

Samband mellan huskroppens livscykel, planlösning och radonnivåer

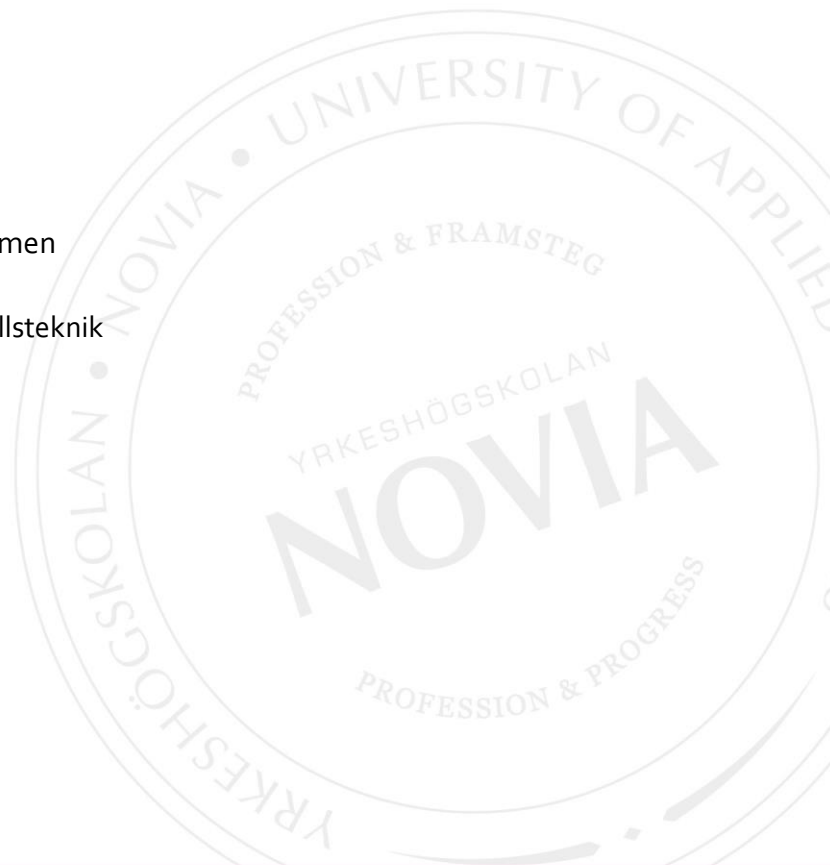
Med fokus på Åland

John-Erik Gustafsson

Examensarbete för ingenjör (YH)-examen

Utbildningen för byggnads- och samhällsteknik

Raseborg 2020



EXAMENSARBETE

Författare: John-Erik Gustafsson

Utbildning och ort: Byggnads- och samhällsteknik YH Raseborg

Handledare: Johan Degerlund

Titel: Samband mellan huskroppens livscykel, planlösning och radonnivåer. Med fokus på Åland

Datum 14.03.2020

Sidantal 76

Bilagor 3

Abstrakt

Frågor om radon, luftens kvalitet och hälsa är starkt kopplade till varandra, eftersom utvecklingen går mot att vi vistas mer och mer inomhus. Åland är speciellt ur ett radonperspektiv. Landskapet har en unik berggrund. Dessutom ligger det mellan två olika byggkulturer, den finska och den svenska. Åland är självstört med en landskapsregering som har sin egen lagberedning och bestämmanderätt i byggfrågor. Både i Finland och Sverige bygger man enligt eurokod men har ändå lite olika byggsystem. Samtidigt har man betydligt bättre förutsättningar att utveckla lagar, förordningar och kvalitetssystem än landskapet Åland, med influenser från både finskt och svenskt håll. Åland står med sina cirka 14 000 hushåll inför en stor utmaning i byggfrågor. Ansvaret gentemot slutkunden är stor. Samtidigt har radon varit en förbisedd fråga i åländsk byggindustri, liksom på många andra ställen.

Syftet är dels att bidra till kunskap om radon på Åland och behovet av mätningar, dels att öka förståelsen för vad som påverkar radonnivåerna i våra hem och vad som kan påverka mätresultaten. Arbetet består av tre delar: en teoretisk del med diskussion om problemområdet, en praktisk del med exemplifierande mätningar av radon i några hus på Åland och en sammanfattande del i vilken resultatet presenteras.

Huskroppar har sina livscyklar som hänger ihop med förändringar i radonnivåer. Nya huskonstruktioner är täta och komplexa. Renoveringar gör äldre hus tätare. Byggnader får nya förutsättningar och tappar andra med tiden. Radonvärden är inte helt nyckfulla, utan beror på kombinationer av byggnadskroppens skal, planlösning, ventilation, människors rörelsemönster och vindens skiftningar runt byggnaden.

Språk: Svenska

Nyckelord: radon, renovering, huskroppens egenskaper, planlösning, hälsa.

BACHELOR'S THESIS

Author: John-Erik Gustafsson

Degree Programme: Construction Engineering, Novia University of Applied Sciences:
Raseborg

Specialization: Construction Engineering, Novia University of Applied Sciences Raseborg

Supervisor(s): Johan Degerlund

Title: The Relationship Between the Life cycle of Houses, Floor plans and Radon levels,
Focusing on Åland Islands

Date 14.03.2020

Number of pages 76

Appendices 3

Abstract

Issues concerning radon, The quality of air and health are strongly connected as a result of us spending more time indoors. The Åland Islands, or Åland, is significant from a radon point of view. Åland has its own unique bedrock and is also situated between two different countries with their own building codes and regulations: the Finnish and the Swedish. Åland is an autonomous region in Finland with its own legislation and authority concerning building regulations. Both Finland and Sweden apply the Eurocode but with somewhat different building systems. For a small autonomous region, developing laws, regulations and quality systems is a big challenge with influences from both countries. Åland has approximately 14 000 households and the responsibility towards the end consumer is very important. The radon issue has, however been overlooked in the Islands' building industry, as it has been in many other places.

The objective of the thesis is to contribute to the awareness of radon in Åland and the measuring needs. in order to broaden the understanding of the impacts of radon levels in our homes and the influences on the measuring results. The thesis is in three parts: a theoretical part a with discussion about the problem area, a practical part with examples of measurements of radon in a few houses in Åland and finally a summary.

Buildings have their lifecycles that are connected to changes in radon levels. New constructions are airtight and complex. Renovations make old buildings more airtight. The purpose and requirements of the building changes over time. The radon levels aren't totally unpredictable but depend on combinations of the shell of the building, layout, ventilation, human movement patterns and siftings of the wind around the house.

Language: Swedish

Key words: radon, renovation, house properties, layout, health

Innehåll

1 Inledning, syfte och metod	1
------------------------------------	---

DEL I. Identifiering av problem och diskussion

2 Radon.....	3
2.1 Hälsoaspekter på radon.....	3
2.2 Hur radon kommer innanför huskroppens skal	4
2.3 Olika sätt att mäta radon.....	6
2.4 Mätidosans placering i egnahemshus och vanliga misstag.....	9
3 Speciellt för Åland.....	12
3.1 Berggrunden på Åland.....	13
3.2 Jordarter på Åland	14
3.3 Slutsatser om berggrund, jordarter och radon på Åland.....	16
3.4 Markens påverkan på radonnivåer.....	18
4 Förändring ger nya förutsättningar	21
5 Vind	22
6 Termik	24
7 Ventilation	25
7.1 Självdragsventilation.	29
7.2 Frånluft	30
7.3 Från- och tilluftssystem	32
8 Fukt.....	33
9 Diskussion. Förutsättningarna bestämmer åtgärderna.....	37

DEL II. Undersökning

10 Mätningar av radonnivåer i några bostadshus på Åland.....	39
10.1 Målsättning	39
10.2 Hur mätningarna gjorts.....	40
10.3 Grundläggande resonemang	42
11 Område 1. Jomala	43
11.1 Objektbeskrivningar. Hus 1.1–1.3.....	43
11.2 Mätresultaten för hus 1.1. Första mätningen	45
11.3 Mätresultaten för hus 1.1. Andra mätningen	48

12 Område 2. Mariehamn.....	50
12.1 Objektbeskrivningar. Hus 2.1–2.4.....	50
12.2 Mätresultat för hus 2.1 och 2.3.....	52
12.3 Mätresultat för hus 2.1, andra mätningen, och mätresultat för hus 2.2.....	55
13 Område 3 och 4	61
13.1 Objektbeskrivning. Hus 3.1–3.2.....	61
13.2 Mätresultat för hus 3.1 och 3.2.....	62
13.3 Objektbeskrivning. Hus 4.1.....	62
13.4 Mätresultat för hus 4.1.....	63
14 Kortidsmätningarna i undersökningen	64
14.1 Standardavvikelse.....	66

DEL III. Sammanfattning

15 Resonemang och slutsats.....	67
15.1 Analys.....	69
Ordförklaringar.....	71
Källor.....	73
Bilaga 1. Hus 2.1 och 2.2	74
Bilaga 2. De meteorologiska mätningarna	75
Bilaga 3. Översikt över samtliga mätningar	76

1 Inledning, syfte och metod

Luftens kvalitet och radonnivåerna i ett hus är starkt kopplade till varandra. Eftersom vi vistas allt mera inomhus är frågan om inomhusluftens kvalitet och radonnivåer en hälsofråga. Nya huskonstruktioner är täta, och renoveringar gör äldre hus tätare och mera komplexa. Byggnaderna får nya förutsättningar och tappar andra, vilket påverkar radonnivåerna.

Det är ett problem att man vid renoveringar och ombyggnader främst arbetar med sakfrågor som haft med kostnadseffektivitet att göra, istället för att titta på förändringarna ur ett helhetsperspektiv, med medvetenhet om konsekvenser och med fokus på långsiktiga lösningar.

Förändringar kommer alltid med nya förutsättningar och utlöser byggnadsfysikaliska kedjereaktioner. Att radonsanera kan också orsaka stora förändringar i den fysikaliska funktionen i huskroppens skal och i anslutning till den. Dragningar för radonkanaler punkterar tätskikt och brandceller om de inte görs rätt. Radonsanering ändrar på tryck och värmeförhållanden i och runt grundkonstruktioner. Huskroppen blir komplexare, och det kräver större byggnadsfysikalisk kännedom. Kraven ökar även på dem som jobbar inom byggnadsindustrin.

På Åland är förutsättningarna speciella, eftersom byggnadsindustrin där formats av öns läge mellan två olika byggkulturer, den finländska och den svenska. Men också berggrunden är unik för Åland.

Radonförebyggande åtgärder har inte varit en del av byggandet på Åland. Först på senare tid har det blivit uppmärksammat. Saneringar i befintliga hus och förebyggande åtgärder i nya byggnader faller utanför tidigare erfarenheter och byggkontroll.

Mitt syfte är att överblicka samband mellan förändringar av byggnaders huskroppar, planlösningar och skiftningar i radonhalter i dem, och med ett särskilt fokus på förhållandena på Åland. Jag vill ge en klarare bild av radonläget på Åland än vad som hittills funnits. De specifika uppgifter om radon i hus på Åland som jag ger bygger på egna mätningar och observationer.

Radon på Åland är relativt ouppmärksammat. Åland har cirka 14 000 boenden, men radon har mätts endast i cirka 320, enligt Strålsäkerhetscentralen i Finland. STUK Radon har alltså uppmätts i endast 2,3 procent av bostäderna. Uppgifter om mätningar saknas helt från flera åländska kommuner, enligt STUK hösten 2019.

DEL I. Identifiering av problem och diskussion

2 Radon

2.1 Hälsoaspekter på radon

Radon har en tydlig koppling till lungcancer, och i Finland är nivåerna av radon generellt sett höga beroende på geologiska faktorer, byggnadsteknik och klimat. (Sammanfattningen av hälsoaspekter på radon i det här kapitlet bygger på finska Strålsäkerhetscentralens och svenska Strålsäkerhetsmyndighetens hemsidor, juni 2019).

