer än vad som skulle komma att täckas av foder- eller smyglistor. Vid elapparater (eluttag, strömbrytare o dyl) skars folien mot täcklocket, för att inte aluminiumskiktet skulle komma i kontakt med metalldelarna i dessa.
- 5 Efter erforderlig skarvspackling behandlades väggytorna på likartat sätt som före behandlingen, d v s målning och tapetsering utfördes direkt på aluminiumfolietapeten i förut målade resp tapetserade utrymmen.
- 6 Garderobskåp och radiatorer återmonterades. Erforderliga lister sattes upp.

Jordfelsbrytare installerades mellan elmätare och -central för att minska eventuella risker för person- eller materialskada, om aluminiumfolien av någon anledning skulle kunna bli spänningsförande.

Aluminiumfolie bör inte sättas på väggytor, där risk för fuktskada kan förefinnas, t ex i vissa källarvåningar. Eftersom den är helt diffusionstät kan inte eventuell fukt i väggen torka upp genom folien. Folien kommer i stället att lossna genom att fukten löser upp limmet. Likaså tillråds försiktighet att använda folien, om man planerar att tilläggsisolera väggen invändigt. Folien skall för att få bästa effekt placeras direkt på gasbetongytan. En värmeisolering innanför folien (på rumsi-



Figur 7.8. Beklädnad av väggar i hus 154 med aluminiumfolie-tapet. Streckad linje markerar behandlad väggyta.



Figur 7.9. Beklädnad av väggar i hus 187, källarvåning, med aluminiumfolietapet. Streckad linje markerar behandlad väggyta.

dan om folien) kan, om dess värmemotstånd är för god i förhållande till övriga väggens motstånd, orsaka kondensering av vattenånga på folien. Ett tätt plastfolieskikt innanför värmeisoleringen kan dock minska denna risk. Hus 187:s ägare hade, innan källarväggarna i detta hus bekläddes med aluminiumfolie på eget initiativ kompletterat fuktskyddet utvändigt på yttergrundmurarna samt sett över dräneringsledningarna.

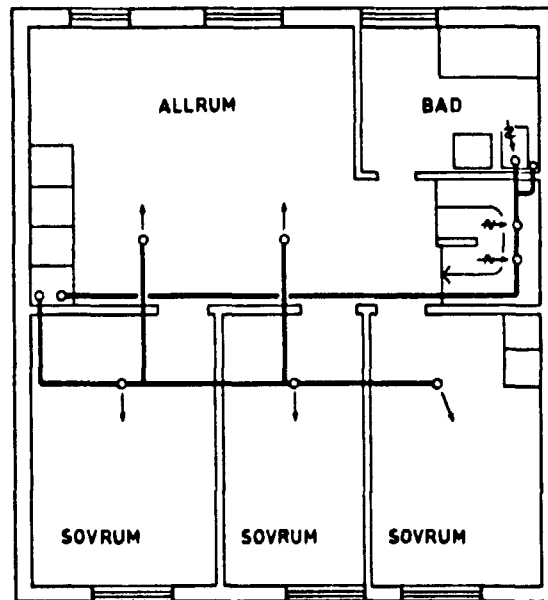
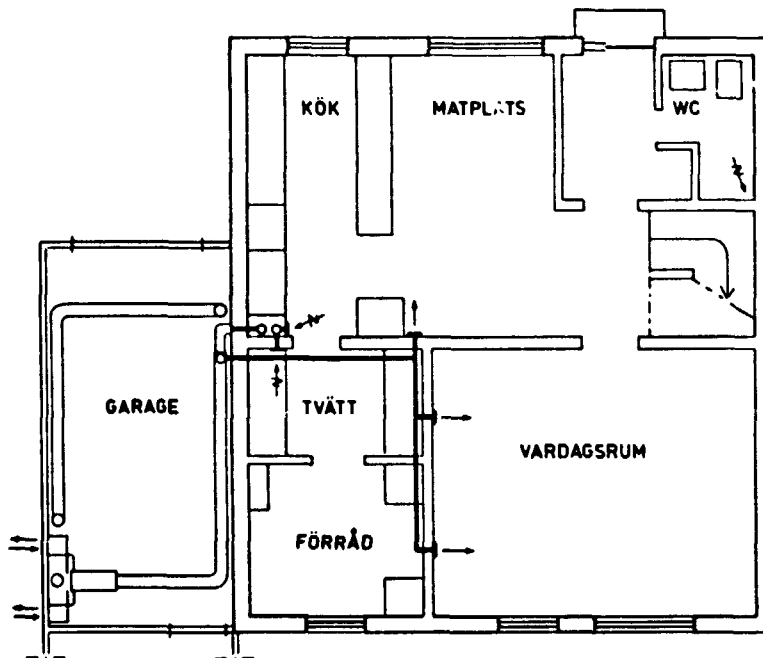
7.3.2 Installation av ventilationsanläggning

Hus 186 och 188 valdes för installation av FT-ventilation. Båda husen är friliggande villor i två plan utan källarvåning, nedre planet i hus 188 är suterrängvåning. Skifferbaserad gasbetong finns i hus 186 i samtliga väggar och bjälklag utom vindsbjälklaget samt i hus 188 i samtliga väggar. Husen ventilerades genom självdrag och med spisfläkt.

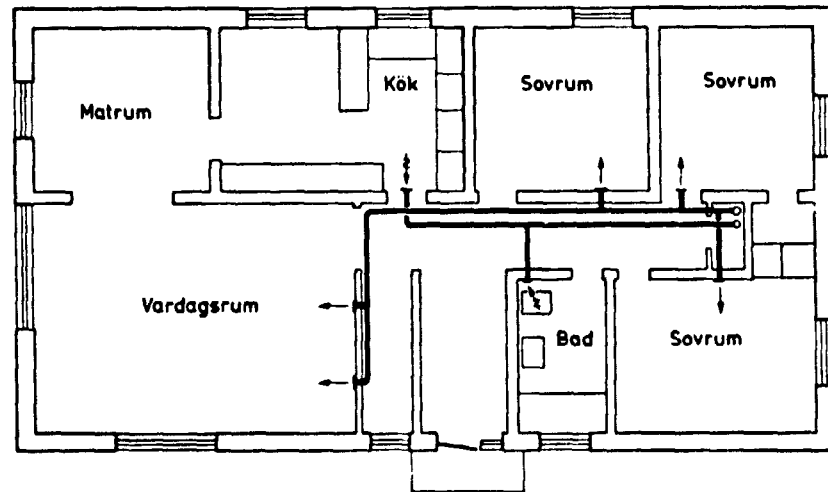
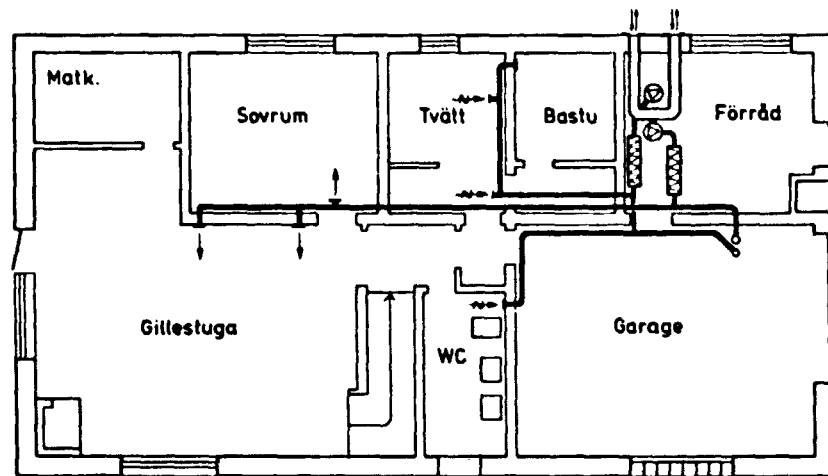
Ventilationsbehovet bestämdes till för hus 186 0,5-1,5 oms/h (160-480 m³/h) och för hus 188 0,5-0,8 oms/h (300-430 m³/h). Luftmängden skulle vara reglerbar inom dessa intervaller genom tyristorstyrda fläktar. För att begränsa energibehovet skulle värmeåtervinningsaggregat installeras.

Ventilationstrummor och -aggregat placeras vanligtvis i ett vindsutrymme. I hus 186 var det möjligt att lägga horisontella trummor i detta utrymme, däremot ej fläktpaketet. Hus 188 saknar helt vindsutrymme. Ett par luftbehandlingsföretag har utvecklat aggregat med värmeåtervinning, som kan placeras i skåpet över köksspisen, men luftkapaciteten hos dessa var för liten för att vara tänkbara i dessa fall. I samråd med blivande entreprenören H-A Ventilation AB, Stockholm och resp fastighetsägare bestämdes att i hus 186 skulle aggregatet kunna placeras på yttervägg i det vidbyggda garaget, vertikala trummor i befintlig slits i vägghörn i kök-allrum, horisontella på vindsbjälklaget. Figur 7.10. I hus 188 var enda lämpliga platsen för aggregatet i hobbyrummet, om det inte skulle placeras utanför byggnaden. Horisontella trummor hängdes upp dels i takvinkel i suterrängplanet och dels under taket i hallen, som därefter försågs med undertak. Figur 7.11. Tilluftsdon placerades i samtliga sovrum, vardagsrum och allrum. Frånluftsdon placerades i kök, ny placering, samt i badrum, wc och tvätt, där befintliga ventiler byttes mot reglerbara don. I hus 186 sattes dessutom två frånluftsdon i tak över våningstrappan. Fläkt över köksspis i hus 188 utbyttes mot spisfläkt med kolfilter. I hus 188 kompletterades dörrar mellan gillestuga-passage och passage-tvättstuga med överluftsdon, eftersom dessa dörrar var för täta för att erforderlig luftmängd skulle kunna passera, när de var stängda.

Om ett ventilationsaggregat placeras i ett garage eller om ventilationstrummor dras genom ett sådant utrymme förutsätts att dessa är så täta och isolerade att brand eller giftiga, illaluktande eller brännbara gaser ej kan spridas genom kanalerna från garaget till utrymme där personer vistas mer än tillfälligt.



Figur 7.10. Ventilationsanläggning i hus 186.



Figur 7.11. Ventilationsanläggning i hus 188.

7.4 Värmeväxlare

7.4.1 Värmeväxlare luft - luft

Värmeväxlare för tillvaratagande av värme i frånluft för förvärmning av tilluft har funnits på marknaden i flera decennier. På bostadssidan har dock dessa värmeväxlare fört en rätt tydande tillvaro och det är först efter den sista energikrisen som de till följd av den kraftiga kostnadsökningen på energin fått ett uppsving.

Det är i dagens läge rätt vanligt att värmeväxlare luft - luft installeras i småhus. Ofta installeras dessa växlare i samband med renovering av hus i syfte att sänka uppvärmningskostnaden. En del småhusfabrikanter installerar växlare som standard vid husleveransen, andra ger köparen möjlighet att välja apparater för energibesparing men där då ett av alternativen brukar vara just värmeväxlare luft - luft.

Några mer omfattande undersökningar rörande värmeväxlarens verkningsgrad under verkliga förhållanden har än så länge inte redovisats, men omfattande försök pågår för närvarande. Enligt broschyrmaterial har man i laboratorieförsök nått verkningsgrader ända upp emot 90 %. Man kan dock på goda grunder anta att förhållandena blir annorlunda ute på fältet, där man som årsmedelverkningsgrad kanske t o m kommer att ligga under 50 %. Årsmedelverkningsgraden varierar förmodligen inom ganska vida gränser mellan olika fabrikat beroende på utförande och dimensionering av växlarna.

Verkningsgraden kan beräknas på två olika sätt, dels som temperaturverkningsgrad, dels som entalpiverkningsgrad.

Två av de hus som ingår i undersökningen (186, 188) har värmeväxlare av Bulten-Kanthals företag Kantherm AB typ TS, som är värmeväxlare av rekuperativ typ. Följande formel anges för beräkning av verkningsgrad enligt temperatur- och entalpi-verkningsgrad:

(1) TEMPERATURVERKNINGSGRADEN enligt formeln:

$$n_t = \frac{t_2 - t_3}{t_1 - t_3} \cdot 100$$

n_t = verkningsgrad, temperatur

t_1 = temperatur på från rummet utgående luft (frånluft)

t_2 = temperatur på till rummet inkommande luft (tilluft)

t_3 = temperatur på utomhusluft (inluft)

- (2) VERKNINGSGRAD med hänsyn tagen till LUFTFUKTIGHETEN
ENTALPIVERKNINGSGRAD, enligt formeln:

$$\eta_h = \frac{h_2 - h_3}{h_1 - h_3} \cdot 100$$

- h_1 = entalpin av utgående luft (frånluft)
 h_2 = entalpin av inkommande luft (tilluft)
 h_3 = entalpin av utomhusluften (inluft)
 h = $0.24 t + x (0.46 t + 595)$ kcal/kg
 t = temperatur
 x = luftens vatteninnehåll kg/kg luft

Korrektion måste även göras för fläktarnas energiförbrukning samt för värmetilskott inifrån till den något kallare ytan på återvinningsaggregatet.

Det skall observeras, att för värmeåtervinnaren TS luftfuktigheten i inkommande luft (tilluften) vintertid ligger mellan 80 och 90 % av luftfuktigheten i utgående luft (frånluften) under normala temperatur- och fuktighetsförhållanden. Allt enligt fabrikantens uppgifter.

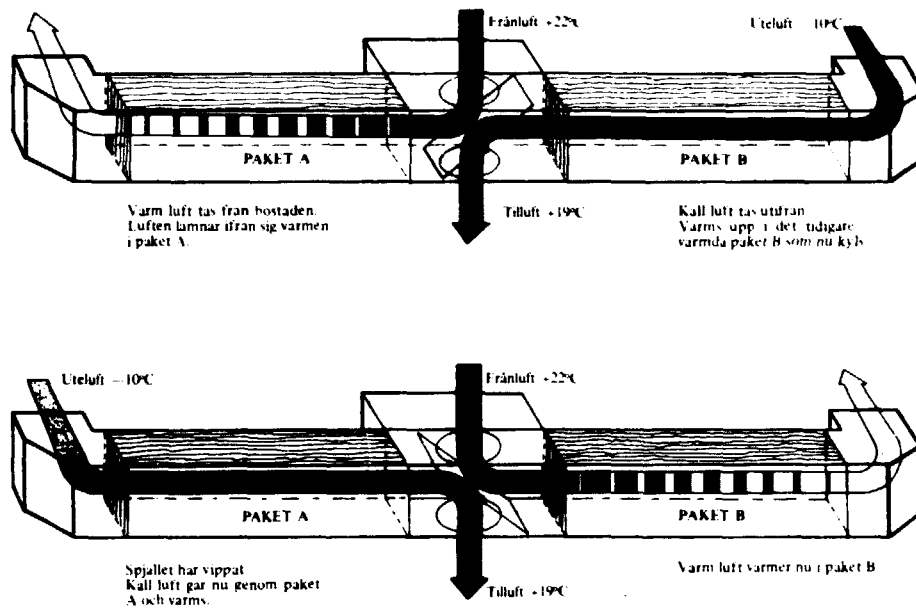
TS-AGGREGATETS FUNKTION

Aggregatet har två paket av korrugerad, speciallegerad aluminiumplåt genom vilka till- och frånluften växelvis drivs, varvid värme omväxlande lagras i och avges från aluminiumplåtarna. Mellan paketen finns ett spjällhus och två fläktar, se figur 7.12.

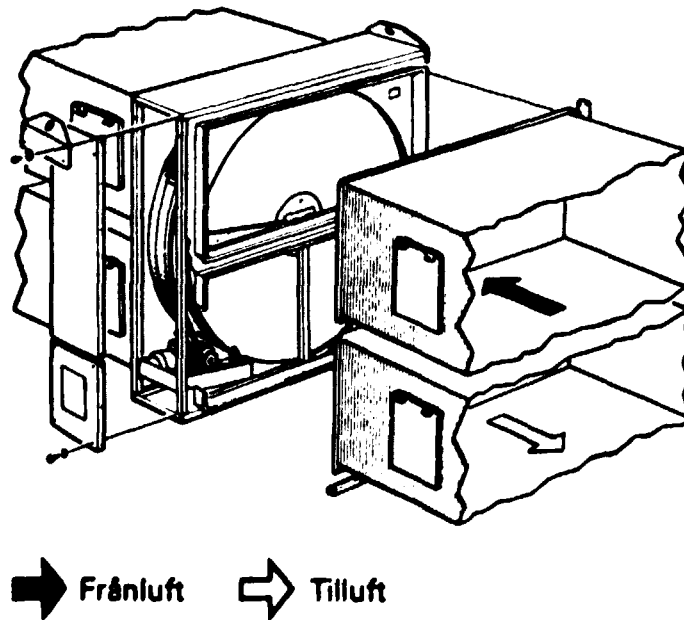
Kall uteluft (inluft) drivs genom ena paketet. Samtidigt drivs varm frånluft genom det andra. Med en minuts tidsintervall vänds luftströmmen med hjälp av spjället.

Frånluftens värme lagras alltså i det ena paketet samtidigt som den värme, som under föregående en-minuterscykel lagrats i det andra paketet, överförs till tilluften.

Spjället, som ändrar luftströmmens riktning, påverkas av ett elmotor drivet manöverdon.



Figur 7.12. Värmeväxlare, rekuperativ typ.



Figur 7.13. Värmeväxlare, regenerativ typ.

I ett av husen, 121, har värmeväxlare av regenerativ typ installerats. Värmeväxlaren är av AB Svenska Fläktfabrikens tillverkning. Figur 7.13.

I system Regoterm låter man den utgående frånluften avlämna sitt värme till en aluminium-rotor, vilken sedan avger värmets till tilluften. Systemet används när till- och frånluftskanaler kan sammanföras till en punkt.

Roterande värmeväxlare kan dels anslutas till kanaler och dels kombineras med luftbehandlingsaggregat för inomhus- respektive utomhusuppställning.

7.4.2 Service på fläktar och aggregat

Det är praktiskt taget omöjligt att generellt ange erforderligt serviceintervall på fläktar. Detta bl a därför att det finns så många olika utföranden på fläktarna och andra omständigheter, som medför olikheter i behovet av service. Följande faktorer har betydelse för serviceintervallet:

- . typ av fläkthjul
- . finns filter före fläkten
- . drivs fläkten via kilrep
- . fläktens varvtal och belastning
- . är fläkten inbyggd i en aggregatenhet med kringutrustning typ termostater, blandningsspjäll etc
- . är fuktinnehållet i luften speciellt högt
- . innehåller luften på orten ämnen, som gör att den är korrosiv på metalldelar, som t ex fläkthjul

Ett vanligt serviceintervall på små frånluftsfläktar, som finns i våra villor, är vart annat år. Det är då fråga om direktdrivna fläktar vars hjul måste rensas och lagren vid behov smörjas. Detta görs då, som regel av skorstensfejaren, i samband med sotning och rensning av imkanaler. Dessa fläktar är ofta tyristorstyrda och körs mest med reducerat varvtal. Belastningen på fläktens lager blir därför liten, varför just serviceintervallet vart annat år kan anses tillräckligt.

Större fläktar däremot, som körs med mer eller mindre full belastning året om, kräver väsentligt tätare service. Sådana anläggningar brukar behöva ses över en till två gånger per år. Ofta skrivs avtal med fläkttillverkare, installatör eller servicefirma redan när anläggningen byggs, där erforderligt intervall klarläggs, som garanti för lång livslängd hos fläktarna och för en god funktion. Detta gäller inte minst för att söka hålla reparationskostnaderna nere.

Livslängden för fläktar varierar inom vida gränser. Det finns exempel på lågvarviga fläktar, som varit i drift i ca 50 år. Det gäller då frånluftsfläktar, som hela tiden arbetat med torr och varm luft. Många lagerbyten och även något motorbyte har som regel utförts under tiden, men själva fläkthuset har alltså haft så lång livslängd.

Fläktar, som placerats utomhus, t ex takfläktar för småhus, beräknas ha rätt kort livslängd och måste antagligen bytas

redan efter 10-15 år. Orsaken är främst att de utsätts för fukt från omgivande luft, som gör att de rostar sönder.

En motors livslängd beror bl a på belastningen och om den eventuellt är underdimensionerad till följd av alltför hög belastning. Även balanseringen av fläkthjulet har stor betydelse. Ett fläkthjul i obalans sliter hårt på fläktmotor och lager.

Värmeväxlare av den typ, som installeras i våra bostäder, beräknas med normal service ha en livslängd av ca 20 år.

Vad som här sagts om livslängder är ungefärliga siffror. Om en fläkt tar luft från en omgivning, där det finns t ex rökgaser från en skorsten i omedelbar närhet eller korrosiva gaser från industrier kan utbyte av fläktar behöva ske betydligt oftare.

8 UPPHANDLING, GENOMFÖRANDE

8.1 Förfrågningsunderlag

För samtliga entreprenadarbeten, med undantag av en del smärre arbeten, har förfrågningsunderlag upprättats enligt AMA 72 omfattande

- . AB 72 d v s "Allmänna Bestämmelser för byggnads-, anläggnings- och installationsentreprenader".
- . Formulär till anbud.
- . Administrativa föreskrifter med hänvisning till AF-AMA 72.
- . En kortfattad arbetsbeskrivning över byggnads- och målningensarbeten alternativt en rambeskrivning för ventilationsanläggning avseende totalentreprenad.
- . Erforderliga ritningar.

I "Administrativa föreskrifter" finns bl a dels en allmän orientering om beställaren och objektet, dels upphandlings- och entreprenadföreskrifter. I detta kapitel bör dessutom ingå

- . en ansvarsfördelning för eventuella skador, som indirekt kan uppstå på byggnadsdelar i samband med entreprenadarbetena, t ex på ett yttertak av korrugerad plåt på åsar, vilket är begränsat gångbart.
- . ett överflyttande på entreprenören av det ansvar för samordning av åtgärder till skydd mot ohälsa och olycksfall på gemensamt arbetsställe för byggnadsverksamhet, som enligt arbetsmiljölagen primärt åvilar beställaren.

Eftersom entreprenadarbetena i de flesta fall kommer att ske i bostäder, vilka även under denna tid skall fungera som bostad, måste i detta kapitel även anges sådana arbeten som beställaren till följd av detta boende förväntar sig att entreprenören skall utföra t ex

- . i vilken omfattning entreprenören skall flytta möbler och dylikt.
- . hur entreprenören skall bedriva arbetet med håltagning i väggar och bjälklag. Detta kan vara ett dammigt arbete och berör hela huset vid en installation av FT-ventilation. Skall entreprenören städa efter sig och i så fall i vilken omfattning?

Entreprenad- och ersättningsformerna har varit för

- . fyllningsbyten: Generalentreprenad med fast pris. I beskrivningen har angetts en beräknad volym för jordschaktningen. I anbudet har sedan anbudsgivaren lämnat ett å-pris för justering av denna volym.

- . uppsättning av aluminiumfolie: Generalentreprenad löpande räkning.
- . ventilationsarbeten i hus 121, 186 och 188: Totalentreprenad fast pris.
- . ventilationsarbeten i hus 123: Generalentreprenad med fast pris.

Vissa smärre arbeten, t ex inklädnad och målning av ventilationstrummor i bostadsrum, har utförts på löpande räkning.

Garantitiden har för samtliga entreprenadarbeten varit två år.

I byggnadsbeskrivningen har lämnats en kortfattad redogörelse för vilka arbeten, som skall utföras och på vilket sätt. För ventilationsarbeten i hus 121, 186 och 188 har entreprenadformen totalentreprenad valts. Detta innebär att entreprenören inte bara svarar för att såväl dennes eget som underentreprenörernas arbeten blir utfört (generalentreprenad), utan även projekterar anläggningen och därmed ansvarar för dess funktion. Till entreprenörens ledning har beställarens krav och önskemål sammanställts i en rambeskrivning.

8.2 Upphandling

Respektive villaägare har varit beställare för de arbeten, som berör dennes fastighet. Projektering, upphandling, kontroll m m har dock ombesörjts av projektledningen. Upphandling har skett i samråd mellan beställare och projektledning och på sätt som föreskrivs i "Upphandlingsregler för entreprenader" enligt Bygghögskolans informationsblad B22:1971.

8.3 Arbetets genomförande, kontroll

I samband med en entreprenads genomförande kan diskussion uppstå mellan beställare och entreprenör, huruvida en skada uppkommit p g a dessa arbeten eller ej, eller om en slutprodukt vid t ex fyllningsbyte motsvarar det ursprungliga utförandet. För att underlätta bedömningen i sådana fall har en förbesiktning utförts innan entreprenadarbetena påbörjats, varvid eventuella skador och andra förhållanden av intresse har antecknats. Entreprenaderna har därefter utförts under sedvanlig byggnadskontroll.

I hus 186 installerades en mekanisk ventilationsanläggning. Härvid måste några befintliga kanaler i en ventilationsskorsten ändras från vindsbjälklaget och uppåt. För att utföra detta arbete var entreprenören tvungen att beträda yttertaket. Detta består av trapetskorrugerad plåt på träåsar och med endast 4° taklutning. Om arbetarna därvid varit ovarsamma eller ej är obekant, men p g a den belastning, som plåten utsattes för, uppstod läckage i vissa skarvar.

Efter entreprenadarbetenas slutförande har dessa slutbesiktigats. Vid ventilationsentreprenaderna har i samband därmed även ljudnivån uppmätts. Det visade sig vara ett ganska stort prob-

lem för entreprenören att uppfylla de krav på ljudnivån, som finns i Svensk byggnorm. Ljudmätningarna måste göras om 2-3 gånger med mellanliggande justeringar och kompletteringar av anläggningarna, innan bullret dämpats så mycket att anläggningarna kunde godkännas.

Ventilationsentreprenörerna har varit ansvariga för injustering av luftflöden i respektive anläggning. Protokoll över dessa har upprättats av respektive entreprenör. Vid efterföljande mätningar av luftomsättningen med hjälp av spårgas har dock helt andra värden på omsättningen erhållits i vissa fall, vilket tyder på att tilluften i dessa fall inte har blandat sig med rumsluften på ett ur radonsynpunkt lämpligt sätt. Denna skillnad var t ex i hus 121 hela 1,6 oms/h, som medelvärde för källarvåningen, enligt luftflödesmätning 3,0 oms/h och enligt spårgasmätning 1,4 oms/h (i hobbyrummet 2,29 oms/h).

8.4 Kostnader för olika åtgärder

Entreprenadarbetena i hus 118-123 har i huvudsak utförts under senare delen av år 1979 samt i hus 154 och 186-188 under 1980. Nedanstående kostnader gäller därför det kostnadsläge som rådde under respektive år. Samtliga kostnadsuppgifter är debiterade entreprenadkostnader inklusive entreprenörarvode för färdigt arbete. Mervärdeskatten är dock ej inräknad.

Hus 118-122 (Fyllningsbyte)

Urgrävning av rödfyr inkl transport till tipp ca 3 km	55 kr/ton
Omläggning av dränerings- och dagvattenledningar	150 kr/lm
Aterfyllning inkl anskaffade massor	100 kr/vfm ³
Rivnings- och demonteringsarbeten (stängsel, plattor, växter m m)	4 000 kr/hus
Aterställningsarbeten:	
Betongplattor (exkl material)	60 kr/m ²
Gräsytor	15 kr/m ²
Kantsten	40 kr/m ²
Asfaltytor	75 kr/m ²
Omplantering växter	2 000 kr/hus
Total kostnad för hus 118	75 000 kr
119	72 000 kr
120	85 000 kr
122	80 000 kr
121 (år 1980)	92 500 kr

Totalkostnaden för vart och ett av husen 118, 120 och 122 är reducerat med 5 000 kr p g a att fyllningsbytet vid dessa hus kunde utföras i en följd.

Hus 121 (FTX-installation)

Håltagning för kanaler	2 000 kr
Övriga byggnadsarbeten före installation (luckor, takhuvar, landgångar m m)	7 000 kr
Leverans av kanaler, ljuddämpare, don	5 000 kr
Leverans av isolering för kanaler	2 000 kr
Leverans av ventilationsaggregat	6 000 kr
Montering av ventilationsanläggning	10 000 kr
Elinstallation	5 000 kr
Kompletteringsarbeten (snickeri, målning)	11 000 kr
Injustering av flöden m m (4 ggr)	5 000 kr
Total kostnad för FTX-ventilation	53 000 kr

Hus 123 (Ventilation av kryppgrund)

Provisorisk åtgärd (fläkt i grundmur)	2 000 kr
Betongplatta på mark i kryppgrund (inkl armering)	10 000 kr
Värmeisolering av yttergrundmurar	8 000 kr
Fogning betongplatta - grundmur	2 500 kr
Övriga byggnadsarbeten i mark och kryplåda	7 500 kr
Håltagning för kanaler och takhuv	3 500 kr
Kolfilterfläkt inkl montering	1 500 kr
Leverans av ventilationsmaterial	6 000 kr
Installation av F-ventilation (2 system)	10 000 kr
Elarbeten	2 000 kr
Plåtarbeten	1 000 kr
Träarbeten inkl snickerier	6 000 kr
Målnings- och mattläggningsarbeten	3 000 kr
Total kostnad för permanent åtgärd	61 000 kr

Hus 186 och 188 (FTX-installation)

	Hus 186	Hus 188
Håltagning för kanaler	800 kr	1 000 kr
Leverans av ventilationsmaterial	10 300 kr	10 000 kr
Installation av FTX-ventilation	3 700 kr	4 000 kr
Elarbeten	900 kr	1 400 kr
Kompletteringsarbeten (snickeri, målning)	3 700 kr	7 500 kr
Injustering av flöden	600 kr	600 kr
Total kostnad för FTX-ventilation	20 000 kr	24 000 kr

Hus 154 och 187 (Aluminiumfolie)

	Hus 154	Hus 187
Underbehandling (tvättning av väggar, bredspackling, avslipning m m)	8 000 kr	5 000 kr
Uppsättning av aluminiumfolie	17 000 kr	10 000 kr
Färdigbehandling exkl material	15 000 kr	8 600 kr
Snickeriarbeten	5 000 kr	4 400 kr
VVS-arbeten		1 800 kr
El-arbeten	1 700 kr	1 700 kr
Total kostnad för beklädnad med aluminiumfolie inklusive allt material	52 000 kr	34 000 kr
Om underlaget i hus 154 hade varit vanliga tapeter i stället för väv hade underbehandlingen kostat	4 000 kr	
och färdigbehandlingen exkl material	8 000 kr	

9 RESULTAT AV UTFÖRDA ÅTGÄRDER

9.1 Marken som huvudsaklig radonkälla

Åtgärder prövades i sex hus i samma område, varav fem var byggda med källare och ett på kryppgrund. Därtill kommer ett hus i samma område där stor omsorg lagts på att ersätta rödfyren med fyllningsmaterial med normal aktivitetshalt, när huset byggdes. Fyllningsbyte, installation av FTX-ventilation och ventilering av kryppgrund prövades.

