

Kandidatuppsats i fysik

**RADONMÄTNING I SCHEMATISK MODELL AV
ETT HUS**

RADON MEASUREMENT IN SCHEMATIC MODEL OF A HOUSE

Författare: Peter Johansson & Erik Lundell

Handledare: Prof. Göran Nyman

Examinator: Lars Bengtsson, Ph.D

5:e juni 2008

Göteborgs Universitet
Institutionen för fysik
Fysikgränd 3
41133 Göteborg

Förord

Vi vill tacka Klimatzonen AB som initierade detta kandidatarbete och bekostade det material som användes. Vi vill även rikta ett stort tack till vår handledare, Prof. Göran Nyman, som alltid ställt upp för oss och Ingenjör Lars Lindström som var till stor hjälp vid modellens utformning och byggnation.

En stor del av arbetet har utförts gemensamt eftersom det är praktiskt att vara två när man bygger. Detta är också fördelaktigt under mätningar då resultat kan diskuteras sinsemellan. Resultat- och diskussionsdelen har skrivits gemensamt medans övriga avsnitt delats upp. De enskilda avsnitten har sedan redigerats tillsammans.

Sammanfattning

Klimatzonen Sweden AB:s ventilationssystem för krypgrunder har testats i en schematisk modell av ett hus för att avgöra huruvida det är ett effektivt skydd mot markradon. En modell av ett hus har konstruerats i dimensionerna $3,60 \cdot 1,34 \cdot 1,0$ m. Modellen består av tre sektioner vilka motsvarar en krypgrund, en inomhusdel och en mellanliggande ventilerad luftspalt. Ett radiumpreparat placerades i grunden för att emanera radongas. Mätningar har sedan utförts, med koldosor, för att bestämma radongashalten i de olika sektionerna. Mätningar utfördes vid olika tryckskillnader mellan sektionerna och olika luftflöden i ventilationsspalten. Bästa resultat erhålls för tryckskillnader omkring 0,5 Pa och luftflöden motsvarande 15,4 omsättningar i spalten. Dessa värden överensstämmer väl med de tryckskillnader och luftflöden som Klimatzonen AB vanligtvis använder sig av. Med dessa parametrar reduceras radongashalten inomhus, i modellen, med ca 98 % relativt grunden. Fler och framförallt längre mätserier krävs för att säkrare slutsatser, med mindre osäkerhetsmarginaler, skall kunna dras. En naturlig fortsättning vore att testa Klimatzonen AB:s system på ett fullskaligt objekt med markradonproblem.

Abstract

The ventilation system for suspended foundations developed by Klimatzonen Sweden AB has been tested in a schematic model of a house to determine whether or not it works as an effective protection against radon. A model of a house with the dimensions $3.60 \cdot 1.34 \cdot 1.0$ m has been constructed. The model consists of three sections, a house section, a ventilated air-gap and a suspended foundation. A radium preparation was placed in the foundation in order to emanate radon gas. Measurements, with charcoal canisters, have been made to determine the content of radon gas in the different sections. The measurements were performed with various pressure differences between the sections and different air flows in the ventilation gap. The obtained results indicate that those pressure differences and air flows which Klimatzonen AB usually utilise, reduce the content of radon gas in the house section with about 98 % compared to the foundation. More and longer series of measurements are required to draw improved conclusions and the natural cause of action would be to test Klimatzonen AB's system on a full scale object.

Innehåll

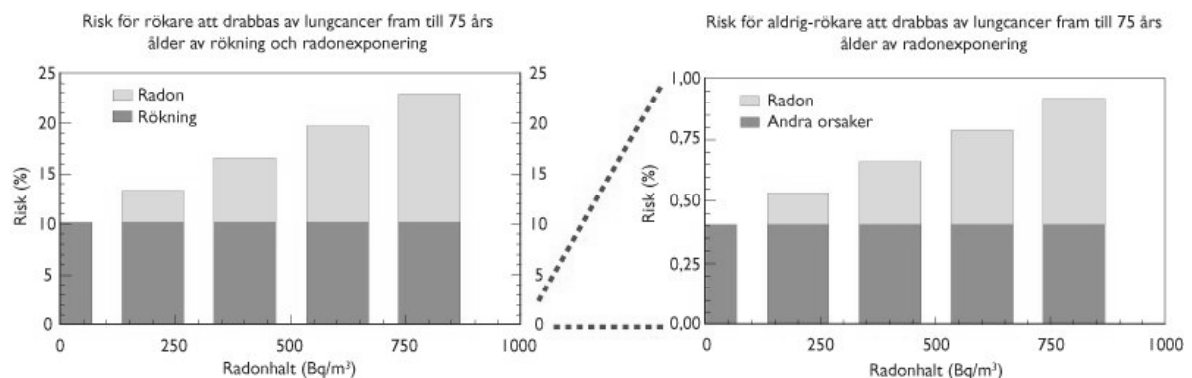
1	Inledning	1
1.1	Allmänt om radon	1
1.2	Historik	1
1.3	Hälsorisk	2
1.4	Sanering	3
1.5	Klimatzonen AB	3
2	Metod	5
2.1	Den schematiska modellens utformning	5
2.2	Mätutrustning	9
2.2.1	Inledning	9
2.2.2	Läcktestare	9
2.2.3	Tryckmätare	9
2.2.4	Luftflödesmätare	9
2.2.5	Koldosor och Natriumjodiddetektorn	10
2.2.6	ATMOS	12
3	Resultat	13
3.1	Inledning	13
3.2	Mätning utan ventilation (1)	16
3.3	Mätning med ca: 3,3 oms/h i spalten (2)	18
3.4	Två mätningar med ca: 8,2 oms/h i spalten och olika tryck (3) & (4)	18
3.5	Två mätningar med ca: 15,4 oms/h i spalten och olika tryck (5) & (6)	20
3.6	Materialtest	22
4	Diskussion och felkällor	25
5	Slutsats	29
	Referenser	31
A	Sönderfallsschema	33

Det som gjorde att svenskarna fick upp ögonen för radon och radioaktivitet i allmänhet var den kärnkraftsomröstning som ägde rum 1980. I samband med denna blev man varse att den radioaktivitet i form av radon, som kan finnas i det egna hemmet, är farlig. Att man efter energikrisen i början på 70-talet hade isolerat husen bättre och därmed minskat luftomsättningen inomhus förbättrade inte radonsituationen. Detta innebar nämligen att riskerna för förhöjda radonhalter inomhus ökat.

1.3 Hälsorisk

Eftersom radon är en ädelgas så reagerar den inte mycket med omgivningen. Den radon vi andas in andas vi ut lika snabbt. De radondöttrar som bildas när radon sönderfaller är inte som radon, gasformiga, utan i fast form. Dessa döttrar fäster på elektriskt laddade damm-, vatten-, och luftmolekyler i rummet. De partiklar som döttrarna fäster på kallas ofta för aerosoler. Radondöttrarna som bildas sönderfaller via alfa- respektive betasönderfall där alfastrålningen har hög energi men kort räckvidd. När radon och radondöttrar följer med inandningsluften, ner i luftrören och lungorna, fastnar en del av döttrarna på lungväggarna och en del radon kan hinna sönderfalla. Döttrarna sönderfaller sedan och den högenergitiska alfastrålningen orsakar skada på cellerna i luftrören och lungorna vilket till slut kan ge upphov till lungcancer.

Statens Strålskyddsinstitut, SSI, bedömer att omkring 450 lungcancerfall per år orsakas av radon i bostäder. Det finns ett starkt samband mellan tobaksrökning och radon vilket innebär att de allra flesta som drabbas av lungcancer från radon är rökare. Risken för att en icke-rökare ska drabbas av lungcancer från radon är relativt liten om man jämför med risken för rökare. Av de 450 fall som inträffar per år är ca 90 % rökare. Detta illustreras i figur 2 [3].



Figur 2: Stapeldiagram över andelen rökare och icke-rökare som drabbas av lungcancer p.g.a. radon.

1.4 Sanering

För att ett hus skall klassas som en sanitär olägenhet skall radongashalten inomhus överstiga 200 Bq/m^3 [3]. Det finns flera olika orsaker till radonförekomst i hus. Radon kan komma från väggarna, t.ex. blåbetong, hushållsvatten eller marken. När det gäller markradon kommer det från uranhaltig berggrund som alunskiffer och vissa sorters granit. Radonavgången från uranrika bergarter kan bli stor på grund av sprickor i berget eller hål för brunnar och ledningar. Dessa hål kan ge upphov till en skorstenseffekt och leder radongasen upp i huset.

Är det byggnadsmaterialet som avger radon, ökar man luftomsättningen inomhus och sänker på så sätt radonhalten. Då markradon är problemet finns det olika sätt att sanera sin bostad [3]. Först av allt kan man utföra tätningar mot marken, t.ex. täta ledningar som går in i byggnaden för att på så sätt minska gasens spridning. Utformningen av ventilationssystem i hus är av extra stor vikt när det gäller radon. Felaktig ventilation kan leda till att undertryck skapas och markradon sugts upp. Vid ventilation omsätts luften i huset och ersätter den skadliga radonhaltiga luften. Ett värmeväxlersystem kan installeras där det är viktigt att systemet hela tiden tar in frisk luft utifrån och inte bara ”kör runt” gammal luft. Ett sätt att förhindra radonluften att komma in i hus, byggda på betongplatta, kan vara att installera en så kallad radonpump. Radonpumpen skapar ett undertryck under huset vilket gör att radonhaltig luft inte tränger in. En liknande åtgärd är en radonbrunn. En radonbrunn innebär att man gräver ned ett rör i marken, en bit ut från huset, på vilken man monterar en fläkt. Fläkten suger upp radonluft från den omgivande marken under förutsättning att marken är luftgenomsläpplig.