Radium förekommer naturligt i berggrund och jordarter. När Radium sönderfaller bildas radon, som är en radioaktiv gas, en ädelgas. Radon har beteckningen ^{222}Rn i det periodiska systemet. Dess halveringstid är 3,8 dagar. Det är tillräckligt mycket tid för radonet att transporteras till inomhusluften.

Radon varken syns eller luktar. Det ger inte allergier eller svindel eller andra liknande symtom. Det skadar inte heller föremål eller livsmedel som förvaras i rum med hög radonhalt. Efter att föremålet eller livsmedlet förs bort från rummet med radon, försvinner radonsönderfallsprodukterna från det inom några timmar. Radon har heller inget att göra med så kallad markstrålning. Det skadliga är att radon orsakar lungcancer.

Radon i inomhusluft är den näst viktigaste kända lungcancerorsaken efter rökning. I Finland konstateras varje år omkring 2 000 lungcancerfall. Av dem har cirka 300 anknytning till radonexponering. Radon andas in i lungorna och fastnar på lungornas inre yta, där de avger alfastrålning. Den stråldos som lungorna utsätts för ökar risken för lungcancer. (Strålsäkerhetscentralen juni 2019.)

Ungefär hälften av den alfastrålning som finländare utsätts för orsakas av radon i inomhusluften, framförallt i hemmen, där vi vistas mest. Radon i inomhusluft är den viktigaste kända orsaken till lungcancer hos icke-rökare.

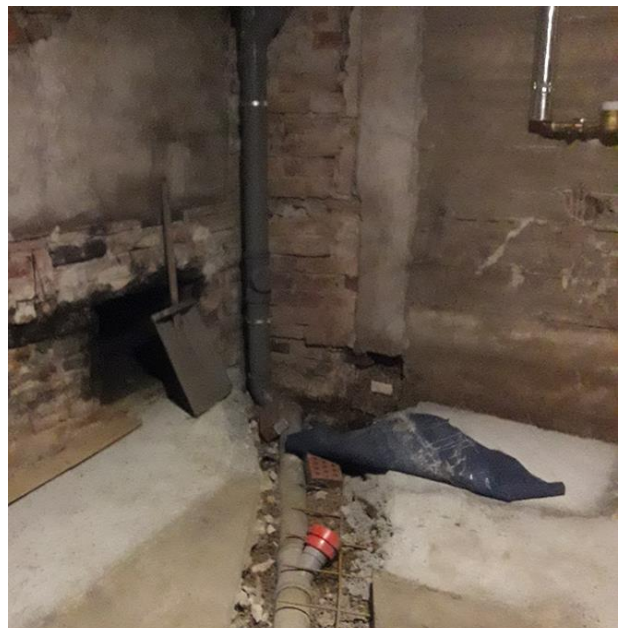
Ju högre radonhalten är och ju längre tid man utsätts för radon, desto större är risken för lungcancer. Man bör alltså skydda sig själv och andra från radon så tidigt som möjligt. När föräldrar utvärderar hur barnsäkert deras hem är, bör de beakta också radon, men få är medvetna om radonhaltens betydelse för hälsan. (Strålsäkerhetscentralen juni 2019.)

Det är konstaterat att långvarigt boende i bostäder med hög radonhalt avsevärt ökar risken för lungcancer och att radon i kombination med rökning ökar risken ytterligare.

Det mest effektiva sättet att minska den genomsnittliga stråldos som finländare utsätts för är att minska radonhalten i inomhusluften. Och enda sättet att upptäcka radon är att utföra mätningar. (Strålsäkerhetscentralen juni 2019.)

2.2 Hur radon kommer innanför huskroppens skal

Det finns alltid så mycket radon i marken och runt husgrunden eller i anslutning till den att förekomsten kan överskrida uppsatta gränsvärden för radon. Radon kan också komma från byggnadsmaterial eller brunnsvatten från borrbrunn, men oftast tränger jordluften in i huset från marken och genom otätheter i huskroppens grundkonstruktioner mot marker. (Det här kapitlet bygger i huvudsak på Clavensjö & Åkerblom 2014.)



Figur 1. Omfattande renoveringar har utförts i hus 2.2. Pannrummet har inte färdigställts och är nu mycket otätt mot jordluft. Fotograf: John-Erik Gustafsson.

Radon kan också tränga in runt ett material som i sig är diffusionstätt vad gäller radon, som till exempel polyuretanisolering, men

som inte är tätt anslutet mot andra delar av byggnaden eller som inte håller tätt mot jordluft. Radon kommer alltså in genom luftgenomsläppliga material, otäta anslutningar och sprickor.

Radon ackumuleras bakom radontäta skikt till högsta möjliga nivåer, beroende på material och markens permeabilitet och mineraluppbyggnad. Radon kan byggas in med stenbaserade byggnadsmaterial, som till exempel blåbetong fram till cirka 1975, i byggnadens konstruktion, med uranrika fyllningsmassor i anslutning till byggnadens grund eller med makadam i betong som kan avge radon. Dessutom kan jordluft – med hjälp av undertryck som skapats av ventilation, termik och vind – ta sig innanför huskroppens skal genom otätheter i grunden. (Clavensjö & Åkerblom 2014.)

Med tiden kommer olika belastningar och sättningar runt grunden. Alla material tappar en del av sina ursprungliga egenskaper med tiden, eller så var konstruktionen från början planerad för någonting annat än den funktion den senare fått.

Betong är någonting annat i dag än för 50 år sedan. Förr saknade betong många gånger armering. Betong anses vara diffusionstätt mot radon, förutsatt att den är av god kvalitet och har en minimitjocklek på 80 millimeter och är armerad och sprickfri. Men sprickbildning uppkommer alltid i något skede. Sprickor uppkommer av till exempel dåligt grundarbete som avsaknad av pålar eller armering, för snabb uttorkning, överbelastning, reparationer, ombyggnader och tillbyggnader. Tätningar och reparationer måste därför göras med tanke på rörelser i olika material. Tätningar ska göras mellan byggnadsdelar och mot marken och vid alla anslutningar (t.ex. rör genomföringar och skyddsrör för el i grundkonstruktion och valv).

Radon kan enligt följande ta sig in i huskroppen:

- om det finns utrymme för jordluft att ackumuleras i tillräckliga mängder runt grunden eller i anslutning till den som till exempel vid kulvertar. I de diskussioner som jag varit involverad i då jag undersökt radon på Åland har detta getts som den vanligaste förklaringen till förhöjda radonvärden på Åland.
- om det finns otätheter i huskroppens grundkonstruktion. Det kan röra sig om otätheter mellan olika konstruktionsdelar, material som släpper igenom jordluft, sprickor och otäta anslutningar. Alla anslutningar blir otäta efter gjutningen på grund av att betongen krymper då den torkar.

Grunder med plintar ventileras väl med atmosfärisk luft och kan därför förväntas ha en låg halt av markradon i huskroppen. Detta sagt med undantag för hus med vatten från borrhunn eller med stenbaserade byggnadsmaterial med hög uranhalt, vilket dock är ovanligt. (Clavensjö & Åkerblom 2014.)

Det finns ingen risk att radonnivåerna skulle bli för höga på grund av öppna fönster och vädring. Normalt har utomhusluften en radonhalt på mellan 2 till 10 Bq/m³ (Clavensjö & Åkerblom 2014, s. 43). Förkortningen står för radongasens aktivitetskoncentration per kubikmeter. Vindstilla dagar kan nivåerna stiga till ca 100 Bq/m³ över uranrika marker (Clavensjö & Åkerblom 2014, s. 43). Men det uppsatta gränsvärdet för inomhusluft i nybyggnationer är i Finland 200 Bq/m³ och för befintliga byggnader 300 Bq/m³.

2.3 Olika sätt att mäta radon

Radonkoncentrationer går att spåra och mäta på flera sätt, och det går att dela in de olika sätten att mäta i tre grupper: momentana, integrerade och kontinuerliga. (Det här kapitlet bygger på Clavensjö & Åkerblom 2014, s. 52–66).

För att mäta årsmedelvärden, det vill säga för att utföra integrerade mätningar, kan man använda sig av till exempel radondosor med spårfilm eller kontinuerligt registrerande radoninstrument. Mätning med spårfilm är det vanligaste sättet att få fram årsmedelvärdet av radon i inomhusluften. Det är en metod som STUK godkänt. STUK levererar också produkten och mätningen kan göras till förmånlig kostnad.

Momentan mätning av radonkoncentration gäller endast radonhalten för den stund då provet togs och är endast riktgivande. Radonhalten varierar hela tiden med temperaturer, nederbörd, vind och levnadsvanor. Därför ger momentana mätningar inte tillförlitliga årsmedelvärden. Värdena varierar mycket mellan timmar, dagar, veckor och årstid. Detta kommenteras även i undersökningen.

Integrerad mätning bygger på medelvärdet av radon under en viss mätperiod. Kortidsmätning är endast riktgivande och måste kompletteras med pålitliga mätningar. Kortidsmätningar förekommer i Sverige vid till exempel fastighetsköp och försäljning men är ovanligare i Finland. I Sverige ska mätning med specialdosor utföras under en period på minst sju dygn. I Finland rekommenderas en mätperiod på minst två månader. För att få ett vetenskapligt godtagbart värde krävs tre månaders medelvärde på radonkoncentrationen, med en mycket liten felmarginal på +/-10 procent, måste mätningen pågå från minst två till rekommenderade tre månader (Finland) och upp till max ett år. Radonpuckar (radondosor) med spårfilm är det vanligaste och billigaste sättet att mäta radonmedelvärden i våra bostäder.

Vem som helst kan utföra en långtidsmätning av radon med hjälp av radonpuckar, alltså spårfilmsdosa, under förutsättning att uppsatta riktlinjer följs och att mätningen genomförs under uppvärmningssäsong med ett uppvärmt boende – oberoende av husets ventilation, lufttäthet, byggnadsår eller form (i det här arbetet kallar jag alla dessa funktioner tillsammans för huskroppen). Det är nödvändigt för att mätningen ska kunna betraktas som en kontroll av den faktiska radonsituationen.

Korttidsmätningar är lättast att göra med specialpuckar för just korttidsmätning (Sverige) eller med kontinuerligt registrerande instrument, men sådana mätningar indikerar endast vilket radonläget var för den period och den tidpunkt då mätningen gjordes. Om korttidsmätningar ändå görs, är oktober–november och mars–april den bästa tiden för dem. Under dessa månader återspeglas årsmedelvärdet bäst. Radonvärden från november–mars kan reduceras med cirka 20 procent för ett mera exakt årsmedeltal. (Clavensjö & Åkerblom 2014.)

Det är tacksamt att Åland har relativt milda vintrar, vilket gör att skillnaderna i termik under vintern inte är lika stora där som i andra delar av landet.

En **kontinuerlig mätning** med radoninstrument ger medelvärdet från ett tidsintervall som man bestämmer till minuter eller timmar, beroende på hur detaljerad information man vill ha. Kortare intervaller ger fler punkter per timme och mer information. Korttidsmätningar av radon på det här viset ger riktgivande radonvärden från det aktuella tidsintervallet, timmen, dagen, veckan eller en längre tid. Mätningar under längre tid ger säkrare medelvärde på förekomsten av radon.

Kontinuerlig mätning används i undersökande syfte under och efter sanering av radon. Instrumentet sparar uppmätta värden för rapportering och analys.

Korttidsmätning med kontinuerligt registrerande mätinstrument görs för att få fram en indikerande uppfattning om radonläget. Korttidsmätning görs lättast med kontinuerliga mätinstrument. Resultatet kan läsas av under och direkt efter mätperioden. Det är också viktigt att tänka på att radonhalten kan ändra med boendevanor. Vädning, hur varmt vi vill ha det, hur mycket vi eldar i kaminen och vattenförbrukningen – om vattnet kommer från borrbrunn – kan påverka radonhalten. Radonmätning med exakta årsmedelvärden bör därför endast göras med dem som ska bo eller bor i boendet för en så rättvisande mätning som möjligt.

Oberoende av hur radonnivåerna har uppmätts och var i byggnaden de gjorts, bör det i rapporter och avtal alltid nämnas när mätningarna har gjorts, vem eller vilka som skött mätningarna, med vilket instrument de gjorts och under hur lång tid. Instrumentet ska också vara kalibrerat med ett års intervaller för att mätresultatet ska vara godtagbart av myndigheter, och kalibreringen ska intygas med certifikat.