9.1.1 Radoninflöde från marken

9.1.1.1 Radiumhalt i markprover

Prover från markytan och på olika djup har tagits vid tre tillfällen och analyserats med avseende på radium-226, torium-232 och kalium-40.

När de första mätningarna av radon- och radondotterhalter i dessa hus gjordes hösten 1978, togs prover från ytan av den obebyggda marken (Swedjemark, Håkansson, Hagberg 1979). Resultaten från detta tillfälle framgår av tabell 9.1.

Tabell 9.1 Aktivitetshalt^{a)} i markprover från slagghögar tagna från markytan (Swedjemark, Håkansson, Hagberg 1979).

Prov nr	Bq/kg		
	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
1	1990	190	1250
2	2540	270	1630
3	2780	300	1870
4	3250	230	1650
5 ¹⁾	3940	350	2230
Medelvärde	2900	270	1730

1) Utvalt prov av obehandlad skiffer.

a) Mätkärl rymmande 1,5 liter och med tättslutande lock användes och mätningarna skedde vid uppnådd jämvikt i radiets sönderfallskedja tre veckor efter provtagningen. Efter mätningen torkades provet i värmeskåp och aktivitetshalterna beräknades med hänsyn till provets torrsvikt. Mätningarna gav halterna av de naturligt förekommande radionukliderna med en räknestatistisk osäkerhet < 5 %. Mätgränserna för metoden var 3, 4 och 13 Bq/kg för ^{232}Th , ^{226}Ra resp ^{40}K .

Under våren 1979 borrades hål utanför hus nr 120, 121 och 125 för bestämning av radonhalten i jordluften. I samband med borrningarna togs jordprover på olika djup genom entreprenörens försorg. Resultatet av aktivitetsbestämningarna framgår av tabell 9.2 och figur B.1 a-c (figur i bilaga 1). I samband med byte av fyllningsmaterial runt husen 118, 119 och 120 togs markprover på olika djup, vilka presenteras i tabell 9.3. Även dessa prover togs genom entreprenörens försorg. Mätningar har också utförts på prover av det material, som ersatt den gamla fyllningen.

Tabell 9.2 Aktivitetshalt i prover från borrhål.

Hus nr	Plats nr	Hål ^{a)} nr	Djup m	Prov	Bq/kg		
					²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K
120	Ø	35	1,7	Rödfyr + ej ident stenar	960	120	780
		40	2	Rödfyr	1400	170	940
		43	1	-	1430	180	1000
		48	1	Rödfyr överdragen med kalk	1300	160	940
121	Ø	1	2	Rödfyr, finförd + bitar	1470	200	1130
		9	1	Rödfyr " -	1710	160	1120
N		19	2	Rödfyr + något kalk	1720	200	1120
		20	2	Rödfyr + slagg	2150	210	1220
		24	2	Rödfyr överdraget med kalk	1260	160	900
		27	1	Rödfyr grus	120	20	200
		29	1	-	1420	130	990
		32	1	Rödfyr + kalk	900	110	650
125	V	60	2	Rödfyr	1970	240	1200
		66	1	Rödfyr	2050	250	1380
		V-sluttning	86	2	Rödfyr överdragen med kalk + kalk	1500	170
Medelv exklusive hål 27					1520	180	1010
1 SD					±370	±40	±190

a) Enl Jönsson (1979).

Tabell 9.3 Aktivitetshalt i prover tagna vid grävning före fyllningsbyte.

Hus nr	Plats	Djup m	Prov	Bq/kg		
				^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
118	V	1	Rödfyr	1600	140	960
		1,2	Vegetation	630	40	550
		2	Grus	40	20	540
	Ö	-	Rödfyr	1810	130	1030
		-	Vegetation	150	40	650
		-	Grus	40	20	590
119	V	-	Rödfyr	1460	150	910
		-	Vegetation	290	60	750
		-	Grus	30	20	520
	Ö	-	Rödfyr	1350	120	820
		-	Vegetation	80	30	570
		-	Grus	50	30	620
122	V	1,25	Rödfyr	1060	110	930
		1,70	Vegetation	40	20	560
		1,90	Grus	40	20	580
	Ö	2,60	Rödfyr	1740	130	1010
		2,70	Vegetation	110	40	690
		2,90	Grus	190	30	610
Medelvärde			Rödfyr	1500	130	940
				(1060-1810)		
			Vegetation	220	38	630
				(40-130)		
			Grus	65	23	580
				(30-190)		

Tabell 9.4 Aktivitetshalt i ballastmaterial och normal åkerjord (Swedjemark, Håkansson, Hagberg 1979).

Prov	Antal	Bq/kg		
		^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
Ballastmaterial				
Hjo, Tibro	2	44	67	1100
Skövde	2	41	71	1130
Skara	3	41	58	880
Lidköping	2	41	53	800
Medelvärde för hela landet	306	48	72	814
Åkerjord (Eriksson 1977)				
Skaraborgs län	9	67	74	850
Hela landet	268	33-96	44-115	480-850

Torium- och kalium-halterna i proverna är av ungefär samma storleksordning som i grus och makadamprover från betongfabriker (tabell 9.4).

De prover, som tagits på olika djup i husens närhet, innehöll ungefär hälften så höga radiumhalter som de prover, som tagits på ytan av högarna på obebyggt område. Det behöver dock inte vara en reell skillnad, eftersom proverna från markytan plockades för hand och de övriga proverna togs med något verktyg. De handplockade proverna består därför enbart av bitar. Finare material med lägre aktivitetshalt såsom humus och kalk ingår därför inte i dessa prover.

Spridningen i radiumhalten mellan proverna är stor, 2 SD är ca 50 %, vilket bl a beror på att avfallshögen är en blandning av rödfyr, alunskiffer, kalk och humus. De relativt små proverna, ca 2 liter, kan därför domineras av ett av materialen. Detta har stor betydelse för den genomsnittliga radiumhalten i provet, beroende på att kalk innehåller mycket små mängder radium. Eftersom man knappast kunde vänta några större skillnader mellan fastigheterna, då dessa gränsar intill varandra och rödfyrlagret jämnades till före byggnationen, ansågs det inte vara värt merkostnaden att ta större prover, homogenisera dessa och därefter ta ut ett mätprov.

Några skillnader mellan de genomsnittliga radiumhalterna från prover tagna vid olika fastigheter eller mellan olika djup i rödfyrlagret har heller inte kunnat konstateras. På nivån under rödfyrlagret däremot vid det gamla vegetationslagret och där-

under grus och sand var radiumhalterna med ett undantag av ungefär samma storlek som i grus från betongfabriker (Hagberg, Möre 1978) och som i åkerjord (Eriksson 1977) enligt tabell 9.4. Inget prov togs på mindre avstånd från husen än 130 cm, vilket innebär att fyllningen omedelbart intill husen inte har undersökts med avseende på aktivitetshalt.

Jämförelse mellan prover från borrhålen (tabell 9.2) och prover tagna vid samma djup vid grävningen (tabell 9.3) visar skillnad både beträffande provernas beskaffenhet och beträffande radiumhalten. Denna skillnad torde kunna förklaras med att det var svårigheter att få representativa prover vid borrhålen.

Prover av den sand och det grus, som användes för återfyllning runt hus 118-122, har analyserats med avseende på aktivitetshalten (tabell 9.5). Radiumhalterna var ca 20 % högre än landsmedelvärdet för grus och makadam från betongfabriker i de två första proverna och ca 20 % lägre i det tredje provet. Slutsatsen av undersökningen av radiumhalterna i markprover är att om inte radon kommer från stora djup bör huvudsakligen radonkällan vara fyllningen av rödfyr runt husen.

Tabell 9.5 Aktivitetshalt i sand- och grusprover tagna ur grustag varifrån material till återfyllning runt hus 118-122 tagits.

Mätdatum	Bq/kg			
	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	
Aug 79	60 ± 3	40	830	grus
Sep 79	60 ± 3	40	1400	sand
Dec 79	40 ± 2	30	750	grus

9.1.1.2 Radonhalt i jordluft

Den relativa radonhalten mättes på djupen 0,5 och 2 meter invid hus nr 120, 121 och 125 vid två tillfällen juli och oktober 1979 under ca tio dagar vardera. Mätningarna utfördes av Fysiska institutionen vid Lunds universitet (Jönsson 1979). Detektorerna utgjordes av plastfilm, som placerades i plastkoppur.

Radondetektorerna placerades i botten på borrhål med 0,5 meters mellanrum i fem profiler vinkelrätt ut från husväggarna. Ett borrhål per profil hade dessutom djupet 3 meter. En sjätte profil omfattade sex borrhål med djupet 0,7 meter. Denna profil var utlagd ca 50 meter från hus nr 125 på slutningen ner mot villorna.

Resultatet av mätningarna i juli och oktober framgår av figur B.2 a-c. Inget samband mellan radonhalten i jordluften och radiumhalten i borrhålen har hittats. Mätmetoden var vid denna tidpunkt ej kalibrerad i Bq/m^3 , varför resultatet ges i relativt mätetal.

Radonhalten i jordluften var vid julimätningen nästan densamma på 0,5, 2 och 3 meters djup med några undantag. Profilen öster om hus 121 (figur B.2 b) visar i fyra av mätningarna lägre radonhalt på djupet 2 meter än på 0,5 meter. Detta tyder på att fyllningen med rödfyr vid denna profil bidrar till radonavgivningen på 0,5 metersnivån. Detta styrks också av den låga radonhalten i tremetershållet.

I oktober var radonhalten i jordluften högre på 2 meters djup än på 0,5 meter, vilket möjligen kan bero på stigande grundvattennivå.

Radonhalten i grusfyllningen väster om hus 125 var lägre än utanför grusfyllningen vid både juli och oktobermätningarna. Detta är mest märkbart väster om huset.

Vid jämförelse mellan profilerna vid de tre husen framgår att radonhalten i jordluften är högst för hus 121 och lägst vid hus 125 även utanför grusfyllningen vid mätningen i juli. Detta är inte fallet vid mätningen i oktober, då de högsta värdena erhöles utanför hus 125.

Profilen i slutningen ovanför hus 125 gav relativt låga radonhalter i jordluften vid julimätningen. Värdena var högre vid oktobermätningen.

9.1.1.3 Jordluft - utomhusluft - inomhusluft

Endast ett fåtal mätningar av utomhusluftens radonhalt har utförts. Luftprover har tagits invid de undersökta husen vid tre tillfällen under oktober 1978, augusti 1979 och april 1980. Resultaten framgår av tabell 9.6. Radonhalten utomhus varierar med plats och väderlek. Genomsnittsvärdet över "vanlig" mark är ungefär 4 Bq/m^3 . Antalet och urvalet av prover är inte tillräckliga för att någon uppskattning av den genomsnittliga radonhalten utomhus skall kunna göras. Vid mättillfällena har radonhalten varierat mellan 4 och 72 Bq/m^3 . Sannolikt är variationerna mellan olika tidpunkter större.

Under den period i juli då den integrerande mätningen av radonhalten i jordluften utanför respektive rum utfördes, bestämdes halten av radon och radondöttrar samt luftomsättningen momentant i ett rum i källaren i tre hus, samtidigt med mätning av radonhalten utomhus. Förhållandet mellan den beräknade radonexhalationen inomhus och det viktade medelvärdet av radonhalten i jordluften varierar från 0,7 för hus 120 till 3,5 för hus 121 huvudsakligen på grund av skillnader i radonexhalationen inomhus. I hus 121 gjordes mätningar i två rum som vetter åt olika håll, vardera med en profil för mätning av radonhalten i jordluften. Dessa värden stämde inom 5 %. Trots de stora osäkerheter, som finns i denna jämförelse synes resultatet tyda på att radonflödet i hus 121 är större än i hus 120.

Tabell 9.6 Radonhalt utomhus invid de undersökta husen.

Datum	Kl	Invid hus nr	Radon Bq/m ³	Vindstyrka m/s	Vindriktn	Ute-temp °C	Lufttryck mb
78-10-11	13.00	125 ^{a)}	45	1	WNW	14	1007
78-10-12	08.00	125 ^{a)}	72	1	SW	9	1007
79-08-14	08.30	120	39	0	-	13	994
79-08-14	12.30	125	4	3	S	20	992
79-08-15	08.40	121	26	3	S	16	988
79-08-15	13.00	119	26	3	SSW	15	990
79-08-16	08.00	122	52	0	-	12	997
79-08-16	12.00	118	43	1	WNW	14	997
80-04-15	15.00	121	35	(2)	SW	15	1003

a) Observation på platsen: svag sydvästlig vind

b) Observation på platsen: vindstilla, dimma

Väderleksuppgifter från SMHI mätstation Borgunda. Vindstyrka medelvärde under 10 min var sjätte timme. Fullständig samstämmighet i tiden mellan Rn-mätning och väderleksdata finns därför inte.

Detta är inte orimligt, eftersom hus 121 har en större yta mot rödfyren. Skillnaden kan dock också bero på att små mängder rödfyr hamnat under hus 121 eller att huset inte är lika tätt mot rödfyren som hus 120.

Som nämnts kunde inga skillnader i radiumhalten mellan de olika fastigheterna konstateras. Medelvärdet för rödfyren inklusive kalk och humus var ungefär 1 500 Bq/kg. Före fyllningsbytet var radonexhalationen i husens källargum mellan 120 och 700 Bq/(m³h) vid S-ventilation och 3 600 Bq/(m³h) i det hus där FTX-ventilation installerats. Radonexhalationen per enhetsaktivitetskoncentration skulle således kunna vara mellan 0,08 och 0,5 Bq/(m³h) per Bq/kg för de S-ventilerade husen och ca 2 Bq/(m³h) per Bq/kg för det FTX-ventilerade huset när rödfyr ligger runt källarväggar som fyllning.

9.1.2 Gammastrålning

Expositionsraten från gammastrålningen framgår av figur B.3. Det enda ingående byggnadsmaterial som skulle kunna ge en större radonavgång än normalt enligt byggnadsbeskrivningarna är gasbetongen, som skulle kunna vara alunskifferbaserad. Av gammamätningarna kan man dock dra slutsatsen, att detta inte är fallet.

9.1.3 Effekt av fyllningsbyte

Fyllningen byttes runt fem hus. Dessa hade från början alla S-ventilation, men i ett av dem nr 121 prövades först FTX-ventilation (se kapitel 9.1.4). Vid ett av husen (hus 125) hade redan vid återfyllningen, när huset byggdes, annat material än rödfyr använts.

9.1.3.1 Radon och radondotterhalt inomhus

F-faktorn är förhållandet mellan halten av radondöttrar och halten av radon i jämvikt med radondöttrarna. Den beror huvudsakligen på luftomsättningen och partikelhalten. Medelvärdet för alla F-faktorer inom intervallet 0,06 och 0,55 luftomsättningar per timme var $0,52 \pm 0,15$ (1 SD). Det är alltså inte orimligt att använda $F = 0,5$ vid beräkning av radondotterhalten ur mätning av radonhalten vid uppskattning av effekterna av fyllningsbyte. Felet i radondotterhalten beräknat ur mätning av radonhalten är således ca 30 % (1 SD) på grund av variationer i F-faktorn. För luftomsättningar större än 1 oms/h var F-faktorn mellan 0,23 och 0,49.

Radon- och radondotterhalten har jämförts mellan bottenvåning och källarvåning i tabell B.1. Ingen skillnad syns föreligga mellan bostäderna, inte heller mellan förhållandena före och efter fyllningsbytet. Det syns inte heller föreligga någon skillnad mellan bottenvåning/gillestuga och bottenvåning/hobbyrum, vilket är mer förvånande eftersom bottenvåning och gillestuga står i öppen förbindelse med varandra medan hobbyrummet hållits stängt före och vid provtagning. Någon skillnad mellan radon och radondöttrar tycks inte heller föreligga. Bottenvåning/hobbyrum för både radon och radondöttrar för hus 120 avviker från det övriga mönstret vid mättillfället före fyllningsbytet. Detta har ej kunnat förklaras.

Halten av radon och radondöttrar framgår av tabellerna B.2 och B.3 samt figurerna B.4 - B.9. I tabellerna har givits de halter, som erhållits vid mättillfället. I figurerna har de momentant erhållna mätresultaten multiplicerats med faktorn 0,75 för att korrigera för vädring. Antalet mätningar före och efter åtgärd är för litet för att någon egentlig beräkning av medelvärdet före och efter åtgärd skall kunna göras. Med streckad linje har antytts de mest sannolika värdena. I tabell B.4 har motsvarande radondotterhalter beräknats för en 100-procentig uppehållstid i bostaden.

I SBN 80₃ föreskrivs att radondotterhalten skall₃ vara högst 200 Bq/m³ i ombyggda bostäder och högst 70 Bq/m³ i nybyggda

bostäder. För alla de hus där fyllningen har bytts är radon-dotterhalten lägre än 200 Bq/m^3 med undantag av hobbyrummet i hus 118 där radon-dotterhalten var 300 Bq/m^3 .

Av tabell B.4 framgår också minskningen av radon- och radon-dotterhalten efter fyllningsbyte som procent av halten före åtgärd. Det framgår att effekten är större för radon-dotterhalten än för radonhalten. Den största effekten av fyllningsbytet erhöles för hus 121 vilket torde bero på FTX-ventilationen i detta hus (jämför kapitel 9.1.4).

9.1.3.2 Radonexhalation

Radonexhalationen per volymenhet kan beräknas ur ekv 2 i kapitel 5.4.1. Vid de fåtaliga tillfällena då radonhalten mättes utomhus varierade halten mellan 4 och 72 Bq/m^3 . Sannolikt är variationerna mellan olika tidpunkter större.

Vid beräkningen av exhalationsraten har utomhushalten 4 Bq/m^3 använts i alla de fall då vindstyrkan enligt SMHI:s data varit större än 1 m/s med undantag av de tillfällena då samtidig provtagning av utomhusluften har gjorts, då mätt värde använts. Användning av värdet 4 Bq/m^3 kan medföra en överskattning av radonexhalationen med högst $20 \text{ Bq/(m}^3\text{h)}$ för luftomsättningar mindre än $0,6 \text{ oms/h}$.

För högre luftomsättningar har utomhushalten större betydelse. Vid den högsta uppmätta luftomsättningen i det FTX-ventilerade huset, nr 121, skulle radonexhalationen kunna vara överskattad med högst $150 \text{ Bq/(m}^3\text{h)}$.

Betydande minskning av vindstyrkan eller betydande minskning av lufttrycket under tolvtimmarsperioden före provtagningen har stor betydelse för beräkningen av radonexhalationen (beskrivet i kapitel 5.4). För beräkningen av effekterna av fyllningsbytena i hus 118-122 har dessa parametrar dock betydelse endast för hus 120. Före fyllningsbytet i detta hus var troligen radonexhalationen underskattad på grund av att vindstyrkan minskade före provtagningen så att mättnadsvärdet för radon ej uppnått när luftomsättningen mättes i bostadsdelen. Efter fyllningsbytet var troligen radonexhalationen lägre än beräknat på grund av att lufttrycket föll ca 8 mb före provtagningen, vilket kan medföra ca 40% högre radonexhalation från byggnadsmaterial än vid konstant lufttryck. Radonexhalationen från mark och in i hus är dock mer komplext och mindre känt. Inverkan av ovanstående korrektioner på effekten av fyllningsbyte i hus 120 ger radonexhalationen efter fyllningsbytet som 15% istället för 20% av radonexhalationen före fyllningsbytet. Korrektioner är således inte motiverade ens i detta fall.

I en bostad där radonkällan är lika fördelad kan radonexhalationen förutsättas vara oberoende av ventilationen i alla utrymmen under förutsättning att inga tryckförändringar mellan olika rum eller ute-inne förekommer. I figurerna B.10-B.15 har radonexhalationen i olika delar av husen angetts och för S-ventilerade hus tycks inga stora olikheter mellan mättillfällena förekomma.

Effekten av fyllningsbyte baserad på förändring av radonexhalationen framgår av tabell 9.7. Liksom för halten av radon och radondöttrar före och efter åtgärden var effekten störst för hus 121. Effekten av åtgärden visar sig inte vara fullt så bra som när hänsyn ej tagits till luftomsättningen. Radonexhalationen efter fyllningsbytet var mellan 20 och 70 procent av värdet före bytet både på bottenvåningen och i källarvåningen för S-ventilerade hus. För det FTX-ventilerade huset, nr 121, medförde fyllningsbytet att radonexhalationen var ca 1 % i det stängda hobbyrummet och 5-7 % i rum på bottenvåningen och gillestugan (i öppen förbindelse med bottenvåningen) av värdet före fyllningsbytet.

Tabell 9.7 Effekt av fyllningsbyte baserad på förändring av radonexhalationen (G/V). Procent av halten före åtgärd.

Hus nr	Vent system	Stängt hobbyrum %	Gillestuga %	Sov + vard + gille %
118	S	30	-	25
119	S	30	-	20
120	S	20	-	20
121	FTX	1	7	5 ^a)
122	S	60	-	70

a) Ej gillestuga.

Vid den första mätomgången hösten 1978 (Swedjemark, Håkansson, Hagberg 1979) undersöktes också identiskt lika referenshus, som låg på mark där ingen rödfyr ansågs förekomma. Efter åtgärderna i husen på rödfyr är det intressant att jämföra radonexhalationen i dessa med värdena i referenshusen (tabell 9.8). Det framgår att radonexhalationen i hus nr 121 och 122 är högre än i motsvarande referenshus. I hus nr 118, 119 och 120 är radonexhalationen ungefär lika stor som i motsvarande referenshus. Radonexhalationen i hus nr 125 var lägre än i motsvarande referenshus R6, vilket kan tänkas bero på, att R6 var det enda av referenshusen, som låg i samma ort som de åtgärdade husen. Observeras bör att hus nr 121 och motsvarande referenshuset nr R2 inte är identiskt lika, eftersom FTX-ventilation installerats före fyllningsbyte.

Tabell 9.8 De mest sannolika medelvärdena av radonexhalationen efter fyllningsbyte i de åtgärdade husen och radonexhalationen i identiskt lika^{a)} referenshus på annan plats (Swedjemark, Håkansson, Hagberg 1979). Jämförelsen gäller medelvärdet i sovrum, vardagsrum och gillestuga.

Hus nr	Vent system	Radonexhalation Bq/(m ³ h)	Hus nr	Vent system	Radonexhalation Bq/(m ³ h)
118	S	39	R5	S	16
119	S	32	R1+4	S	12
120	S	18	R3	S	27
121	FTX	36	R2	S	8
122 ^{b)}	S	114	R1+4	S	12
125 ^{b)}	F	12	R6	F	85

a) Med undantag av hus 121, där FTX-ventilation installerades som första åtgärd.

b) Fyllning på plats vid byggandet av huset.

9.1.4 Effekt av installation av FTX-ventilation

I ett hus, nr 121, prövades FTX-ventilation. Ca 0,5 luftomsättningar per timme hölls genomgående i bottenvåningen efter installationen. I källarvåningen prövades olika inställningsnivåer, 3, 2, 1 och 0,5 luftomsättningar per timme. De med spårgas mätta luftomsättningarna framgår av tabell B.3 tillsammans med uppgifter på halten av radon och radondöttrar. I figur B.7 har radon- och radondötterhalten prickats in.

När luftomsättningen i hobbyrummet var 2,3 och 1,5 oms/h var radondötterhalten lägre än 200 Bq/m³. När luftomsättningen minskades till 0,9 oms/h, var radondötterhalten flera tusen Bq/m³. För gillestugan var radondötterhalten lägre än 200 Bq/m³ vid alla mätningar, när luftomsättningen i hobbyrummet var mer än 1,5 oms/h och för bottenvåningen, när luftomsättningen i hobbyrummet var mer än 0,9 oms/h.

Vid 0,5 luftomsättningar per timme med FTX-ventilation var halten av radon och radondöttrar i alla utrymmen ungefär densamma som vid S-ventilation med avstängd köksfläkt.

Radonexhalationen framgår av figur B.13. De i beräkningen ingående utomhushalterna har uppskattats med hjälp av väderleksdata, där mätresultat av utomshalten har saknats. Radonexhalationen har ökat i hobbyrummet efter installation av FTX-ventilationen. När luftomsättningen i hobbyrummet hölls vid ca 0,5

oms/h, var radonexhalationen högre även i bottenvåning och gillestuga. Vid luftomsättningar lägre än 0,9 oms/h i hobbyrummet var dock luftomsättningen tillräckligt stor för att radoninträngningen till bottenvåningen skulle vara mindre än vid S-ventilation.

Som nämnts tidigare kan radonexhalationen förutsättas vara oberoende av luftomsättningen, om radonkällan är lika fördelad i huset. När marken är den huvudsakliga radonkällan, kan man således inte vänta, att radonexhalationen skall vara oberoende av luftomsättningen. Däremot skulle radonexhalationen i hobbyrummet kunna tänkas vara oberoende av luftomsättningen, eftersom detta hölls stängt vid de flesta av mätningarna. Så är dock inte fallet. I stället har en ökning av radonexhalationen inträffat efter installation av FTX-ventilation. Detta kan möjligen förklaras av ändrade tryckskillnader ute och inne. En felkälla vid analys av ventilationens inverkan är variationer i radoninflödet från marken (kapitel 5.4.1). Ej förklarade variationer i radonexhalationen har dock varit mycket måttliga i de undersökta husen. Mätningarna gjordes från april till juni med minskande luftomsättning i hobbyrummet efter installation av FTX. Varmare mark skulle kunna tänkas ge högre radonexhalation utomhus men inte säkert till huset. I UN 1977 sägs att radonexhalationen från mark visar små variationer, när temperaturen är över 0° hela året och ingen snö förekommer.

9.1.5 Effekt av ventilation via kryppgrund

Ett av husen var byggt på en kryppgrund (hus 123). Huset hade S-ventilation. Radonhalten i ett sådant hus varierar mycket mer med väderlek än i hus byggda med källare eller platta direkt på mark. Vid två tillfällen i november och december 1978 togs radonprover₃ i kryppgrunden och radonhalten visade sig vara 14 000 Bq/m³ och 15 000 Bq/m³ respektive. Vid dessa tillfällen var vindstyrkan högst 3 m/s. Radonhalten inomhus låg vid samma mättillfällen på ca 5 000 Bq/m³. Ca en tredjedel av bostadens tilluft har alltså trängt in i huset från kryppgrunden vid dessa mättillfällen. I februari 1979 mättes luftomsättningen i kryppgrunden till 0,58 oms/h. Vid detta tillfälle var vindstyrkan ca 8 m/s. Vid de två mätningarna av radonhalten i kryppgrunden kan man alltså vänta sig, att luftomsättningen i grunden var betydligt lägre på grund av den lägre vindstyrkan.

Variationerna i tryckskillnaden mellan bostaden och kryppgrunden medför större variationer i radonhalten i bostaden än i kryppgrunden, vilket också framgår av långtidsregistreringen i figur 5.2. I figuren har också en långtidsregistrering i källaren i hus nr 121 förts in för jämförelse, men med en annan skala. Luftomsättningen i kryppgrunden mättes den 26 februari till ovan nämnda 0,58 oms/h och vid det tillfället var radonhalten inomhus omkring 250 Bq/m³ och luftomsättningen 0,29 oms/h.

Mätvärdena för radon- och radondotterhalten och luftomsättningen har sammanställts i tabell B.5. När annan apparatur än vad som redovisats i kapitel 5 använts, har detta markerats i tabellen. Halten av radon och radondöttrar i bostaden har illustrerats i figur B.16. Före installation av fläkt i kryppgrunden var variationerna i radonhalten i bostaden så stora att det är

nästan omöjligt att uppskatta ett medelvärde. En integrering av långtidsregistreringen gav $2\ 600\ \text{Bq/m}^3$ radon.