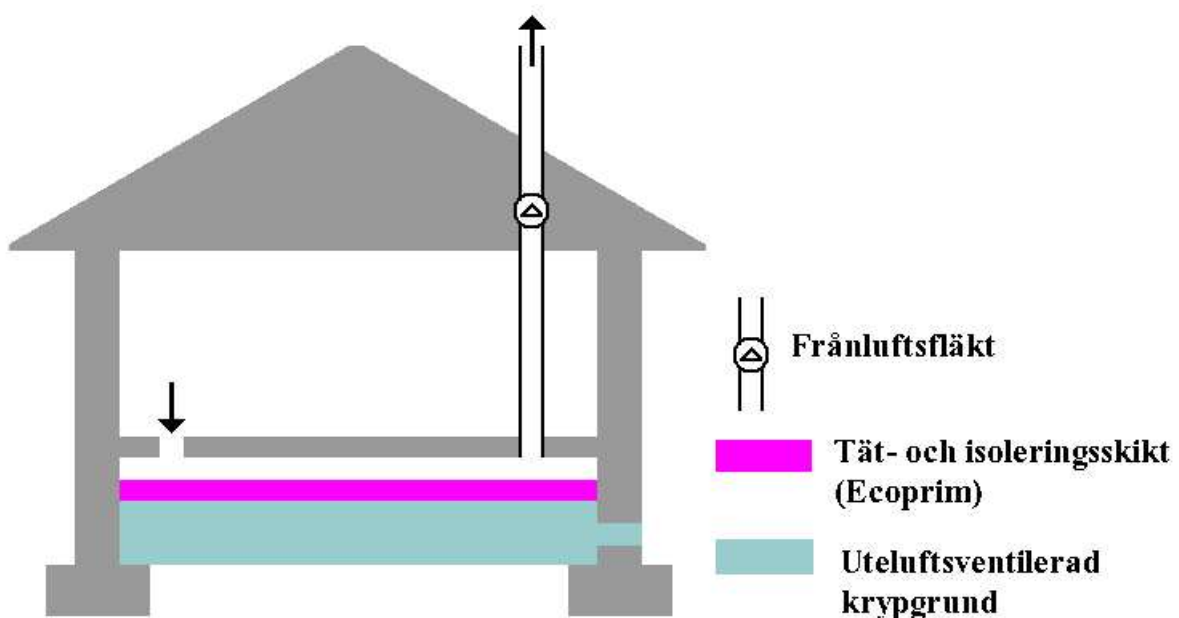
1.5 Klimatzonen AB

Det arbete vi utfört har vi fått tilldelat av ett företag vid namn Klimatzonen Sweden AB. Klimatzonen AB är ett företag i inomhusmiljöbranschen som har tagit patent på ett system vilket eliminerar de problem med fukt, lukt och mögel som förekommer i många krypgrunder [4].

Det är ofta dyrt och svårt att ändra klimatet i hela husgrunden. Företagets metod går ut på att avgränsa en klimatzon, ovanför vilket klimatet hålls varmt och torrt. Under klimatzonen får klimatet sedan variera fritt eftersom det inte längre påverkar byggnaden. Klimatzonen skapas genom att en tät värmeisolerande skiva, hängandes i pendlar, installeras cirka 10 cm under bjälklaget. Skivan är av extruderad polystyrencellplast och marknadsförs under namnet Ecoprime [5]. Den luftspalt som då bildas ventileras sedan med inomhusluft som tas ned genom ett don i en ände och sugts ut med en fläkt i andra änden. Genom att ta ned varm inomhusluft torkar man ut utrymmet och åtgärdar på detta sätt fukt-, lukt- och mögelproblem. En skiss av ett hus med klimatzon visas i figur 3. Denna metod har visat sig mycket effektiv för de nyss nämnda problemområdena men Klimatzonen AB tror även att metoden kan fungera bra

mot markradon. Problemet är dock att systemet inte installerats i något hus med radonproblem ännu och därför har inga mätningar kunnat göras för att undersöka om det fungerar som skydd mot radon. En fullskalig installation för att testa funktionen är ganska kostsam vilket gör det svårt att hitta en kund som är villig att prova systemet innan man vet hur väl det fungerar. För att få hjälp med att testa sitt system tog företaget kontakt med Chalmers tekniska högskola.

Kandidatarbetet syftar till att undersöka huruvida den ovan nämnda klimatzonen skyddar mot markradon. Efter ett par inledande möten med företaget kom vi fram till att en modellstudie där företagets koncept testas vore lämplig. Som komplement till modellstudien ska även ett materialtest göras för att testa isoleringsskivans täthet mot radon. Skivan är ett plastmaterial som ska vara lufttätt för att kunna åstadkomma ett undertryck i klimatzonen och därmed kunna suga ned inomhusluft. Plastmaterial är i regel inte täta mot radongas. Diffusionen kan dock vara så långsam, och därmed flödet så litet, att materialet fungerar bra som skydd mot markradon. Om diffusionstiden är lång hinner även en del av radonet sönderfalla. Materialtestet skall även göras för några olika material för att se om det finns andra lämpliga material som är bättre för detta ändamål.



Figur 3: Figuren visar en skiss av ett hus med klimatzon.

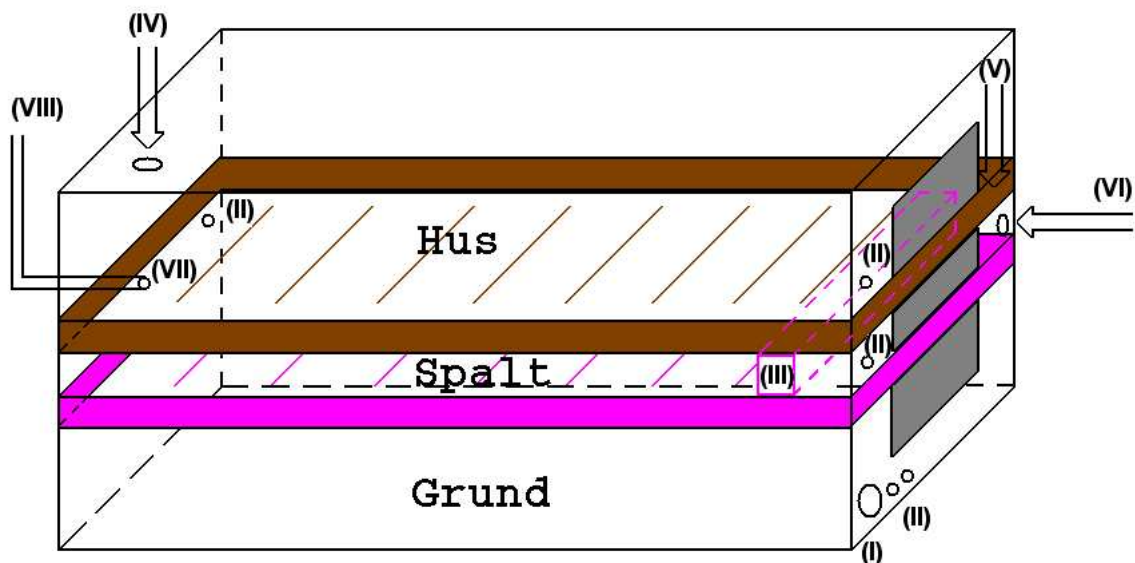
2 Metod

2.1 Den schematiska modellens utformning

Målsättningen med konstruktionen av den schematiska modellen av ett hus är att så väl som möjligt simulera förhållandena i ett verkligt hus med krypgrund där en klimatzon installerats. För att få ett genomförbart projekt och mer lätt-tolkade resultat har allt från det verkliga objektet som vi tror har liten inverkan på resultatet, t.ex. luftfuktighet och temperaturgradienter, skalats bort. Fokus har legat på att åstadkomma de luftflöden och tryckskillnader i modellen som finns i ett verkligt hus.

Modellen består av en låda med måtten $3,60 \cdot 1,34 \cdot 1,0$ m. Storleken är vald för att skillnaden mot ett verkligt hus inte ska bli för stor och för att vi med dessa mått precis får plats att lägga 6 värmeisolerande skivor, av den typ som används fältmässigt. Lådan är gjord i stålplåt med tjockleken 0,6 mm. Tanken med att göra lådan i plåt är att den skall vara tät mot radon, som annars lätt diffunderar genom olika material. Plåtarna, kapade efter lådans mått och med 5 cm breda bockade kanter, har levererats av ett plåtslageri. Plåtarna har sedan sammanfogats med en kraftig dubbelhäftande tejp och nitar. För att få de tunna plåtväggarna stabila har vi stöttat upp dem utvändigt med ett regelverk av 45 mm regler och en ram av 90 mm brädor som är fästa i bockningen på lådans överkant. Träkonstruktionen är fäst med skruv genom plåten. Alla fogar, skruvar och nitar har sedan tätats med en latexfog för att åstadkomma en så tät låda som möjligt. Ett verkligt hus är naturligtvis inte så tätt men anledningen till att lådan skall vara det i vårt fall är att vi vill undvika att radon läcker ut i den omgivande luften, där den eventuellt kan kontaminera mätningarna, och att vi vill ha kontroll på alla luftflöden. En schematisk bild av modellen åskådliggörs i figur 4. Lådans detaljer är numrerade med romerska siffror i figuren och förklaras i texten nedan.