Under saneringsåtgärder kan sakkunniga göra undantag från riktlinjerna, men då används mätningar mer som indikatorer under arbetets gång. Efter ett avslutat saneringsarbete ska en vetenskapligt godtagbar kontrollmätning genomföras med radondosor med spårfilm och enligt anvisningar. Alternativt kan en långtidsmätning på minst två månader och upp till max ett år och med kalibrerade instrument göras, men det är orealistiskt med tanke på onödiga höga kostnader.

Handeln erbjuder kontinuerligt mätande konsumentprodukter för övervakning av radonhalten i hem. De tittar jag närmare på i min undersökning.

2.4 Mätdosans placering i egnahemshus och vanliga misstag

Under mätperioden är det mycket viktigt att allt i bostaden är så normalt som möjligt, även om det innebär att luftdon är tilltäppta. Eventuella kaminer och spisar ska användas normalt. Fläktar och ventilationssystem ska ha normala driftmönster. Nya innehavare av boendet kan orsaka högre eller lägre radonvärden, eftersom individer och familjer har olika egenheter och livsstilar som påverka radonhalten i hemmet. Boendet ska vara uppvärmt och bebott under mätningen. (Det här kapitlet bygger på Strålsäkerhetscentralen, november 2019.)

Att inför en radonmätning öppna upp luftdon som normalt sett är tilltäppta, för att efter mätningen täppa till dem igen, eller att ändra på andra mönster under mätperioden ger garanterat ett missvisande medeltal för radonnivåerna, vilket försvårar eventuella senare åtgärder mot för höga radonnivåer. Effekter av sådan påverkan går att studera genom jämförelse mellan figur 15 och 18 i undersökningen.

Mätidosans placering är av stor betydelse och ska simulera de inneboendes rörelsemönster så bra som möjligt. Det ska finnas minst två mätpunkter per boende. För en yta under 60 kvadratmeter krävs en dosa. I en bostad på 130 kvadratmeter behövs alltså tre dosor, medan endast två dosor behövs i en bostad på 120 kvadratmeter eller mindre. (Strålsäkerhetscentralen, november 2019.)

Dosan placeras på cirka 1 meters höjd från golvet. Minimihöjd är 25 centimeter från golvet. Dosan ska placeras i ett rum som är i normal användning och som har direkt kontakt med grunden eller marken. Mätning ska göras även i källarlokalerna om de är bebodda. Finns det flera lägenheter ska mätning göras i alla med markkontakt och i minst en per våning. Radonnivåerna kan skifta mycket inom små områden och mellan olika delar av byggnaden.

Checklista för radonmätningar

- dosan ska placeras i ett rum som är i normal användning. Instängda och oanvända rum får ofta en förhöjd radonhalt.
- dosan får inte placeras på golvet, eftersträva en höjd på cirka 1 meter. Dosan bör placeras minst 25 centimeter från vägg.
- drag från vädring ska undvikas eller vara en normal företeelse. Luftströmmar från fönster, dörrar och värmekällor som radiatorer (termik) ska undvikas. Avståndet från fönster, dörrar och värmekällor till dosan ska vara minst 1,5 meter. Minimiavståndet från luftdon är 0,5 meter.
- lampor eller källor som avger värme bör undvikas i närheten av dosan. Radondosa med spårfilm är känslig för värmekällor.
- starkt solljus bör undvikas.
- i sovrum bör man tänka på flera saker: hur ventilationen är löst och hur ofta den används samt hur ofta rummet vädras.
- i bostäder med öppen planlösning rekommenderas normalt sett inte att mäta radon i köksdelen, eftersom spisar avger värme och köksfläkten orsakar luftströmmar, vilket kan påverka mätresultatet. Ett undantag är om hushållsvattnet kommer från borrhunn. Placeringen bör då göras med tanke på ovannämnda faktorer och beskrivas i rapporten.
- mätperioden bör alltid infalla inom perioden oktober– april.

Om någon avvikelse från rekommendationerna görs eller om det tillfälligt är stiltje eller extrema väderförhållanden, som starka vindar, och om ovanligt låga utomhustemperaturer infaller under mätperioden, så påverkar det speciellt korttidsmätningar. Radon är mycket lättpåverkat av yttre omständigheter och huskroppens egenheter, varför radonvärden är specifika för tidpunkten då mätningen utfördes.

3 Speciellt för Åland

Åland ligger emellan två olika byggkulturer. I öster har man det finska fastlandet med sitt unika system och sin syn på byggfrågor. I väst har man Sverige med en lite annorlunda infallsvinkel. Båda ingår i det europeiska samarbetet och bygger på eurokod, men ländernas lösningar och nationella krav skiljer sig åt. Åland är ett självstyre med en landskapsregering som har sin egen lagberedning och bestämmanderätt i byggfrågor.

Personer som är verksamma inom byggandet i landskapet är utbildade i det ena av de båda systemen och dessutom på olika nivåer. Arbetskraften har mer eller mindre förståelse för byggnadsfysik och olika tekniker kombineras. Synen på problemlösning kan skilja sig åt och därför också lösningarna, även när det gäller radon. Härtill kommer att Åland importerar byggmaterial från flera håll, och ibland blandas material från olika länder och med skilda egenheter.

Ett nationellt system kan många gånger vara helt tillräckligt komplicerat. Men på Åland finns alltså flera system samtidigt. Det gör att Åland har helt egna utmaningar vad gäller byggnadsteknik och radon.

Även de geologiska förutsättningarna på Åland gör att landskapet ställs inför alldeles egna frågeställningar med anknytning till radon i hem.

3.1 Berggrunden på Åland

Landskapet Ålands berggrund är över huvud taget mycket omväxlande till sin karaktär. Men även i närstudier är berggrunden mycket brokig. Varje litet snitt visar ett invecklat mönster av olika färger och bergartsled. (Kapitlet bygger på Hausan 1964; Lundegårdh 2002.)

När man tittar ut över landskapet kan man se att berggrunden sammanfogas av två större enheter. I väst har vi ett ganska klart avgränsat område med äldre urberg. I östra skärgården ser berggrunden annorlunda ut och består mestadels av äldre urberg med gnejser, skiffrar, och gnejsgraniter som växlar mellan olika områden. (Hausan 1964.)



figur 2. Skären i bakgrunden och klippan uppe till höger i bild är rödgranitens västra gräns. Nertill ser man yngre och äldre bergarter om varandra. Fotograf: John-Erik Gustafsson.

Fasta Åland med Vårdös kringliggande holmar och skär utmärks mestadels av den för Åland kända rödaktiga till brunfärgade berggrund som kallas röd granit och har brantställda klyftplan, bankningsplan, små söndergrusningszoner och stora sprickbildningssystem. (Hausan 1964.)

Varianterna av granit är många och gränserna mellan dem är oklara inom massivet. Skillnaderna i den åländska graniten beror på till exempel fysikaliska skillnader i tryck och temperaturer, temperaturfall, gasrikedom och är ett resultat av en enda granitsmälta. (Hausan 1964.)

En mycket vanlig egenskap för bergarterna i gruppen rapakivi är att de vittrar sönder på ytan till ett grovkornigt grus.

Begreppet rapakivi används av geologerna mest för att beskriva egenskaper i berg. Det är också en geologisk term för kvartsrika graniter som tillhör det yngre urberget. Men rödgraniten på Åland är till stora delar förskonad från söndergrusningszoner. Typiska bergsformationer på Åland har horisontell bankning med lodräta klyftplan som vanligtvis korsar varandra i räta linjer och bildar kantiga block. På grund av granitens mycket utbredda spricksystem är åländsk berggrund förhållandevis rik på vatten. (Hausan 1964.)

Bergarter som har en låg radonhalt är sedimentära bergarter som kalksten, sandsten och kvartsit samt basiska bergarter. Djup- och gångbergarter som rödgranit innehåller kiselsyra och har ofta högre halter av uran än många andra bergarter. (Clavensjö & Åkerblom 2014, s 68-69.)



Figur 3. Snedställda klyftplan som tillför berggrunden sitt vatten. Fotograf: John-Erik Gustafsson.

Uran, radium och torium bildar radon. På grund av de stora utbredda sprickbildningssystemen i berggrunden på Åland, med små grusningszoner, sker en konstant erosion på grund av strömmande vatten och frysning på vintern. Brottytorna eroderas och när materialet i dem bryts ner urlakas uran, radium och torium av vattenströmmar.

Fin sand har mycket små eller inga halter av uran, radium och torium kvar. De frigjorda uranförande partiklarna förs i stället vidare med strömmande vatten och absorberas av finkorniga jordar som lera och silt. Sand har däremot mera utrymme för jordluft att ackumuleras i. (Clavensjö & Åkerblom 2014.)

3.2 Jordarter på Åland

Åländska jordarter har sin härkomst från istiden och dess långsamma process som lämnade efter sig den nybildade jordarten morän. Morän består av vittringsjordar, som bildats genom vittring av berggrunden, och material som isen plockade med sig på sin väg söderut. Isen eroderade och omformade materialet av olika bergarter. Morän indelas i fint till grovt: lera, silt, sand och block. (Det här kapitlet bygger på Clavensjö & Åkerblom 2014; Hausan 1964; Hollsten & Ehlers, 1987; Lundegårdh 2002; Nordiska ministerrådet 1984.)

Ålands fasta delar har större moränavlagringar än östra skärgården, som har fattigare avlagringar, bortsett från Föglö och Sottunga. Krosstensgruset och bottenmoräntäcket är förhållandevis tunt och förekommer på de flackare delarna av landskapet. (Hausan 1964.)

Bottenmoränen består av lättroderade bergarter som krossats och malts ner i isälvar och som komprimerats av isens tyngd. Kalkhalten som finns i moränens finaste fraktioner kommer ifrån den kalksten som transporterades med isen från Norrland i Sverige och från Bottenhavet. På grund av sin skörhet har den blivit finmalen, till skillnad från hårdare graniter, gnejser och andra främmande material som isen har släpat med sig. (Hausan 1964.)

Den åländska bottenmoränen liknar mer den vi hittar i näraliggande landskap i Sverige än den som finns på finska fastlandet. På grund av sin högre kalkhalt är den åländska bottenmoränen släkt med ishavsleran och påminner om den vi hittar i Uppland i Sverige och som kallas lermärgel (kalkhaltig lera). (Hausan 1964.)

Den åländska bottenmoränen är fet och plastisk i vått tillstånd. Leran förekommer ofta i sänkor i de lägre och flackare delarna av landskapet, i träsk, vikar och sund. Undantagsvis kan man hitta den på högre höjder och i slänter där den övergår i rullad småsten. (Hausan 1964.)

Ablationsmorän eller åkerlera (silt och lera) täcker stora delar av de lägre och flackare delarna av Åland och man kan anta att den täcker över bottenmoränen på många ställen. Åkerleran är kalkfattig, finmaterialet har lakats ur med tiden, och grymig och siltig. (Hausan 1964.)

På grund av den underliggande lerans ogenomsläpplighet för vatten kan marken försumpas. Speciellt om de naturliga dräneringsförhållandena är obefintliga. Försumpning av stora områden är ändå relativt ovanligt på Åland. (Hausan 1964.)

Silt håller vatten kapillärt bundet mer än andra jordarter och är därför tjälfarlig. Lera övergår ofta till silt och täcks av yrsand, humus. Vi kan också hitta samlingar av sand, rullgrus, stenar och flackare grusfält runt bergshöjder.

Sanden är osiktad och ofta humusförorenad och kan tänkas påverka betongen i äldre byggnader. Svärmsand eller sjösand kan samlas i större mängder på flackare delar och mot sluttningar och är jordluftackumulerande. I sanden kan vattnet få ett litet belastningstryck som gör att vatten kan stiga i brunnar. (Hausan 1964.)