Den provisoriska installationen av fläkt i kryppgrunden medförde att halten av radon och radondöttrar var väl under $200\ \text{Bq/m}^3$. Efter installation av ventilationssystemet, där luften förs ut via kryppgrunden, var radondotterhalten lägre än eller obetydligt över $200\ \text{Bq/m}^3$ både enligt de experimentellt erhållna radondotterhalterna och enligt de värden, som beräknats ur mätning av radonhalten. Efter justering av ventilationen låg värdena också under nybyggnadsvärdet $70\ \text{Bq/m}^3$.

Radonflödet till kryputrymmet från underliggande rödfyr kan beräknas ur uppgift om det luftflöde som passerar kryputrymmet samt den ökning av radonkoncentrationen som härvid erhålles. När kryputrymmet ventilerades med en provisorisk fläkt sommaren 1980 uppmättes $9910\ \text{Bq/m}^3$ radon i den utsugna luften samtidigt som luftomsättningen uppmättes till $1,37\ \text{oms/h}$, motsvarande $150\ \text{m}^3/\text{h}$. Detta motsvarar radonavgången

$$\frac{9910\ \text{Bq/m}^3 \times 150\ \text{m}^3/\text{h}}{3600\ \text{s/h} \times 110\ \text{m}^2} = 3,8\ \text{Bq}/(\text{m}^2\text{s})$$

Radonavgången från radiumhaltiga avfallsmassor har angivits till $1,6 \times 10^{-3}\ \text{Bq}/(\text{m}^2\text{s})$ per Bq/kg (Schiager 1974). Detta skulle för rödfyren motsvara $2,4\ \text{Bq}/(\text{m}^2\text{s})$. Det uppmätta värdet är således drygt 50 % högre än det beräknade. Denna skillnad kan förklaras med osäkerheten i mätningarna.

Efter det att botten i kryputrymmet försetts med 10 cm tjock betongplatta, i syfte att begränsa flödet av radon till kryputrymmet uppmättes sommaren 1981 med två TLD-burkar 3800 resp $4300\ \text{Bq/m}^3$ i kryputrymmet samtidigt som luftflödet var $180\text{-}20_2\ \text{m}^3/\text{h}$. Tillflödet av radon skulle således vara $1,6 - 2,0\ \text{Bq}/(\text{m}^2\text{s})$. Betongplattan skulle alltså ha reducerat radonavgången med 47-58 %. Detta är oväntat liten effekt.

Detta radon kan komma in i kryputrymmet genom olika mekanismer:

- diffusion genom betongen.
- konvektion av jordluft genom sprickor i betongen.
- konvektion av jordluft genom spricka mellan betongplatta och mittmur (denna spricka blev till skillnad mot betongplattans anslutning mot yttre grundmurar ej tätad med polyuretanskum.
- konvektion genom vertikala kanaler i grundmurarna av betonghålstén.

Diffusion genom betong har studerats i Canada (DSMA 1978). Resultat från dessa studier indikerar att, om radonhalten i jordluften under betongplattan antas vara ca $500\ \text{kBq/m}^3$, skulle diffusionen genom betongplattan kunna vara $2 - 4 \times 10^{-3}\ \text{Bq}/(\text{m}^2\text{s})$. Även radonavgången från betongplattan torde vara av denna storleksordning, varför radonet troligen till ca 99 % förs upp genom konvektion. Inom projektet har inte kunnat utrönas vilken väg denna konvektion sker och inte heller vilken betydelse som undertrycket i kryputrymmet har i detta sammanhang.

9.2 Byggnadsmaterialet som huvudsaklig radonkälla

Två småhus i stockholmstrakten valdes för studium av effekten av aluminiumfolie som tätningsmaterial och två hus för studium av problemen med FTX-ventilation.

9.2.1 Effekt av aluminiumfolie som tätningsmaterial

9.2.1.1 Resultat av laboratorieförsök

Fem folier undersöktes med avseende på radonets genomträngningsförmåga. En sten av skifferbaserad gasbetong utan ytbehandling placerades i påsar av det material som skulle undersökas. Samma sten användes vid alla mätningarna. Påsen värmeförseglades omsorgsfullt.

Följande folier undersöktes:

Nr Sammansättning

0	75 g LD polyester, 12 μm Al-folie, 12,5 μm polyester
1	25 μm polyester, 75 g/m^2 LD polyeten
2	25 μm polypropen, 25 μm Al-folie, 100 g/m^2 LD polyeten
3	Lackerad 9 μm Al-folie på 130 g/m^2 tapetkartong
4	Lackerad 40 μm Al-folie på 150 g/m^2 kraftpapper

Stenen placerades i en mätbehållare ansluten till en jonkammare i ett slutet system. Jonkammaren är av samma slag som används för långtidsregistreringar i bostäder (kapitel 5.2). Stenen mättes med och utan folie. Folie nr 0 med sten placerades i behållaren efter 36 dygn, när en rimligt god jämvikt mellan radonavgivningen från stenen och läckaget genom påsen kunde anses uppnådd. På grund av tidsbristen placerades de övriga folierna med sten i mätbehållaren omedelbart efter förslutningen. Jämvikt i mätbehållaren inväntades heller inte. Uppbyggnaden av radon i mätbehållaren följdes vid samtliga mätningar.

Resultatet i relativa enheter blev följande

Enbart sten	1
Sten + folie nr 0	0,1
Sten + folie nr 2	0,002

Rangordningen efter ökande genomsläpplighet av radon var folie nr 2, nr 0, nr 1, nr 4 och nr 3.

På grundval av denna undersökning valdes en folie av följande sammansättning: 25 μm Al-folie, omgivet på båda sidor av 12,5 μm polyester och 45 g/m^2 papper.

9.2.1.2 Radon- och radondotterhalter inomhus

Hus nr 154 var byggt av skifferbaserad gasbetong i alla delar utom bjälklag. Hus nr 187 var byggt av detta material i källarvåningen. Den i föregående avsnitt beskrivna folien klustrades på alla tillgängliga ytor av skifferbaserad gasbetong (se kapitel 7.3.1).

Medelvärdet för F-faktorn var $0,54 \pm 0,10$ för hus 154 och $0,41 \pm 0,09$ för hus 187 (1 SD). Skillnaden mellan medelvärdena speglar främst skillnaden i luftomsättning mellan dessa båda hus. Vid beräkning av radondotterhalten ur mätningarna av radon i tabell 9.9 har schablonvärdet $F = 0,5$ använts.

Tabell 9.9 De mest sannolika genomsnittliga värdena av radondotterhalten före och efter anbringande av folier på väggarna vid 100 % uppehållstid i en bostad. Radondotterhalten har beräknats från momentana radondottermätningar och från både momentana och integrerade mätningar av radonhalten. De momentant erhållna mätresultaten har multiplicerats med faktorn 0.75 för att korrigera för boendevanor.

Hus nr	Beräkn från ^{a)}	ÖVER + BOTTENVÅNING				KÄLLARVÅNING			
		Före	Efter	Skilln		Före	Efter	Skilln	
		Bq/m ³	Bq/m ³	Bq/m ³	(%)	Bq/m ³	Bq/m ³	Bq/m ³	(%)
154	Rn	300	160	135	(45)	-	-	-	
	RnD	300	220	85	(30)	-	-	-	
187	Rn	100	60	40	(40)	280	180	100	(35)
	RnD	75	40	35	(50)	180	180	0	(0)

$$a) \text{ EEC} = F \cdot C_{Rn}$$

$$F = 0.5$$

Tabell B.6 samt figurerna B.17 och B.18 visar resultatet av mätningarna av radon och radondöttrar samt luftomsättningen i de två undersökta husen. Av tabell 9.9 framgår att halten av radondöttrar har minskat med en tredjedel av halten före åtgärden i huset med alla väggar av skifferbaserad gasbetong, nr 154. I huset med endast källarvåningen av detta material, nr 187, är mätresultaten mer svårtolkade. Det framgår dock att radondotterhalten i båda husen är mindre än eller omkring 200 Bq/m³ i alla rum trots den dåliga luftomsättningen i hus 154.

9.2.1.3 Radonexhalation

Skillnaden i radonexhalationen framgår av tabell 9.10 och figurerna B.19 och B.20. Det har inte varit möjligt att skilja på olika våningsplan på grund av att luftomsättningen endast har mätts som medelvärde för hela huset. Det framgår att radonexhalationen efter anbringandet av folie på väggarna har minskat med ca 60 % i det hus, som har alla väggar av skifferbaserad gasbetong (hus 154) och med ca 50 % i det hus, som endast har källarvåningens väggar i detta material (hus 187). Förändringar i vindstyrka eller lufttryck har inte påverkat den beräknade radonexhalationen för något av husen så att de genomsnittliga värdena före och efter åtgärd påverkats i väsentlig grad.

Tabell 9.10 De mest sannolika genomsnittliga värdena av radonexhalationen före och efter anbringande av folie.

Hus nr	ÖVER + BOTTEN + KÄLLARVÅNING			
	Före Bq/m ³	Efter Bq/m ³	Skilln Bq/m ³	(%)
154	145	55	90	(65)
187	170	90	80	(45)

9.2.1.4 Gammastrålning

Gammastrålningen i hus 154 var ungefär densamma i övervåningen och i bottenvåningen (figur B.21). Mitt i rummen varierade den mellan 59 och 72 $\mu\text{R/h}$ inklusive bidraget från kosmisk strålning ca 3 $\mu\text{R/h}$. Det högsta värdet var 98 $\mu\text{R/h}$, som uppmättes mot en yttervägg. Gammanivån kan väntas öka, när väggarna beläggs med ett skikt som skall förhindra genomträngning av radon. Någon mätning av gammastrålningen efter det att aluminiumfolie satts upp på väggarna har dock inte gjorts på grund av att den förväntade effekten är mindre än vad som kan dokumenteras. I hus nr 187 var gammanivån i källarvåningen före åtgärden mellan 43 och 55 $\mu\text{R/h}$, således mindre än i hus 154 (figur B.21). I bottenvåningen där skifferbaserad gasbetong inte ingår, var gammanivån mellan 27 och 32 $\mu\text{R/h}$.

9.2.2 Effekt av installation av FTX-ventilation

FTX-ventilation prövades i två småhus byggda av skifferbaserad gasbetong, nr 186 och 188.

Gammastrålningen i hus 186 var mellan 77 och 94 $\mu\text{R/h}$ med ett medelvärde mitt i rummen av ca 82 $\mu\text{R/h}$ inklusive bidraget från den kosmiska strålningen med ca 3 $\mu\text{R/h}$ (figur B.24).

I hus 188 varierade gammastrålningen mellan 54 och 85 $\mu\text{R/h}$ på olika ställen i bostaden. Medelvärdet av mätningarna mitt i rummen var ca 57 $\mu\text{R/h}$ inklusive bidraget från den kosmiska strålningen (figur B.24).

F-faktorn var $0,39 \pm 0,06$ för hus 186 och $0,43 \pm 0,04$ för hus 188. Det var ingen synbar skillnad mellan F-faktorn före och efter installation av FTX-ventilation. För beräkning av halten av radondöttrar ur mätningen av radonhalten i tabell 9.11 har använts $F = 0,4$.

Tabell 9.11 De mest sannolika medelvärdena av radondotterhalten före och efter installation av FTX-ventilation vid 100 % uppehållstid i en bostad. Radondotterhalten har beräknats från momentana radondottermätningar och från både momentana och integrerade mätningar av radonhalten. De momentant erhållna mätresultaten har multiplicerats med faktorn 0.75 för att korrigera för boendevanor.

Hus nr	Beräkn från a)	ÖVER + BOTTENVÄNING				KÄLLARVÄNING			
		Före	Efter	Skilln		Före	Efter	Skilln	
		Bq/m ³	Bq/m ³	Bq/m ³	(%)	Bq/m ³	Bq/m ³	Bq/m ³	(%)
186	Rn	330	60	260	(80)	-	-	-	
	RnD	300	95	210	(70)	-	-	-	
188	Rn	70	50	20	(25)	85	60	20	(25)
	RnD	70	50	20	(25)	75	85	0	

a) $EEC = F \cdot C_{Rn}$
 $F = 0.4$

I tabell B.7 samt figurerna B.22 och B.23 har mätresultaten sammanställts. I tabell 9.11 har de mest sannolika genomsnittliga värdena före och efter FTX-installation beräknats tillsammans med skillnaden i radondotterhalt. Det framgår att efter åtgärd var radondotterhalten i båda husen med hänsyn tagen till mätfelet ungefär av samma storlek som gränsvärdet för nybyggda hus.

I hus 186 ökade luftomsättningen från 0,20 till 0,75 oms/h varvid radondotterhalten minskade med ca 80 %. I realiteten var minskningen troligen inte fullt så stor på grund av att luft-

trycket minskade före provtagningen i september 1979. Den beräknade radonexhalationen hade minskat med ca 30 % från 220 Bq/(m³h) vid mätningen 1979 till 160 Bq/(m³h) 1980 före åtgärden. Under tolvtimmarsperioden före provtagningen 1979 minskade lufttrycket med ca 4 mb vilket enligt kapitel 5.4.1 kan medföra en ökning av radonexhalationen med ca 20 %. Under samma period före provtagningen 1980 var lufttrycket konstant. Skillnaden i radonexhalationen kan därför troligen hänföras till lufttrycksminskningen vid den första provtagningen.

I hus 188 ändrades luftomsättningen endast från 0,63 till 0,75 oms/h. Minskningen av radondotterhalten var därför mycket liten. Den höga luftomsättningen vid den första mätningen berodde dock på att vindstyrkan då var hög, ca 8 m/s. Den genomsnittliga luftomsättningen var troligen omkring 0,4 oms/h och den reella minskningen i radondotterhalt var därför större. Vindstyrkan hade inte minskat under tolvtimmarsperioden före provtagningen, vilket medförde att mättnadsvärdet för radonhalten bör ha uppnåtts vid den erhållna luftomsättningen. Lufttrycket var konstant under perioden före provtagningen vid båda tillfällena i detta hus, varför radonexhalationen kan väntas vara densamma. Den beräknade radonexhalationen var 150 och 120 Bq/(m³h) vid respektive mättillfälle. Skillnaden ligger inom felgränserna.

9.3 Värmeförluster för ventilation och energibesparing

I fyra av husen i forskningsprojektet, nämligen nr 121, 123, 186 och 188, har åtgärder av energisparande karaktär vidtagits.

I tre av husen, 121, 186 och 188, har värmeväxlare installerats och i det fjärde huset, 123, har kryppgrunden, som tidigare ventilerats med kall uteluft, isolerats och ventileras nu med varm returluft från husets ventilation.

Vilka värmeväxlare som installerats i de olika husen framgår av kapitel 7.4.1.

9.3.1 Värmeförbrukning vid FTX-installation

I hus 121 har en anläggning med regenerativ värmeväxlare installerats. Husets volym är 586 m^3 . Installationen skulle utföras så att följande flöden skulle kunna erhållas:

Bv 0,5 oms/h	Kv 3,0 oms/h	ger	$970 \text{ m}^3/\text{h}$
Bv 0,5 oms/h	Kv 2,0 oms/h	ger	$700 \text{ m}^3/\text{h}$
Bv 0,5 oms/h	Kv 1,0 oms/h	ger	$430 \text{ m}^3/\text{h}$
Bv 0,5 oms/h	Kv 0,5 oms/h	ger	$290 \text{ m}^3/\text{h}$

I entreprenörens anbud ingick injustering och ändring av de olika luftomsättningstalerna allt eftersom mätningar av radon och radondotternivåer företagits vid vart och ett av fallen.

Effektbehov för uppvärmning av ventilationsluft under ett normalår kan skrivas som:

$$W = \frac{q \cdot C \cdot \Delta t \cdot h \cdot 1,163}{1000} \text{ kWh/år}$$

där

$$q = \text{luftflöde } \text{m}^3/\text{h}$$

$$C = \text{specifikt värme} = 0,3$$

$$\Delta t = \text{årsmedeltemperatur differens inne-ute. (Aktuell ort har en årsmedeltemperatur på ca } +5^{\circ}\text{C)}$$

$$h = \text{antal driftstimmar} = \text{hela året}$$

$$1,163 \text{ omräkningsfaktor kcal/år - wattimmar/år}$$

För hus 121 ger detta vid olika flöden en effektförbrukning av ca (figur 9.1):

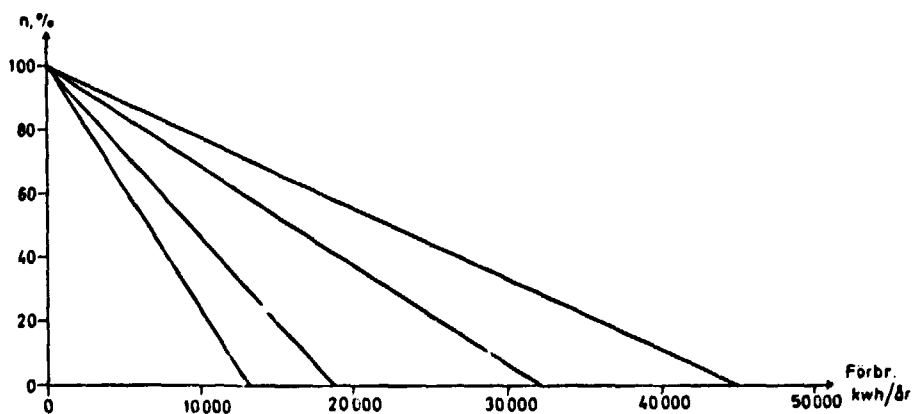
$q \text{ m}^3/\text{h}$	$W \text{ kWh/år}$
970	44 500
700	32 100
430	19 700
290	13 300

Rätt omfattande fältundersökningar rörande värmeväxlarens verkningsgrad pågår, men mätresultaten har inte redovisats ännu. Att verkningsgraden varierar med uteluftens temperatur och fukttinnehåll är klart och dessutom har olika värmeväxlartyper, installationssätt och fabrikat olika verkningsgrad.

Årlig energiförbrukning för hus 186 vid 0,5 luftomsättningar per timme är ca 6 600 kWh utan värmeväxlare. För hus 188 blir den årliga energiförbrukningen enligt samma beräkningsmodell 9 600 kWh (figur 9.2).

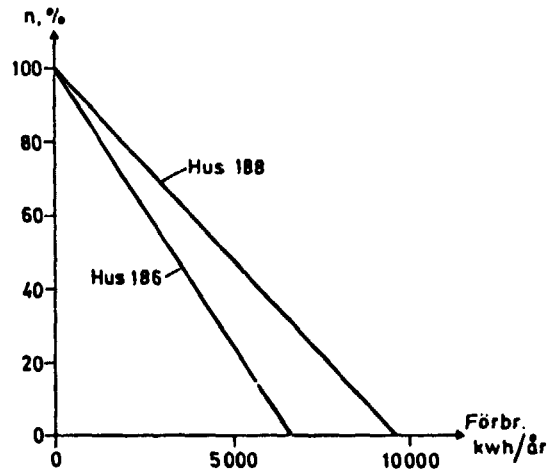
Som tidigare nämnts är det än så länge svårt att ange årsverkningsgrad för värmeväxlare, som arbetar under verkliga fältförhållanden. Det finns gott om data från tillverkarna av värmeväxlare, men dessa uppgifter gäller laboratorieprov. Dessa lär skilja sig väsentligt från fältförhållanden med resultatet mot en tredjedel av uppgiven laborieverkningsgrad, när förhållandena är som sämst. De diagram, som redovisas, kan därför endast användas, som en mycket grov uppskattning av den energibesparing man kan erhålla genom installation av värmeväxlare.

Ett litet beräkningsexempel kan kanske ändå göras. Hus 188 med 0,5 oms/h och en årlig energiförbrukning av ca 10 000 kWh för ventilationsdelen får en kostnad för ventilationen av 2 000 kr utan värmeväxlare vid ett energipris av 20 öre/kWh. Om växlaren har en årsmedelverkningsgrad av 30 % blir årskostnaden 1 400 kr alltså en inbesparing av 600 kr. Skulle däremot verkningsgraden stämma med kataloguppgifterna, där den ofta anges till 80 % eller mer, blir inbesparingen 1 600 kr eller mer per år och affären med installation av en värmeväxlaranläggning för 15 000-20 000 kr blir något gynnsammare.



Figur 9.1. Energiförbrukning för uppvärmning av ventilationsluft, hus 121, vid olika flöden och årsmedelverkningsgrad för värmeåtervinningen.

BV	0,5	KV	3,0	=	970	m ³ /h	=	44 500	kWh/år
BV	0,5	KV	2,0	=	700	m ³ /h	=	32 100	kWh/år
BV	0,5	KV	1,0	=	430	m ³ /h	=	19 700	kWh/år
BV	0,5	KV	0,5	=	290	m ³ /h	=	13 300	kWh/år



Figur 9.2. Energiförbrukning hus 186 och 188.

Volym hus 186 = 320 m^3 , hus 188 = 460 m^3 .
Beräkningen gäller 0,5 oms/h och med olika årsmedelverkningsgrader.

9.3.2 Värmeförbrukning mot s k kryppgrund

Hus 123 är källarlöst och står på s k torpargrund. Bjälklaget består underifrån räknat av:

9 mm byggplatta
190 mm mineralull
19 mm spånskiva
golvbeläggning

K-värde för bjälklaget är ca $0,22 \text{ W}/(\text{m}^2\text{°C})$.

Vid beräkning av värmeförlusten till grund ventilerad med ovärmd uteluft genom s k kattgluggar räknar man med en reduktionsfaktor på 0,6 enligt SBN. Formeln för värmeförbrukningen kan skrivas som:

$$W = \frac{A \cdot k \cdot \Delta t \cdot h \cdot r}{1000} \text{ kWh/år}$$

där

A = bjälklagets area m^2

k = värmegenomgångstalet $\text{W}/(\text{m}^2\text{°C})$

Δt = temperaturdifferens ute-inne (inne $+20$ ute $+5\text{°C}$)

h = antalet timmar per år (hela året räknas)

r = reduktionsfaktor

Bjälklaget för hus 123 skulle för ett normalår få en energiförbrukning av ca 2 000 kWh.

Hus 123 har till följd av den höga radonavgången från marken under huset (fyllning med rödfyr) försetts med ventilations-system i kryppgrunden med frånluft från huset. För att i möjligaste mån hindra radonavgången har en platta gjutits över markytan samt isoleringsåtgärder av hela utrymmet vidtagits. De skattgluggarna har murats igen.

Vid beräkning av värmeförlusterna efter vidtagen åtgärd kan man räkna med en reduktionsfaktor på 0,3 i stället för 0,6 innan. Man minskar därvid förlusterna genom golvbjälklaget till ungefär hälften. Tidigare förlust ca 2 000 kWh/år blir då ca 1 000 kWh/år.

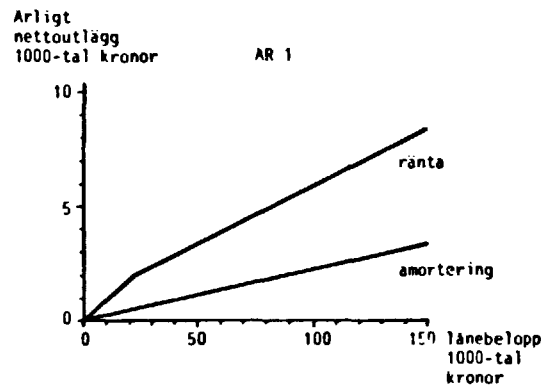
9.4 Beräkning av årskostnader

De ekonomiska konsekvenserna av åtgärder mot hög radonhalterhalt i inomhusluft kan utvärderas på ett flertal olika sätt. Vi har här valt att beskriva de nettoutbetalningar, som drabbar villaägare. Vi har därvid förutsatt att hela kostnaden finansieras med radonlån.

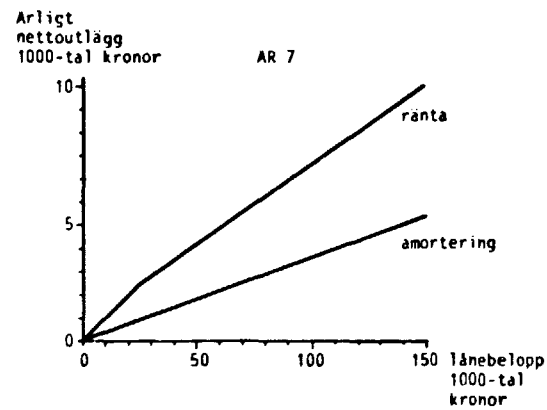
Radonlånen amorteras på 20 år med en annuitetsplan beräknad vid 8 % årlig ränta. Räntan är inte direkt knuten till riksbankens diskonto utan relateras till den ränta, som staten måste erlagga för sin upplåning. Räntesatsen fastställs vid årsskiftet för ett år i taget och är 1981 12,75 %. För den del av radonlånet, som överstiger 25 000 kronor utgår räntebidrag. Detta innebär att på denna del av skulden är räntan första året 5,5 % och räntebidraget minskas därefter med 0,5 % per år, d v s räntesatsen höjs med 0,5 % per år.

I figurerna 9.3, 9.4 och 9.5 framgår de årliga nettoutbetalningarna för ett radonlån under 1:a, 7:e och 20:e året. Vid bedömning av nettokostnaden för ränteutgifter har antagits att marginalsatt (eller motsvarande företeelse i ett framtida skattesystem) är 50 %. För ett radonlån på 25 000 kronor blir de årliga nettoutbetalningarna 2 100 - 2 600 kronor per år under de 20 år, som lånet amorteras. Vid större lån, där räntebidrag utgår under de första åren, stiger de årliga nettoutbetalningarna. För ett lån på 100 000 kronor är första årets utbetalning 6 000 kronor. Därefter ökar den årliga nettoutbetalningen för att slutligen nå ca 10 000 kronor per år.

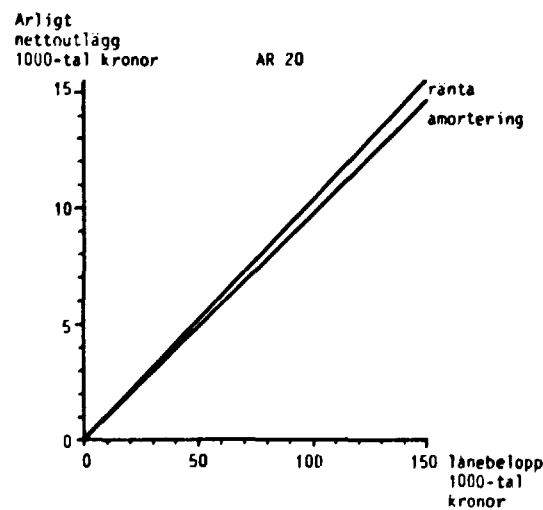
I hus 121 har prövats både installation av avancerad ventilationsanläggning och byte av fyllning runt källarväggarna. Installationskostnad för ventilationsanläggning kan uppskattas till 61 000 kronor i 1981 års prisnivå. Motsvarande kostnad för byte av fyllning intill grundmurar uppskattas till 105 000 kronor. I tabellerna 9.12 och 9.13 har angivits årliga amorteringar och räntekostnader för installation av ventilationsanläggning och byte av fyllning runt källarväggar. Vid beräkning av nettoutlägg har antagits att räntan blir oförändrad 12,75 % samt att räntan dras av vid 50 % marginalsatt.



Figur 9.3. Första årets nettoutlägg för ett radonlån vid 20 års annuitet, 12,75 % ränta och 50 % marginalskatt.



Figur 9.4. 7:e årets nettoutlägg för ett radonlån vid 20 års annuitet, 12,75 % ränta och 50 % marginalskatt.



Figur 9.5. 20:e årets nettoutlägg för ett radonlån vid 20 års annuitet, 12,75 % ränta och 50 % marginalskatt.

Tabell 9.12 Amorteringsplan och ränteutbetalningar för radonlån gällande ventilationsanläggning i hus 121. Högra kolumnen visar ökning i energikostnad om anläggningen har 75 % energiåtervinning. Tabellen visar även uppskattade kostnader för reparation och underhåll.

Ar	Skuld vid årets början	R ä n t a		Netto vid 50 % marg skatt	Uppskattade reparationer	Reparationer och underhåll	Ökad energikostnad
		Amortering under året	Brutto				
1	61.000	1.307	5.388	2.584	3.894		1.300
2	59.693	1.413	5.270	2.635	4.048	121	1.443
3	58.280	1.529	5.151	2.676	4.204		1.602
4	56.751	1.653	5.414	2.707	4.360	146	1.778
5	55.098	1.788	5.445	2.722	4.510		1.974
6	53.310	1.934	5.453	2.726	4.660	180	2.191
7	51.376	2.092	5.430	2.715	4.807	120	2.432
8	49.284	2.263	5.374	2.687	4.950	210	2.699
9	47.021	2.447	5.280	2.640	5.087		2.996
10	44.574	2.647	5.145	2.572	5.220	260	3.326
11	41.927	2.863	4.965	2.482	5.346	210	3.692
12	39.064	3.097	4.735	2.368	5.464		4.098
13	35.967	3.349	4.449	2.224	5.574		4.549
14	32.618	3.623	4.102	2.051	5.674	380	5.049
15	28.995	3.918	3.687	1.844	5.762	5.250	5.605
16	25.077	4.238	3.196	1.598	5.836	460	6.221
17	20.839	4.584	2.656	1.328	5.912		6.905
18	16.255	4.958	2.072	1.036	5.994	560	7.665
19	11.297	5.362	1.440	720	6.082		8.508
20	5.935	5.935	756	378	6.314	670	9.444
					103.698	8.667	83.477

Tabell 9.13 Amorteringar och ränteutbetalningar för radonlån gällande fyllningsbyte, hus 121.