Modellen har tre olika kamrar. Den understa kammaren är 35 cm hög och representerar husets krypgrund. Initialt fylldes utrymmet med heliumgas, som är en annan ädelgas med liknande egenskaper som radon, för att läcktesta lådan. Efter det placerades ett radiumpreparat, vilket emanerar radongas, i grunden. Radiumpreparatet består av en radiumklorid-lösning med styrkan 1 mCi.



Figur 4: Figuren visar en skiss av modellen. Isoleringsskivorna är markerade med färgen magenta och spånskivorna med brunt. (I) Kran, (II) Ventil, (III) Barriär, (IV) (V) (VI) Tilluftshål, (VII) Utsugsrör, (VIII) Utsugsfläkt

Den andra kammaren är den så kallade klimatzonen som är en cirka 5 cm hög luftspalt. Den begränsas nedåt av en isoleringsskiva av ett plastmaterial med 5 cm tjocklek. Isoleringsskivorna har frästa spår i sidorna där plastskenor sätts i för att foga samman skivorna med varandra och med de kantprofiler som sitter fästa på lådans långsidor. Känsliga punkter i skarvar mellan isoleringsskivorna har tätats med en fogmassa för att göra konstruktionen så tät som möjligt och detsamma gäller kantprofilerna.

Uppåt begränsas klimatzonen normalt sett av ett bjälklag med allt vad det innebär av isolering och ett innergolv. I vår modell har vi valt att ersätta bjälklaget och innergolvet med 22 mm tjocka spånskivor. Skarvarna mellan spånskivorna har tätats med fogmassa. I den ena änden av klimatzonen har ett 14 mm rör (V) monterats genom golvet (spånskivan) för att föra ned luft i spalten. Röret motsvarar det luftdon som företaget vanligtvis använder sig av. Där luften kommer in i klimatzonen finns en barriär (III) som gör att luften bara kan passera in i zonen genom en några millimeter smal springa. Springan sträcker sig över hela zonens bredd. Barriären fördelar luftströmmen lika över hela bredden på zonen och den hjälper till att skapa ett undertryck i spalten.

I den andra änden av lådan har ett 18 mm grovt rör (VII) monterats genom plåten på lådans kortsida genom vilket luften sugas ut med en fläkt (VIII). Fläkten och utsugsröret visas i figur 5. I en fullskalig installation sugas luften i flera hål fördelade över hela klimatzonens bredd så att ett jämnt flöde åstadkoms. Detta behövs dock inte i vår modell eftersom kortsidan är förhållandevis smal.

Den tredje kammaren är ca 50 cm hög och representerar husets inomhusmiljö. Lådan har ett avtagbart lock, även det av plåt. De tre kamrarna har var sin inspektionslucka på lådans ena kortsida. Luckorna är av plåt förstärkt med plywood och fästa med genomgående vagnsbultar i en träram på lådans insida. För att tät luckorna används fönsterlist. På den understa kammaren finns en kran (I) genom vilken vi har möjlighet att fylla lådan med heliumgas. Kranen används även till att släppa in luft då vi har ventilation i spalten ($> 3,3$ oms/h) för att åstadkomma ett lägre tryck i huset relativt grunden. Av samma anledning har locket ett 14 mm hål (IV). I alla modellens delar har slanganslutningar monterats (II) för att möjliggöra mätning av tryckskillnader.



Figur 5: Till vänster visas utsugsröret genom modellens kortsida och ATMOS som är ett instrument för kontinuerlig mätning av radongashalten. En närmre beskrivning av ATMOS följer i sektionen *Mätutrustning*. Till höger visas den fläkt som användes.

I ett verkligt hus är trycket högst utvändigt och i grunden och lägre inomhus, som en följd av den normalt högre inomhustemperaturen. Lägst är trycket i en eventuell klimatzon. Om all luft ska tas från lådans tredje kammare (inomhus) blir luftomsättningen där alldeles för hög eller omsättningen i spalten för liten. Vi har löst det genom att göra ett 18 mm hål (VI) genom lådans kortsida till spalten, på samma ställe som röret för "inomhusluften" kommer ner. Förhållandet mellan spaltens och inomhusluftens omsättning går att förändra genom att strypa luftflödet i något av rören och det totala flödet kan regleras med ett spjäll på fläkten och dess effekt. Den färdiga modellen visas i figur 6.



Figur 6: Figuren visar den färdiga modellen. På kortsidan ser man ventilerna som används för tryckmätning och de inspektionluckor genom vilka koldosorna ställs in och tas ut.

2.2 Mätutrustning

2.2.1 Inledning

För att testa om den modell som konstruerats uppfyller de kriterier som är nödvändiga för att undersöka Klimatzonen AB:s system, behövs mätutrustning. Det krävs tryck- och flödesmätare för att registrera luftomsättning och tryck i spalten. Genom att variera luftomsättningen och trycket i spalten undersöks vilken inverkan detta har för att hindra radon att tränga upp till inomhusmiljön. Radon kan detekteras på flera olika sätt. Här används koldosor och ATMOS. Nedan följer en beskrivning av de olika mätutrustningarna.

2.2.2 Läcktestare

För att undersöka om modellen är tät, fylls den med heliumgas och eventuella läckage undersöks. För att detektera heliumläckorna används en helium-sniffer, vilken suger in luft till en sensor som mäter gasens termiska ledningsförmåga och ger ett mått på halten heliumgas i luften [6]. Läcktestaren registrerar heliumflöden ner till 10^{-5} ml/s. Läcktestaren visas till vänster i figur 7.

2.2.3 Tryckmätare

En viktig funktion i modellen är skapande av de tryckskillnader som råder i ett verkligt hus och för att mäta dem används U-rör. Mätinstrumentet består av ett U-rör som är graderat och delvis fyllt med T-sprit. Vid lika tryck blir vätskenivån lika hög i rörets båda ändar men om den ena änden via en slang kopplas till ett område med högre/lägre tryck kommer vätskenivåerna att bli olika hög. Höjdskillnaden mellan vätskenivåerna är proportionell mot tryckskillnaden. Den största anledningen till att denna mätanordning används, är för att på ett enkelt sätt kunna mäta tryckskillnader på några enstaka pascal. U-röret som används visas i mitten av figur 7.

2.2.4 Luftflödesmätare

För att beräkna luftomsättningen i modellens olika delar, krävs vetskap om lufthastigheten i ventilationsrören. För att mäta denna används en luftflödesmätare av märket *Testo* [7]. Mätinstrumentet har en varmtrådgivare från vilken värme leds bort av den kallare luftströmmen. Givarens temperatur hålls konstant av en styrström, vars storlek är direkt proportionell mot lufthastigheten. För att mätaren ska ge ett bra resultat måste luftflödet vara ostört. Om flödet är turbulent påverkas mättråden från alla håll och instrumentet tenderar att ge för höga värden. För att undvika turbulens bör mätningen ske mitt på ett längre rakt parti av röret. Korrekt använt har mätinstrumentet en noggrannhet på ± 0.04 m/s vid 1 m/s. Luftflödesmätaren visas till höger i figur 7.



Figur 7: Till vänster visas läcktestaren som används för att detektera eventuella heliumläckor. I mitten visas ett U-rör för mätning av tryckskillnader mellan de olika sektionerna i modellen. Till höger visas luftflödesmätaren vilken används för att bestämma luftflödes hastigheten i utsugsröret och därmed luftomsättningen i de olika sektionerna av modellen.

2.2.5 Koldosor och Natriumjodiddetektorn

Vanligtvis mäts radonhalten i ett hus med spårfilm, varvid alfasönderfall från radonkärnorna detekteras. Beroende på tidsvariation av mätvärden, orsakade bl.a. av temperatur- och tryckgradienter och vindförhållanden, kan olika resultat fås och därför skall en mätning på minst tre månader under eldningsperiod göras. Detta för att kunna få sin villa klassad som en sanitär olägenhet [3]. Anledningen till att i detta arbete istället använda koldosor är att det bara krävs tre dagar innan dessa kan analyseras.

Koldosorna innehåller aktivt kol, vilket är användbart på grund av dess förmåga att adsorbere andra ämnen. Anledningen till detta är att aktivt kol har en mycket stor yta i förhållande till sin volym och därför har en stor kontaktyta. Koldosorna placeras, under tre dagar, där man vill mäta radongasen. Efter tre dagar har aktiviteten i koldosan i det närmaste nått ett jämviktsläge. I dosan fäster radongasen på det aktiva kolet och sönderfaller därefter till sina dotterprodukter. När i sin tur radondöttrarna sönderfaller, kan den resulterande kärnan vara exciterad och sänder då ut gammastrålning vid deexcitationen till grundtillståndet. Gammastrålning detekteras i en natriumjodiddetektor. Natriumjodiddetektorn och koldosorna illustreras i figur 8.