3.3 Slutsatser om berggrund, jordarter och radon på Åland

Rödgranit innehåller en större mängd uran jämfört med sandsten, kalksten och vulkaniska bergarter, som medför lägre eller inga radonproblem. På Åland har vi en rödgranit som tillhör det yngre urberget med gnejser och äldre urberg i öster. På Åland är risken för radonproblematik i huskroppar större än till exempel på Gotland, som är känt för sin kalksten. Fast Åland är förskonat från större söndergrusningszoner, eftersom åländsk rödgranit övervägande är medelgrovkornig, i stället än grovkornig. Grovkornig rödgranit har en större tendens att bilda naturgrus, vilket rapakivin i allmänhet är känd för och vilket är negativt med tanke på radon.

Den relativt vattenrika berggrunden med söndergrusningszoner med konstant erosion och sprickbildningssystem med vattenströmmar och urlakning av berget gör att uran, radium, torium fälls ut som små partiklar och förs vidare med vattenströmmar, varför man kan få radon i borrbrunnar – om det inte på vägen och med tiden lokalt tagits upp av leror och silt som finns i moränjorden i landskapet.

Den finaste sanden i marken har eroderat och urlakats på det mesta av uran, radium och torium. Sanden består mestadels av kvarts och fältspat. Men större kornstorlekar ger mera utrymme för jordluft att ackumuleras i markens olika lager. Med grövre material minskar vattenmängden i marken och det finns mera utrymme för jordluft att ackumulera sig, men också urlakningen av stenmaterialet är mindre i grövre material. (Clavensjö & Åkerblom 2014.)

Partiklar av uran, radium och torium – som urlakats från berggrunden på grund av erosion, mekanisk nedbrytning – absorberas av leror och silt. Ursvallning på högre höjd och landhöjningen gör att det på Åland finns mycket fint material, som just lera och silt, i flackare och lägre delar av landskapet.

När radon bildas avgår direkt 10 till 40 procent från porerna i mineralkornen, och i leror upp till 70 procent. Ju finare och trasigare materialet i leran eller silten är, desto mera uran, radium, torium kan det avge (Clavensjö & Åkerblom 2014, s. 69–70) men leror och silt kan också ta till sig partiklarna från erosion och urlakning som kommer med vattenströmmar. Radonavgången påverkas av markens permeabilitet, det vill säga dess genomsläpplighet för luft och vatten.

Luftvolymen i de åländska jordarna begränsas på grund av att de är rika på lera och silt, det vill säga till största delen består av finfördelade material, och även för att jordlagren är relativt grunda. Finfördelat material binder vatten kapillärt, vilket kan ge ett litet naturligt skydd mot radon och mot ackumulation av jordluft. Radon kan via diffusion i vatten ta sig endast 5 centimeter och vid det laget har cirka 90 procent av radonet sönderfallit på vägen.



figur 4. Beskriver markens förmåga att kapillärt binda fukt. Fotograf: John-Erik Gustafsson.

Det radon som ändå ackumuleras i marken stiger upp, tills den ventileras bort med vinden – eller stöter på ett diffusionstätt material som till exempel delar av en husgrund.

Svärmsand innehåller inget radon, men det kan ackumulera det från underliggande lager. Svärmsand, som kan vara humusförorenad, har använts vid tillverkning av äldre betong. Om svärmsanden är humusförorenad påverkar det betongens hållfasthet negativt i äldre byggnader. Betong i äldre byggnader saknar ofta också armering. På flacka delar i landskapet kan sandjordar också ha ett litet vattentryck, vilket gör att vatten kan stiga i radonbrunnar och radondräneringsrör och bilda vattenlås som förhindrar ventilationen av dem. Det bör man tänka på vid exempelvis radonsaneringar.



figur 5. Svärmsand i Hammarland på Åland. På nära håll ser man att sanden är osorterad, sandkornen är av olika storlek och rullade (slipade). Sådan natursand med runda korn påverkar hållfasthet i betong negativt. Osorterade material ger mera utrymme för jordluft. Fotograf: John-Erik Gustafsson.

Grävda brunnar (för dricksvatten) har vanligtvis lägre radonhalter än borrbrunnar. Grävda brunnar med höga radonvärden är ovanliga, men radonvärden i vatten avspeglar markens egenskaper, och moränjordar kan ha relativt höga värden. Regnvatten har inget radon och späder ut vattnet i grävda brunnar. (Clavensjö & Åkerblom 2014.)

Observera att halterna av radon i borrbrunn kan variera mycket mellan provtagningstillfällena. Som mest med upp till 50 procent. Mer vanligt är att resultaten av mätningarna skiftar med 30 procent. Det beror på skiftningar i väderförhållanden, tillgång på vatten och förbrukning av vatten. (Clavensjö & Åkerblom 2014, s. 87.)

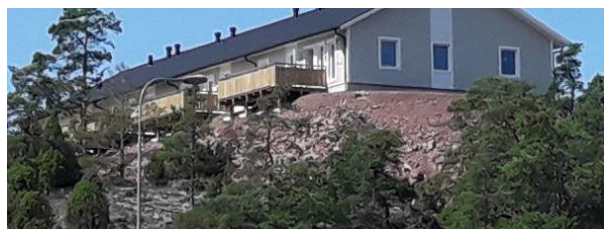
3.4 Markens påverkan på radonnivåer

Grundläggningsdjupet tillsammans med jordens sammansättning av olika mineraler, dess kornstorlek och förmåga att kapillärt binda fukt i marken och jordluftens volym är faktorer som påverkar radonhalten i marken runt grunden.

Men också jordytans egenskaper runt byggnaden spelar roll: Markytans förmåga att ventileras av vinden. Jordytans förmåga att stänga in jordluften i massorna kring grunden. Kulvertar och rörgravar fyllda med krossgrus i anslutning till grunden bildar stora magasin med ackumulerad jordluft. Det sker speciellt om täta jordlager täcker markytan. I undertryck blir olika dragningarna stora jordluftskanaler som måste tätas mot grunden eller i anslutning till huskroppens grund.

Figur 6 och 7 visar två exempel på hur marken kan påverka radonnivåerna runt och i huskroppar.

Huset i figur 6 har ett grovt krossat grus under grunden. Gruset påminner om en schaktkant och är luftgenomsläppligt och kapillärt brytande, det vill säga fukt kan inte stiga i det.



*figur 6. Atmosfärisk luft har goda möjligheter att i samverkan med vinden ventileras
fyllnadsmassorna. Fotograf: John-Erik
Gustafsson.*

En begränsad fuktmängd i marken gör marken mer luftgenomsläpplig, alternativt mer jordluftsackumulerande beroende på ytan.

Marken i figur 6 har en god luftgenomsläpplighet, markytan är öppen och ligger dessutom högt uppe. Vinden kommer åt att ventilerar massorna. Jordluften som i detta fall kommer från sprickor i graniten blir av vinden utblandade med atmosfärisk luft.

Nederbörd som regn och snöslask kan täppa igen finkorniga jordar som används som fyllningsmaterial på ytan. Fyllnadsmaterial av den morän som finns i landskapet Åland är siltrika och binder fukt kapillärt. De blir diffusionstätare och det kan tänkas att de inte släpper igenom jordluft och radon, men det kan också tänkas att sådant fyllnadsmaterial är svårventilerat av vinden. Om jordluft ackumuleras utan att vädras bort, blir radonhalten högsta tänkbara på den aktuella platsen.

Variationer i radonhalten är störst vid ytan, där den påverkas av vinden och markens permeabilitet. Radonhalten är också störst under uppvärmningssäsongen, när termiken blir som störst. Vinden påverkar jordluften ner till cirka 1 meters djup beroende på ytan och jordarternas luftgenomsläpplighet. Vinden påverkar djupare i öppna grustag och schaktkanter, där den kan sträcka sig 30 meter eller längre.

Jämför figur 7 med figur 6. I figur 7 har vinden svårare att ventilerar jordmassorna. Marken har i sluttningen övertäckts med siltrik ytmorän som kan binda fukt



kapillärt. Här kan radonhalten tänkas bli högre i marken på grund av att vinden har mindre möjlighet att ventilerar jordluften. Radonhalterna kan tänkas vara högre i

figur 7. Jämför med figur 6. I figur 7 har vinden mindre möjlighet att ventilerar marken på grund av tätare ytlager. Fotograf: John-Erik Gustafsson.

marken i figur 7 än vad de förmodligen är vid berget som visas i figur 6. Längre ner i sluttningar eller längre in på bankar är ofta radonhalten högre än på krönet.

Vatten och fukt som står stilla under grunden eller i markytan stänger in jordluft. Under en husgrund ger morän och finkorniga jordar med stillastående vatten eller kapillärt bunden fukt ett litet naturlig skydd mot höga radonhalter. Det förhindrar också jordluft att samlas (ackumuleras) i marken.

Man bör också tänka på att dräneringsarbeten runt en byggnad eller dikningsarbeten i anslutning till tomten kan påverka markens permeabilitet. Blir den torrare stänger den inte längre in radonet och blir mera jordluftsackumulerande.

4 Förändring ger nya förutsättningar

En gammal byggnad har fungerat på grund av levnadsvanor med liten fuktbelastning, spillvärme och konstant förbränning. Med moderna levnadsvanor med hög fuktbelastning, liten spillvärme och ingen förbränning försvåras ventilationen av huskroppen och grundkonstruktionerna i äldre hus. Byggnadsfysiken förändras. Förändrade och renoverade byggnader får nya förutsättningar.

Moderna mångskiktslösningar med isolering, tätskikt och hög fuktbelastning fungerar inte med levnadsvanor som bygger på liten fuktbelastning, spillvärme samt konstant förbränning, som är en del av ventilationen i äldre hus. I äldre hus har förutsättningar för modern livsstil och moderna lösningar aldrig funnits.

Olika grundläggningsätt, byggnadstekniker, värmesystem och ventilationssystem ger olika grundförutsättningar som vi måste förstå och stå fast vid.

Våra moderna levnadsvanor och krav på bättre termisk komfort och energisparande påverkar värmen, ventilationen och fuktförhållandena i huskroppen och dess skal. Radonhalterna påverkas av huskroppens lufttäthet, som i sin tur påverkas av individers egenheter, topografin runt huskroppen, vinden, termiken och ventilationens känslighet för vind och termik.

Lufttäthet mot marken och tryckskillnader i ventilationen är de främsta verktygen vid förebyggande arbete mot radon. Men de verktygen är också förknippade med stora risker. Önskade konsekvenser av renoveringar och saneringar kan vara omöjliga att få syn på från början och ta en generation innan de märks. Det kan till exempel röra sig om fuktproblem.

5 Vind

Vinden påverkar alltid ventilationen och inomhusklimatet, oberoende av ventilationssystem, men olika ventilationssystem är förstås olika känsliga för yttre och inre påverkningar. (Det här kapitlet bygger på Bankvall 2013.)

Lufttätheten i huskroppen är mycket betydelsefull av flera orsaker, inte minst med tanke på radonhalten. Vinden påverkar huskroppens skal, och den termiska komforten bestäms delvis av huskroppens lufttäthet. Ventilationssystem i sin tur påverkas av både vind och huskroppens lufttäthet. radonhalterna påverkas av ventilationen och huskroppens lufttäthet. Ett otätare skal ger ett mindre undertryck mot grundkonstruktionerna – med lägre radonmedeltal som följd, men samtidigt blir den termiska komforten sämre.

Vinden påverkas av topografi, bebyggelse och vegetation runt byggnaden och av förändringar som till exempel nybyggen runt omkring. Olika vindriktningar och vindens skiftningar skapar alltid olika förhållanden runt huskroppen och påverkar ventilationen och byggnadens olika sidor och tak. Det bildas alltid övertryck och undertryck runt husets sidor och tak. Byggnadens form och taklutning påverkar hur tryckskillnaderna ser ut.

Mot vinden skapas ett övertryck på väggen och på taket. På läsidan blir det undertryck under taket och på väggen. Är takets lutning större än 30 grader, så kan det bli ett övertryck på hela taket. Flacka tak får ofta ett undertryck. Självdrag, frånluftsventilation, luftdon och krypgrunder är mycket lättpåverkade av vinden. Man får stora skiftningar i lufttrycket runt och i byggnaden, och det påverkar radonhalterna. (Bankvall 2013.)