År	Skuld vid årets början	Amortering	R ä n t a		Utbetalningar
			brutto	netto	
1	105.000	2.249			
2	102.751	2.433	7.853	3.926	6.360
3	100.318	2.631	8.084	4.042	6.673
4	97.687	2.846	8.276	4.138	6.984
5	94.841	3.078	8.426	4.213	7.291
6	91.763	3.329	8.529	4.265	7.594
7	88.434	3.601	8.580	4.290	7.891
8	84.833	3.895	8.573	4.286	8.181
9	80.938	4.212	8.502	4.251	8.463
10	76.726	4.556	8.361	4.180	8.736
11	72.170	4.928	8.141	4.070	8.998
12	67.242	5.330	7.835	3.917	9.247
13	61.912	5.765	7.433	3.716	9.481
14	56.147	6.236	6.926	3.423	9.699
15	49.911	6.744	6.232	3.116	9.860
16	43.167	7.295	5.504	2.752	10.047
17	35.872	7.890	4.574	2.287	10.177
18	27.982	8.534	3.568	1.784	10.318
19	19.448	9.230	2.480	1.240	10.470
20	10.218	10.218	1.303	651	10.869
					167.339

Byte av fyllning medför årliga nettoutbetalningar, som ökar från 6 400 kronor första året till 10 900 det 20:e året. Installation av ventilationsanläggning är mindre kostnadskrävande och ger därför lägre nettokostnad för radonlånet, som ökar från 3 900 kronor till 6 300 kronor per år. Dessutom tillkommer vissa kostnader för underhåll av anläggningen.

Underhållet av en ventilationsanläggning består av:

- årlig rengöring av värmeväxlare och filter
- skorstensfejarens obligatoriska rengöring av fläktar m m vart annat år
- utbyte av filter med ca 7 års intervall
- utbyte av fläktmotorer efter ca 15 år

Här har förutsatts att fastighetsägaren själv utför den årliga tillsynen och rengöringen av värmeväxlare och filter. Bland annat äldre och rörelsehindrade personer kan ha svårt att utföra detta, särskilt om aggregatet är placerat svåråtkomligt t ex på vinden. Dessa kategorier kan därför belastas av högre underhållskostnader. Kostnaderna för de resterande punkterna

bedöms i 1981 års nivå vara 100:-, 60:- resp 1 200:- per tillfälle. Dessa kostnader har uppräknats till löpande penningvärde vid antagen 10 % årlig inflation, tabell 9.12. Underhållet motsvarar således totala utbetalningar på ca 10 000 kronor under kommande 20 år. Av detta belöper dock endast en mindre del på de första 10 åren.

Vid utvärdering av totalekonomin är det även nödvändigt att bedöma vilken inverkan en åtgärd har på husets totala energiförbrukning. Fyllningsbyte påverkar inte den framtida energiförbrukningen. Det faktum att grunden friläggs möjliggör billig tilläggsisolering av grundmurarnas utsida. Minskad energiförbrukning härigenom har dock ej beaktats i denna utvärdering.

I det aktuella huset krävdes en ventilation motsvarande 1,75 oms/h av husets hela volym. Ventilationsanläggningens nettoenergiförbrukning har ej angivits av leverantören. I denna utvärdering antas att energiåtervinningen är så effektiv att energiförbrukningen endast är 25 % av vad den skulle ha varit i samma anläggning utan någon energiåtervinning. Detta är en mer effektiv energiåtervinning än vad man vanligen åstadkommer i villainstallationer. Det är dock rimligt att man vid ovanligt stora luftflöden utformar anläggningen med högre verkningsgrad. De faktorer, som gör att anläggningens totala energiverkningsgrad blir lägre än själva värmeväxlarens temperaturverkningsgrad, är bl a

- ett visst luftutbyte sker genom otätheter i byggnaden utan att passera värmeväxlaren
- värmeförluster från lufttrummor i kalla utrymmen
- fläktarnas elförbrukning kan ej utnyttjas under sommarer.
- kondensationsvärmets i frånluftens fuktinnehåll utnyttjas ej
- elbatteri för förvärmning av tilluften minskar temperaturdifferensen över värmeväxlaren vid kall väderlek

När FTX-ventilation installeras i energibesparande syfte och finansieras med energisparlån krävs det att byggnaden är så tät att ventilationsanläggningen har möjlighet att fungera på avsett sätt. När dessa anläggningar finansieras med radonlån och installeras i syfte att reducera radonhalten ställs inga krav på husets täthet. Det är därför rimligt att anta att anläggningar som installeras i syfte att minska radonhalten i genomsnitt får en sämre energiåtervinning.

Utan värmeåtervinning skulle anläggningen kräva 44 500 kWh/år för uppvärmning av luften. Dessutom förbrukas 8 760 kWh elenergi för drift av motorer. Av denna energimängd nyttiggörs tilluftfläktens elförbrukning under uppvärmningssäsongens 8 månader (2 600 kWh). Anläggningens totala bruttoenergiförbrukning blir därför $44500 + 8760 - 2600 = 50660$ kWh. Genom värmeåtervinning reduceras detta till uppskattningsvis 12700 kWh.

Uppskattningsvis gav husets självdragssystem tidigare ca 0,25 oms/h, motsvarande 6600 kWh för uppvärmning av luften. Slutatsen blir då att den ökade ventilationen gav en ökad energi-

förbrukning motsvarande $12\ 700 - 6\ 600 = 6\ 100$ kWh, motsvarande 1 300 kronor i 1981 års prisnivå. Före åtgärden var huset tätare än som förutsätts i byggnormen. Genom att luftomsättningen var 0,25 istället för 0,5 per timme hade tidigare årligen sparats ca 6 700 kWh. I vanliga fall når man inte mer än ca 60 % total energiverkningsgrad i värmeåtervinningsanläggningar. I detta fall motsvarar detta nettoförbrukning av 20 300 kWh, d v s 13 700 kWh mer än vid ett självdragssystem, som ger 0,25 omsättningar per timme. Detta motsvarar ca 2 700 kr per år i ökade energikostnader (0,20 kr/kWh). Vid oljeledning med 70 % verkningsgrad motsvarar oljepriset 2 000 kr/m³ dock 50 % högre merkostnad, ca 4 000 kr/år. Härav framgår betydelsen av effektiv värmeåtervinning när luftomsättningen ökas väsentligt över 1,0 oms/h.

I tabell 9.12 har även markerats hur den ökade energiförbrukningen påverkar de löpande utbetalningarna, under förutsättning av 10 % inflation och 1 % årlig ökning av energins reala pris. Med dessa antaganden blir de årliga utbetalningarna större för ventilationsanläggning än för fyllningsbyte efter åtta år, trots att fyllningsbytet var 44 000 kronor dyrare. Utbetalningar för en ökad energiförbrukning fortsätter dessutom under husets hela återstående brukstid medan fyllningsbyte inte leder till några som helst utbetalningar när radonlånet är avbetalat efter 20 år.

Den slutsats man bör dra av detta är att värmeåtervinningsgraden är av helt avgörande betydelse för det ekonomiska utfallet på lång sikt. I alla situationer, där det krävs väsentligt mer än 0,5 omsättning per timme, måste högsta möjliga totalverkningsgrad eftersträvas och vid anläggningar med luftflöde 500 - 1 000 m³/h eller mer måste 75 % totalverkningsgrad krävas även om en sådan anläggning skulle kosta upp till 20 000 à 50 000 kronor mer än en enklare med otillfredställande totalverkningsgrad. Den enskilde villaägaren kan inte i vanliga fall bedöma totalverkningsgraden hos en offererad ventilationsanläggning. Ansvar för att med hänsyn till installationskostnad och energiförbrukning rätt anläggning väljs måste därför ligga hos ventilationsfirmorna samt hos de kommunala myndigheterna. Upphandling till lägsta pris utan hänsyn till anläggningens inverkan på husets energiförbrukning måste anses vara förkastligt.

Det är inte möjligt att idag nå mer än ca 75 % totalverkningsgrad i energiåtervinning. Man bör därför i princip aldrig ventilera villor med mer än ca 2 luftomsättningar per timme. Andra åtgärder, som utan att öka driftkostnaderna begränsar inflödet av radon, är försvarbara upp till en betydande kostnad, om de medför att radonhalterhalten kan hållas på lämplig nivå med mindre än ca 1 luftomsättning per timme istället för annars erforderliga 2,5 oms/h eller mer.

Utbyte av fyllning runt hus 118, 119, 120 och 122 var 10 à 20 % billigare än motsvarande vid hus 121. Skillnaden förklaras delvis av att dessa arbeten genomfördes tidigare. Arbeten för tre av husen genomfördes samtidigt, vilket minskade kostnaderna med 5 000 kronor per hus. Nettoutbetalningar för dessa åtgärder kan avläsas i figurerna 9.3, 9.4 och 9.5.

I hus 123 anordnades frånluftsentilering av kryputrymmet. Värmeförlusterna genom golvet bedöms härigenom ha minskat med

ca 1 000 kWh/år. De fläktar, som driver frånluftsventilationen, kräver en energimängd av motsvarande storlek, varför åtgärden inte nämnvärt påverkar husets energiförbrukning jämfört med ett tänkt fall där självdragssystemet ger 0,5 luftomsättningar per timme. Kostnaden för åtgärderna var ca 70 000 kronor. Den årliga nettokostnaden för ett radonlån på detta belopp kan avläsas i figurerna 9.3, 9.4 och 9.5. Kostnaden ökar från 4 400 kronor under 1:a året till 7 200 kronor under det 20:e året.

Tabell 9.14 Amorteringar och räntebetalningar för radonlån avseende installation av ventilationsanläggning i hus 186. Dessutom anges uppskattade kostnader för reparation och underhåll.

År	Kapital- skuld vid årets ingång	Amorte- ring under året	R ä n t a		Utbetal- ning för radonlån	Repara- tion och under- håll
			Brutto	Netto		
1	25.000	536	3.188	1.594	2.130	
2	24.464	579	3.119	1.560	2.139	121
3	23.885	626	3.045	1.523	2.149	
4	23.259	678	2.966	1.483	2.161	146
5	22.581	733	2.879	1.440	2.173	
6	21.848	793	2.786	1.393	2.186	180
7	21.055	857	2.685	1.342	2.199	120
8	20.198	927	2.575	1.288	2.215	210
9	19.271	1.003	2.457	1.229	2.232	
10	18.268	1.085	2.329	1.165	2.250	260
11	17.183	1.173	2.191	1.095	2.268	210
12	16.010	1.269	2.041	1.021	2.290	
13	14.741	1.373	1.879	940	2.313	
14	13.368	1.485	1.704	852	2.337	380
15	11.883	1.606	1.515	758	2.364	5.250
16	10.277	1.737	1.310	655	2.392	460
17	8.540	1.879	1.089	544	2.423	
18	6.661	2.032	849	425	2.457	560
19	4.629	2.198	590	295	2.493	
20	2.431	2.431	310	155	2.586	670
					45.757	8.667

I hus 186 installerades en ventilationsanläggning, som med kompletteringsarbeten kostade ca 25 000 kronor. Lämpligt luftflöde visade sig vara ca 1 oms/h. Energiåtgången för uppvärmning av detta luftflöde är ca 13 400 kWh/år. Till detta kommer den del av fläktmotorernas elförbrukning, som ej kan tillgodoföras i form av värmeförbrukning, varför anläggningens totala bruttoenergiförbrukning är ca 14 000 kWh/år. Genom värmeåtervinning reduceras detta med ca 75 % till 3 500 kWh/år. Ett hypotetiskt självdragssystem, som konstant ger 0,5 luftomsättning per timme, skulle innebära 6 700 kWh/år energibehov för uppvärmning av luften. Ventilationsanläggningen minskar jämfört med detta

system husets energiförbrukning med 3 200 kWh/år. I verkligheten var huset tätare och även detta har bedömts haft ca 0,25 oms/h, vilket medför ca 3 400 kWh/år för uppvärmning av luften. I detta fall kunde man således med hjälp av värmeåtervinning öka luftflödet utan att energiförbrukningen påverkades. Tabell 9.14 visar de årliga nettoutbetalningarna för ett radonlån på 25 000 kronor. Nettokostnaderna för radonlånet ökar från 2 130 kronor under första året till 2 600 kronor under det sista året.

Om anläggningens totala verkningsgrad begränsas till 55 % ger anläggningen en ökning av energiförbrukningen på ca 3 000 kWh/år, motsvarande 700 kronor.

Installation av ventilationsanläggning i hus 188 var likartad med motsvarande i hus 186. Hus 188 har bedömts varit mindre tätt än hus 186 och haft ca 0,4 oms/h. Dessa otätheter kan väntas minska möjligheterna till effektiv värmeåtervinning. Husets energiförbrukning kan därför antas vara oförändrad, varför det ekonomiska utfallet bedöms bli likartat i de två husen.

I hus 154 och 187 prövades tätning med aluminiumfolie. Dessa åtgärder kan ej väntas vare sig påverka husens energiförbrukning eller kräva nämnvärt underhåll. De ekonomiska konsekvenserna för villaägaren kan därför avläsas i figurerna 9.3, 9.4 och 9.5. Kostnaderna var ca 60.000 resp 35.000 kronor. Dessa kostnader avser både tapetsering med aluminiumfolie och kostnad för tapetsering och målning. Metoden med aluminiumfolie används lämpligen i samband med ordinarie omtapetsering. Merkostnaden för applicering av aluminiumfolie är därför i allmänhet betydligt lägre, ca 20 000-30 000 resp 8 000-12 000 kronor.

I det föregående har beskrivits vilken inverkan olika åtgärder har på fastighetsägarens privatekonomi och tjänar som underlag för fastighetsägarens överväganden. Samhället måste också beakta dessa effekter d v s i första hand ge ökat stöd till de fastighetsägare, som eventuellt måste genomföra så dyra saneringsåtgärder att de inte rimligen kan klara betalning av räntor och amorteringar på radonlån, samt bevaka att man så långt som möjligt begränsar energiförbrukningen i samband med åtgärder mot radon.

Av intresse är även att jämföra kostnad och nytta från samhällets horisont. Detta kan lämpligen göras i analogi med motsvarande överväganden inom strålskyddsverksamhet. Där jämförs nyttan i form av minskade stråldoser, räknat ibland över lång tid framöver, med summan av installationskostnad eller motsvarande och kostnad för drift och underhåll under anläggningens återstående brukstid. Kostnader för drift och underhåll räknas vid den prisnivå som råder vid investeringstillfället.

Det är omöjligt att entydigt ange en byggnads återstående brukstid. De åtgärder, som studeras, byte av fyllning, ventilation av radon som avgår från byggnadens stomme, är mycket varaktiga och kan påverka radonhalten under 100 år eller mer. Här räknas på 50 år, trots att husen kan bedömas komma att användas betydligt längre. Detta motiveras med att det på den tiden kan komma fram effektivare eller bättre teknik, som gör denna kalkyl meningslös.

Summan av investering, drift och underhåll för de olika husen kan beräknas i 1981 års prisnivå till:

- hus 118 Fyllningsbyte ca 95 000 kr.
- hus 119 Fyllningsbyte ca 92 000 kr.
- hus 120 Fyllningsbyte ca 108 000 kr.
- hus 121 Fyllningsbyte för 105 000 kr och en normal ventilationsanläggning (kostnad 25 000 kr) samt underhåll av denna i 50 år kostar ca 136 000 kr. Energiåtervinningen antas i detta fall vara ca 50 % så att energiförbrukningen inte påverkas trots att luftflödet ökas från 0,25 till 0,5 omsättning per timme.
- Avancerad ventilationsanläggning kostar 61 000 kr i investering samt medför ökad energiförbrukning om 1 300 kr/år, ifall värmeåtervinningen reducerar energiförbrukningen med 75 %. Tillsammans med underhåll av ventilationsanläggningen blir totalkostnaden över 50 år ca 132 000 kr. Om energiåtervinningen i stället antas vara 60 % blir motsvarande totalsumma 205 000 kr.
- hus 122 Fyllningsbyte ca 102 000 kr.
- hus 123 Installation och underhåll av frånluftsventilering av kryputrymme ca 76 000 kr. Det förutsätts att fläktarnas energibehov motsvaras av minskade värmeförluster genom golvbjälklaget. Installation av en frånluftsfläkt bedöms ha ökat luftomsättningen i bostaden från i medeltal 0,4 till 0,5 oms/h. Detta motsvarar 1 200 kWh/år i ökad energiförbrukning, vilket kostar 240 kr/år. Totala kostnader räknat på 50 år blir således 88 000 kr.
- hus 186 Installation och underhåll av ventilationsanläggning ca 31 000 kr. Energiförbrukningen förutsätts vara oförändrad genom energiåtervinning i värmeväxlare.
- hus 188 Installation och underhåll av ventilationsanläggning ca 36 000 kr. Energiförbrukningen förutsätts vara oförändrad genom energiåtervinning i värmeväxlare.
- hus 154 Beklädnad av väggar med aluminiumfolie i samband med ordinarie omtapetsering 20 000-30 000 kr.
- hus 187 Beklädnad av väggar med aluminiumfolie i samband med ordinarie omtapetsering 8 000-12 000 kr.

9.5 Diskussion

Effekten av åtgärderna var olika när den huvudsakliga radonkällan var marken och när den var byggnadsmaterialet. I tabell 9.15 har effekterna av åtgärderna såsom exponering för radondöttrar sammanställts för de undersökta husen. Radondotterhalten har beräknats schablonmässigt som ett rakt medelvärde mellan halten i sovrum, vardagsrum och gillestuga. Det schablonmässiga beräkningssättet har valts för att få ett grovt genomsnitt av exponeringen för radondöttrar av personer, som vistas oavbrutet i sin bostad. Den verkliga exponeringen är i de flesta fall lägre. Exponeringen för radondöttrar i hobbyrum har dock ej medtagits i medelvärdet, eftersom vistelsetiden i denna typ av utrymmen mestadels är kort. Radondotterhalten har dels mätts direkt, dels beräknats från mätningen av radonhalten. Minskningen efter åtgärd är i de flesta fall större för halten av radondöttrar än radon (tabell B.4), men skillnaderna är mindre än felgränserna. Radondotterhalter erhållna från båda metoderna har därför medräknats i medelvärdena.

Den relativa minskningen i radonexhalationen var mellan 30 och 95 % i hus 118-122, där marken var den huvudsakliga radonkällan och åtgärden utgjordes av byte av fyllningsmaterial. Den relativa minskningen av radondotterhalten var i stort sett densamma som för radonexhalationen. Minskningen efter fyllningsbyte var störst, 95 %, i det hus där FTX-ventilation installerats.

Efter installation av FTX-ventilation i hus 121 erhöles en minskning av radondotterhalten med 90 % när luftomsättningen i hobbyrummet var flera omsättningar per timme och i lottenvåningen 0.7 oms/h. Däremot erhöles ingen reduktion av radondotterhalten när luftomsättningen i både hobbyrummet och bottenvåningen var ca 0.5 oms/h. Radonexhalationen ökade. Ventilationen via krypgrunden i hus 123 var effektiv. Radondotterhalten inomhus minskade med ca 95 % vilket var tillräckligt för att få ned radondotterhalten till mindre än 100 Bq/m^3 trots de höga utgångsvärdena.

För de hus där byggnadsmaterialet var den huvudsakliga radonkällan erhöles en god minskning av radondotterhalten efter installation av FTX-ventilation. Den enligt tabellen dåliga effekten för hus 188 är skenbar, ty vid mätningen av radon- och radondotterhalten före installationen var den genomsnittliga vindstyrkan ca 8 m/s. Följden var en mycket god luftomsättning denna dag och således en låg radonhalt.

Den folie som provades i två hus minskade radondotterhalten med 35 % i både hus 154, där hela bostadsvåningen var av skifferbaserad gasbetong, och i hus 187, där endast källarvåningen var av detta material. Radonexhalationen däremot minskade mer i hus 154 med 60 % än i hus 187, där minskningen endast var 45 %.

I tabell 9.15 har också minskningen i radondotterhalt givits som underlag för beräkning av inbesparad befolkningsdos per hus och beräkning av kostnaden för inbesparad mansievert. De senare värdena har beräknats för jämförelse med den faktiska kostnaden för inbesparing av stråldos på andra strålskyddsområden.

Tabell 9.15 Effekt av åtgärd som skillnad i 1) Procent av ursprunglig radon-exhalation, 2) Procent av ursprunglig radondotterhalt, 3) Absorberad radondotterhalt (Bq/m^3), 4) Effektiv dosekvivalent ($mSv/år$). Kostnaden per inbesparad $manSv$ har också givits baserat på antagandet att husets återstående livslängd är 50 år och att fyra personer bor i huset i genomsnitt.

Hus nr	Åtgärd	Minskning ^{a)}				Inbesparad befolkningdos under 50 år $manSv$	Kostnad för åtgärd och drift under 50 år kkr	Kostnad för inbesparad $manSv$ kr/ $manSv$
		1 Relativt ursprunglig radon-exhalat %	2 radon-dotterhalt %	3 Radondotterhalt Bq/m^3	4 Effektiv dosekvivalent ^{b)} $mSv/år$			
MARK SOM HUVUDSAKLIG RADONKÄLLA								
118	Fylln.byte	75	75	190	26	5,2	95	18 000
119	"	80	75	160	22	4,4	92	21 000
120	"	80	80	105	14	2,8	108	39 000
121	"	95	90	420	56	11,2	136	12 000
122	"	30	40	95	13	2,6	102	39 000
121 ^{c)}	FTX	-	90	300	41	8,2	132	16 000
123	Vent via kryppgrund	-	95	1 260	170	34	88	2 600
BYGGNADSMATERIAL SOM HUVUDSAKLIG RADONKÄLLA								
154	Folie	65	35	110	15	3,0	20-30	7 000-10 000
187	"	45	35	40	6	1,2	8-12	7 000-10 000
186	FTX	-	75	240	32	6,4	31	5 000
188	"	-	(25) ^{d)}	(20) ^{d)}	(3) ^{d)}	(0,6) ^{d)}		(60 000)
			65	120	16	3,2	36	11 000

- a) Beräknat som medelvärde av mätning av radon och radondöttrar i sovrum, vardagsrum och gillestuga.
- b) 0.135 mSv per Bq/m^3 enl Radonutredningens preliminära rapport (Jordbruksdepartementet 1979).
- c) För 2,29 oms/h i hobbyrummet, 1,40 oms/h som genomsnitt i källarvåningen och 0,74 oms/h i bottenvåningen. För omkring 0,5 oms/h i både bottenvåning och källarvåning erhöles ingen minskning av halten.
- d) Bättre reel effekt är sannolik, se texten. Uppskattat mer sannolikt värde har givits.

Den effektiva dosekvivalenten har beräknats på samma sätt som i radogutredningens preliminära rapport (0,135 mansievert per Bq/m³). Den inbesparade befolkningsdosen per hus har beräknats med antagandet att husets livslängd är 50 år och att fyra personer bor i huset i genomsnitt.

De angivna kostnaderna är för installation och ökade driftskostnader t ex i form av service och ökad energiförbrukning. De inkluderar moms men ej projektering, upphandling och besiktning, totalt ca 10 % av kostnaderna.

Det framgår av tabell 9.15 att man har fått betala mellan 12 000 och 39 000 kronor per mansievert för fyllningsbyte och ca 2 600 kronor per mansievert för installation av ventilation via kryppgrund. Det var inte billigare att eliminera en mansievert, när byggnadsmaterialet var den huvudsakliga radonkällan när man använde folie. Kostnaden var 7 000-10 000 kronor. FTX-ventilation beräknas kosta ungefär detsamma 5 000-11 000 kronor per mansievert.

Vad man faktiskt betalar per mansievert när man uppfyller gränsvärden och när det gäller att hålla stråldoser så lågt som rimligt möjligt under gränsvärden är olika. I det senare fallet brukar man i internationella diskussioner anse en summa av storleken 10 000-20 000 kronor per mansievert vara ett rimligt belopp. Belopp upp till 500 000 kr när tillämpats vid kärnkraft. Vad som kan vara rimligt att betala per mansievert är också beroende av om nyttan av verksamheten kommer samma personer tillgodo, som utsätts för risken för skada. En ytterligare begränsning ges av vilka belopp, som står till förfogande för skyddet t ex genom politiska beslut.

Om motsvarande skyddsfilosofi skulle tillämpas för nybyggnad av bostäder skulle man kunna försvara 5 000-10 000 kronor ($20 \cdot 0,135 \cdot 4 \cdot 50 \cdot 10^{-3} \cdot 10,000$) i extra investering per bostad för att nå t ex 50 Bq/m³ i stället för 70 Bq/m³ om fyra personer under 50 år antas bruka bostaden.

Kostnaden för varje inbesparad mansievert i tabell 9.15 avser de faktiska kostnaderna när radondotterkoncentrationen överstigit gränsvärdet 400 Bq/m³ före åtgärden. Det är trots det intressant att jämföra de faktiska kostnaderna för att spara en mansievert med de internationellt diskuterade 10.000-20.000 kronor per mansievert för att hålla stråldosen så lågt som möjligt. Kostnaden för fyllningsbyte låg vid den övre intervallgränsen eller högre och ventilation via kryppgrund under den lägre intervallgränsen.

Kostnaden för anbringande av folie låg vid den nedre intervallgränsen liksom installation av FTX-ventilation i de hus där byggnadsmaterialet är den huvudsakliga radonkällan.

10 RESULTATENS ALLMÄNGILTIGHET - BEHOV AV FORTSATT ARBETE

Resultaten med frånluftsventilering av kryputrymme är lovande och bedöms kunna tillämpas såväl vid åtgärder i existerande hus av denna typ, som vid nybyggnad på mark med ovanligt hög koncentration av radon i markluften.

Erfarenheten från byte av fyllning utanför källarväggarna är däremot endast i undantagsfall tillämplig på andra hus med infiltration av markradon. Metoden förutsätter att det endast är de översta två metrarna av marken som är kraftigt radonavgivande. Det vanliga är däremot att markens radonhalt är förhöjd även på större djup, och då krävs metoder av helt annan typ. Erfarenheterna av kraftig mekanisk ventilation som ensam åtgärd i syfte att eliminera problem med infiltration av markradon är ej goda. Resultatet från det enda hus där detta prövades tyder på att

- . i detta fall ökade inflödet av markradon vid måttliga luftflöden. Detta är dock ej allmängiltigt.
- . ett lyckat resultat kan kräva så stora luftflöden att såväl installationskostnad som kostnad för ökad energiförbrukning blir höga.

Erfarenheterna från detta projekt är därför endast i undantagsfall tillämpliga när markradon orsakar problem i hus med källare, platta på mark eller souterrängplan. För dessa typer av problem krävs det att andra metoder utvecklas och verifieras i full skala. Detsamma gäller för hus där radonet härrör både från byggnadsmaterial och mark.

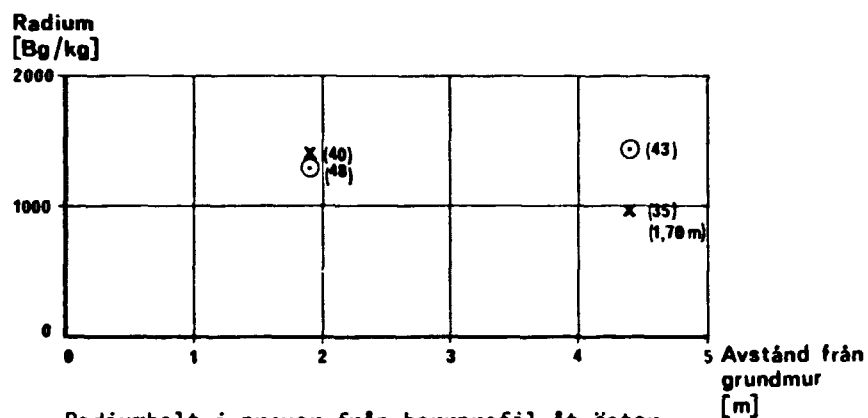
Om byggnadsmaterialet ensamt är den dominerande källan till radon är erfarenheten från detta projekt tillämplig, d v s med mekanisk FT-ventilation kan man i de flesta fall reducera radondotterhalten till under eller i närheten av gränsvärdet för nybyggnad. Dimensionering, injustering, leveranskontroll och underhåll är dock förutsättningar för ett lyckat resultat karakteriserat av

- . ljudnivå ej över kraven i SBN.
- . låg andel kortslutningsström mellan tilluft- och frånluftdon.
- . energiverkningsgrad som gör att en eventuell ökning av energiförbrukningen begränsas så långt möjligt.

Användning av radontäta ytskikt bör studeras ytterligare. För aluminiumfolie är det främst de befarade elektriska riskerna, som behöver klarläggas. Metoden är potentiellt mycket bra och kan med hänsyn till effekten vara ekonomiskt konkurrenskraftig i samband med ordinarie omtapetsering. Den kan bli ett bra komplement till frånluftsventilering med måttliga luftflöden i hus där planlösning gör det svårt att genomföra en diskret installation av FTX-ventilation.