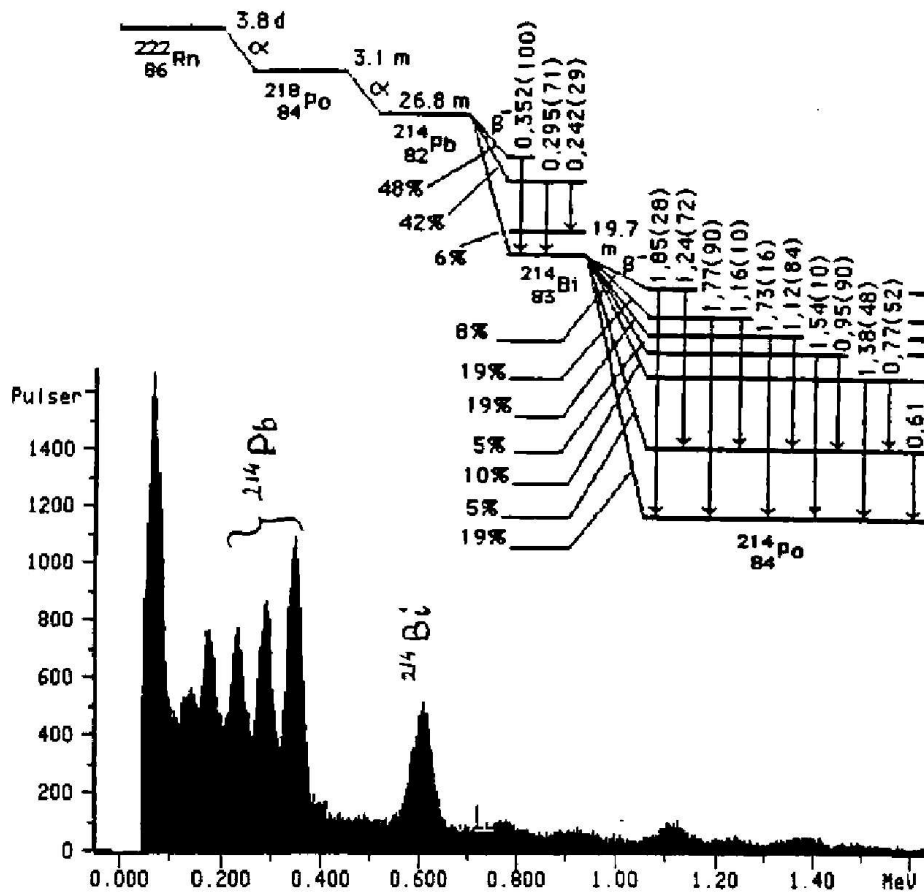


Figur 8: Till vänster ser vi natriumjodiddetektorn och till höger koldosorna.

Detektorn består av en natriumjodidkristall som är placerad i en cylinderformad bly-behållare, som kan öppnas och stängas genom ett skjutbart lock av bly. Då gammastrålning från t.ex. radondöttrarna i en koldosa träffar kristallen, uppstår ett svagt ljus. Detta beror på att fotonerna som träffar kristallen ger upphov till excitationer hos atomer i kristallen. Om dessa atomer inte deexciteras till grundnivån direkt, utan till ett annat lägre exciterat tillstånd, sänds fotoner ut med våglängder motsvarande synligt ljus. Ljuset genererar elektriska pulser i en fotomultiplikator. Laddningspulserna förstärks i förförstärkare och förstärkare. Den slutliga pulsens amplitud är proportionell mot energin hos den infallande gammastrålningen [8].

De förstärkta detektorpulserna leds i sin tur till en dator via en AD-omvandlare, vilken sorterar pulserna efter pulshöjd i olika kanaler. Mätssystemet, GDM 20 som visas i figur 8, använder sig av en AD-omvandlare med 512 kanaler vilka numreras efter stigande pulshöjd. Olika höjd på pulserna motsvarar olika kanalnummer och eftersom pulshöjden är proportionell mot gammaenergin, erhålls på så sätt även fördelningen av gammaenergi. Ett energispektrum skapas på detta sätt.

För att bestämma vilken energi ett visst kanalnummer svarar mot, behövs en energikalibrering med ett radioaktivt preparat som utstrålar gammakvanta med kända energier. Energikalibrering, och även effektivitetskalibrering, sker med standardpreparatet ^{152}Eu , där de olika fotonenergierna är kända. När sedan energikalibreringen är utförd, kan datorns analysprogram från energispektrums intensitetsfördelning beräkna radonhalten per volymenhet luft. Ett gammaspektrum för radondöttrar visas i figur 9.



Figur 9: Figuren visar radondöttrarnas gammaspektrum från natriumjodiddetektorn.

2.2.6 ATMOS

Som ett komplement till den integrerande radonmätningen med koldosor, som ger ett medelvärde för radongashalten under mätperioden, har vi använt oss av ATMOS vilket är ett instrument som mäter radongashalten kontinuerligt. ATMOS visas i figur 5. ATMOS suger in luft genom en slang från det område man vill mäta. Luften får sedan passera ett filter där radongasdöttrarna fastnar. Radongashalten mäts sedan i en jonisationskammare som består av en gasfylld kavitet med trådar spända från ena sidan till den andra. Alfapartiklar från sönderfallet av ^{222}Rn och ^{218}Po registreras som elektriska pulser i de ledande trådarna. ATMOS kan ställas in för att ge ett medelvärde för tider mellan 1 minut och 24 timmar. Instrumentet lagrar data, för de 30 senaste dagarna, som sedan kan överföras till en dator för analys. Detta gör det möjligt att se hur radongashalten varierar under dygnet och från dag till dag.

3 Resultat

3.1 Inledning

För att simulera markradon används ett radiumpreparat, placerad i grunden, som avger en konstant mängd radongas per tidsenhet. För att åstadkomma ett så bra test som möjligt av Klimatzonen AB:s system, utförs mätningar med varierande luftomsättningar i spalt- och husutrymme och olika tryckskillnader. De luftomsättningar och tryckskillnader som Klimatzonen AB brukar använda sig av är följande:

- Golvarea: 150 m²
- Spalthöjd: 7 cm
- Totalt flöde: 45 l/s
- Tryckskillnad (hus/spalt): ≈ 3 Pa

Dessa data ger att luftomsättningen skall vara ≈ 370 oms/dygn i luftspalten. I normala fall tas all luft från huset, men eftersom volymförhållandet mellan luftspalten och huset är mycket mindre i vår modell än i ett verkligt hus, skulle detta resultera i en onormalt hög luftomsättning: ≈ 35 oms/dygn i modellens husdel (Enligt Boverkets byggregler bör luftomsättningen i en villa vara ca 12 oms/dygn [9]). För att minska luftomsättningen i huset har ett 18 mm tilluftshål (VI) genom modellens kortsida till luftspalten skapats. Rörens dimensioner har valts så att 370 oms/dygn i luftspalten (15,4 oms/h) motsvarar 12 oms/dygn i huset, vilket svarar mot ett normalvärde för en villa. Eftersom rörens tvärsnittsarea är proportionell mot luftflödet ges omsättningen i huset av ekvation (1). I verkligheten är flödet något mindre eftersom trycket är något lägre i huset relativt omgivningen.

$$O_{hus} = \frac{A_V}{A_V + A_{VI}} \cdot A_{ut} \cdot \frac{v_{ut}}{V_{hus}} \quad (1)$$

A_V och A_{VI} är arean på röret från huset till luftspalten respektive utifrån, A_{ut} är arean på frånluftsroret vid fläkten (50 mm i diameter), v_{ut} är frånluftens hastighet och V_{hus} är volymen för huset. Index V , VI respektive ut , svarar mot de in- och utflöden som visas i figur (4). För att istället få luftomsättningen i spalten använder man sig av ekvation (2).

$$O_{spalt} = A_{ut} \cdot \frac{v_{ut}}{V_{spalt}} \quad (2)$$

Mätningar utförs först utan ventilation i luftspalten. Efter detta utförs mätningar med olika luftflöden och tryck för att undersöka hur det påverkar radongashalten i de olika kamrarna.

För mätningar med högre luftomsättning ($> 3,3$ oms/h i spalten) har en kran öppnats i grunden för att släppa in luft utifrån. På detta sätt åstadkoms ett lägre tryck i huset relativt grunden.

Mätningarna sker med koldosor som placeras i de olika nivåerna. Tre koldosor, utplacerade med jämna avstånd, användes till vardera huset och luftspalten. Figur 10 visar hur koldosorna placerades ut i den översta sektionen av modellen (huset). I grunden placerades endast två koldosor eftersom detta utrymme utrustades med en liten fläkt som blandar om luften. Anledningen till att flera koldosor per nivå används är att ett medelvärde av radongashalten då kan erhållas samtidigt som det går att upptäcka om halterna varierar inom respektive volym. Varje mätperiod varar 3-6 dagar och varje dag tas koldosorna ut för analys. Efter analysen ställs koldosorna tillbaka på sina respektive platser. Eftersom koldosorna uppnår mättnad först efter tre dagar, kommer resultatet de första två dagarna ej att vara absolutvärden. Resultatet från den tredje dagen och framåt är ett medelvärde för de sista tre dagarna. Av denna anledning är det mer lämpligt att jämföra kvoter mellan resultaten för de olika nivåerna.



Figur 10: Figuren visar hur koldosorna placerades i modellens övre sektion.

Vid analys av koldosor skall det göras en kompensation för luftfuktigheten under mätperioden. Till följd av luftfuktigheten får koldosorna en viktökning som analysprogrammet sedan kompenserar för. Det är i första hand kvoterna mellan de respektive nivåerna som är intressanta och då viktökningen har varit lika stor i alla koldosor har effekten av viktökningen uteslutits. Radongashalterna är av denna anledning något högre än vad som anges i tabellerna. Störst effekt fås i slutet av mätperioderna då det angivna värdet är ca 25 % lägre än det verkliga.