Så här långt kan vi alltså konstatera att radonnivåerna i byggnader påverkas av:

- vinden
- marken runt huskroppen, markytans lufttäthet och jordmånens underliggande permeabilitet
- ventilationens känslighet för vinden som tillsammans med huskroppens lufttäthet skapar större eller mindre tryckskillnader mot grundkonstruktioner, vilket är mycket viktigt att tänka på vid korttidsmätningar av radon. Mätningar under en vecka utan vind kan ge helt andra resultat än mätningar under en vecka med höststormar eller perioder av regn.

6 Termik

Termik handlar om förhållanden mellan kallt och varmt. Varm luft har en lägre densitet än kall luft. Därför stiger varm luft och bildar uppåtgående luftströmmar. Större skillnader i temperatur ger en starkare luftström uppåt. (Det här kapitlet bygger på Hagentoft 2002; Clavensjö & Åkerblom 2014.)



Termiken påverkas av tryckförhållanden i atmosfären och av vindens förmåga att påverka tryckförhållanden i och runt byggnaden. Termiken är mycket liten eller obefintlig under sommaren på grund av vanligtvis små eller inga skillnader i temperatur mellan huskroppens utsida och insida.

figur 8. Här ser man tydligt hur varma luftströmmar stiger uppåt och tar föroreningar med sig, som fastnar på väggen. Fotograf: John-Erik Gustafsson.

Radon är beroende av termiken för att stiga ur marken och spricksystem i berg och in i våra byggnader.

Självdraagsventilation (S) och mekanisk frånluftsventilation (F) påverkas av termik mera än andra ventilationssystem. Stark termik hjälper till att skapa ett större okontrollerat undertryck under uppvärmningssäsongen, vilket gör att jordluft får lättare att ta sig in i huskroppens skal, om inte grundkonstruktionerna är lufttäta.

Även inomhusluften får lokalt sin termiska drivkraft av olika värmekällor, vilket är en av orsakerna till att radonpuckar inte ska placeras bredvid radiatorer, spisar, ljus eller lampor, som alstrar värme och påverkar mätresultatet.

7 Ventilation

Ventilation är luft rörelser och bygger på tryckskillnader mellan huskroppens insida och utsida. Luft rörelserna drivs av tre faktorer: vind, termik och mekaniska fläktar, och påverkas av huskroppens lufttäthet, vindstyrka och vindriktning, topografi och temperaturskillnader mellan huskroppens insida och utsida. Ventilationens främsta uppgift är att ta in frisk luft och föra ut luftföroreningar. (Det här kapitlet bygger på Forslund 2016; Severinson 2015; Clavensjö & Åkerblom 2014; Bankvall 2013; Hagentoft 2002.)

Föroreningar i huskroppen består av vattenånga (relativ fuktighet), emissioner (gaser från olika material), dammpartiklar och ibland för höga koncentrationer av radon. Radonkoncentrationer ska helst inte överstiga 200 Bq/m³ (Stuk) i nya hus och helst vara så låga som möjligt.

Ventilationen ska föra ut föroreningarna så kontrollerat som möjligt för en bra termisk komfort och bra luftkvalitet, samtidigt som den ska vara försvarbar ekonomiskt och miljömässigt. Radon och ventilation är starkt kopplade till varandra och till energiförbrukningen.

Växlingen av luftflödet ska alltid vara kontinuerlig och så kontrollerad som möjligt, oberoende av ventilationssystem. Med kontrollerad menas att tilluften kommer in via planerade luftdon i väggar, fönster eller dörrar som en del av ventilationsanläggningen. Tilluften ska inte komma in genom okontrollerade lufttätheter i de olika delarna i huskroppens skal och speciellt inte genom otätheter mot grunden. Förenklat sagt ska luften i huskroppen bytas varannan timme. Efter nuvarande normer ska omsättningen alltså vara cirka en halv omsättning per timme (0,5 oms/h).

Tecken på undermålig ventilation:

- Kondens bildas på huskroppens insida, på handtag och på låsbeslag som fungerar som köldbryggor och har en lägre temperatur än inomhusluften.
- Tvätten vill inte torka.
- Kondens på insidan av fönster under en längre tid.

En dålig ventilation leder till att radonkoncentrationer ackumuleras i inomhusluften. Det visar figur 22 plan 2. Även uppgifterna för hus 1.1 i figur 15 och 18 visar samma sak.

En sänkning av ventilationens luftflöden, för att till exempel spara på värme, samt stängda och täta dörrar till utrymmen utan tilluft och frånluft leder till mer stillastående luft med högre radonmedelvärden och mer föroreningar. Under natten ökar termiken med sjunkande temperaturer, varför också radonvärdena höjs.

Även ombyggnationer utan tanke på ventilation leder till mer stillastående luft eller större undertryck i olika delar av planlösningen, med högre eller lägre radonhalter och mer föroreningar som följd.

Ökad ventilation kan sättas in för att motverka radonkoncentrationer. Men det kräver frisk tilluft. Ökad ventilation utan utblandning av frisk tilluft leder till större undertryck mot grundkonstruktionen och övergången mellan väggar och grund, vilket också det leder till förhöjda radonvärden och större föroreningar av inomhusluften. Grundkonstruktionen och övergången mellan väggar och grund är också mycket fuktkänsliga områden.

En ökning av ventilationen utan tilluft, alltså en ökning av undertrycket, ska ifrågasättas, eftersom den ökar även radonhalten och föroreningar i huskroppen. Undantaget är om det inte finns någon ventilation alls och fukten måste bort i första hand. Detta kan till exempel vara fallet i ett hårt renoverat hus med undermålig ventilation – och antagligen högre radonvärden än före renoveringen.

För att med ökad ventilation få ner radonvärdena måste man ta in frisk atmosfärisk luft kontrollerat, blanda ut den med inomhusluften och öka på luftomsättningen, inte undertrycket. På så sätt kan man sänka undertrycket i huskroppen och mot marken.

Den här åtgärden mot ventilationen borde alltid vara en del av renoveringar och ombyggnader och göras i samband med dem, inte bara med tanke på radon.

Luftdon (tilluft) som byggs in bakom fasader kan fungera, men ökar risken för brandgaser att sprida sig under och utmed fasaden. Brandtekniska frågor måste beaktas och vara en del av radonsaneringen. Ventilationskanaler och dragningar för radongaser får inte punktera brandceller eller brandväggar.

Att sanera mot radon genom att åstadkomma övertryck i huskroppen ska ifrågasättas på grund av att det orsakar fuktnrelaterade problem, speciellt i moderna huskroppar med kalla flerskiktslösningar som är extremt konvektionskänsliga (i det här fallet rör det sig om att varm fuktig inomhusluft trycks ut med övertryck och luft rörelser i flerskiktslösningar och kyls ner någonstans på vägen mot konstruktionens utsida och kondenserar i värsta fall).

Metoden som går ut på att skapa övertryck genom att installera en liten fläkt som blåser in luft i huskroppen, som ett sätt att motverka radon i huskroppar, nämns i bland annat WHO:s *Handbook on indoor radon* (s. 53):

Fans reduce radon by slightly pressurizing the indoors in relation to the soil or reducing the negative indoor air pressure. Fans with a maximum output of 52 l/s have been used in houses in the United Kingdom with radon concentrations up to 750 Bq/m³ to reduce concentrations to below the reference level of 200 Bq/m³. These systems cost about 500-750\$ to install and 10-15\$ to operate annually.

Det är en billig och effektiv metod mot förhöjda radonvärden, men kortsiktig och alltså inte att rekommendera i vårt klimat och med våra konstruktioner, eftersom det finns mycket stora risker för fuktnrelaterade problem i framtiden. Den här metoden har jag också hört talas om och kommit i kontakt med i diskussioner om radon på Åland och mitt arbete på temat.

När man ändrar på tryckskillnader i och runt byggnader ändrar man också på värmeförhållanden. Till exempel kan golv bli nedkylda med sämre termisk komfort som följd och risk för frostsador.

Varm fuktig inomhusluft kan sugas ut genom otätheter i huskroppens skal och kondenseras i väggar, när den möter kallare delar av husets konstruktion.

Ventilationskanaler som dras i marken för uppvärmning eller kylning av ventilationsluft är en energibesparande metod som beskrivs ibland, men den är förknippad med risker som kondensation, mikrobiltillväxt och ackumulation av radon, som kan komma in i huskroppen med ventilationens tilluft. Hus 4.1 har just den här typen av ventilation.

Ventilation är den främsta saneringsmetoden mot radon om radonet kommer från byggnadsmaterial i konstruktioner eller från vattnet från borrbrunn. Om radonet kommer från marken är ventilationen av sekundär betydelse (Clavensjö & Åkerblom, 2014) – men det kan vara en halv sanning, beroende på om du jobbar med enbart saneringar av radon eller är ventilationsingenjör.

Min egen slutsats är att det absolut viktigaste är att jordlufttätheten mot marken är så tät som möjligt, vilket det är lättast att jobba med under själva konstruktionen av grunden. Åtgärder mot grunden ger det bästa resultatet vid saneringar av höga radonkoncentrationer, även om de är förknippade med risker. Till exempel kan undertrycket ökas på en specifik plats när man tätar mot radon i grundkonstruktioner, vilket kan leda till högre radonmedelvärde i delar av byggnaden. Men även ventilationen ska vara en del av saneringen.

Radonsaneringar ökar för det mesta energiåtgången. Problem med radon kan vara ett resultat av tidigare energibesparande åtgärder mot just ventilationen i äldre hus, vilket går att studera i område 1, i den andra mätningen av radon i ateljén (se figur 18), och genom en jämförelse mellan figur 15 och 18.

7.1 Självdragsventilation

Självdragsventilation (S) bygger på termik (skillnader i temperaturer), höjden på kanalen och vindförhållanden. Årstiderna och levnadsvanorna har stor påverkan på självdragsventilation. Självdragsventilation påverkas också av okontrollerad ventilation – i folkmun ”att huset andas” – och husets lufttäthet. Skillnader i lufttryck märks till exempel vid korsdrag och smällande fönster och dörrar.

Tilluften borde komma in kontrollerat via luftdon i väggar för en så låg halt av radon och andra föroreningar, men kommer ofta okontrollerat via otätheter i huskroppens skal. Ett hårt renoverat hus som blivit tätare tar in luft där det kan. Rökkkanaler i skorstenen – som är kall, fuktig och smutsig – och andra frånluftskanaler som inte är kopplade till köksfläkten kan bli tilluftskanaler när till exempel köksfläkten eller kaminen används. Vid matlagning, speciella vindförhållanden och på vintern med god termik och stark vind blir undertrycket större mot golvet. Ur radonsynpunkt är det dåligt att undertrycket blir som störst när vi har mest med radon.

Självdragsventilation har fungerat i gamla hus tack vare flera saker, som att vedeldningen i köksspisen var konstant, vilket gav ventilation även under sommaren, då skillnaderna i temperatur mellan ute och inne är små eller obefintliga och då också termiken är obefintlig. Självdragskanaler är ofta ihopbyggda med skorstenen som hölls varm och torr av matlagning eller pannan, ”värmesystemet”.

Moderna krav på bekvämlighet och termisk komfort är en stor prövning för självdragsventilation. Ventilationen är mindre eller obefintlig under sommaren och störst under vintern. Utan förbränning är skorstenen kall och fuktig och den varma fuktiga inomhusluft som ska ventileras ut genom kanalerna kan kyls ner på vägen ut. I värsta fall kondenseras den och risken för kallras, alltså att ”luften sjunker”, är stor, vilket ger mera stillastående luft, dålig luftkvalitet och högre radonvärden.

Ventilation av källare med S-ventilation är beroende av förbränning som skapar ett undertryck i källaren och blandar källarluften med frisk luft som kommer in genom luftdon i källarväggen. Förbränningen ger också ifrån sig spillvärme som sänker den relativa fuktigheten i källaren med mindre fuktproblem som följd. Påverkan från förbränningen och mänskliga rörelsemönster på radonnivån, den relativa fuktigheten och temperaturen syns tydligt i figur 16, 17 och 21.