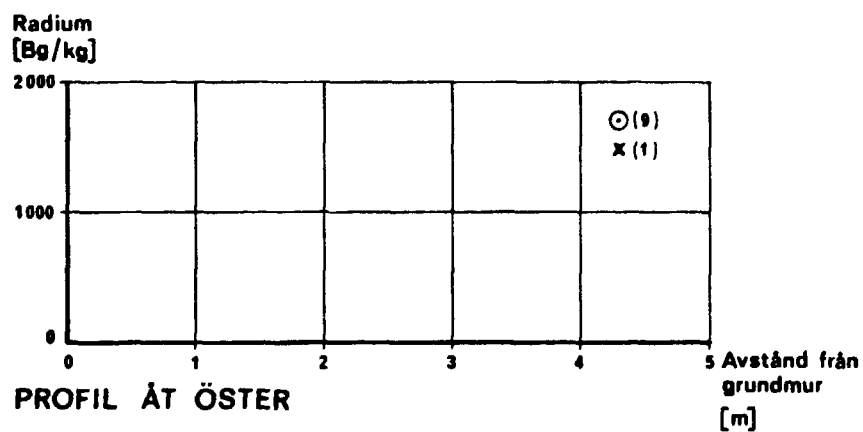
RADON I BOSTÄDERBILAGA 1

Figurer B.1-B.24
Tabeller B.1-B.7.

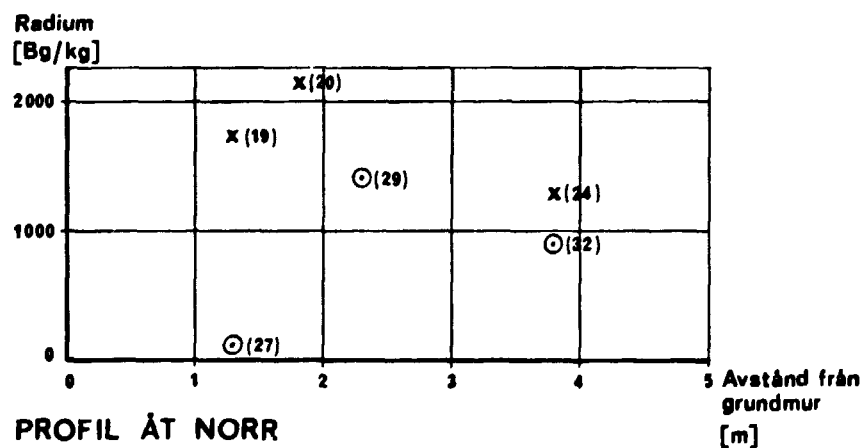


Figur B.1a Radiumhalt i prover från borrprofil åt öster vid hus 120.

⊙ 1 m djup
 × 2 m djup
 (40) Siffran inom parentes anger hålets nummer.



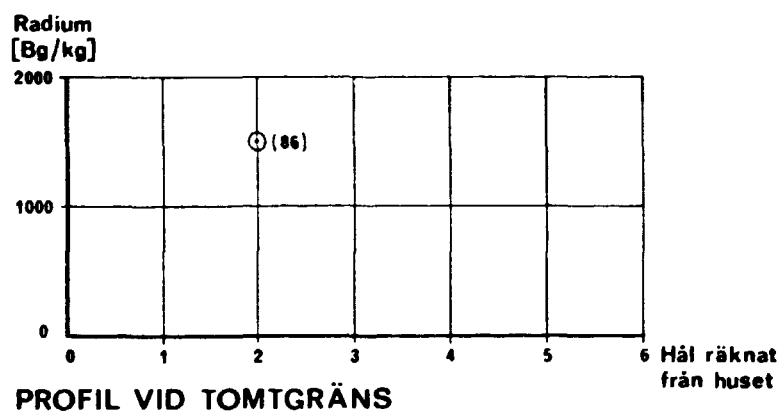
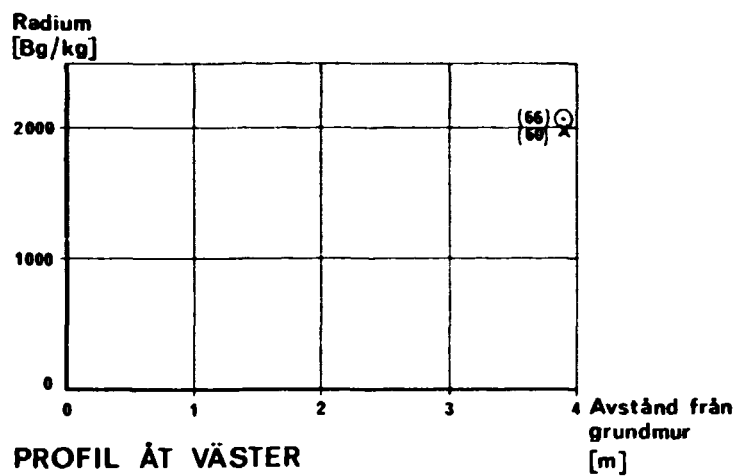
PROFIL ÅT ÖSTER



PROFIL ÅT NORR

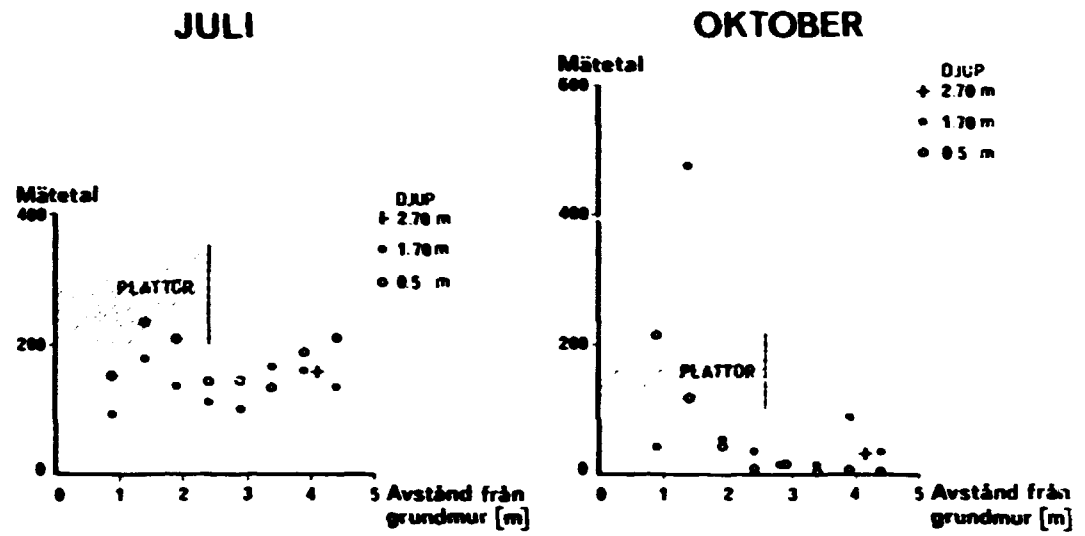
Figur B.1b Radiumhalt i prover från borrprofil vid hus 121.

⊙ 1 m djup
 × 2 m djup
 (40) Siffran inom parentes anger hålets nummer.

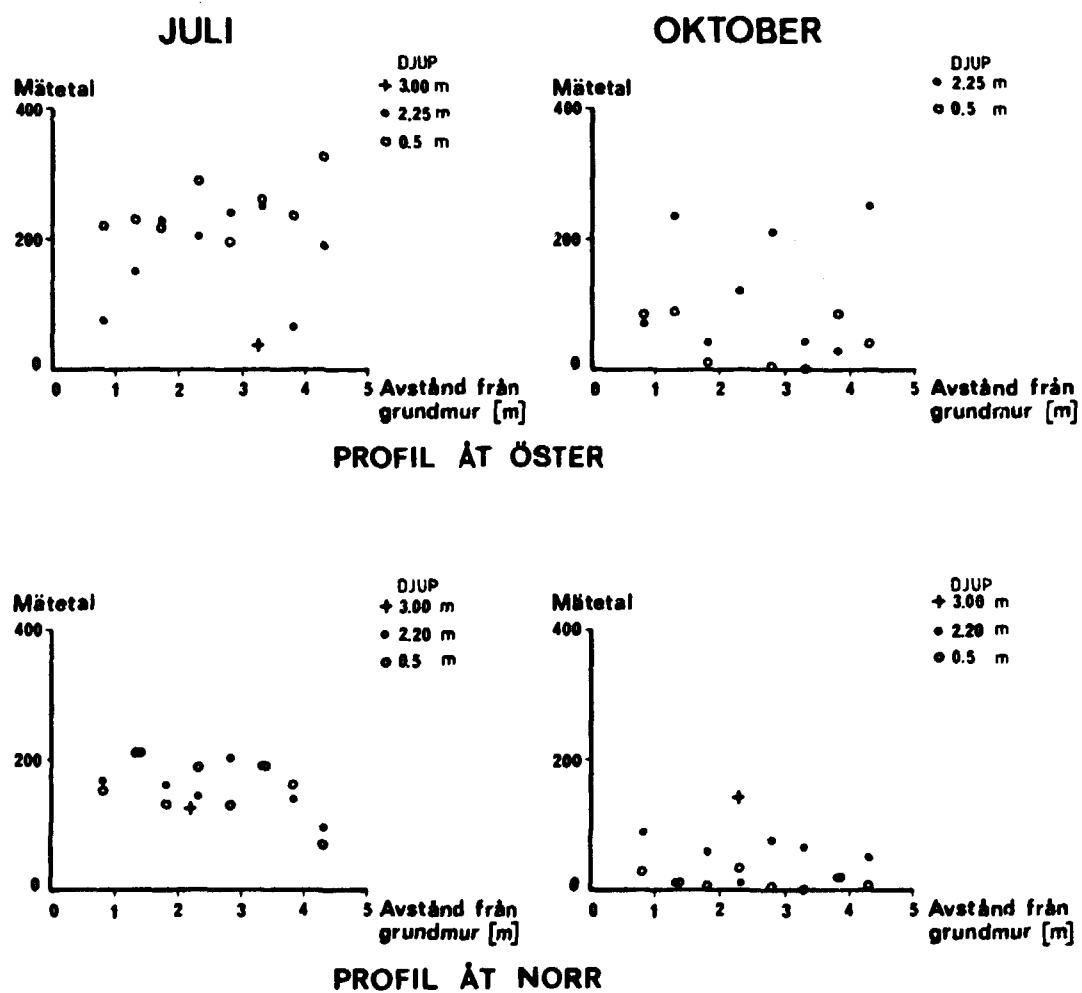


Figur B.1c Radiumhalt i prover från borrhprofil vid hus 125.

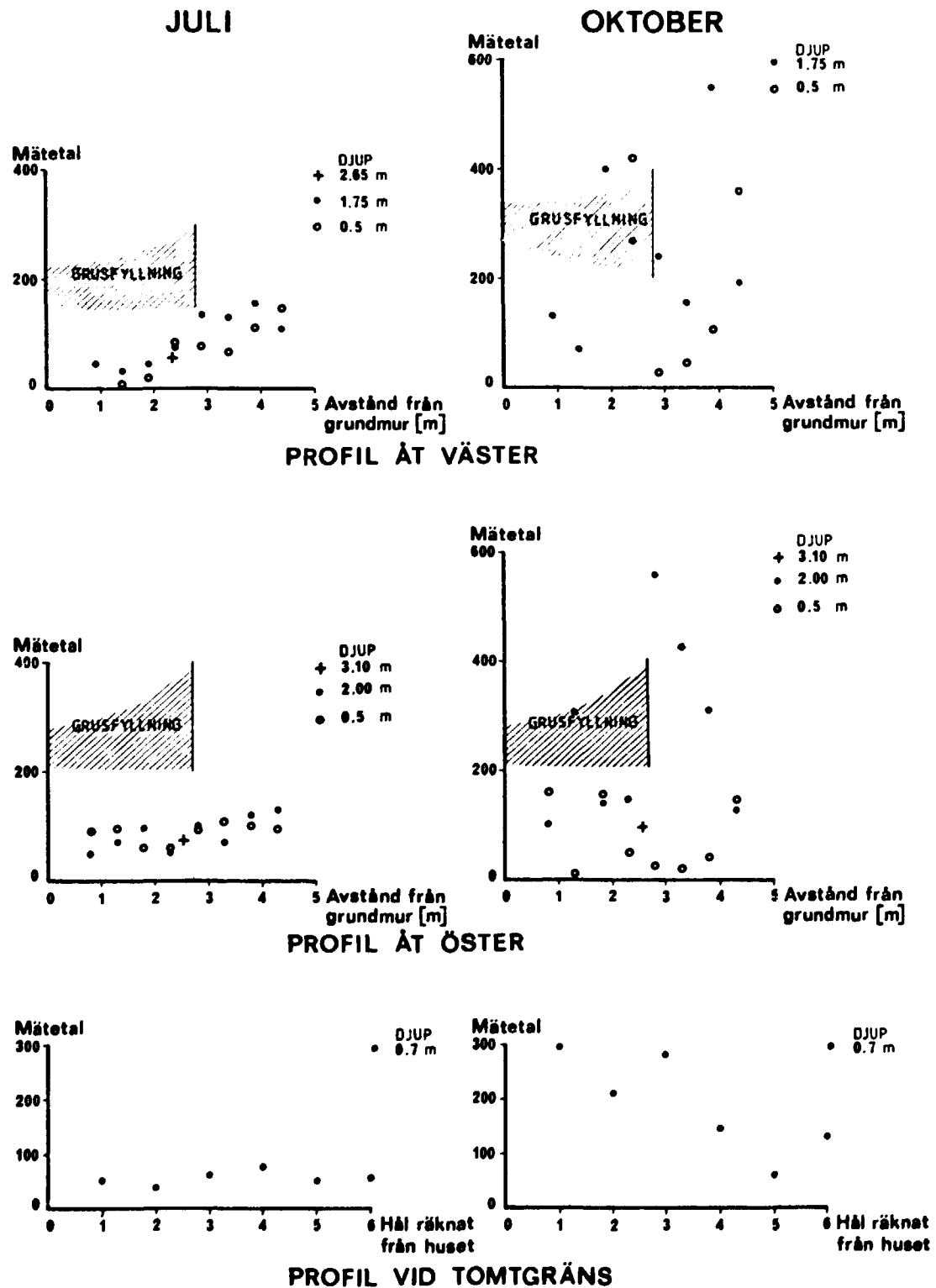
- ⊙ 1 m djup
- x 2 m djup
- (40) Siffran inom parentes anger hålets nummer.



Figur B.2a Relativa mätetal för radonhalt i borrhög åt öster vid hus 120.

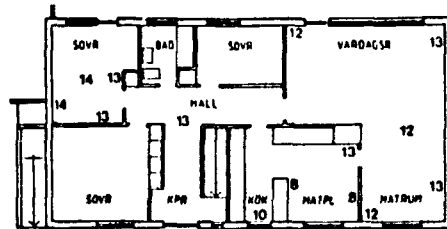


Figur B.2b Relativa mätetal för radonhalt i borrprofil vid hus 121.

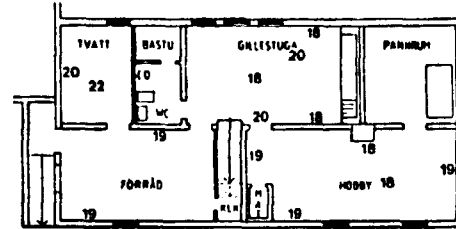


Figur B.2c Relativa mätetal för radonhalt i borrprofil vid hus 125.

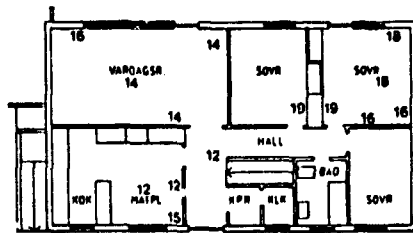
Figur B.3 Gammastrålning i hus 118-123 och 125.
 Värden i $\mu\text{R}/\text{h}$ har uppmätts dels i rumsmitt och dels på respektive väggyta före fyllningsbyte.
 Det kosmiska strålningsbidraget ca $3 \mu\text{R}/\text{h}$ ingår i de angivna värdena.



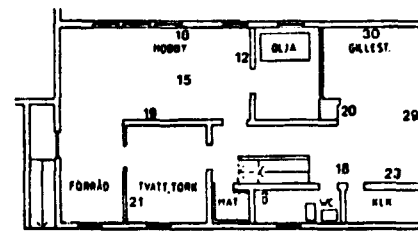
Hus 118 BV



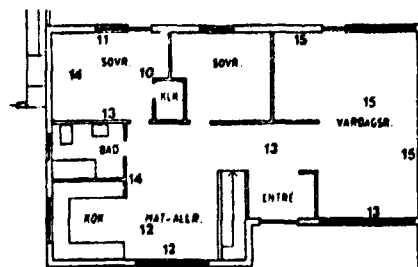
Hus 118 KV



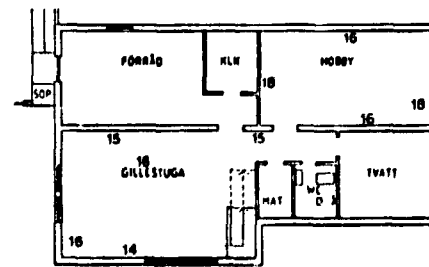
Hus 119 BV



Hus 119 KV

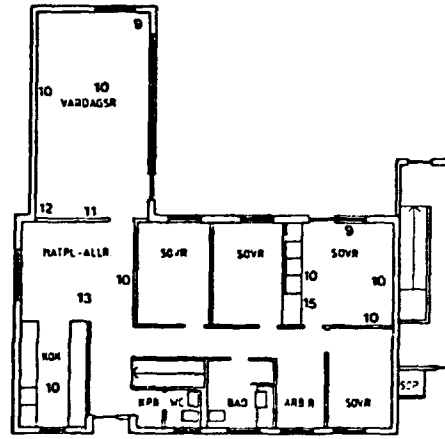


Hus 120 BV

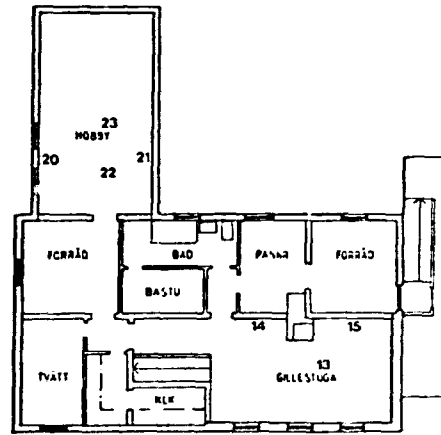


Hus 120 KV

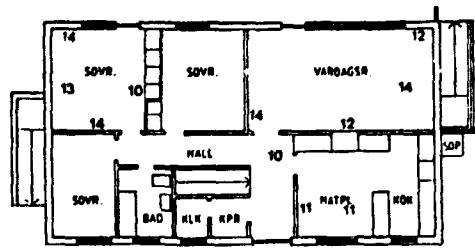
Figur B.3a Hus 118-120.



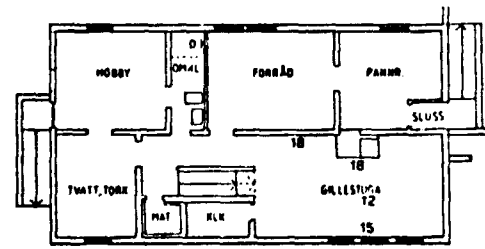
Hus 121 BV



Hus 121 KV

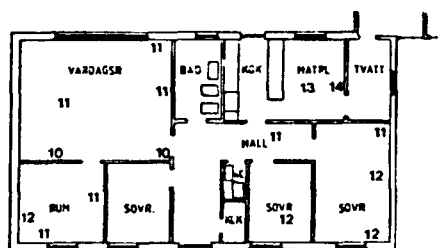


Hus 122 BV

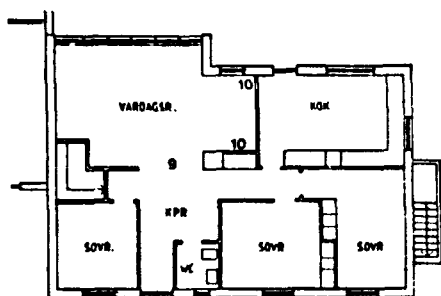


Hus 122 KV

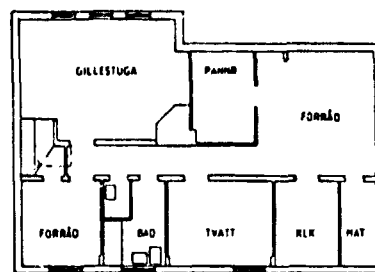
Figur B.3b Hus 121-122.



Hus 123 BV



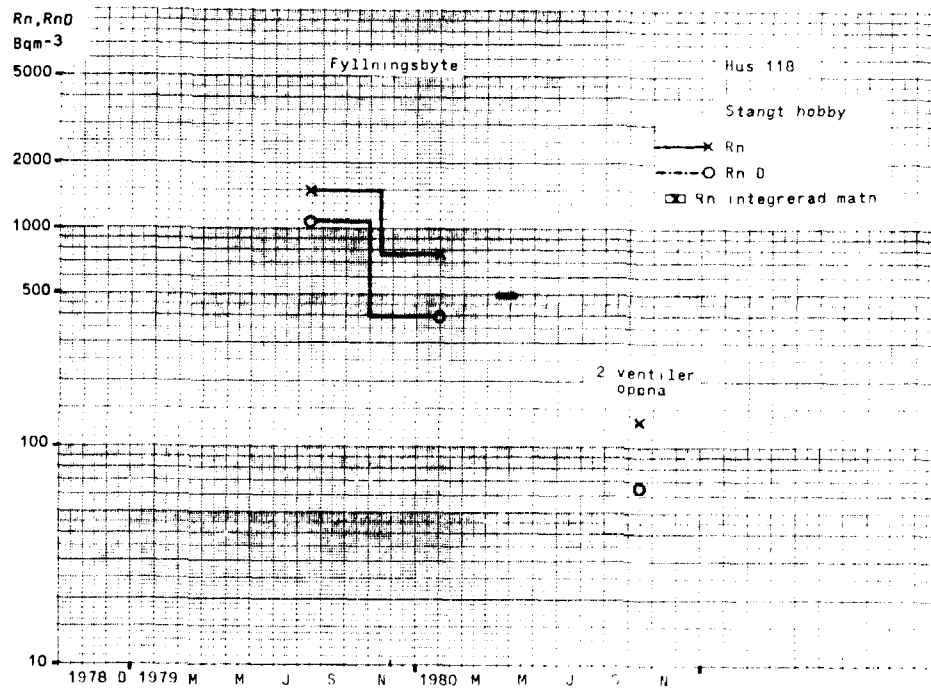
Hus 125 BV



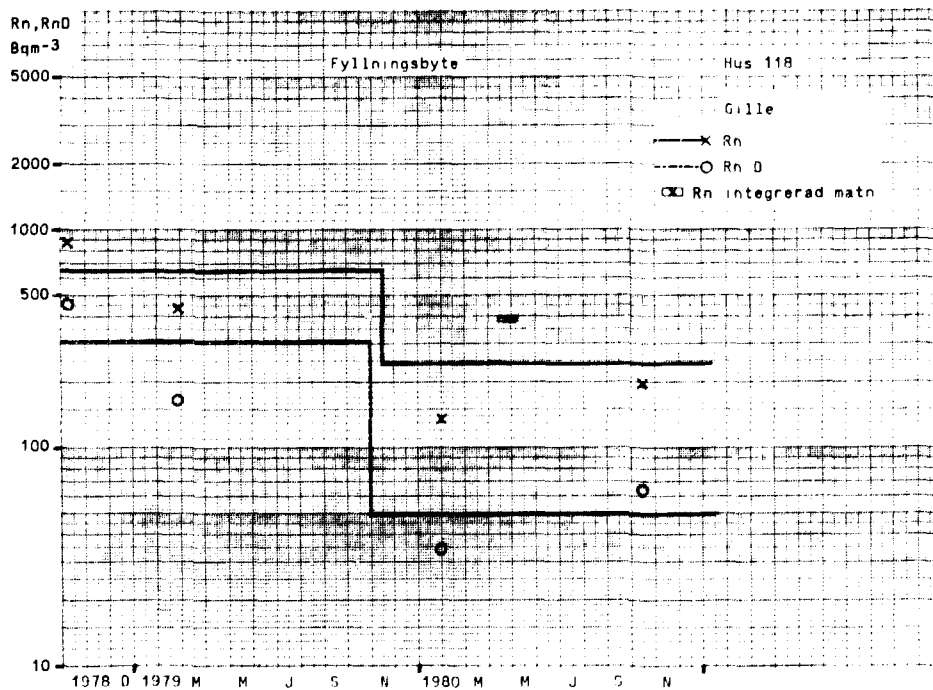
Hus 125 KV

Figur B.3c Hus 123 och 125.

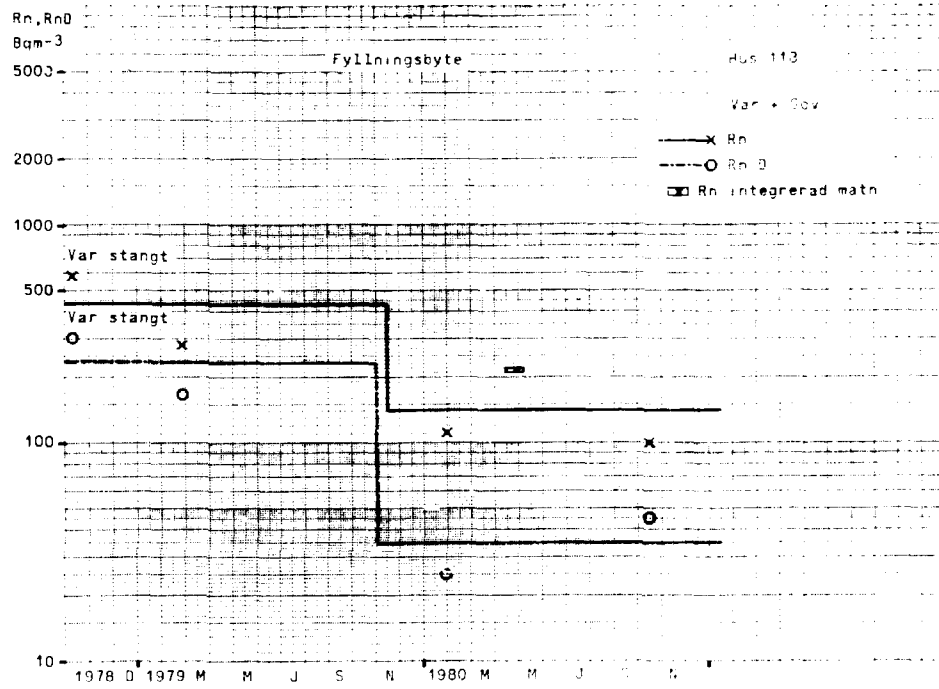
Figur B.4-B.8 Halten av radon och radondöttir inomhus samt de mest sannolika genomsnittliga värdena före och efter åtgärd. Resultatet från de momentana mätningarna har multiplicerats med 0,75 för att korrigera för att huset hållits stängt före provtagningen (hus 118-122).



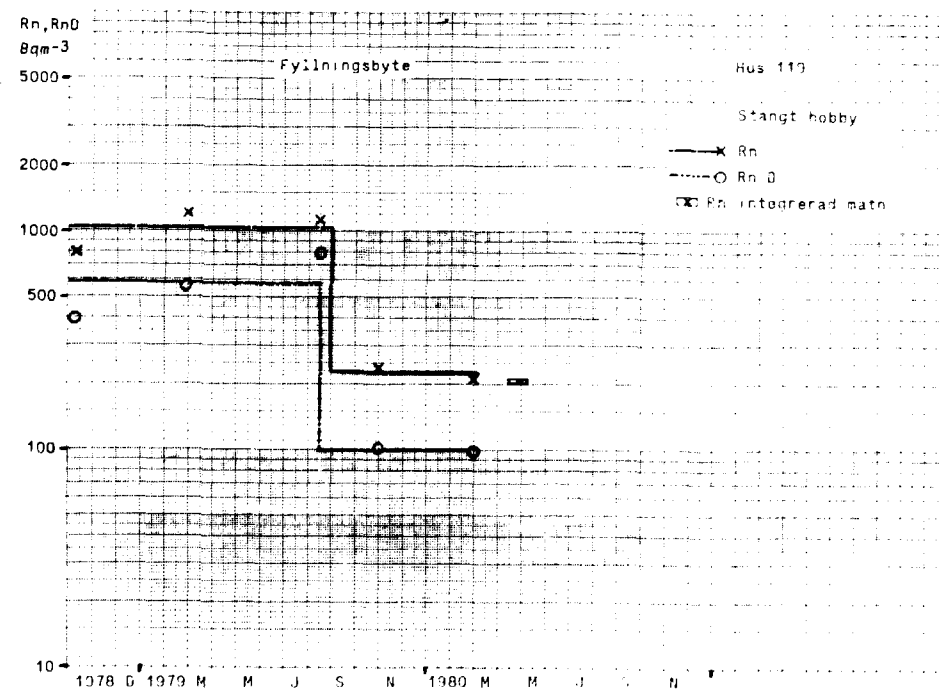
Figur B.4a Hus 118 Hobbyrum.