Utöver koldosorna placeras även ATMOS så att den suger in luft från huset på modellen och registrerar radongashalten kontinuerligt. Mellan varje mätserie tömdes hus och spalt på radongas. Parallellt med dessa mätningar utförs ett materialtest för att se i vilken omfattning radongas diffunderar genom olika material.

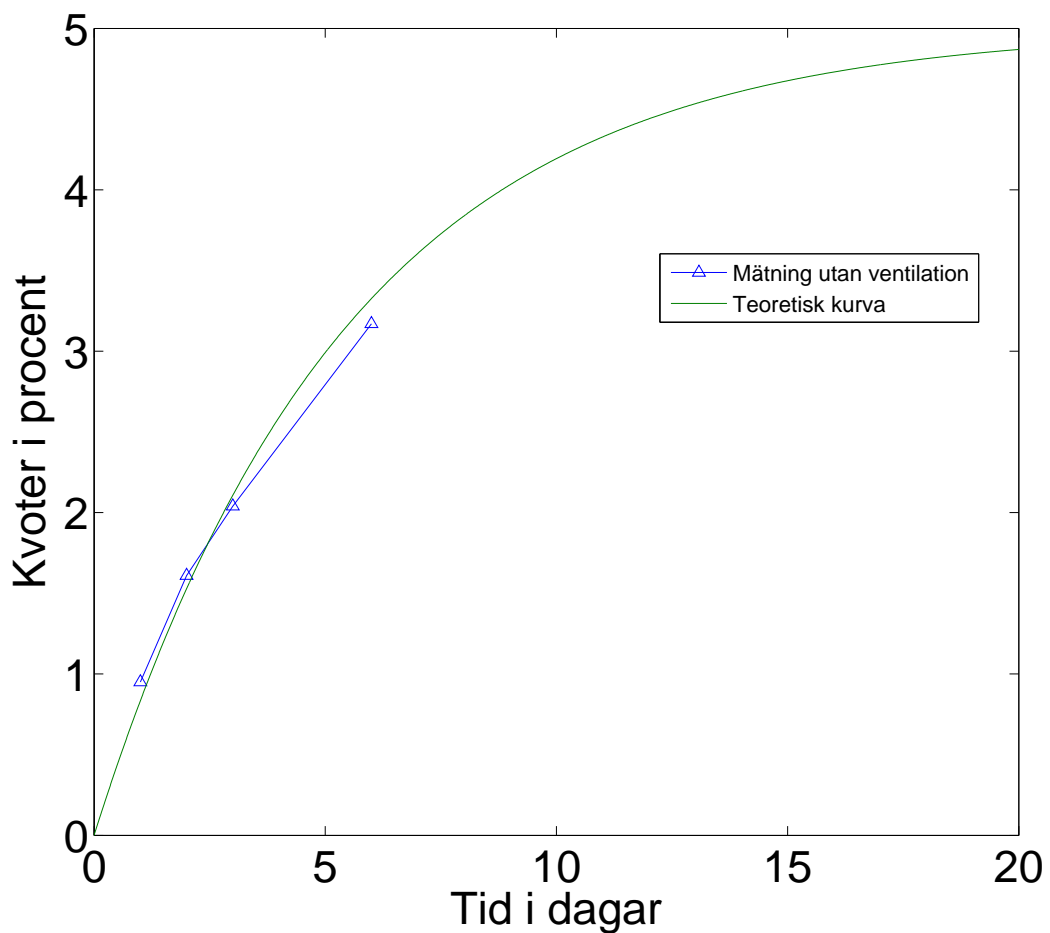
3.2 Mätning utan ventilation (1)

En mätning utan ventilation i spalten har utförts som referensmätning till efterföljande mätningar med ventilation. För att åstadkomma ett undertryck i huset relativt grunden, vilket är det normala, sugs luft motsvarande 0,8 oms/dygn ut (den luft som ATMOS suger in är inkluderad). Detta ger en tryckskillnad på ca 7 Pa (hus/grund). Den relativt stora tryckskillnaden beror på att alla tilluftshål är stängda, luft måste dock läcka in någonstans eftersom ett flöde konstaterats. Resultatet av mätningen utan ventilation åskådliggörs i tabell 1.

Mätningen visar som förväntat att radongashalten i grunden ökar under hela mätperioden. Det beror på att radongasen når jämvikt först efter några halveringstider. Systemet har således ej nått jämvikt vid mätperiodens slut men hastigheten med vilken radongashalten ökar reduceras. Man ser också att halterna i hus och spalt följs åt, vilket tyder på att det mesta som läcker upp i spalten fortsätter vidare upp i huset. Den höga halten i huset är inte så förvånande om man jämför med radongashalten i grunden som är mycket högre än i de flesta hus med radonproblem. Detta åskådliggörs genom kvoterna i tabellen, vilka visar att endast en bråkdel av radongasen tränger in i huset. Kvoten (hus/grund) har inte nått jämvikt men ökar allt långsammare (notera att tiden mellan de två sista mätpunkterna är tre dagar) och kommer troligtvis inte nå över 5 %. Detta baseras på figur 11 där den teoretiska kurvan, $N(1 - \exp[-\lambda_{Rn}t])$, visar hur radongashalten ökar i ett "slutet" utrymme. Jämvikt nås då lika mycket radon sönderfaller som skapas. Radongasens effektiva halveringstid minskar med ökande luftomsättning vilket innebär att jämvikt nås snabbare. Mätvärdena avviker med tiden allt mer från den teoretiska kurvan i figuren p.g.a. luftomsättningen i huset. I figur 12 åskådliggörs den radongashalt som kvoterna (hus/grund) ger upphov till, normerade till 10000 Bq/m³ i grunden. Denna mätning är markerad med blå heldragen linje.

Tabell 1: Mätning utan ventilation med koldosor och ATMOS. Tabellen visar radongashalten i Bq/m³ för de olika nivåerna. Kvoterna anges i procent.

	Dag 1	Dag 2	Dag 3	Dag 6
Hus	198	705	1246	3009
Spalt	248	863	1495	3494
Grund	20770	43710	61000	95000
ATMOS, (Hus)	x	2200	2700	5700
Kvot i %, (Hus/Grund)	0,95	1,61	2,04	3,17
Kvot i %, (Hus/Spalt)	79,8	81,7	83,3	86,1
Kvot i %, (Spalt/Grund)	1,19	1,97	2,45	3,68



Figur 11: Figuren visar hur jämvikt nås i ett "slutet" utrymme jämfört med hur kvoterna (hus/grund) utvecklas i mätning 1. Den teoretiska kurvan ges av: $5(1 - \exp[-\lambda_{Rn}t])$, där λ_{Rn} är sönderfallskonstanten för radon och 5 är ett godtyckligt maxvärde för funktionen, valt för att enkelt kunna jämföra de båda kurvorna.

Tabell 2: Mätning med koldosor och ATMOS. Luftomsättning 0,10 oms/h i huset och tryckskillnad 0,5 Pa mellan hus och luftspalt. Tabellen visar radongashalten i Bq/m³ för de olika nivåerna. Kvoterna anges i procent.

	Dag 1	Dag 2	Dag 3
Hus	268	570	873
Spalt	341	642	1045
Grund	37090	69070	88000
ATMOS, (Hus)	890	1360	2000
Kvot i %, (Hus/Grund)	0,72	0,83	0,99
Kvot i %, (Hus/Spalt)	78,6	88,9	83,5
Kvot i %, (Spalt/Grund)	0,92	0,93	1,19

3.3 Mätning med ca: 3,3 oms/h i spalten (2)

I denna mätning motsvarade luftflödet i spalten 3,3 oms/h, vilket innebär en lufthastighet av 0,1 m/s i frånluftsriöret. Endast en liten tryckskillnad på 0,5 Pa mellan hus och spalt användes, tillräckligt för att alla flöden skall gå åt rätt håll. De erhållna mätvärdena visas i tabell 2. Det är värt att notera att kvoterna (hus/grund) och (spalt/grund) har förbättrats (minskat) under denna mätning gentemot föregående mätning. Kvoten (hus/spalt) är dock praktiskt taget oförändrad. I figur 12 åskådliggörs den radongashalt som kvoterna (hus/grund) ger upphov till, normerade till 10000 Bq/m³ i grunden. Denna mätning är markerad med grön heldragen linje.

3.4 Två mätningar med ca: 8,2 oms/h i spalten och olika tryck (3) & (4)

För att undersöka hur olika tryckskillnader mellan hus och spalt påverkar radongashalten i de olika nivåerna, utfördes två mätningar med lika flöde men olika tryckskillnader. I denna mätning användes ett luftflöde motsvarande 8,2 oms/h i spalten och en tryckskillnad på 1,5 Pa respektive 4,5 Pa mellan hus och spalt. Tryckskillnaden mellan spalt och grund är 1 Pa större. Som nämnts tidigare är det lägst tryck i spalten (klimatzonen). Luftomsättningen i huset blir i detta fall 0,27 oms/h. Resultatet av de båda mätningarna illustreras i tabell 3 & 4.