Byter vi värmesystem och tar bort förbränningen påverkas ventilationen i källaren. Och även radonhalten. Källarlufte blir inte längre utblandad med atmosfärisk luft med hjälp av förbränningen i pannan. Luften blir mer stillastående, om inte ersättande åtgärder görs, och radonhalter kan ackumuleras och läcka in i husets olika delar genom otätheter i bjälklag, väggar och schakt. Hus 2.2 har en toppventilator installerad efter renovering, och huset har en mycket god ventilation av källaren och så låga radonvärden att de i ett fall inte ens går att registrera i lägenheterna. Se figur 42.

Självdagsystem har det minsta och ojämnaste draget av de olika ventilationsalternativen: störst drag mot golvet eller första våningen, där radon kommer in, och ett övertryck upp mot takkonstruktioner med sämre ventilation och sämre luftombyte. Ibland uppstår högre koncentrationer av radon på övre våningen i flervåningshus på grund av att luften där är mera stillastående. Det går att se i hus 1.1 att andra våningen har lite högre radonnivåer än första våningen. Se figur 22.

Med vårt moderna sätt att leva har vi tagit bort många av förutsättningarna för att självdagsystem i gamla hus ska fungera bra. Förändringar som kommer med hårda renoveringar ger nya förutsättningar med konsekvenser för S-ventilationen.

7.2 Frånluft

Frånluftsventilation (F) är ett utvecklat självdagsystem med mekanisk frånluftsfläkt. Fläkten placeras i anknytning till luftkanalerna, skorstensmuren eller kök och wc. F-ventilation har det största undertrycket mot grunden av alla ventilationstyper och är det sämsta valet med tanke på radon.

I nyare hus med F-ventilation är kanalerna dragna från olika delar av huset till en gemensam punkt med frånluftsfläkt med utlopp.

Med hjälp av en fläkt skapar man ett jämnare undertryck under sommaren och många gånger ett för starkt undertryck speciellt under vintern, med stormar och då termiken också är mycket god.

Störst undertryck uppstår mot grundkonstruktionerna under uppvärmningssäsongen, när radonproblematiken också är som störst. Vindens påverkan F-ventilation går att se i figur 29.

Precis som vid S-ventilation kommer tilluften via luftventiler i väggar och fönster och genom okontrollerade luftläckage i huskroppens skal. Vindförhållanden och lokala förändringar påverkar ventilationen men inte lika mycket som vid självdragsventilation.

S- och F-ventilationer går att göra mera effektiva med styrda fläktar som känner av tryckförhållanden och temperaturskillnader. Men regelbunden kontroll krävs.

Fördelar med frånluftsventilation är att:

- F ger ett jämnare undertryck under sommaren jämfört med S.
- F är billig att installera, bortsett från värmeläckaget med frånluften.

Nackdelar med frånluftsventilation är att:

- med tanke på radon är F mindre lämplig på grund av det starka undertryck den skapar speciellt under vintern.
- illaluktande jordluft, det vill säga bakterier och mikrober, kan komma in i huskroppen genom otätheter i uppskålade golv, bjälklag eller från krypgrunder med otäta bjälklag, och radonhalten kan bli hög.
- undertryck i byggnaden ökar med ökad ventilation och därmed kan också mera jordluft ta sig in. Luften måste blandas ut med frisk luft så att undertrycket minimeras och omsättningen blir större, men ett undertryck måste fortfarande finnas.

7.3 Från- och tilluftssystem

Från- och tilluftsventilation (FT) och från- och tilluftsventilation med värmeväxling (FTX) är de mest fördelaktigaste ventilationssystemen med tanke på radon. FT och FTX ger störst kontroll över undertrycket och det jämnaste undertrycket under hela året och de olika årstiderna. FT eller FTX kan vara del av eller hela delen av en sanering mot radon.

FT och FTX behöver alltid planeras om och dimensionernas rätt i samband med ombyggnader och tillbyggnader och är mera komplicerade än S och F, eftersom de ställer krav på regelbunden service och tillsyn. Om frånluftsfiltren täpps till kan det bildas ett övertryck i huskroppen. Om radon kommer från marken hålls radonvärdena låga, men risken är stor för fuktrelaterade problem i framtiden.

FT och FTX är de främsta verktygen att bekämpa radon med om radonet kommer från vatten eller byggmaterial i huskroppen.

Onormalt låga radonvärden i en byggnad med FT och FTX kan bero på att frånluftsfiltren är igentäppta. Tilluften som normalt är lite mindre än den utgående är då större än den utgående luften och skapar ett övertryck i huskroppen. Radon kan inte ta sig in, men riskerna för konvektionsskador och fuktproblem är påtagliga i framtiden.

8 Fukt

Vatten har tre faser: is, vätska och osynlig gas (ånga). All luft innehåller vattenånga. Beroende på årstid innehåller luften mer eller mindre vatten. Det är temperaturen som bestämmer hur mycket vatten luften orkar bära. Vi får dagg ute på kvällen till exempel i gräset och på bänkar när temperaturen sjunker och luftfuktigheten stiger tills luften inte orkar bära vattenångan mera och den kondenseras. Luftfuktigheten är nu 100 procent, och daggpunkten har nåtts. Samma sak kan hända i huskroppars skal. Varm fuktig inomhusluft söker sig ut genom huskroppens skal och möter en kallare konstruktionsdel, där den kondenseras i väggen. (Det här kapitlet bygger på Hagentoft 2002; Ewing Wannberg 2003.)

Om man vid radonsaneringar ändrar på tryckförhållanden runt och i byggnaden, kan det leda till fuktproblem. Oftast rör det sig då om fuktig inomhusluft som riskerar att läcka ut i konstruktioner, för att kylas ner och fälla ut det vatten den inte längre orkar bära. Men det finns också en risk för att relativt varm och fuktig luft sugas in till exempel i en krypgrund, för att kylas ner och fälla vatten.

Kall utomhusluft som sugas in kyler ner varm och fuktig inomhusluft. Då får man en hög relativ fuktighet eller kondensation och i värsta fall vattenansamlingar. Fukt sprids med kapillärkraft och diffusion från de olika konstruktionerna i byggnaden med unken lukt, mögel, röta och dålig inomhusluft som följd. Det finns också risk för skador förknippade med köld på vintern.

Luftfuktigheten, som räknas i g/m^3 , varierar under året med temperaturväxlingar och årstiderna. Vi har som mest fukt i luften på sensommaren och som minst på vintern. Det beror på att varm luft kan bära med sig betydligt större mängder vattenånga än kall luft.

Under sensommaren, med hög ånghalt i luften, gör snabba förändringar i vädret och en sjunkande temperatur utomhus att den relativa fuktigheten stiger i utomhusluften. När den fuktmättade luften kommer in i grunden eller i källaren kyla den ner och befriar sig från den vattenånga den inte längre orkar bära. En ökad ventilation mot radon får i den här situationen en negativ effekt och kan tillföra fukt in i krypgrund och källare.

Radonhalter i krypgrunder kan minskas genom ökad ventilationen, men det måste starkt ifrågasättas, eftersom risken för kondensation på bjälklagets undersida och i kryputrymmet är stor om man blandar jordluft med atmosfärisk luft med hög relativ fuktighet, som på hösten. Krypgrunden, som har en stor massa (marken), har en lägre temperatur och får en kylande effekt på den redan fuktmättade luften med en liten massa. Därför har varm luft ingen uppvärmande kraft i kryputrymmet. Utrymmet är kallare än inkommande luft, också på hösten. Kondensation och en för hög relativ fuktighet är därför ofrånkomligt. Tänk också på att Åland har ett mildare och fuktigare klimat än stora delar av Finland och Sverige.

Man måste ha en god lufttäthet för att kunna kontrollera luftströmmar och temperatur i material och på ytor, och för att därmed kunna förhindra kondensation eller en för hög relativ luftfuktighet i konstruktioner.

Man skiljer på lufttäthet och diffusionstäthet, eftersom både radon och fukt transporteras fortlöpande med konvektionsströmmar. Därför är det viktigare att tänka på lufttätheten – under villkor att det finns ett undertryck – än att tänka på diffusionstätheten, eftersom diffusion är en trög och långsam process.

Man måste alltid ha koll också på diffusion, men främst för att undvika att dubbla ångspärrar uppstår vid radonsaneringar. Det är viktigt att undersöka vilka ångbromsande eller ångtäta material som redan finns i eller på någon sida av konstruktionen och som påverkas av saneringen eller underhållsarbetet. Vid ett dräneringsjobb kan en bitumenfilt appliceras på utsidan av grunden, vilket gör grunden tätare – men om källaren redan sedan tidigare är ombyggd med ångbromsade ytor kommer fuktproblem att uppstå med tiden. Tänk också på att om radonet kommer från själva byggnadsmaterialet och man sätter ett radondiffusionstätt material på ena sidan så ökar radonhalten på den motsatta sidan. Man får heller inte stänga in organiskt material med ångtätt material som är i kontakt med kapillärt material, som till exempel betong, eller med material som utsätts för diffusion.

Fuktkvoten i alla material är av stor betydelse för deras styrka och motståndskraft mot skador. Trä möglar och ruttnar, betong och rappning kan frysa sönder, silten i marken under bygganden är tjälsjuk. Det går fortare för ett material att bli vattensjukt än att torka ut, och uttorkningen av material är mycket begränsad om skillnader i luftfuktighet och luftströmmar saknas.

När man, i samband med förebyggande åtgärder mot radon och saneringar, sätter luft i under- eller övertryck med fläktar runt eller i huskroppar måste man ha koll på mängden fukt och temperaturförhållanden i luften och på ytor i de olika utrymmena för att kunna förhindra en för hög fukthalt eller kondensation och fuktrelaterade problem som kan uppstå med tiden. Det kan också hända att det redan finns ett fuktproblem före en radonsanering.

Mycket av vår äldre byggnadsteknik räknas i sammanhanget som riskkonstruktioner, och nya blir riskkonstruktioner om de inte behandlas rätt, till exempel vid radonsanering.

Vid sanering av radon måste man alltså göra mer än att tänka bara på radon. Och man måste få alla åtgärder att fungera med årstiderna och konstruktionstyperna. Punkteringar av tätskikt som inte utförs på rätt sätt kan leda till konvektionsströmmar som ger fuktproblem och som med tiden kan orsaka mögel om ingenting görs.

Radon har ingenting med mögel att göra, vad man vet i dag, men fuktproblem kan uppstå med radonåtgärder.

Mögel behöver fyra saker för att kunna existera: fukt, organiskt material, värme från 0 till 40 grader och rätt PH-värde. (Styckena om mögel bygger på Ewing & Wannberg, 2003.) Mögel trivs som bäst när temperaturen är mellan 20 och 35 grader och PH-värdet är mellan 5 och 6, det vill säga när miljön är svagt sur. Men mögel finns också i ett bredare spektrum, se figur 9. Rötsvampar och skadedjur har samma förutsättningar men kräver mera vatten än mögel.

Oberoende av hur vi beter oss när vi bygger, reparerar och sanerar så uppstår alltid damm. Öppnar vi dörren så kommer det in pollen och mögelsporer. Det enda vi kan göra är att lämna så lite organiskt material som möjligt efter oss.

Dessutom måste vi ha förståelse för byggnadsfysik, lufttryck, tätskikt och isolering samt hålla borta fukt – eller daggpunkten – och hålla den relativa luftfuktigheten under cirka 70 procent.

Isolering ändrar på temperaturförhållanden och flyttar på daggpunkten i konstruktioner med positiv eller negativ effekt, beroende på årstider och temperaturskillnader. Temperaturen är kopplad till hur byggnaden används och värms upp.

Med isolering av konstruktioner kan man flytta på daggpunkten. Daggpunkten kommer in med isoleringen på insidan, och ut med isoleringen på utsidan. Detsamma gäller grundmurar, plattor och bjälklag. Isolering, användning och uppvärmning är faktorer som kan leda till optimala förhållanden för mögel om man inte förstår dem.