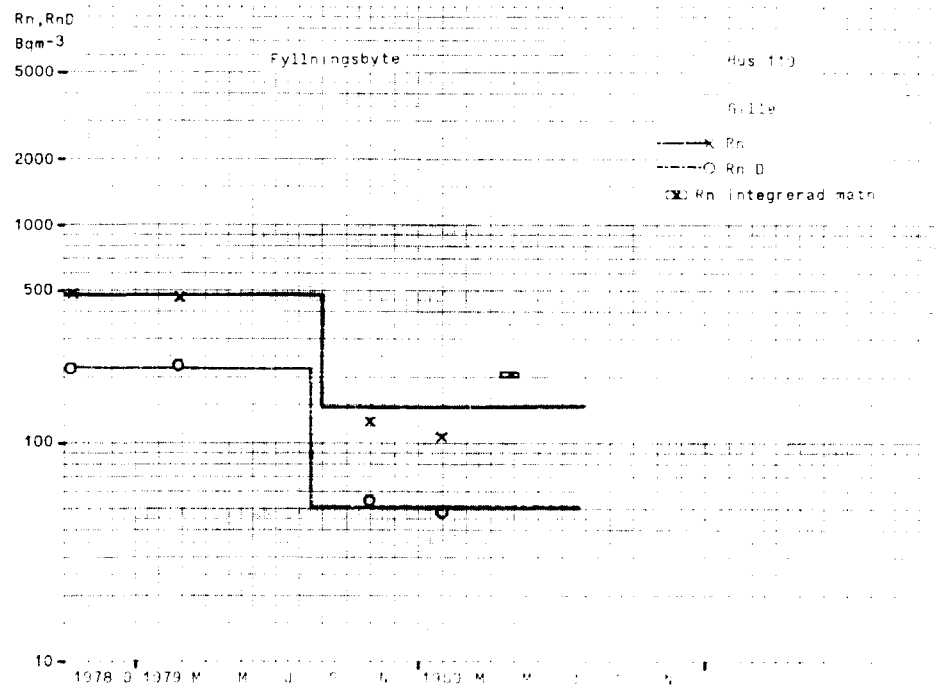
Figur B.4b Hus 118 Gillestuga.



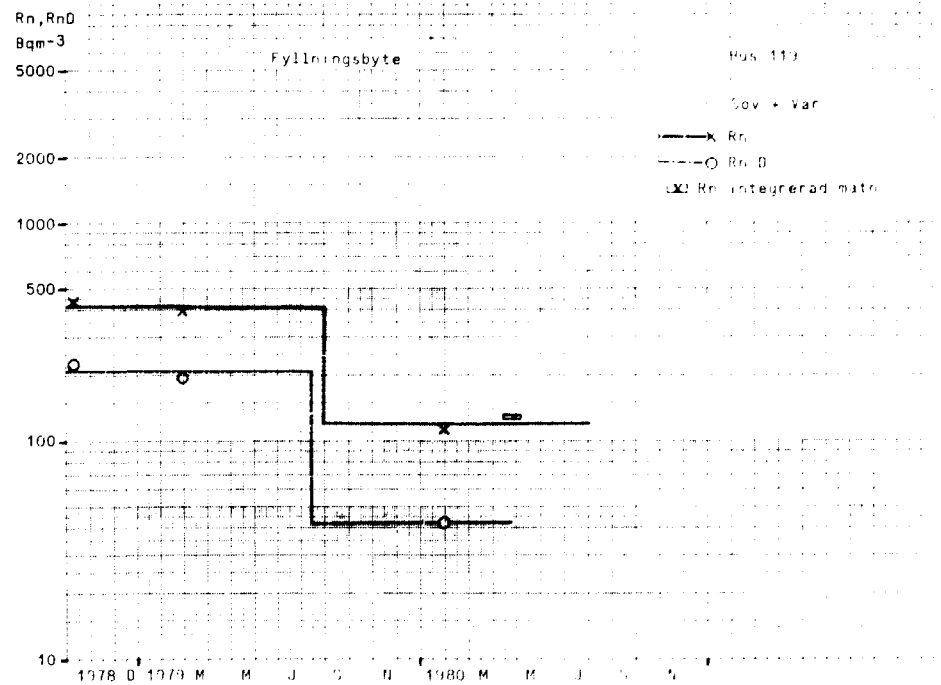
Figur B.4c Hus 118 Vardagsrum och sovrum.



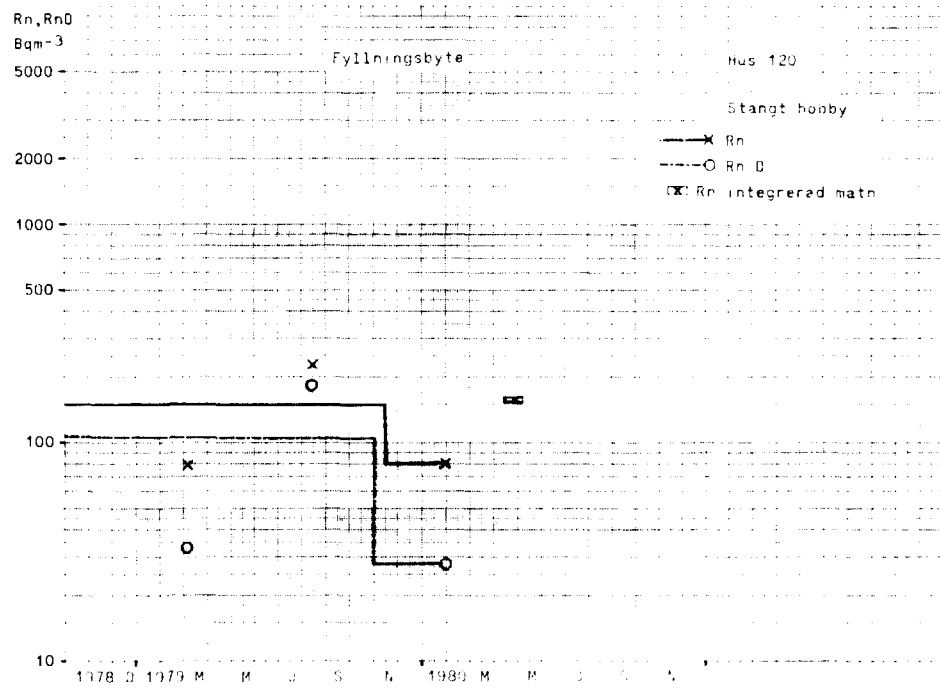
Figur B.5a Hus 119 Hobbyrum.



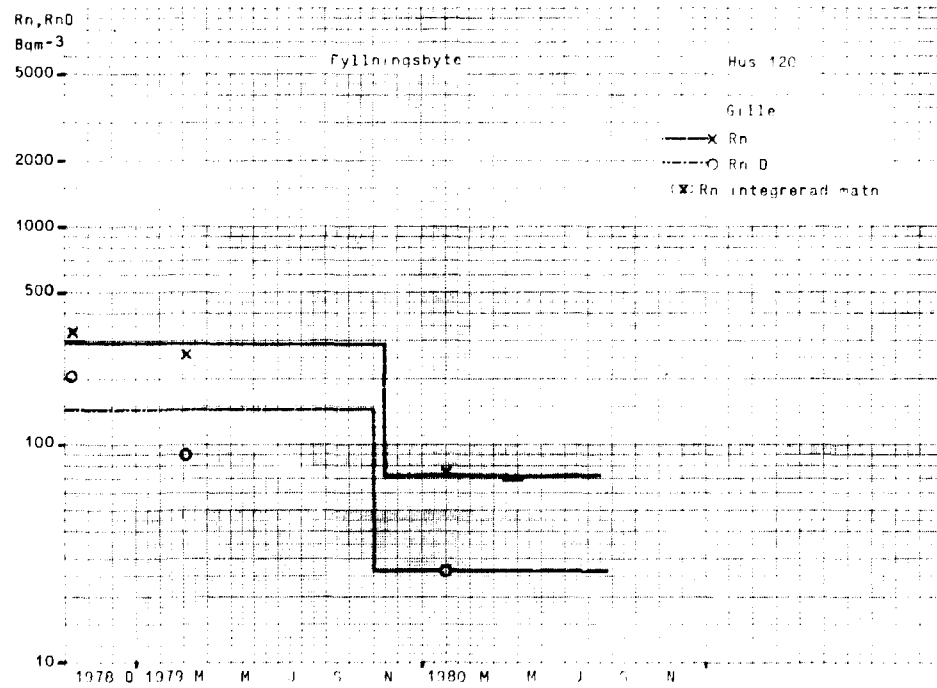
Figur B.5b Hus 119 Gillestuga.



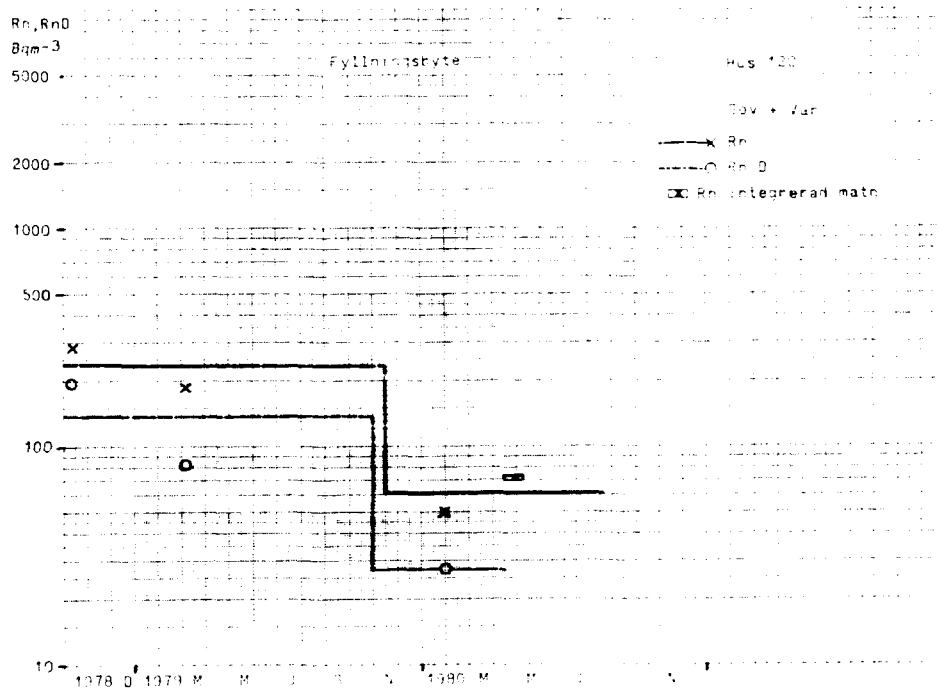
Figur B.5c Hus 119 Vardagsrum och sovrum.



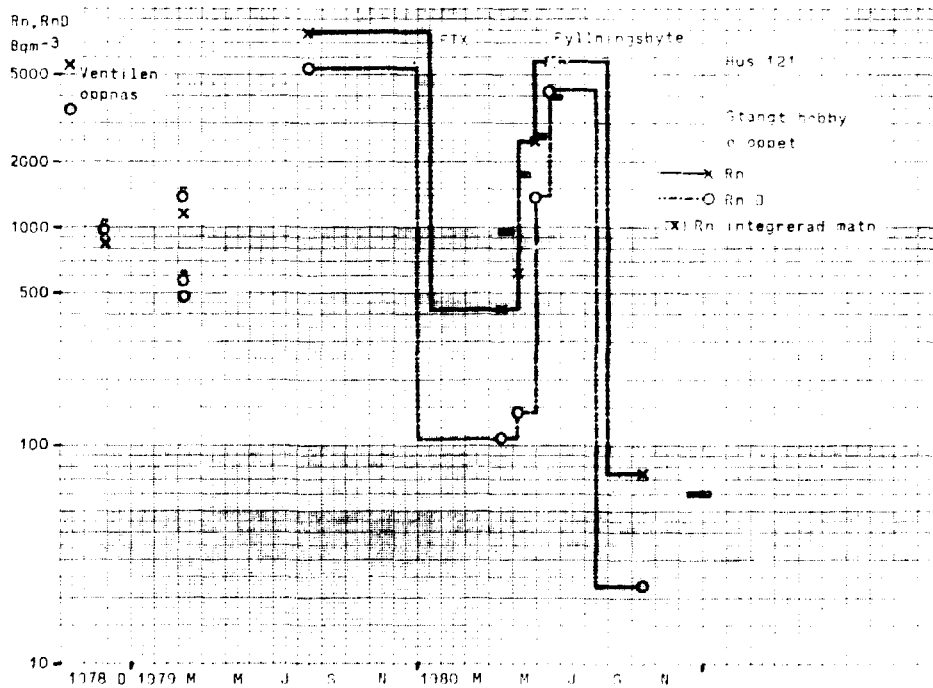
Figur B6.a Hus 120 Hobbyrum.



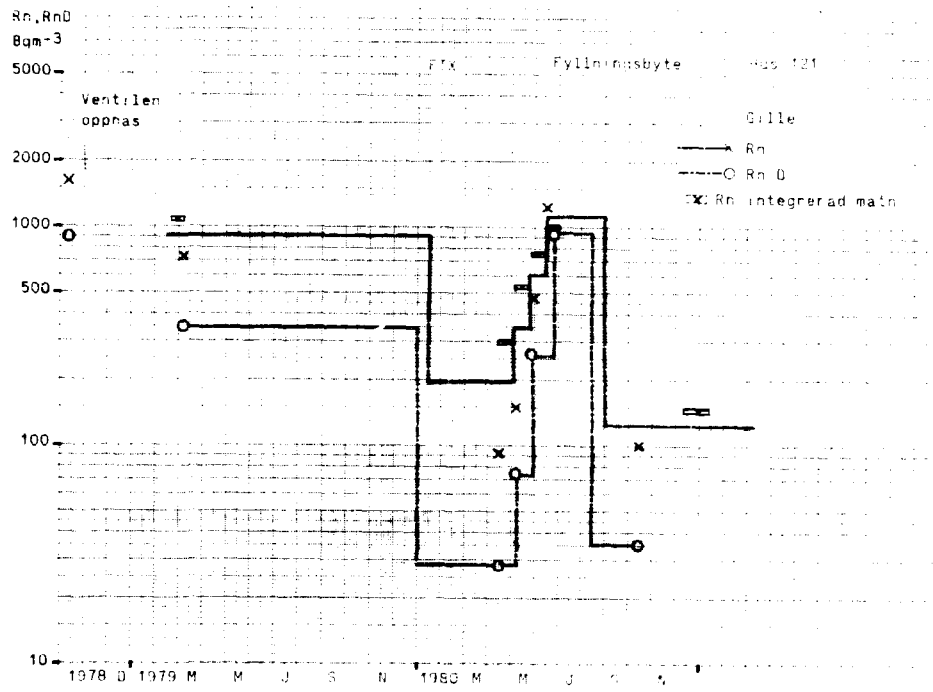
Figur B.6b Hus 120 Gillestuga.



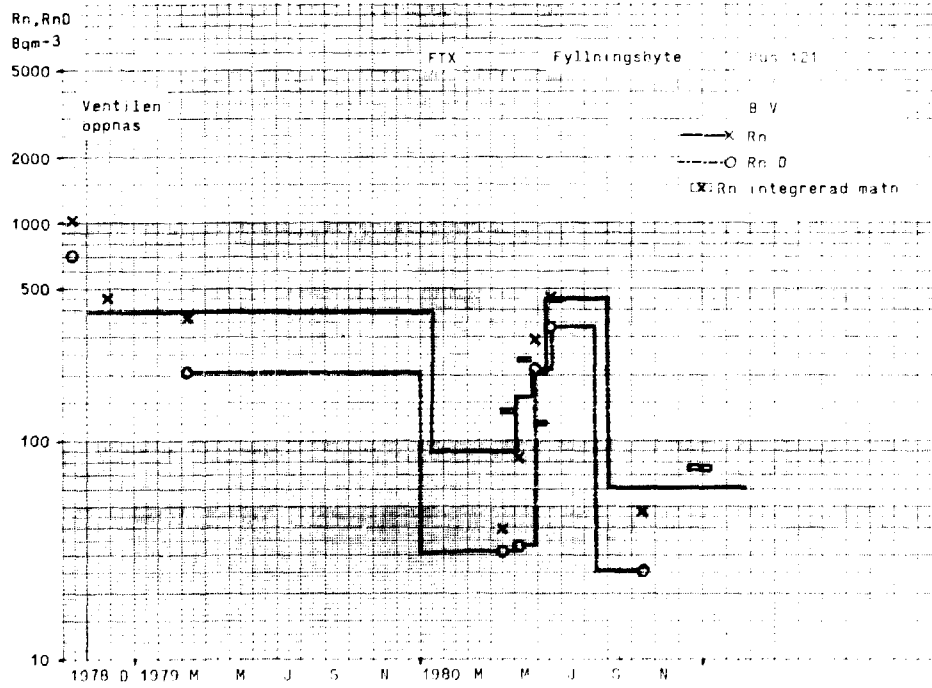
Figur B.6c Hus 120 Vardagsrum och sovrum.



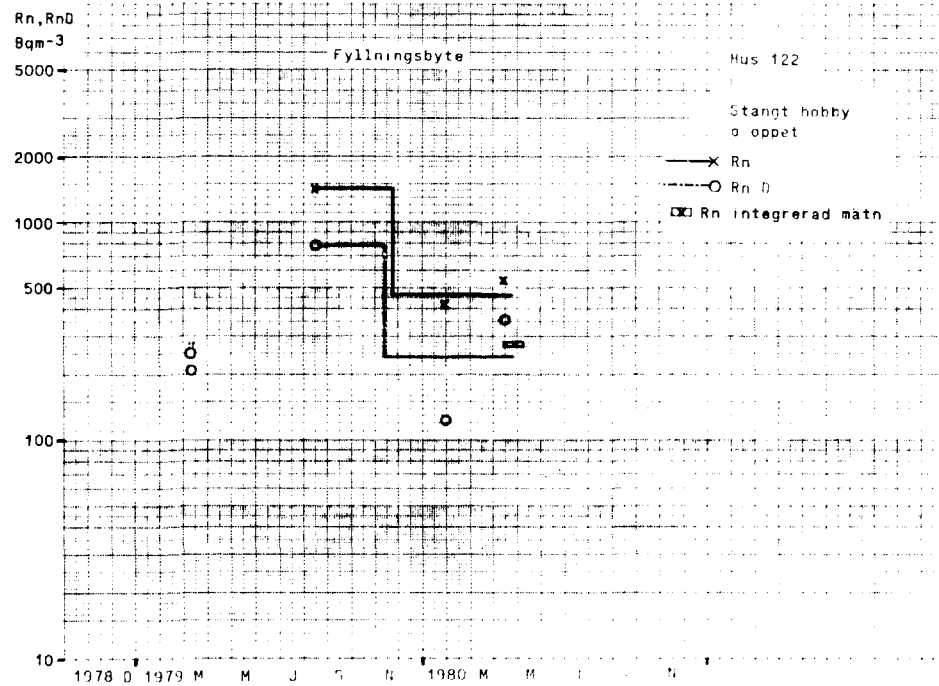
Figur B.7a Hus 121 Hobbyrum.



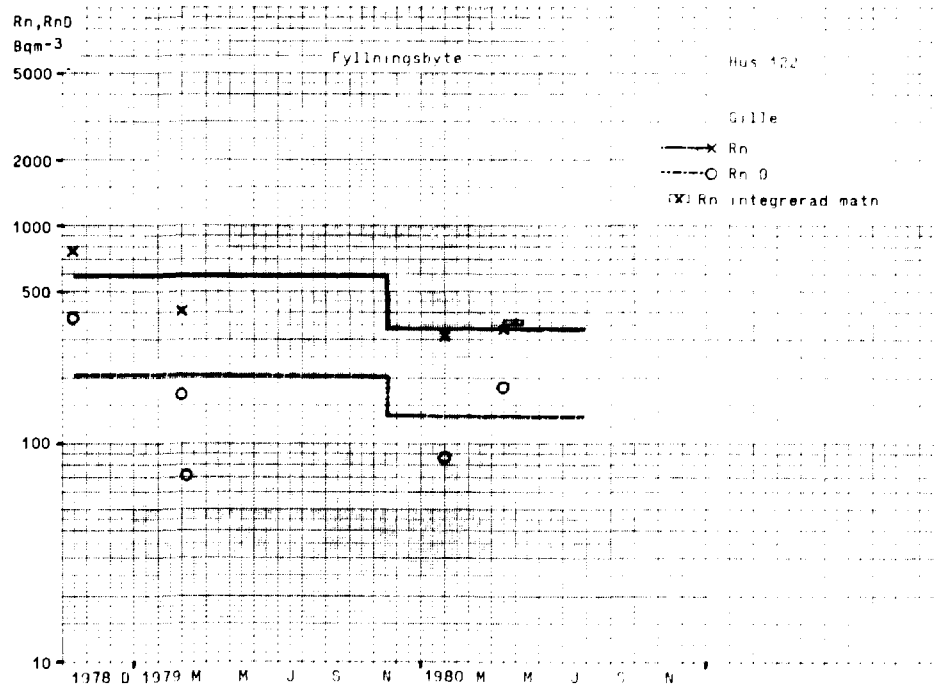
Figur B.7b Hus 121 Gillestuga.



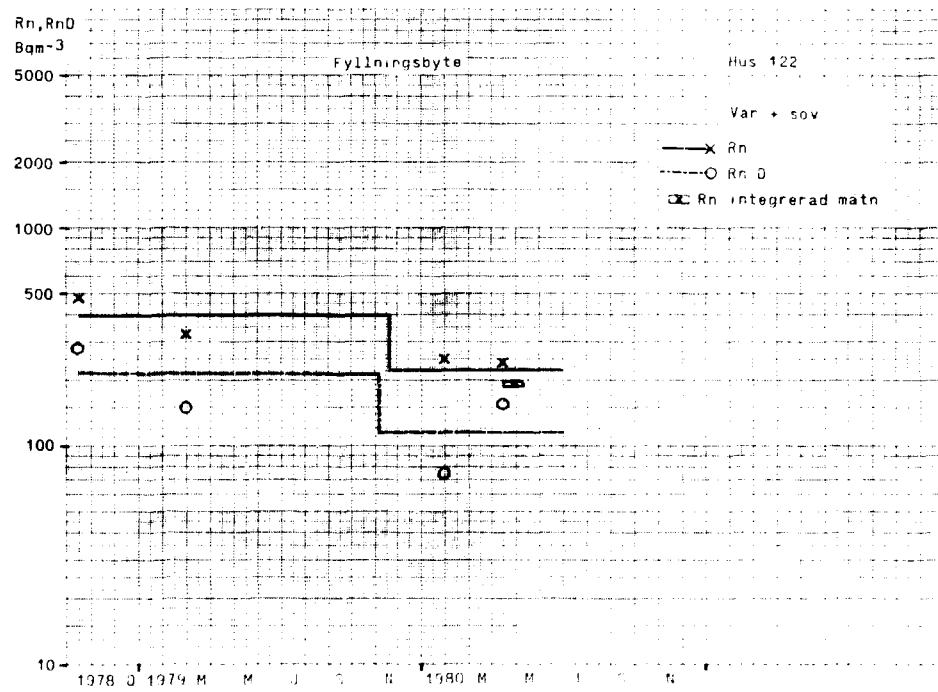
Figur B.7c Hus 121 Bottenvåning.



Figur B.8a Hus 122 Hobbyrum.

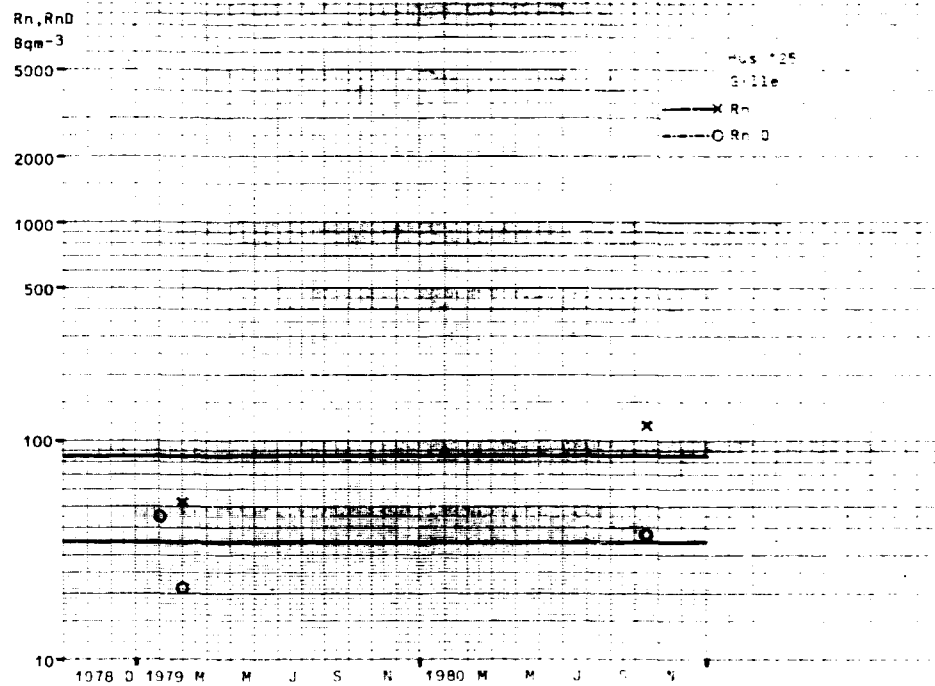


Figur B.8b Hus 122 Gillestuga.

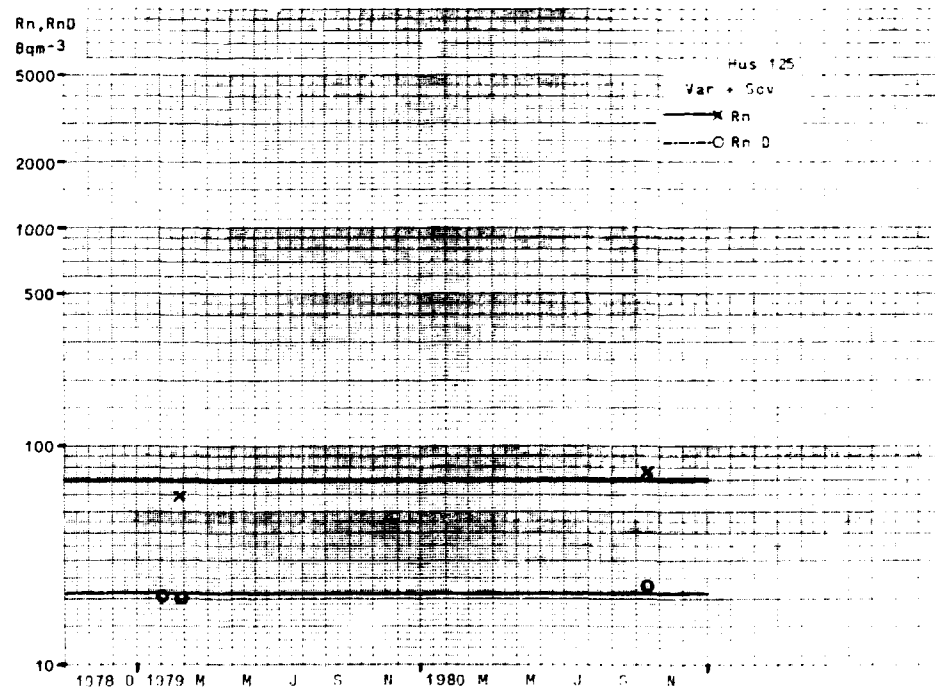


Figur B.8c Hus 122 Vardagsrum och sovrum.

Figur B.9. Halten av radon och radondöttrar inomhus samt de mest sannolika genomsnittliga värdena. Resultatet från de momentana mätningarna har multiplicerats med 0,75 för att korrigera för att huset hållits stängt före provtagningen (hus 125).

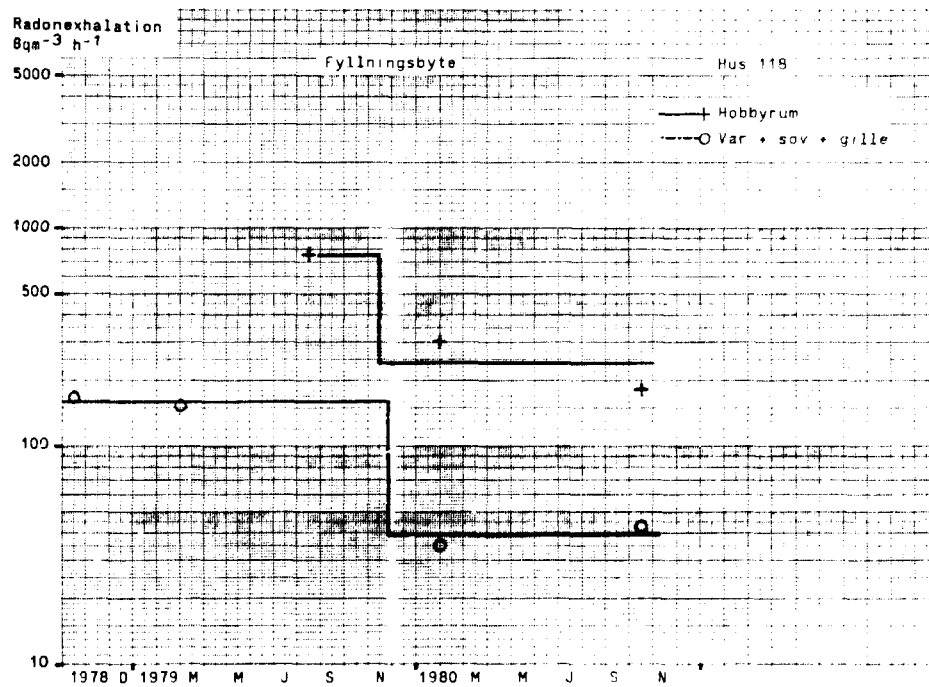


Figur B.9a Hus 125 Gillestuga.