Radongashalten i huset för de båda mätningarna är relativt små och tämligen lika. De konstanta värdena som koldosorna i grunden visar tyder, med tanke på koldosornas mätnadsprocess, på att halterna egentligen är sjunkande. Halterna i grunden är låga i jämförelse med föregående mätningar. Den första mätningen, den med lägre tryckskillnad, visar att kvoterna är av samma storleksordning som föregående mätning, tabell 2, medans kvoterna mellan spalt och grund har ökat. Detta indikerar att luft suggs upp i spalten från grunden. Knappt hälften av den

Tabell 3: Mätning med koldosor och ATMOS. Luftomsättning 0,27 oms/h i huset och tryckskillnad 1,5 Pa mellan hus och luftspalt. Tabellen visar radongashalten i Bq/m³ för de olika nivåerna. Kvoterna anges i procent.

	Dag 1	Dag 2	Dag 3
Hus	246	347	316
Spalt	647	812	862
Grund	29000	31740	29920
ATMOS, (Hus)	600	320	400
Kvot i %, (Hus/Grund)	0,85	1,09	1,06
Kvot i %, (Hus/Spalt)	38,0	42,7	36,7
Kvot i %, (Spalt/Grund)	2,23	2,56	2,88

Tabell 4: Mätning med koldosor och ATMOS. Luftomsättning 0,27 oms/h i huset och tryckskillnad 4,5 Pa mellan hus och luftspalt. Tabellen visar radongashalten i Bq/m³ för de olika nivåerna. Kvoterna anges i procent.

	Dag 1	Dag 2	Dag 3
Hus	217	273	313
Spalt	934	1258	1333
Grund	7160	9630	10350
ATMOS, (Hus)	450	440	420
Kvot i %, (Hus/Grund)	3,03	2,83	3,02
Kvot i %, (Hus/Spalt)	23,2	21,7	23,5
Kvot i %, (Spalt/Grund)	13,0	13,1	12,9

radongas som sugts upp i spalten hinner in i huset och resterande mängd följer med ut via ventilationsröret.

Den andra mätningens större tryckskillnad resulterar i en ytterligare minskning av radongashalten i grunden samtidigt som halterna ökar i spalten. Detta leder till att kvoterna mellan både (hus/grund) och (spalt/grund) ökar markant. Det ökande luftutbytet, till följd av tryckskillnaden leder till att jämvikt i systemet nås fortare vilket även återspeglas i värdena från ATMOS. I figur 12 åskådliggörs den radongashalt som kvoterna (hus/grund) ger upphov till, för de båda mätningarna, normerade till 10000 Bq/m³ i grunden. Dessa mätningar är markerade med röd respektive turkos heldragen linje.

Tabell 5: Mätning med koldosor och ATMOS. Luftomsättning 0,50 oms/h i huset och tryckskillnad 3 Pa mellan hus och luftspalt. Tabellen visar radongashalten i Bq/m³ för de olika nivåerna. Kvoterna anges i procent.

	Dag 1	Dag 2	Dag 3	Dag 4	Dag 5
Hus	94	131	146	147	141
Spalt	266	370	487	442	507
Grund	6580	9560	10950	11390	12590
ATMOS, (Hus)	220	210	180	210	190
Kvot i %, (Hus/Grund)	1,43	1,37	1,33	1,29	1,12
Kvot i %, (Hus/Spalt)	35,3	35,4	30,0	33,3	27,8
Kvot i %, (Spalt/Grund)	4,04	3,87	4,45	3,88	4,03

Tabell 6: Mätning med koldosor och ATMOS. Luftomsättning 0,50 oms/h i huset och tryckskillnad 0,5 Pa mellan hus och luftspalt. Tabellen visar radongashalten i Bq/m³ för de olika nivåerna. Kvoterna anges i procent.

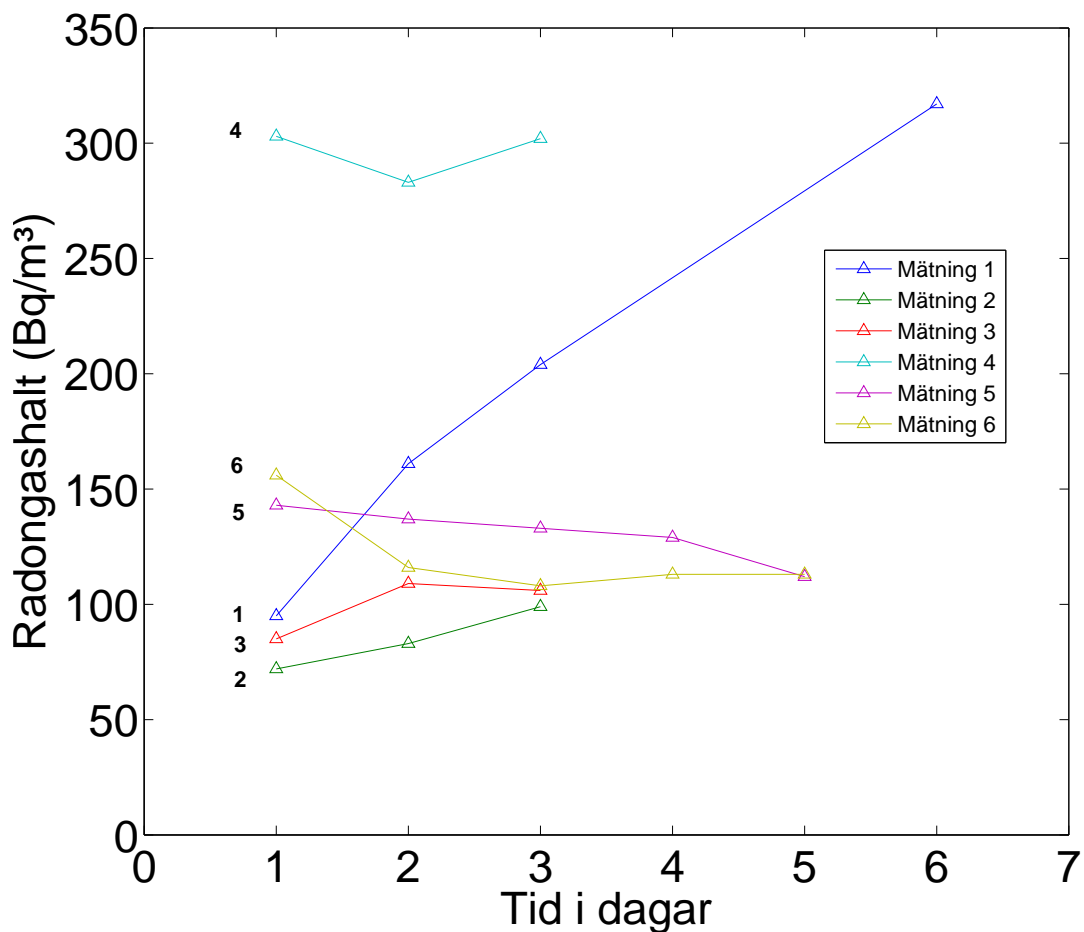
	Dag 1	Dag 2	Dag 3	Dag 4	Dag 5
Hus	127	161	181	204	209
Spalt	357	493	539	557	579
Grund	8120	13830	16710	18070	18570
ATMOS, (Hus)	220	240	250	250	230
Kvot i %, (Hus/Grund)	1,56	1,16	1,08	1,13	1,13
Kvot i %, (Hus/Spalt)	35,6	32,7	33,4	36,6	36,1
Kvot i %, (Spalt/Grund)	4,40	3,56	3,23	3,08	3,12

3.5 Två mätningar med ca: 15,4 oms/h i spalten och olika tryck (5) & (6)

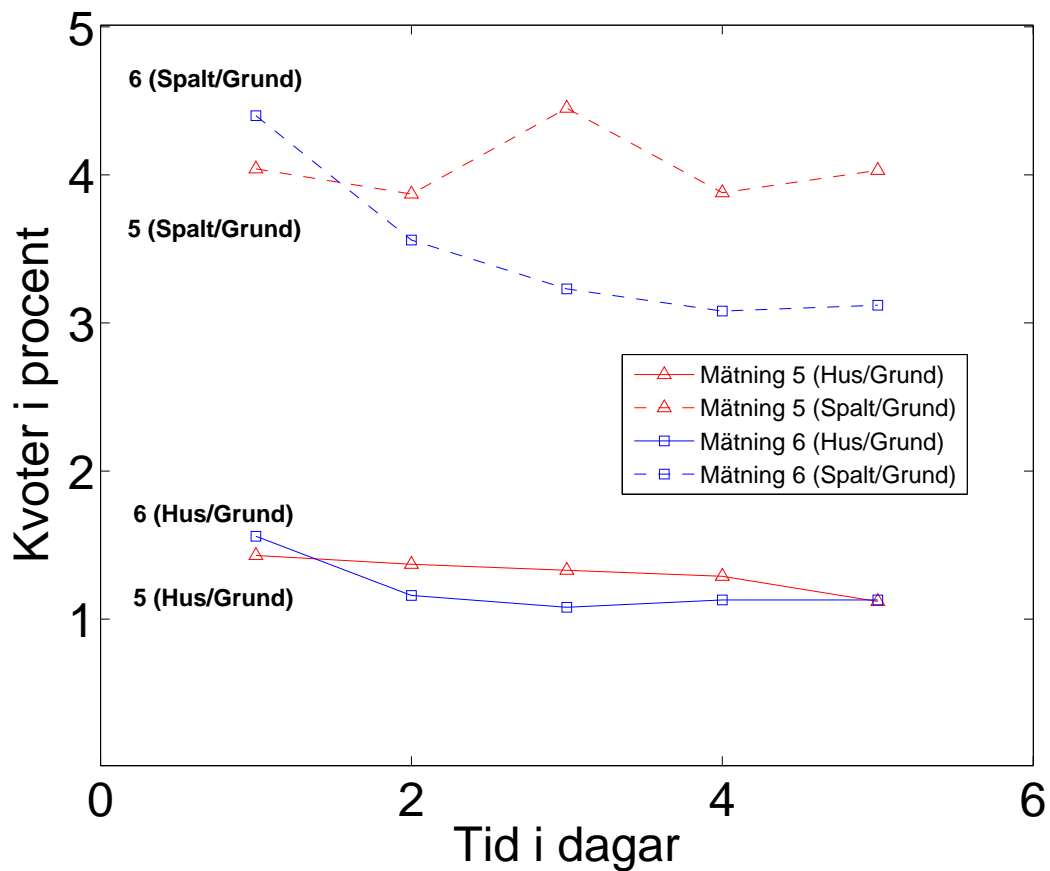
I dessa mätningar undersöktes hur de luftflöden och tryckskillnader som Klimatzonen AB vanligtvis använder sig av påverkar radongashalten i de olika nivåerna. Två mätningar utfördes där ett luftflöde motsvarande 15,4 oms/h i spalten användes med tryckskillnaderna 3 Pa respektive 0,5 Pa (hus/spalt). Tryckskillnaden (spalt/grund) är 2 Pa större. Luftomsättningen i huset blir 0,50 oms/h. Resultatet av mätningarna åskådliggörs i tabell 5 & 6.