Möglets förutsättningar				
Risk	RF	Temperatur	PH	Näring
Minst risk	70–75	0–5	2	Organiskt Material
Optimalt	75–90	20–25	5–6	
Mest	95–100	35–40	10	

figur 9. Källa: (Ewing & Wannberg, 2003, s. 7.)

9 Diskussion. Förutsättningarna bestämmer åtgärderna

Med tanke på radon och åtgärder mot radon, är det mycket som ska samspela för att en byggnads olika funktioner och byggnadsfysik ska fungera tillsammans.

Inomhusklimatet blir viktigare hela tiden på grund av att människor vistas inne mer och mer. Skalen till våra fastigheters huskroppar blir mer komplicerade i takt med ökade krav på termisk komfort, jakt på besparingar och nya krav på energianvändning. Värmesystem blir mer integrerade med ventilationen och ibland finns inte längre något värmesystem. Underhållet och översynen av ventilationen blir också viktigare och mera komplicerad – med större omkostnader som följd.

Det är mycket enkelt att förebygga radon i nya byggnader och relativt billigt i byggskedet. Åtgärder mot radon ska vara en del av grunden i alla nya hus. Kostnaderna för det är obetydliga i jämförelse med vad det kostar att bygga huset och kommande driftskostnader under byggnadens livscykel.

Sanering av radon påminner i många sammanhang om förebyggande åtgärder mot radon. Enda skillnaden är att man vid sanering av radon inte har tillgång till en öppen grund, lufttättheter bakom lister, i golv eller till luftgenomsläppliga material. Vid sanering måste man improvisera utifrån husets förutsättningar och resultatet blir både sämre och dyrare.

Man måste också få radonsaneringen att fungera med den teknik som huset är byggt med. Och med vad som har gjorts åt huset sedan tidigare. Man kan tänkas behöva återskapa tidigare funktioner och förutsättningar, som har gått förlorade med förnyade värmesystem eller renoveringar.

Radonbrunnar är ett vanligt sätt att sanera i luftgenomsläppliga jordar som sandrullstensåsar, som dock inte finns i stor utsträckning eller endast i mycket tunna lager på Åland. I djupare sandmarker kan det också finnas ett litet belastningstryck av vatten som gör att en större radonbrunn blir vattensjuk. Det kan därför tänkas att det på Åland lämpar sig bättre med individuella lösningar för olika byggnader.

Markradon är den vanligaste orsaken till förhöjda värden inomhus.

Man kan också radonsanera med tilläggsisolering av polyuretanisolering som sprutas i grunder och bjälklag. Förutsatt att tilläggsisoleringen är av sluten cell och tillräckligt tjock (minst 80 mm) överallt, sprickfri och tätt ansluten mot andra material. Materialet som isoleringen ansluter till måste också vara jordlufttätt och radondiffusionstätt och rörelsefria för att stoppa radon från att komma in. Annars går jordluften runt med luftströmmar och kommer in i genom otätheter.

För tjockt applicerade lager med polyuretan på en gång kan leda till otätheter mot andra material eller sprickor i materialet självt eller delar med stora ihåligheter och som därför inte uppfyller tillräcklig tjocklek. Även om tilläggsisoleringen är diffusionstät för fukt och radon så hindrar den inte organiskt material som till exempel trä att via kapillärkraft och diffusion ta åt sig fukt från andra sidan, som nu är utan värme och instängda och får en för hög fukthalt.

Med en grundkonstruktion med plattor direkt på marken kommer jordluften rakt in i huskroppen, där den måste ventileras ut. Krypgrunden är den moderna varianten av torpargrund. Den eller källare med separat ingång till bostaden är de i särklass bästa grundkonstruktionerna med tanke på just radon. Men krypgrund ses också som en riskkonstruktion, eftersom den oftast är mycket fuktig. Höjden på kryputrymmet är av stor betydelse för ventilationen.

Nygamla tekniker med lera, som användas till lerklinkning av väggar och till golvläggning, är mycket intressanta med tanke på radon, eftersom radonnivåerna kan vara högre just i leror. Men det undersöks inte vidare inom ramarna för det här arbetet.

DEL II. Undersökning

10 Mätningar av radonnivåer i några bostadshus på Åland

10.1 Målsättning

Syftet med arbetet, ”Samband mellan huskroppens livscykel, planlösning och radonnivåer. Med fokus på Åland”, är att öka förståelsen för radon på Åland. Det främsta målet med den praktiska undersökningen, del II i arbetet, är att utöka radonmätningarna på Åland, som för tillfället är mycket få i förhållande till antalet boenden.

Enligt Finska strålsäkerhetsmyndigheten, Stuk, har endast cirka 318 åländska boenden undersökts i dagsläget, vilket motsvarar endast 2,7 procent av de omkring 14 000 boenden som för tillfället finns på Åland (Ålands statistik- och utredningsbyrås, Åsub, hemsida hösten 2019).

Jag vill också titta närmare på teorin i arbetet genom att jämföra den med mätresultaten. Här, i del II, diskuterar jag rådgivande kortidsmätningars exakthet med tanke på mätperiodens längd, tidpunkten för mätningen, de boendes levnadsvanor, inomhustemperaturer, planlösning och förändringar som kommit under husets livscykel – en rad faktorer som påverkar radonhalterna. Detta är intressant inte minst för att det redan tidigare har gjorts en del kortidsmätningar av radon på Åland. Det har då varit fråga om rådgivande kortidsmätningar med kontinuerligt mätande instrument. På grund av radonets nyckfullhet och husens olika förutsättningar är resultaten från kortidsmätningar mer eller mindre godtagbara.

På grund av att min undersökning omöjligtvis kan ge pålitlig statistik, eftersom antalet undersökta objekt är lågt, tittar jag i stället på avvikelser från mönster och på vilka konsekvenser olika förändringar i byggnader kan tänkas ha på radonnivåerna i dem. Jag beaktar även planlösningar och radonfördelning mellan olika våningsplan.

Stuk uppger att den genomsnittliga radonhalten i finländska bostäder är cirka 96 Bq/m³. Det motsvarar en stråldos på omkring 2 millisievert per år. Mätningarna av de sammanlagt tolv byggnader som ingår i min undersökning ger följande genomsnittliga radonhalter:

- Medeltalet från samtliga radonpuckar i bostäderna är 90,4 Bq/m³, men då har sex bostäder källare och en krypgrund. Hus 1.2 har en omgjord krypgrund med grus och gjuten platta. Faktum att flera av husen som ingår i min undersökning har källare sänker den genomsnittliga radonhalten.
- Fem av bostäderna i min undersök har markkontakt, och för dem är de genomsnittliga radonhalterna 226,5 Bq/m³. Det är också de yngsta husen som har de högsta radonvärdena.
- Källarna har ett radonmedelvärde på 168,8 Bq/m³. Här kastar värdena mycket från 64 Bq/m³ till 358 Bq/m³. De flesta av husen är också äldre, cirka 30 till 90 år gamla.

Alla uppmätta värden går att se i figur 42.

10.2 Hur mätningarna gjorts

Tiden för mätningarna har varit begränsad till en period från månadsskiftet september/oktober till slutet av december 2019, alltså tre månader.

För att fastställa årsmedelvärden av radon på ett vetenskapligt godtagbart sätt ska mätperioden uppgå till tre månader, eller minst två, och den ska göras med spårfilm (radondosa). Dessutom ska mätperioden infalla under en period från september till senast i början av mars. (Strålsäkerhetscentralen juni 2019.)

Jag har använt två metoder för att samla in data:

1. Långtidsmätningar från början av september till slutet av december med spårfilm, alltså radonpuckar som även kallas för radondosor, från Stuk.
2. Kortidsmätningar med Radoneye +2 som kontinuerligt mäter radonhalterna i utrymmen, i det här fallet cirka två veckor i gången.



Radoneye +2 är en konsumentprodukt för mätning av radon. Stuk har rekommenderat mig instrumentet efter en diskussion om mitt arbete och den undersökning jag redovisar här. Radoneye +2 mäter med en för sin prisklass mycket stor säkerhet på +/- 10 procent enligt tillverkarna.

figur 10. Radoneye +2 för kortidsmätning av radon. Fotograf: John-Erik Gustafsson.

Hur noggranna mätningarna med Radoneye +2 är går att kontrollera i figur 43 där även mätperiodens längd och de vetenskapligt godtagbara värdena från långtidsmätningarna med radondosa framgår. Alla diagram i undersökningen visar mätningar gjorda med Radoneye +2.

I undersökningen talar jag om basvärde respektive grundvärde. Basvärdet kommer från radondosor med spårfilm och är vetenskapligt godtagbart. Grundvärdet kommer från Radoneye +2 och är ett indikerande värde.

Jag har gjort mätningar med totalt tre Radoneye +2, för att med diagram kunna visualisera radonnivåerna och radonets spridning i husets olika delar och i förhållande till aktuell planlösning eller mellan byggnader.

Husen i undersökningen är valda mera med tanke på olikheten än likheter, för att jag ska kunna ge en så bred bild som möjligt av radonproblematik och för att jag ska kunna titta på eventuella skillnader i kortidsmätningens mätsäkerhet i relation till olika slags hus och planlösningar.

Eftersom jag samtidigt mätt med olika instrument, kan jag jämföra kortidsmätningar med långtidsmätningar men också titta på vilken påverkan våningar, rumsindelning, ventilationssystem och olika förändringar som utförts har på radonvärdena. Därtill kan jag jämföra resultaten av mätningarna med den teoretiska diskussionen i del I om byggnader och områden.

10.3 Grundläggande resonemang

Huskroppars skal – planlösningar, olikheter och förändringar i lufttäthet, ventilationssystem, ombyggnader, värmesystem och temperaturer samt planlösning – påverkar radonkoncentrationerna i samverkan med utsidan – alltså markens egenskaper, topografi, vinden skiftningar och styrka med mera. Väderförhållanden tas inte upp i större utsträckning här, men resultaten av mina mätningar visar på yttre omständigheters påverkan på radonvärdena i huskropparna och går att se i bilaga 1 och 2.

Det är ventilationssystemets uppgift att tillsammans med huskroppens skal hålla bort markens jordluft och samtidigt ge en god termisk komfort med en hälsosam miljö att vistas i, utan föroreningar och med låga eller acceptabla radonvärden.

Inget av husen i undersökningen har aktiva eller inbyggda åtgärder mot radon.

Varje hus i undersökningen har sitt eget signum. Den första siffran i signumet står för område, och den andra för huset.

11 Område 1. Jomala

Område 1 finns i Jomala. De tre husen i området ligger inom en radie på cirka 800 meter. Området skär av en moränrygg i en öst-västlig riktning. Moränryggen sträcker sig i nord-sydlig riktning.

11.1 Objektbeskrivningar. Hus 1.1–1.3

Hus 1.1 är ett bostadshus med lager och ateljé. Objektet är intressant att titta på ur ett radonperspektiv, eftersom det rymmer två byggnader med olika diffusionsspärrar och tre separata utrymmen med jämförbara rumsindelningar. Här finns olika termiska förhållanden inom ett mycket litet och begränsat område med en radie på cirka 15 meter, varför man kan anta att markens egenskaper är mycket snarlika för samtliga utrymmen och jämförbara.



figur 11. Beskriver huskroppens form för hus 1.1 och ateljén.

Fastigheten har för sin storlek stora mängder fyllningsmassor i anslutning till grunden. Fyllningsmassorna är luftgenomsläppliga eller alternativt jordluftsackumulerande. Sockeln är murad av jordluftgenomsläppliga lecablock. Plattan är cirka 100 millimeter tjock och armerad, och det finns krympningssprickor i plattan. Det finns inga tätningar mellan plattan och sockeln och inte heller runt genomföringar i grunden.



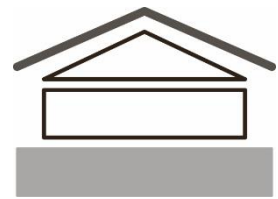
figur 12. Längst bort till höger har vi lägenheten. Närmast till höger är lagret. Till vänster är ateljén. Bilden är tagen i en sydlig riktning. Fotograf: John-Erik Gustafsson.