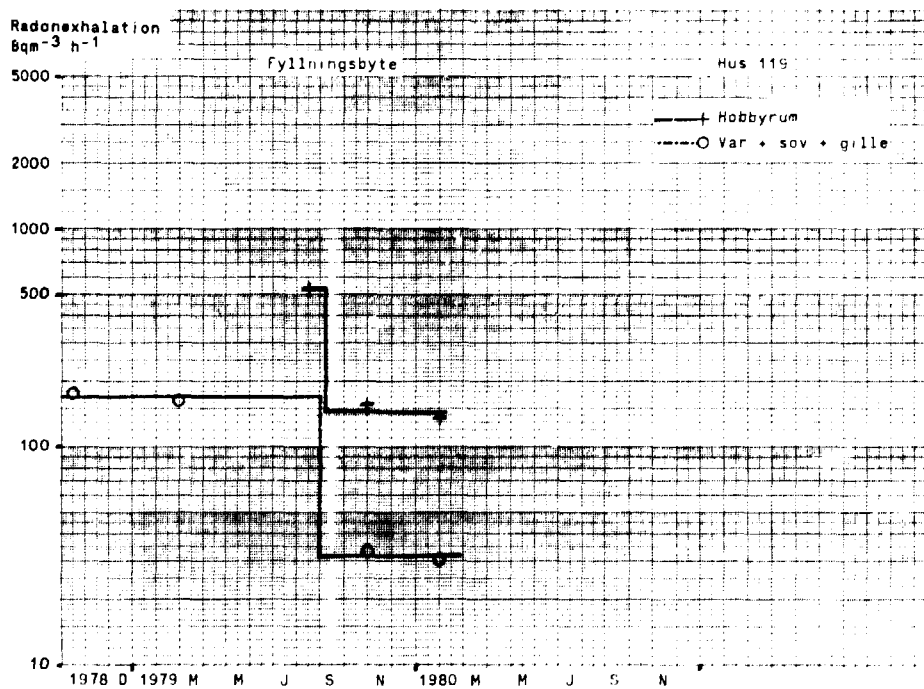


Figur B.9b Hus 125 Vardagsrum och sovrum.

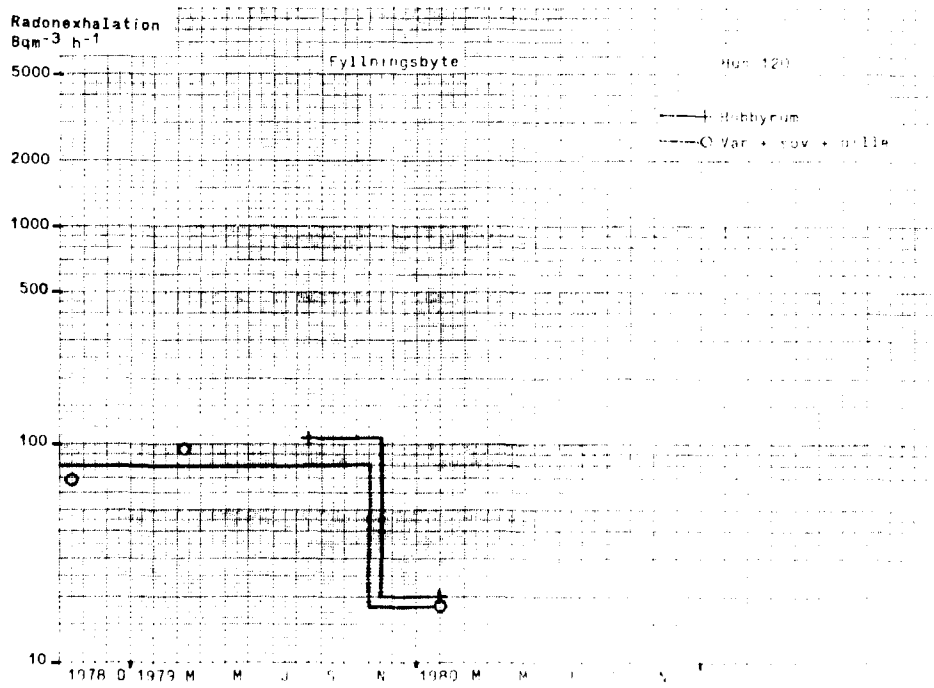
Figur B.10-B.14. Radonexhalationen beräknad enligt ekv 2 i olika delar av husen samt de mest sannolika genomsnittliga värdena (hus 118-122) före och efter fyllningsbyte och före och efter FTX-installation (hus 121).



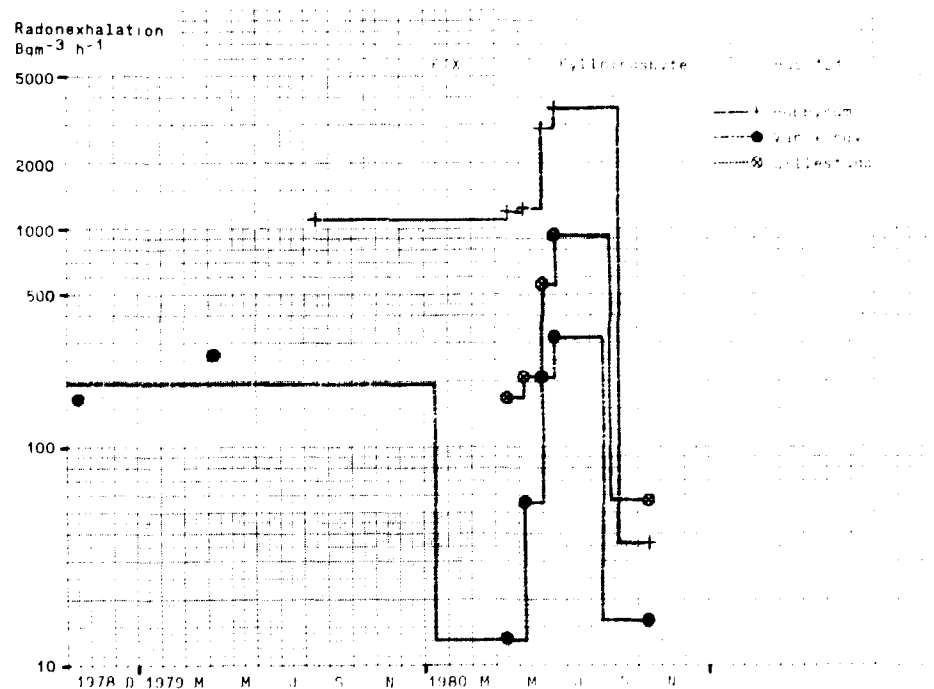
Figur B.10 Hus 118.



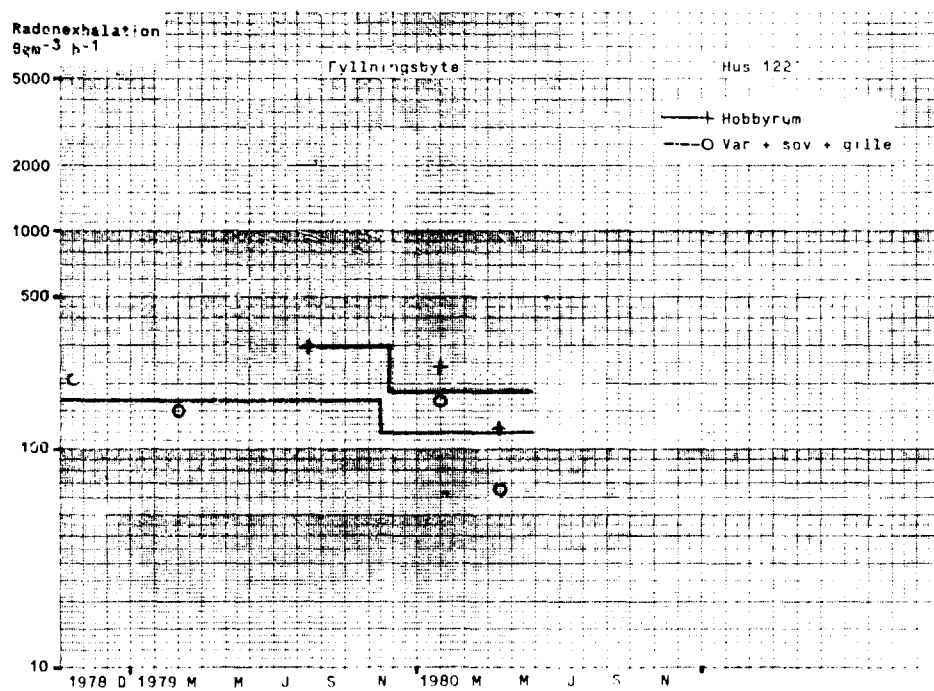
Figur B.11 Hus 119.



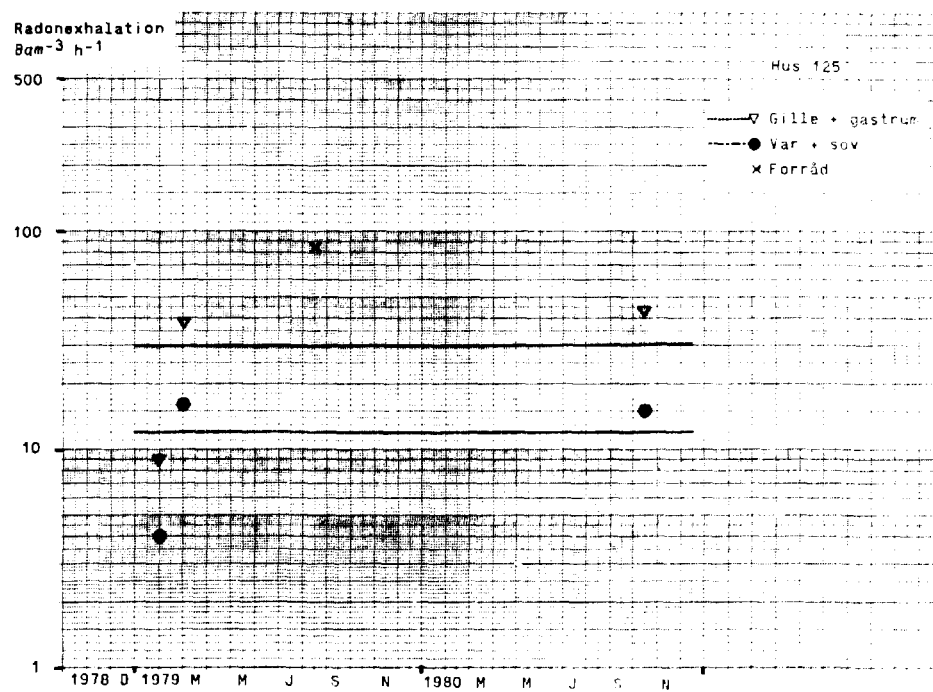
Figur B.12 Hus 120.



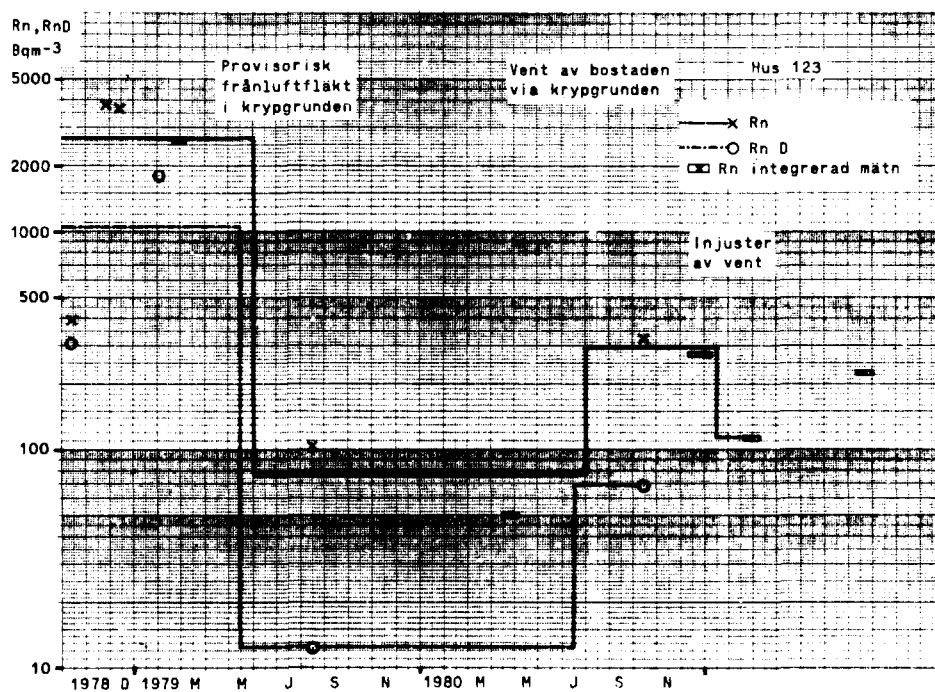
Figur B.13 Hus 121.



Figur B.14 Hus 122.

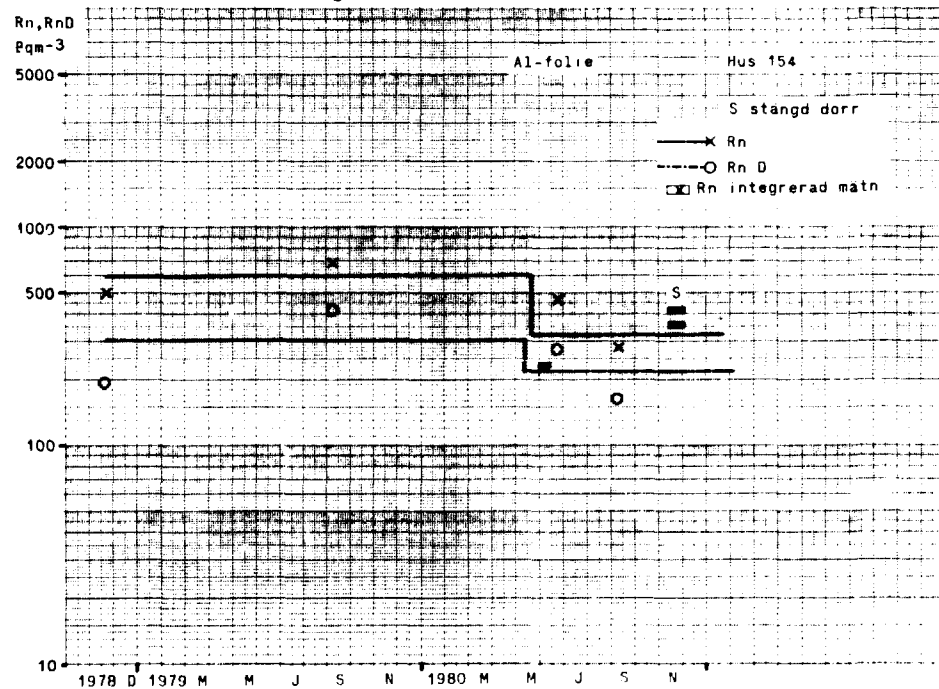


Figur B.15. Radonexhalationen beräknad enligt ekv 2 i olika delar av husen samt de mest sannolika genomsnittliga värdena (hus 125). Observera att skalan är förskjuten jämfört med figur B.10-B.14.

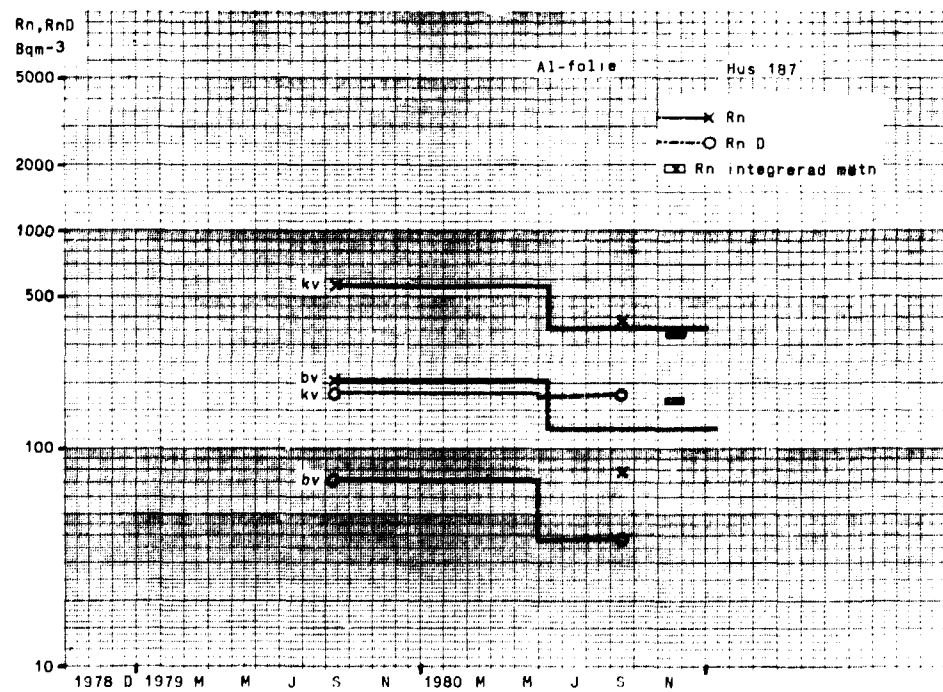


Figur B.16. Halten av radon och radondöttrar inomhus samt de mest sannolika genomsnittliga värdena före och efter åtgärd. Resultatet från de momentana mätningarna har multiplicerats med 0,75 för att korrigera för att huset hållits stängt före provtagningen (hus 123).

Figur B.17-B.18. Halten av radon och radondöttrar inomhus samt de mest sannolika genomsnittliga värdena före och efter anbringande av aluminiumfolie. Resultatet från de momentana mätningarna har multiplicerats med 0,75 för att korrigera för att huset hållits stängt före provtagningen (hus 154). I hus 154 har aluminiumfolie anbringats i bostadsvåningen och i hus 187 endast i källarvåningen.

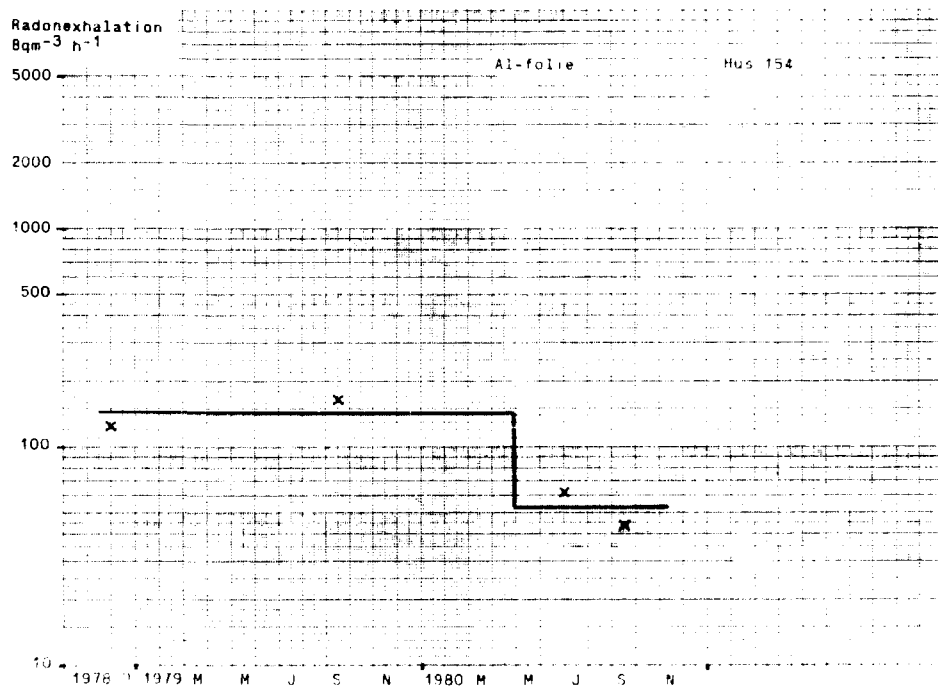


Figur B.17 Hus 154.

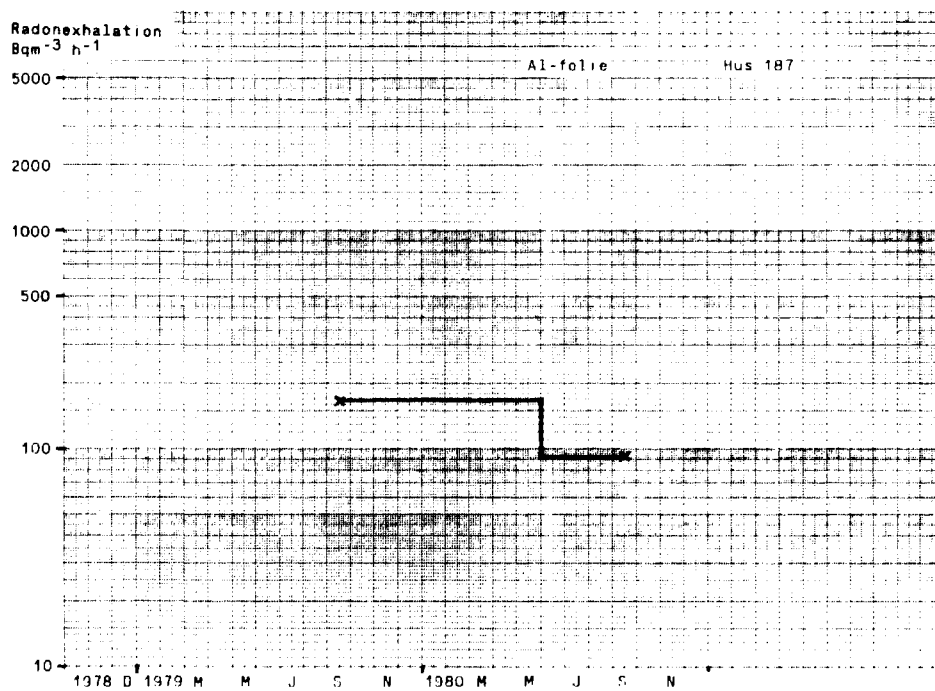


Figur B.18 Hus 187.

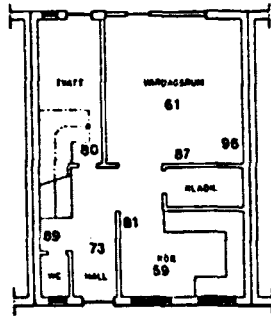
Figur B.19-B.20. Radonexhalationen beräknad enligt ekv 2 samt de mest sannolika genomsnittliga värdena före och efter anbringande av aluminiumfolie på väggarna i hus 154 och 187.



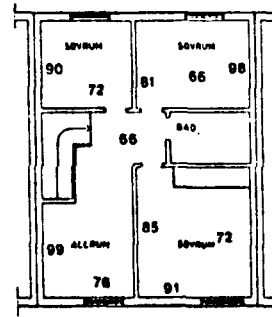
Figur B.19 Hus 154.



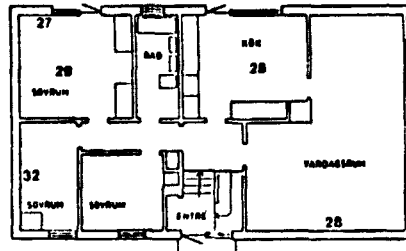
Figur B.20 Hus 187.



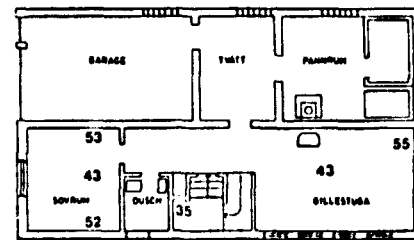
Hus 154 BV



Hus 154 ÖV



Hus 187 BV

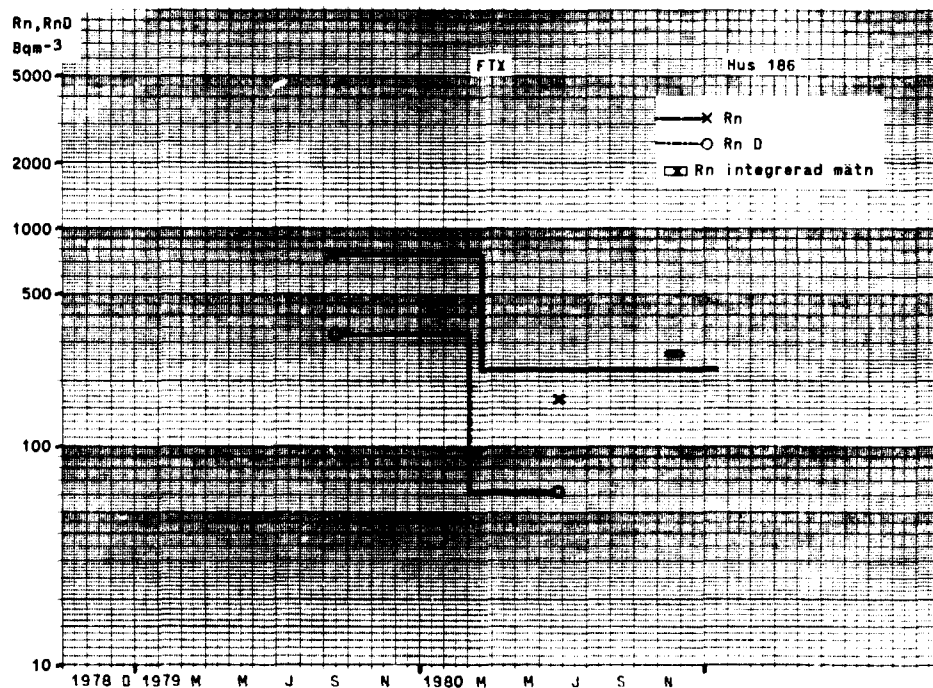


Hus 187 KV

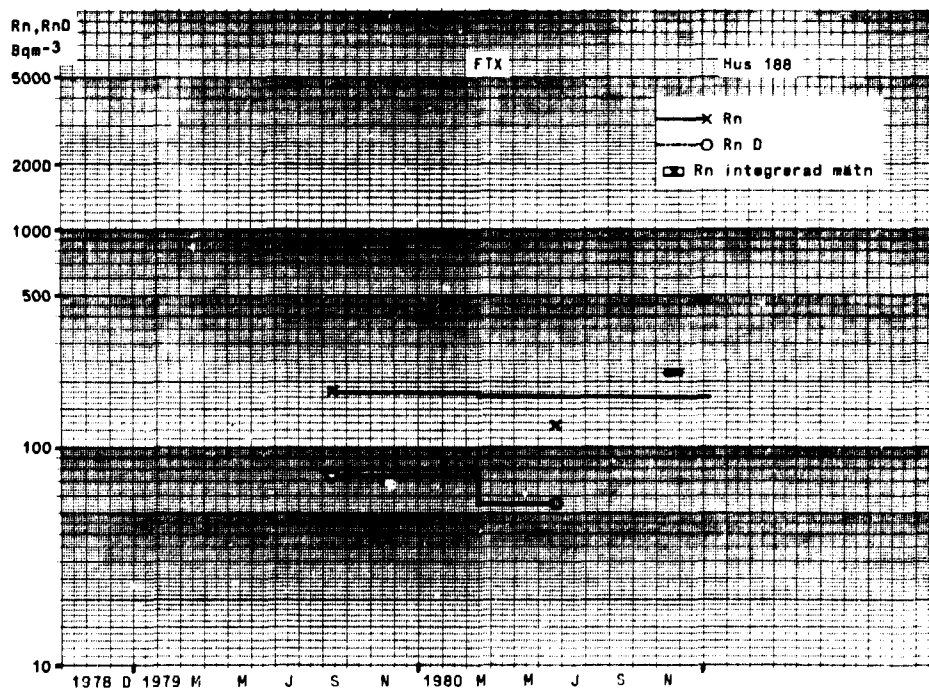
Figur B.21

Gammastrålning i hus 154 och 187.
 Värden i $\mu\text{R}/\text{h}$ har uppmätts dels i rumsmitt och
 dels på respektive väggyta före uppsättning av
 aluminiumfolie. Det kosmiska strålningsbidraget
 ca $3 \mu\text{R}/\text{h}$ ingår i de angivna värdena.

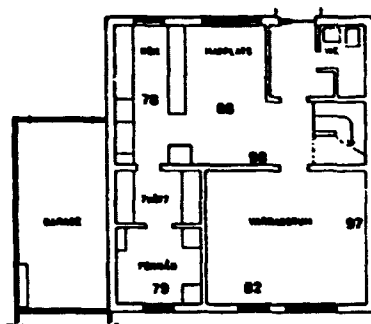
Figur B.22-B.23. Halten av radon och radondöttrar inomhus samt de mest sannolika genomsnittliga värdena före och efter installation av värmväxlare. Resultatet från de momentana mätningarna har multiplicerats med 0,75 för att korrigera för att huset hållits stängt före provtagningen (hus 186, 188)



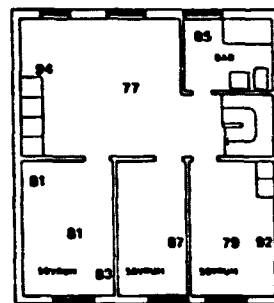
Figur B.22 Hus 186.