Den större tryckskillnaden i den första av de två mätningarna resulterar i ~25 % sämre (högre) kvoter spalt/grund. Kvoterna blir bättre (lägre) mellan hus och spalt vid större tryckskillnader. I den första mätningen (störst tryckskillnad) ligger kvoterna (hus/grund), om man bortser från sista dagens mätning, runt 1,3 %. Mätvärdena antyder att kvoterna förbättras men skill-

naderna är för små för att säkra slutsatser om trenden skall kunna dras. Den andra mätningen då tryckskillnaden är lägre ger än bättre kvoter (hus/grund). Från och med andra dagen är kvoterna för de båda mätningarna relativt stabila vilket tyder på att jämvikt i systemet uppnåtts. Detta visas i figur 13 där kvoterna (hus/grund) och (spalt/grund) plottats för de båda mätningarna. Värdena från ATMOS visar även detta. Att systemet snabbt når jämvikt är ett resultat av det höga luftflöde som används i denna mätning. I figur 12 åskådliggörs den radongashalt som kvoterna (hus/grund) ger upphov till, för de båda mätningarna, normerade till 10000 Bq/m³ i grunden. Dessa mätningar är markerade med lila respektive gul heldragen linje.



Figur 12: Figuren visar den radongashalt som kvoterna (hus/grund) ger upphov till, normerade till 10000 Bq/m³ i grunden. Mätning 1: Utan ventilation. Mätning 2: 0,1 oms/h i huset, tryckskillnad 0,5 Pa (hus/spalt). Mätning 3: 0,27 oms/h i huset, tryckskillnad 1,5 Pa (hus/spalt). Mätning 4: 0,27 oms/h i huset, tryckskillnad 4,5 Pa (hus/spalt). Mätning 5: 0,50 oms/h i huset, tryckskillnad 3 Pa (hus/spalt). Mätning 6: 0,50 oms/h i huset, tryckskillnad 0,5 Pa (hus/spalt).



Figur 13: Figuren visar hur kvoterna varierar i mätning 5 & 6. Mätning 5 är markerad med röd färg och trianglar medans mätning 6 är markerad med blå färg och fyrkanter. De heldragna linjerna motsvarar kvoterna (Hus/Grund) och de streckade linjerna motsvarar kvoterna (Spalt/Grund).

3.6 Materialtest

Ett enklare materialtest har utförts för att jämföra olika materials genomsläpplighet för radongas. Uppställningen, som visas i figur 14, består av ett T-rör där två ändar förslutits. På den tredje änden fogas det material som skall testas. En påse med sten och grus som emanerar radongas placeras i T-röret. Den radongas som diffunderar igenom materialet samlas upp i ett aluminiumkärl, vilket omsluter materialet. I detta utrymme mäts sedan radongasen med hjälp av en koldosa. T-röret har dessutom en anslutning som möjliggör pumpning på materialet för att få en uppfattning om hur tätt det är.

De material som testats är Ecoprim (50 mm), frigolit (50 mm) och spånskiva (22 mm). Ecoprim är det material som Klimatzonen AB använder och frigolit valdes eftersom det är ett vanligt isoleringsmaterial för husgrunder. Spånskivan är densamma som användes till golvet i den schematiska modellen. Varje mätperiod varade 5 dagar och efter detta analyserades koldosan. Följande resultat erhöles:

- Ecoprim: 40 Bq/m³
- Frigolit: 1260 Bq/m³
- Spånskiva: 1990 Bq/m³
- Utan material: 2040 Bq/m³

Resultatet visar att Ecoprimskivorna är mycket täta mot radongas vilket även stöds av den pumpning som utfördes på materialet. Både frigoliten och spånskivan läckte för mycket för att kunna testas med den pumputrustning som användes vilken är anpassad för vakuumentstning. Otätheten återspeglas i de höga radonhalterna. Noterbart är att i detta materialtest har spånskivan ingen inverkan på radonhalten.



Figur 14: Figuren visar den uppställning som används för materialtestet.

4 Diskussion och felkällor

Det materialtest som utförts visar tydligt att de Ecoprimskivor som Klimatzonen AB använder sig av är mycket täta mot radongas. Från detta drar vi slutsatsen att det läckage vi ser i modellen till största del härör från skarvar och fogar. Spånskivans stora genomsläpplighet för radon leder till att valet av golv i modellen är av stor betydelse. Golvet i ett verkligt hus består av ett ca 20 cm tjockt bjälklag med isolering med påföljande innergolv t.ex. linoleummatta. Ett sådant golv skulle kunna vara betydligt tätare än de spånskivor som används i modellen. Spånskivans stora genomsläpplighet för radon märks tydligt i de kvoter (hus/spalt) som mätts upp.

Man ser ett tydligt samband mellan undertrycket i spalten, jämfört med huset, och mängden radongas som tränger upp i huset. Detta ses tydligt i mätningarna 3 och 4, vilka har utförts med samma luftflöde. När tryckskillnaden mellan hus och spalt ändras från 1,5 Pa till 4,5 Pa minskar kvoterna (hus/spalt) från ca 40 % till drygt 20 %. Av den stora tryckskillnaden mellan hus och spalt följer att tryckskillnaden mellan spalt och grund också blir stor. Detta leder till att radongas sugs upp ur grunden vilket speglas i kvoterna (spalt/grund) om man jämför mätning 3, 4 och mätning 5, 6. Den stora mängd radongas som sugs upp leder till minskade halter i grunden, vilket kanske inte är möjligt i en verklig husgrund. Den varierande radongashalten i grunden ger ännu en anledning, förutom att koldosorna medelvärdesbildar över de sista tre dagarna, till att jämföra kvoter istället för radongashalten.

Jämvikt i ett slutet system nås då lika mycket radon sönderfaller som skapas. Radongasens effektiva halveringstid minskar med ökande luftomsättning vilket innebär att jämvikt nås snabbare. Kvoterna (hus/grund) i mätning 1, utan ventilation, har efter sex dagar ännu ej nått jämvikt. I ett system helt utan ventilation nås jämvikt efter ca 5 halveringstider vilket för radon ger ca 20 dygn. Detta illustreras av den teoretiska kurvan i figur 11. Mätningarna från mätning 1 överensstämmer till en början väl med denna kurva för att sedan avvika allt mer. Detta beroende på den lilla ventilation som används för att skapa undertryck i huset relativt grunden.

Figur 12 visar kvoterna (hus/grund) för samtliga mätningar. Kurvorna för mätningarna 2-6 skiljer sig från den typ av jämviktskurva som mätning 1 uppvisar. Eventuellt kan en liten del av skillnaden bero på att startförutsättningarna inte är helt lika. Mätning 1 startade med en relativt låg radongashalt i grunden, medan övriga mätningar startar med den ackumulerade halten från föregående mätning. Ett alternativ hade varit att tömma grunden helt på radongas mellan mätningarna. Detta hade emellertid lett till att längre tid krävts för systemet att nå jämvikt och att skillnaderna mellan de olika mätningarna hade blivit små för de första dagarna. En annan källa till osäkerhet kan vara att tömningen av hus- och spaltsektionerna,

mellan de olika mätningarna, kanske inte har varit fullständig. En viss radongashalt kan av denna anledning ha blivit kvar. Mätning 2 har en stigande trend och kan förväntas stiga ytterligare några dagar, då jämvikt ännu ej uppnåtts. Ventilationen i mätning 2 ger dock en påtaglig förbättring gentemot mätning 1 men för att avgöra om den tryckskillnad och luftomsättning som används är lämpliga ur radonsynpunkt, krävs en längre mätperiod.

En längre mätperiod vore också önskvärd i mätning 3 för att utröna huruvida trenden för dag två och tre är korrekt. Differensen mellan kvoterna (hus/grund) för dag 2 och 3 ligger inom felmarginalerna. Av denna anledning är det svårt att dra långtgående slutsatser ur radonsynpunkt. Mätning 3 är dock betydligt bättre än mätning 4 där tryckskillnaden ändrats från 1,5 Pa till 4,5 Pa och luftflödet är detsamma. Mätning 4 verkar stabil eftersom första och tredje dagens mätpunkter är lika. Andra dagens mätresultat avviker men ligger inom 6 % felmarginal. Mätning 4 är resultatmässigt den klart sämsta mätningen av de med ventilation. En stor tryckskillnad i kombination med ett lite mindre flöde är därför inte att rekommendera för en klimatzon.

De höga radongashalterna den första dagen för mätning 6 (0,5 Pa tryckskillnad mellan hus och spalt) kan bero på kvarvarande radongas i hus och spalt efter tömning, i kombination med låga halter i grunden. Mätning 6 tycks nå jämvikt efter andra dagen, vilket visas i figur 13 där kvoterna (hus/grund) och (spalt/grund) följer varandra väl och blir konstanta. Mätning 5, vilken har 2,5 Pa större tryckskillnad jämfört med mätning 6, uppvisar en svagt nedåtgående trend. Skillnaderna mellan de olika mätpunkterna i mätning 5 är dock så små att det kan röra sig om en rent slumpmässig effekt. Den sista mätpunktens avvikelse från trenden kan därför inte anses vara statistiskt signifikant. Med anledning av detta kan mätning 5 antas vara nära jämvikt redan efter första dagen. Detta åskådliggörs i figur 13 där kvoterna är tämligen konstanta under hela mätserien. Både mätning 5 och 6 hamnar under gränsen för sanitär olägenhet då kvoterna (hus/grund) är normerade till 10000 Bq/m³ i grunden, vilket är en hög halt för en verklig husgrund. Parametervärdet i mätning 6 framstår som något bättre än det i mätning 5 med hänsyn till osäkerheten i sista dagens mätpunkt (mätning 5).

Mätserierna 2 och 3 skulle kunna hamna under gränsen för en sanitär olägenhet, med normeringen 10000 Bq/m³ i grunden. För att avgöra det skulle en längre mätserie behöva utföras. Potentiellt skulle parametervärdena i mätning 2 och 3 kunna vara bättre än de i mätning 5 och 6 om luftomsättningen i huset (inte luftomsättningen i spalten) vore lika. Detta skulle kunna testas genom att all luft till spalten tas från huset.

De utförda mätningar har ett antal möjliga felkällor. Då en koldosa mäts flera gånger vid ett och samma tillfälle kan resultatet variera med upp till 15 %. Vid analys av koldosorna användes två olika mätstationer (GDM 20) och resultatet varierade med ca 20 % mellan

dessa. För att minska felet tas ett medelvärde av dosorna på respektive nivå och dosorna mättes oftast i båda mätstationerna. Vi har vid analysen bortsett från koldosornas viktökning vilket nämns i resultatdelen. Denna viktökning påverkar dock inte kvoterna men däremot blir mätvärdena ca 25 % för låga vid slutet av en mätserie. Koldosorna analyserades inte vid exakt samma tid varje dag. En tidsavvikelse på några timmar har förekommit, men eftersom mätmetoden med koldosor är medelvärdesbildande borde inte detta påverka resultatet nämnvärt. Placeringen av koldosorna i de olika kamrarna har inte kunnat reproduceras helt vid de olika mätningarna. Detta har haft stor betydelse för koldosan närmast utsuget i luftspalten, där förhöjda radonhalter ibland observerats.

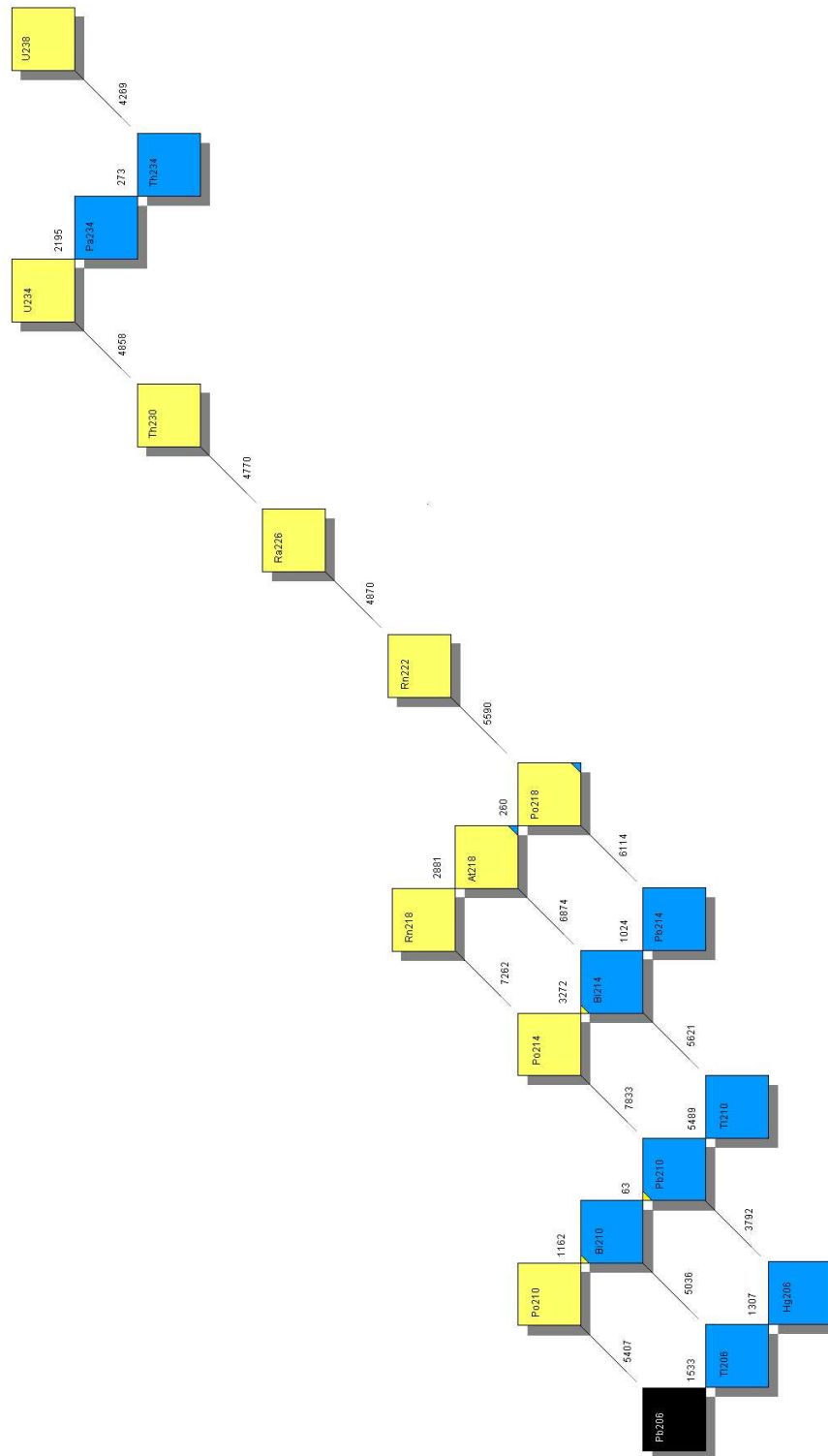
5 Slutsats

Sammanfattningsvis anser vi att de tryckskillnader och luftflöden som används i både mätning 5 och 6, där mätning 5 utförts med de värden på tryck och flöden som Klimatzonen AB använder sig av, borde fungera som ett effektivt radonskydd, då ca 98 % av radongasen i grunden hindras från att tränga upp i huset. En eventuell förbättring av företagets system vore en mer omfattande tätning av Ecoprimskivornas skarvar och pendlar, eftersom materialtestet visat att skivorna, i det närmaste, är radontäta. För att avgöra huruvida de inställningar som används i mätning 2 och 3 är lämpliga ur radonsynpunkt, krävs längre mätserier. För att säkerställa de resultat vi erhållt krävs en upprepning av dessa mätserier under ett antal veckor. Om mätningarna även då visar på goda resultat vore en naturlig fortsättning att testa Klimatzonen AB:s system på ett fullskaligt objekt med markradonproblem.

Referenser

- [1] National Nuclear Data Center, 2008-03-28
<http://www.nndc.bnl.gov>
- [2] Clavensjö, B Åkerblom, G *Radonboken-befintliga byggnader*, Formas, Stockholm, 2003.
- [3] Statens Strålskyddsinstitut, SSI, 2008-03-28
<http://www.ssi.se>
- [4] Klimatzonen Sweden AB, 2008-03-28
<http://www.klimatzonen.se>
- [5] Paroc AB, 2008-05-06
<http://www.paroc.se>
- [6] LACO Technologies, 2008-04-03
<http://www.lacotech.com>
- [7] Nordtec Instrument AB, 2008-04-03
http://www.nordtec.se/bilder/startsidebilder/fakta-maetteknik/pdf_4.pdf
- [8] Gammadata Mätteknik AB *Användarhandbok för GDM 20*
- [9] Boverkets byggregler, 2008-05-06
<http://www.boverket.se>

A Sönderfallsschema



Figur 15: Sönderfallsschema för hela ^{238}U -serien. Blå färg: betasönderfall, gul färg: alfasönderfall, svart färg: stabil isotop.