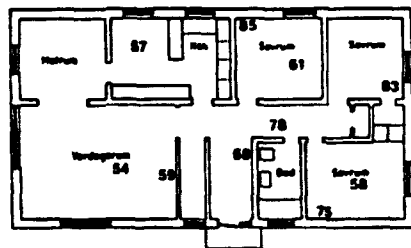
Figur B.23 Hus 188.



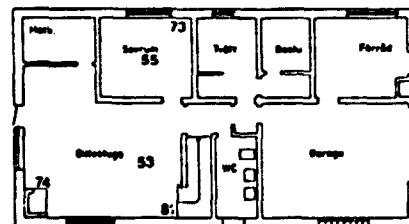
Hus 186 BV



Hus 186 ÖV



Hus 188 BV



Hus 188 SV

Figur B.24

Gammastrålning i hus 186 och 188. Värden i $\mu\text{R/h}$ har uppmätts dels i rumsmitt och dels på respektive väggyta. Det kosmiska strålningsbidraget ca $3 \mu\text{R/h}$ ingår i de angivna värdena.

Tabell B.1 Jämförelse mellan radon- respektive radondotterhalter i bottenvåning och källarvåning i S-ventilerade hus.

Hus nr		Pkt-mätning				IRMA	
		bv/gille		bv/hobby		bv/gille	bv/hobby
		Rn	RnD	Rn	RnD	Rn	Rn
118	före	0.65-0.65	0.65-1.00	0.60-0.75	0.75-1.15	-	-
	efter	0.85	0.75	0.15	0.15	0.55	0.50
119	före	0.85-0.85	0.90-1.05	0.35-0.55	0.35-0.55	-	-
	efter	1.05	0.90	0.50	0.45	0.60	0.60
120	före	0.70-0.90	0.90-0.95	2.4	2.5	-	-
	efter	0.70	1.05	0.65	0.95	0.65	0.45
122	före	0.60-0.80	0.75-0.90	-	-	-	-
	efter	0.80	0.85	0.60	0.60	0.50	0.20
125 ^{a)}		0.55-0.64	0.63-0.93	0.44	0.49-0.53	-	-

a) Ej byte av fyllning.

Tabell B.2 Halten av radon och radondöttrar i Bq/m³ samt luftomsättningen i oms/h i hus 118, 119, 120, 122 och 125. Beräknade värden har markerats med parentes.

Hus 118

		1978	1979	16/8	1980	5/4 ^a - -6/5 ^b)		14/10
		10/10	28/2		30/1			
BV:VAR	Rn	S 570	420	-	150	-		130
	RnD	S 340	235	-	33	-		60
SOV	Rn	980	330	-	-	215		-
	RnD	470	210	-	-	-		-
HELA BV	Rn	(980)	(370)	-	(150)	(215)		-
	RnD	(470)	(220)	-	(133)	-		60
KV:GILLE	Rn	1 170	570	-	175	390		265
	RnD	600	220	-	45	-		85
HOBBY	Rn	-	-	S 1 980	S 1 030	440		175
	RnD	-	-	S 1 430	S 530	-		87
	λ			0.38 ^d)	0.28	-		1.05
TVÄTT	Rn	1 280	500	-	-	-		-
	RnD	550	190	-	-	-		-
HELA KV	λ	-	-	-	-	-		0.12
HELA HUSET	λ	0.16	0.35	0.54	0.21	-		0.28
ATGÅRD					Fylln byte			

Tabell B.2 forts

Hus 119

		1978 11/10	1979 28/2	15/8	29/10	1980 29/1	15/4- - 6/5 ^{b)}
BV:VAR	Rn	600	560	-	-	150	125
	RnD	310	260	-	-	33	-
SOV	Rn	540	500	-	-	-	125
	RnD	290	260	-	-	-	-
HELA BV	Rn	(570)	(530)	-	-	(150)	(125)
	RnD	(300)	(260)	-	-	(56)	-
KV:GILLE	Rn	660	630	-	165	140	205
	RnD	290	300	-	72	64	-
HOBBY	Rn	S 1 060	S 1 590	S 1 480	S 310	S 300	205
	RnD	S 530	S 750	S 1 050	S 135	S 130	-
	£		-	0.36	0.49	0.52	-
HELA HUSET	£	0.28	0.29	0.48	0.19	0.27	-
ATGÅRD					Fylln byte		

Tabell B.2 forts

Hus 120

		1978 11/10	1979 5/3	14/8	1980 30/11	15/4-6/5 ^{b)}
BV:VAR	Rn	360	260	-	67	70
	RnD	265	105	-	36	-
SOV	Rn	400	240	-	-	72
	RnD	255	115	-	-	-
HELA BV	Rn	(380)	(250)	-	(67)	(70)
	Rnd	(260)	(110)	-	(36)	-
KV:GILLE	Rn	430	350	-	100	70
	RnD	270	120	-	35	-
HOBBY	Rn	-	S 105	S 300	S 105	155
	RnD	-	S 44	S 240	S 37	-
	x	-	-	0.40	0.19	-
HELA HUSET	z	0.17	0.33	0.39	0.25	-
ATGÅRD					Fylln byte	

Tabell B.2 forts

Hus 122

		1978	1979			1980		15/4- - 6/5 ^{b)}
		12/10	1/3	6/3	16/8	29/1	15/4	
BV:VAR	Rn	660	450	-	-	330	330	205
	RnD	360	210	-	-	100	210	-
SOV	Rn	610	410	-	-	-	-	180
	RnD	390	190	-	-	-	-	-
HELA BV	Rn	(630)	(430)	-	-	(330)	(330)	(190)
	RnD	(370)	(200)	-	-	(100)	(210)	-
KV:GILLE	Rn	1 030	550	-	-	420	440	360
	RnD	500	230	95	-	115	240	-
HOBBY	Rn	-	-	-	S 1 930	S 550	S 710	280
	RnD	-	-	295	S 1 040	S 165	S 490	-
	ε	-	-	-	0.13	0.46	0.17	-
HELA HUSET	ε	0.26	0.34	-	0.72	0.50	0.17	-
ATGÅRD						Fylln byte		

Tabell B.2 forts

Hus 125

		1978	1979			1980
		16/10	2/2 ^{a)}	27/2	14/8	15/10
BV:VAR	Rn	45 ^{c)}	-	79	-	93
	RnD	26 ^{c)}	27	26	-	33
	ℓ	-	0.17	-	-	-
SOV	Rn	-	-	-	-	110
	RnD	-	-	-	-	28
	ℓ	-	-	-	-	-
HELA BV	Rn	-	-	(79)	-	(100)
	RnD	-	(27)	2	-	-
	ℓ	-	0.18	0.19	-	0.12
KV:GILLE	Rn	56 ^{c)}	-	68	-	160
	RnD	19 ^{c)}	60	28	-	49
	ℓ	-	0.14	-	-	-
GÄSTRUM	Rn	-	-	135	-	225
	RnD	-	-	49	-	63
FÖRRAD	Rn	-	-	-	165	-
	RnD	-	-	-	115	-
	ℓ	-	-	-	0.51	-
HELA KV	ℓ	-	-	-	-	0.21
HELA HUSET		0.26		0.29	0.40	-

S anger stängd dörr i minst 12 timmar före mätningen.

- a) Mätning gjord av SP, filtermätning av RnD.
- b) Integrerande mätning med IRMA, SSI.
- c) Dörrar öppnades okontrollerat före och under mätningen av radon och radondöttrar, varför värdena ej är jämförbara med övriga.
- d) Kan vara överskattat.

Tabell B.3 Halten av radon och radondöttrar i Bq/m³ samt luftomsättningen i oms/h i hus 121. Beräknade värden har markerats med parentes.

		1978		1979		1980						1980/81				
		12/10	27/11	22/2- ^{a)} 7/3	7/3	15/8	15/4	15- ^{b)} 29/4	6/5	6- ^{b)} 20/5	28/5	28/5 ^{b)} 12/6	17/6	17/6 ^{b)} 1/7	14/10	10/12 ^{c)} 12/1
BV:VAR	Rn	1230	-	-	450	-	66	-	110	-	490	-	640	-	45	-
	RnD	850	-	-	230	-	55	-	35	-	360	-	500	-	33	-
SOV	Rn	1470	600	-	510	-	38	125	110	220	280	103	570	400	77	75
	RnD	1040	-	-	310	-	27	-	51	-	220	-	380	-	33	-
MATPL	Rn	-	-	-	-	-	-	145	-	250	-	139	-	480	-	-
	RnD	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HELA BV	Rn	(1350)	(600)	-	(480)	-	(52)	(135)	(110)	(240)	(390)	(120)	(600)	(440)	(61)	(75)
	RnD	(950)	-	-	(270)	-	(41)	-	(43)	-	(290)	-	(440)	-	(33)	-
	λ	-	-	-	-	-	0.74	-	0.67	-	0.58	-	0.55	-	0.50	-
KV:GILLE	Rn	2140	-	1080	970	-	120	300	200	530	630	740	1970	1000	130	145
	RnD	1200	-	-	460	-	37	-	100	-	350	-	1300	-	47	-
HOBBY	Rn	S 7330	1100	-	1540	S 10310	S 550	940	S 820	1710	S 3240	2600	S 7580	3880	S 98	60
	RnD	S 4550	-	-	640	S 7120	S 145	-	S 190	-	S 1830	-	S 5610	-	S 30	-
	λ	-	-	-	-	0.06	2.29	-	1.54	-	0.88	-	0.47	-	0.52	-
TVATT	Rn	-	-	-	-	S 3610	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	RnD	-	-	-	-	S 1940	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	λ	-	-	-	-	0.14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
GÅSTR	Rn	-	-	-	-	-	-	345	-	760	-	540	-	1140	-	-
ARBR	Rn	-	-	-	-	-	-	375	-	360	-	590	-	410	-	-
HELA KV	λ	-	-	-	-	-	1.40	-	1.20	-	0.90	-	0.47	-	0.54	-
HELA Huset	λ	0.09	-	-	0.54	0.43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ATGÅRD	Vent öppn	FTX						Fylln byte								

S = Stängt rum

a) Långtidsregistrering, SSI

b) Integrerande mätning med IRMA, SSI

c) Integrerande mätning med Studsviks passiva radonmonitorer

Tabell B.4 De mest sannolika medelvärdena av radondotterhalten före och efter fyllningsbyte vid 100 % uppehållstid i en bostad beräknade från momentana och integrerande radonmätningar. De momentant erhållna mätresultaten har multiplicerats med faktorn 0,75 för att korrigera för boendevanor.

Hus nr	Beräkn från ^{a)}	Stängt hobbyrum				Gillestuga				Sovrum + vardagsrum			
		Före	Efter	Skilln		Före	Efter	Skilln		Före	Efter	Skilln	
		Bq/m ³	Bq/m ³	Bq/m ³	(%)	Bq/m ³	Bq/m ³	Bq/m ³	(%)	Bq/m ³	Bq/m ³	Bq/m ³	(%)
118	Rn	740	390	360	(50)	330	120	210	(65)	220	70	140	(65)
	RnD	1070	400	670	(65)	310	50	260	(85)	230	35	200	(85)
119	Rn	520	110	410	(80)	240	70	170	(70)	210	60	150	(70)
	RnD	580	100	480	(85)	220	50	170	(75)	210	40	170	(80)
120	Rn	80	40	20	(50)	150	40	110	(75)	120	30	90	(75)
	RnD	110	30	80	(75)	150	30	120	(80)	140	30	110	(80)
121	Rn	2840	40	2800	(99)	620	60	560	(90)	220	30	190	(85)
	RnD	4200	20	4180	(99)	980	35	940	(96)	330	25	310	(90)
122	Rn	720	240	490	(70)	300	170	130	(40)	200	120	80	(40)
	RnD	780	240	530	(70)	210	130	70	(35)	220	110	100	(45)
125	Rn	-	-	-	-	-	40	-	-	-	35	-	-
	RnD	-	-	-	-	-	35	-	-	-	20	-	-

a) $EEC = F \times C_{Rn}$

$F = 0,5$

Tabell B.5 Halten av radon och radondöttrar i Bq/m³ samt luftomsättningen i oms/h i hus 123. Beräknade värden har markerats med parentes.

		1978		1979				1980		80-81	1981		
		13/10	27/11	11/12	2/2 ^{a)}	26/2	22/2 ^{b)}	16/8	15/4 ^{c)}	15/10	10/12 ^{d)}	19/2- ^{d)}	10/7- ^{d)}
							-6/3 ^{b)}		-6/5 ^{c)}		-12/1 ^{d)}	-10/3 ^{d)}	-30/7 ^{d)}
VAR	Rn	530	-	5430	-	ca 100 ^{e)}	2600	200	51	400	270	120	300
	RnD	410	-	-	2390 1540 980	-	-	16	-	100	-	-	-
	λ	-	-	-	0.33 0.56 0.96	-	-	-	-	-	-	-	-
SOV	Rn	500	5150	4400	-	-	-	76	48	450	275	110	150
	RnD	410	-	-	2420 1610 600	-	-	17	-	83	-	-	-
	λ	-	-	-	0.66 1.0 1.4	-	-	-	-	-	-	-	-
BV	Rn	(520)	(5150)	(4910)	-	-	-	(140)	(50)	(420)	(270)	(115)	-
	RnD	(410)	-	-	(2410)(1580)(790)	-	-	(16)	-	(90)	-	-	-
	λ	0.17	-	-	0.56 0.88 1.15 0.29	-	-	0.53	-	0.41	-	-	-
KRYPG	Rn	-	13580	15060	-	-	-	-	-	-	-	-	3800 4300
	λ	-	-	-	-	0.58	-	1.37	-	-	-	-	-
UTBLAS													
KRYPG	Rn	-	-	-	-	-	-	9910	-	-	-	-	-
FÖRRAD	Rn	-	-	-	-	-	-	-	100	-	-	-	-
GARAGE	Rn	-	-	-	-	-	-	-	240	-	-	-	-
ATGÄRD							Prov fläkt-vent av krypg	Vent via krypgr	Injustering av vent				

- a) Mätning gjort av SP, filtermätning av RnD
b) Långtidsregistrering, SSI
c) Integrerande mätning med IRMÄ, SSI
d) Integrerande mätning med Studsviks passiva radonmonitorer
e) Enligt långtidsregistrering

Tabell B.6 Halten av radon och radondöttrar i Bq/m³ samt luftomsättningen i oms/h i hus 154 och 187.

Hus 154

		1978 20/11	1979 10/9	1980 30/5- -12/6	25/6	16/9	13/11- -3/12 ^{a)}
BV:VAR	Rn	640	910	280	620	380	390
	RnD	230	470	-	360	210	-
ÖV:HALL	Rn	670	950	200	620	370	-
	RnD	280	630	-	370	230	-
SOV I	Rn	-	-	220	-	-	320
	RnD	-	-	-	-	-	-
SOV II	Rn	-	-	-	-	-	S 420
	RnD	-	-	-	-	-	-
HELA HUSET	Rn	(650)	(930)	(230)	(620)	(370)	(350)
	RnD	(260)	(550)	-	(360)	(220)	-
	λ	0.17	0.15	-	<0.05	0.08	-
ATGÅRD	Folie						

Hus 187

		1979 12/9	1980 16/9	13/11-3/12 ^{a)}
BV:VAR	Rn	270	100	-
	RnD	100	50	-
MAT	Rn	-	-	300
	RnD	-	-	-
KV:SOV	Rn	680	440	170
	RnD	230	230	-
GILLE	Rn	800	590	360
	RnD	250	240	-
HELA HUSET	Rn	(580)	(380)	(280)
	RnD	(190)	(170)	-
	λ	0.33	0.29	-
ATGÅRD	Folie			

Inom parentes har givits beräknade värden.
S anger stängd dörr i minst 12 timmar före mätningen.

a) Studsviks passiva radonmonitorer.

Tabell B.7 Halten av radon och radondöttrar i Bq/m³ samt luftomsättningen i oms/h i hus 186 och 188.

Hus 186

		1979	1980	
		11/9	25/6	13/11-3/12 ^{a)}
BV:VAR	Rn	1000	250	390
	RnD	420	80	-
ÖV:HALL	Rn	-	190	210
	RnD	450	80	-
SOV	Rn	-	-	210
	RnD	-	-	-
HELA HUSET	Rn	(1000)	(220)	(270)
	RnD	(430)	(80)	-
	λ	0.20	0.75	-
ATGÅRD	FTX			

Hus 188

		1979	1980	
		12/9	26/6	13/11-3/12 ^{a)}
BV:VAR	Rn	019	150	170
	RnD	80	70	-
SOV	Rn	280	150	210
	RnD	100	70	-
KV:GILLE	Rn	250	200	-
	RnD	110	80	-
SOV	Rn	-	-	290
	RnD	-	-	-
HELA HUSET	Rn	(240)	(160)	(220)
	RnD	(100)	(70)	-
	λ	0.63	0.76	-
ATGÅRD	FTX			

Inom parentes har givits beräknade värden.

a) Studsviks passiva radonmonitorer.

FIGURFÖRTECKNING

Figurer placerade på textsidor

- 5.1 Räknestatistiskt fel (2σ) i radiumbestämningarna.
- 5.2 Radonhaltens variation i två småhus byggda på olika sätt.
- 5.3 Utrustning för mätning enligt spårgasmetod.
- 5.4 Varmtrådsinstrument.
- 5.5 Strypfläns.
- 5.6 Rörböj med mätuttag.
- 6.1 Radonkällor.
- 6.2 En icke bärande vägg av skifferbaserad gasbetong kan ersättas med en regelvägg.
- 6.3 Värmeisolering av skifferbaserad gasbetongkross i ett bjälklag.
- 6.4 Färdigplanerad trädgård med delvis uppvuxen vegetation.
- 6.5 Tätning av spricka i betonggolv.
- 6.6 Tätning av spricka mellan golv och vägg samt av otätheter vid rör genomföringar.
- 6.7 Ventilation med fläktstyrda frånluftsflöden (F) respektive med fläktstyrda till- och frånluftsflöden (FT).
- 6.8 Radonhalten som funktion av luftomsättningen för hus byggda av olika material.
- 6.9 Ventilerade luftspalter längs golv och väggar anslutna till en frånluftsfläkt.
- 6.10 Takfläkt monterad på skorstenstopp för att förbättra ventilationen i ett hus med tidigare S-system.
- 6.11 Att sänka lufttrycket under en betongplatta på mark kan vara en effektiv metod mot radoninträngning underifrån.
- 7.1 Situationsplan över området med hus 118-123 och 125.
- 7.2 Sektion genom hus 123.
- 7.3 Sektion genom hus 118-122 respektive hus 125.

- 7.4 Område för fyllningsbyte vid hus 120.
- 7.5 Fyllningsbyte.
- 7.6 Ventilationsanläggning i hus 121.
- 7.7 Förbättrad ventilation i hus 123. Ombyggnad av kryplåda från uteluft- till inneluftventilerad låda.
- 7.8 Beklädnad av väggar i hus 154 med aluminiumfolietapet.
- 7.9 Beklädnad av väggar i hus 187, källarvåning, med aluminiumfolietapet.
- 7.10 Ventilationsanläggning i hus 186.
- 7.11 Ventilationsanläggning i hus 188.
- 7.12 Värmeväxlare, rekuperativ typ.
- 7.13 Värmeväxlare, regenerativ typ.
- 9.1 Energiförbrukning för uppvärmning av ventilationsluft, hus 121, vid olika flöden och årsmedelverkningsgrad för värmeåtervinningen.
- 9.2 Energiförbrukning, hus 186 och 188, vid 0,5 oms/h och med olika årsmedelverkningsgrader.
- 9.3 Första årets nettoutlägg för ett radonlån vid 20 års annuitet, 12,75 % ränta och 50 % marginalskatt.
- 9.4 7:e årets nettoutlägg för ett radonlån vid 20 års annuitet, 12,75 % ränta och 50 % marginalskatt.
- 9.5 20:e årets nettoutlägg för ett radonlån vid 20 års annuitet, 12,75 % ränta och 50 % marginalskatt.

Figurer placerade i bilaga 1

- B.1 a-c Radiumhalt i prover från borrprofiler.
- B.2 a-c Relativa mätetal för radonhalt i borrprofiler.
- B.3 a-c Gammastrålning i hus 118-123 och 125.
- B.3 a Hus 118-120.
- B.3 b Hus 121 och 122.
- B.3 c Hus 123 och 125.
- B.4-B.8 Halten av radon och radondöttrar inomhus samt de mest sannolika genomsnittliga värdena före och efter åtgärd (hus 118-122).
- B.4a Hus 118 Hobbyrum.
- B.4b Hus 118 Gillestuga.
- B.4c Hus 118 Vardagsrum och sovrum.
- B.5a Hus 119 Hobbyrum.
- B.5b Hus 119 Gillestuga.
- B.5c Hus 119 Vardagsrum och sovrum.
- B.6a Hus 120 Hobbyrum.
- B.6b Hus 120 Gillestuga.
- B.6c Hus 120 Vardagsrum och sovrum.
- B.7a Hus 121 Hobbyrum.
- B.7b Hus 121 Gillestuga.
- B.7c Hus 121 Bottenvåning.
- B.8a Hus 122 Hobbyrum.
- B.8b Hus 122 Gillestuga.
- B.8c Hus 122 Vardagsrum och sovrum.
- B.9a-b Halten av radon och radondöttrar inomhus samt de mest sannolika genomsnittliga värdena.
- B.9a Hus 125 Gillestuga.
- B.9b Hus 125 Vardagsrum och sovrum.
- B.10-B.14 Radonexhalationen beräknad enligt ekv 2 i olika delar av husen samt de mest sannolika genomsnittliga värdena före och efter fyllningsbyte (hus 118-122) och före och efter FTX-installation (hus 121).

- B.10 Hus 118
- B.11 Hus 119
- B.12 Hus 120
- B.13 Hus 121
- B.14 Hus 122
- B.15 Radonexhalationen beräknad enligt ekv 2 i olika delar av huset samt de mest sannolika genomsnittliga värdena (hus 125).
- B.16 Halten av radon och radondöttrar inomhus samt de mest sannolika genomsnittliga värdena före och efter åtgärd (hus 123).
- B.17-B.18 Halten av radon och radondöttrar inomhus samt de mest sannolika genomsnittliga värdena före och efter anbringande av aluminiumfolie (hus 154 och 187).
- B.17 Hus 154
- B.18 Hus 187
- B.19-B.20 Radonexhalationen beräknad enligt ekv 2 samt de mest sannolika genomsnittliga värdena före och efter anbringande av aluminiumfolie på väggarna i hus 154 och 187.
- B.19 Hus 154
- B.20 Hus 187
- B.21 Gammastrålning i hus 154 och 187.
- B.22-B.23 Halten av radon och radondöttrar inomhus samt de mest sannolika genomsnittliga värdena före och efter installation av värmeväxlare (hus 186, 188).
- B.22 Hus 186
- B.23 Hus 188
- B.24 Gammastrålning i hus 186 och 188.

TABELLFÖRTECKNING

Tabeller placerade på textsidor

- 9.1 Aktivitetshalt i markprover från slagghögar tagna från markytan.
- 9.2 Aktivitetshalt i prover från borrhål.
- 9.3 Aktivitetshalt i prover tagna vid grävning före fyllningsbyte.
- 9.4 Aktivitetshalt i ballastmaterial och normal åkerjord.
- 9.5 Aktivitetshalt i sand- och grusprover tagna ur grus-tag varifrån material till återfyllning hus 118-122 tagits.
- 9.6 Radonhalt utomhus invid de undersökta husen.
- 9.7 Effekt av fyllningsbyte baserad på förändring av radonexhalationen.
- 9.8 De mest sannolika medelvärdena av radonexhalationen efter fyllningsbyte i de åtgärdade husen och radonexhalationen i identiskt lika referenshus på annan plats.
- 9.9 De mest sannolika genomsnittliga värdena av radondotterhalten före och efter anbringande av folier på väggarna vid 100 % uppehållstid i en bostad.
- 9.10 De mest sannolika genomsnittliga värdena av radonexhalationen före och efter anbringande av folie.
- 9.11 De mest sannolika medelvärdena av radondotterhalten före och efter installation av FTX-ventilation vid 100 % uppehållstid i en bostad.
- 9.12 Amorteringsplan och ränteutbetalningar för radonlån gällande ventilationsanläggning i hus 121.
- 9.13 Amorteringar och ränteutbetalningar för radonlån gällande fyllningsbyte, hus 121.
- 9.14 Amorteringar och ränteutbetalningar för radonlån avseende installation av ventilationsanläggning i hus 186.
- 9.15 Effekt av åtgärd som skillnad i
- . procent av ursprunglig radonexhalation
 - . procent av ursprunglig radondotterhalt
 - . absolut radondotterhalt
 - . effektiv dosekvivalent

Tabeller placerade i bilaga

- B.1 Jämförelse mellan radon- respektive radondotterhalter i bottenvåning och källarvåning i S-ventilerade hus.
- B.2 Halten av radon och radondöttrar samt luftomsättningen i hus 118, 119, 120, 122 och 125.
- B.3 Halten av radon och radondöttrar samt luftomsättningen i hus 121.
- B.4 De mest sannolika medelvärdena av radondotterhalten före och efter fyllningsbyte vid 100 % uppehållstid i en bostad beräknade från momentana radondottermätningar och från både momentana och integrerande radonmätningar.
- B.5 Halten av radon och radondöttrar samt luftomsättningen i hus 123.
- B.6 Halten av radon och radondöttrar samt luftomsättningen i hus 154 och 187.
- B.7 Halten av radon och radondöttrar samt luftomsättningen i hus 186 och 188.

LITTERATUR

Hagberg, N och Möre, H, 1978. Aktivitetshalt i ballastmaterial för betongtillverkning i Sverige, Rapport SSI:1978-029, statens strålskyddsinstitut, Stockholm.

Jönsson, G, 1979. Mätning av radon i Ekedalen med plastfilm. Rapport 1979-08-12, Lunds universitet, Fysiska institutionen, Lund.

Kusnetz, H L, 1956. Radon daughters in mine atmospheres: A field method for determining concentrations. Amer. Ind. Hyg. Assoc. Quaterly, 17:85.

McLaughlin, J P and Jonassen, N, 1978. The effekt of pressure drops on radon exhalation from walls, in Proceedings of the Symposium on the Natural Radiation Environment III, Houston, Texas.

Samuelsson, Ingemar, 1980. Information om kontroll av radondoterhalter i hus, SP-INFO 1980:1. Statens provningsanstalt, Borås.

Samuelsson, C och Samuelsson, I, 1980. Radonkoncentration i byggnader. Teknisk rapport SP-RAPP 1980:26. Statens provningsanstalt, Borås.

Snihs, J O och Ehdwall, H, 1976. Supervision of radon daughter exposure in mines in Sweden. Report SSI:1976-023. National Institute of Radiation Protection, Stockholm.

Stranden, E, Berteig, L and Ugleweit, F, 1979. A study on Radon in Dwellings. Hlth Phys 36, 413.

Swedjemark, G A, 1976. Radon i bostäder, några preliminära resultat av långtidsregistrering. Rapport 1974-020. Statens strålskyddsinstitut, Stockholm.

Swedjemark, G A, 1978. Stråldosens ökning vid energibesparing i bostäder genom minskning av ventilationen. Rapport SSI 1978-014. Statens strålskyddsinstitut, Stockholm.

Swedjemark, G A, Håkansson, B och Hagberg, N, 1979. Strålningsnivåer i hus byggda på avfall från hantering av alunskiffer. Rapport SSI:1979-006. Statens strålskyddsinstitut, Stockholm.

Energi 1985-2000, 1974. Remiss 1974-10-09 av Energiprognosutredningens betänkande. SSI Dnr CGH/KLI 1467/74 (SOU 1974:64). Stockholm.

Energi, hälsa, miljö, 1977. Remiss från jordbruksdepartementet av Energi- och miljökommitténs betänkande. SSI Dnr 05/732/77 (SOU 1977:67 m fl). Stockholm.

Energi, hälso-, miljö- och säkerhetsrisker, 1978. Slutbetänkande av energikommissionen. SOU 1978:49. Stockholm.

Miljöeffekter och risker vid utnyttjande av energi, 1978. Energikommissionens grupp för säkerhet och miljö. DsI 1978:27 del 2. Stockholm.

Preliminärt förslag till åtgärder mot strålrisker i byggnader, 1979. PM från Radonutredningen, jordbruksdepartementet Ds Jo 1979:9. Stockholm.

Radiation Protection in Uranium and other Mines, 1977. A report of Committee 4 of the International Commission on Radiological Protection. Annals of the ICRP Vol 1, No 1.

Sources and effects of ionizing radiation, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 1977 report to the General Assembly, 32nd Session. Supplement No 40 (A/32/40) New York.

Workshop on Radon and Radon Daughters in Urban Communities associated with Uranium Mining and Processing, 1978. Technical Note no 2 p 11-25. AECB. DSMA Report No 1012/915. Elliot Lake, Onatario.

Eriksson, Å, 1977, unpublished. Lantbrukshögskolan, Institutionen för radiobiologi, Uppsala.