Bostaden har F-ventilation. Lagret har endast S-ventilation. Ateljén har dels F-ventilation i wc, dels en skorstensventilator som drivs av vinden.

Lägenheten och lagret har ett mera luftgenomsläppligt skal (okontrollerad ventilation) i huskroppen i jämförelse med ateljén som har lite tjockare väggar och en ångspärr av åldersbeständig plast.

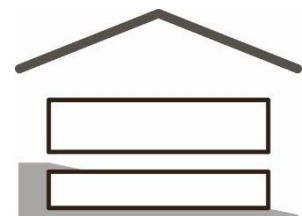
Ateljén till vänster i figur 12 kan på grund av den tätare huskroppen (med undantag för grunden), som gör att undertrycket mot plattan blir större, tänkas vara mera påverkad av vinden än bostadsdelen och lagret. Huvudbyggnad till höger på bilden är delvis nedgrävt och har mer kontakt med marken och en större belastning av jordluft.

Hus 1.2 är byggt i början av 1900-talet och är i 1 ½ plan med inredd vind. Huset är uppfört i stock och vinden är delvis gjord av lösvirke. Huset har haft krypgrund från början, men har byggts om ungefär år 1990. Grunden har fyllts med grus och det har gjutits en betongplatta i största delen av grunden. Huset ligger på östra sidan om moränryggen på området 1. Huset ligger nere i en slutting och utsatt för de flesta vindriktningar men kan tänkas vara lite skyddat från väst till nord väst.



figur 13. Beskriver huskroppens form för hus 1.2.

Hus 1.3 Ligger på västra sidan om moränryggen och är ett sluttningshus med delvis nergrävd källare och är byggt i början av 80-talet. Huset är mycket utsatt för sydväst- till västlig-vind. Under mätperioden har man bytt ut fönster och dörr till altanen i vardagsrummet för att få en bättre termisk komfort. Ytterväggarna är mycket tunna, endast ca. 150 mm, och kan antas vara luftgenomsläppliga.

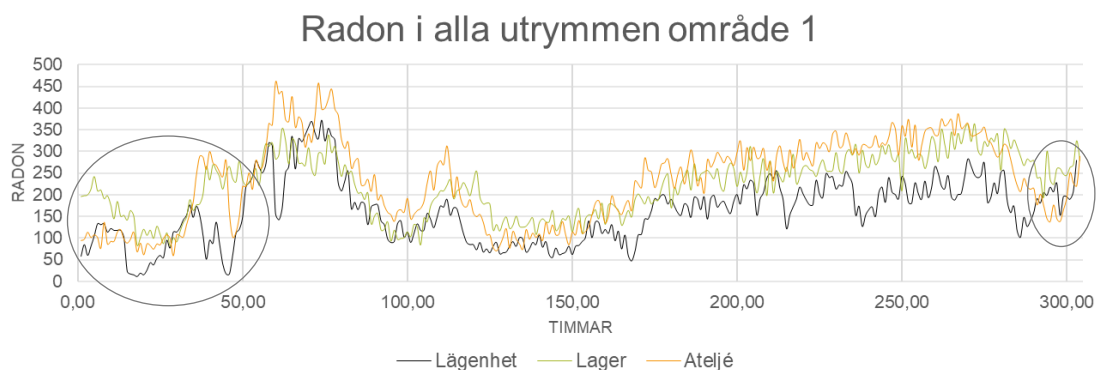


figur 14. Beskriver huskroppens form för hus 1.3.

11.2 Mätresultaten för hus 1.1. Första mätningen

Radonnivåerna påverkas av hur huskroppens skal är uppbyggt, av väderförhållanden och av människors levnadsmönster – eller deras frånvaro.

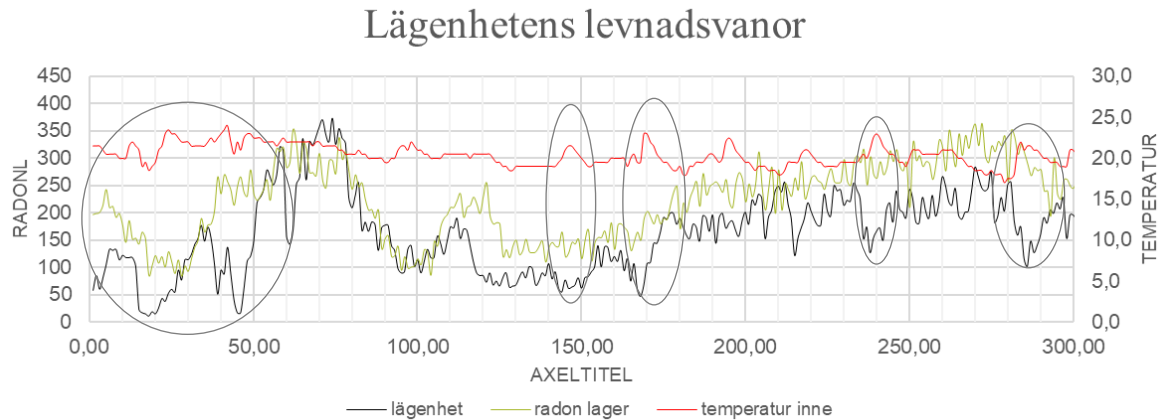
Användningen av de tre utrymmena i hus 1.1 såg olika ut under mätperioden.



figur 15. Sammanställning av radonnivåer i båda byggnadskropparna och i de tre utrymmena – lägenheten, lagret och ateljén – i hus 1.1. Samtliga utrymmen har öppna planlösningar med loft. Datan är uppmätt samtidigt 27/9 2019–10/10 2019. Här kan man se stora likheter men samtidigt olikheter i början. Mätningen gjordes med Radoneye +2.

Lägenheten var kontinuerligt bebodd under kortidsmätningen och har uppvisat det lägsta radonmedeltalet. Ateljén var i användning i början och i slutet av perioden och visar en avvikande kurva. Lagret stod orört under mätperioden.

Alla utrymmen har luftdon i väggarna. Beaktande kvadratmetrar och volym så har ateljén den procentuellt sett största tilluften och lagret den minsta. Trots det så har ateljén det högsta radonvärdet under perioden men också den tätaste huskroppen.



figur 16. Levnadsvanornas påverkan på radonutvecklingen i bostaden i hus 1.1.

Den gröna linjen i figur 16 är opåverkad av mänskliga rörelser och visar lagrets orörda grundvärde. Svart kurva har ungefär samma utveckling.

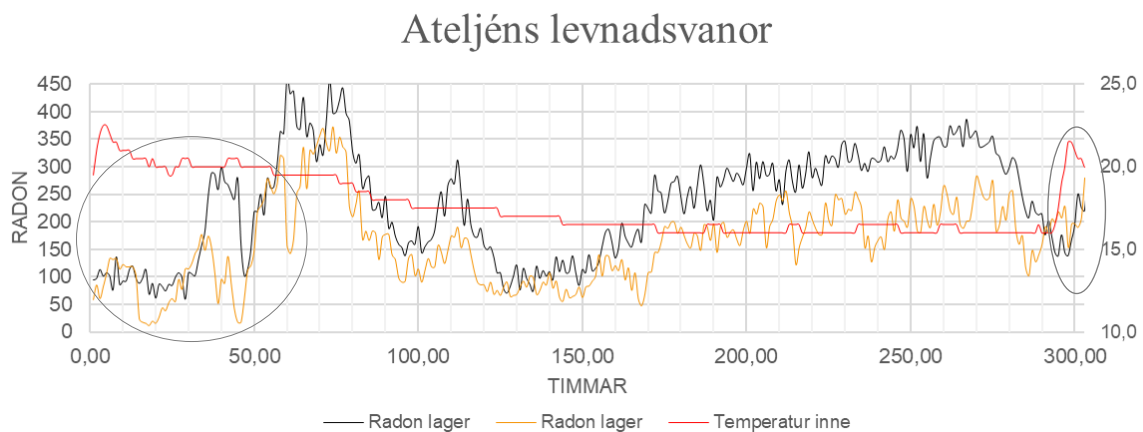
Bortsett från stora dalar, jämfört med grundvärdets linje (lagrets gröna linje). Lägenhetens svarta linje är konstant påverkad av de boendes levnadsvanor och visar på den lägsta radonhalten. Av alla tre utrymmen i hus 1.1 har bostadsdelen den lägsta halten radon. Se även figur 15.

Lägenheten och lagret finns i samma byggnad. Bostaden har toppar i värmekurvan under hela perioden som beror på vedeldning. Huskroppen har golvvärme, och stora snabba värmeförändringar är omöjliga på grund av den tröga värmen.

När man jämför bostadens radonvärden från perioden med lagrets orörda grundvärde, och håller i minne att lagret har sämre ventilation (radonet borde ackumulera sig i lagret), så ser man dalar i radonvärdena i bostaden tillsammans med värmeförändringar. Samma dalar i radonvärden går inte att påvisa i lagrets radonkurva.

Den första markeringen i figur 16 ringar in sjunkande temperaturer och radonhalt, alltså kraftig vädring och stor luftomväxling. Den andra markeringen ringar in sjunkande radonvärden förknippade med värmeutveckling. De snabba temperaturförändringarna vore omöjliga utan kaminen och förbränningen i bostaden.

Ateljén är i användning endast i början och i slutet av mätperioden, vilket markeras med cirkelarna i figur 17. Piken eller toppen i radonvärdet i början kommer från att jag då hade varit borta en hel dag och jobbat med undersökningen för att på kvällen komma tillbaka för några timmar, tända eld i kaminen och packa bilen och lämna ateljén för cirka 250 timmar. När jag kommer tillbaka vid omkring 293 timmar, tar in grejer och tänder i kaminen sjunker radonnivåerna genast under lagrets nivåer.



figur 17. Orange linje beskriver lagrets grundvärde som är opåverkat under mätperioden. Svart linje står för radonnivåerna i ateljén. Avvikelse i början och slutet av diagrammet, som markerats med cirkel, beror på mänsklig aktivitet. Här sjunker radonvärdena så mycket att de blir lägre än grundvärdet i lagret – trots att de annars nästan alltid är högre.

Trots att vinden borde ha störst möjlighet att ventilerat fyllnadsmassorna under ateljén mer än massorna under den andra byggnaden, har ateljén det högsta medelvärde under perioden. En förklaring till detta kan vara att vinden också har störst möjlighet att påverka ateljéns grund. Ateljéns huskropp har en högre lufttäthet och en vinddriven toppventilator. Dessa två faktorer ökar tillsammans undertrycket mot marken och grunden. Här blir undertrycket högre än i lägenheten och lagret.

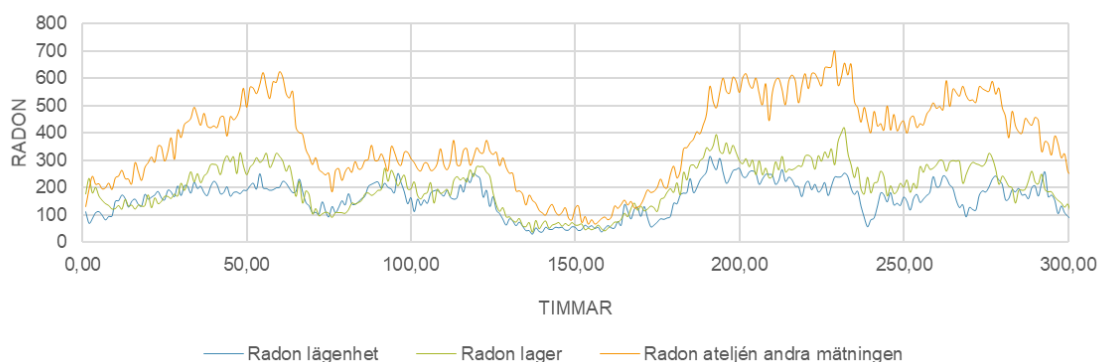
Figurerna 15, 16 och 17 visar i stort ungefär samma radonutveckling. Undantagen är de markerade områdena i figurerna 16 och 17, vilka beskriver rörelser. Pikarna i temperatur kommer från eldning i kamin. Den sjunkande temperaturen i ateljén och andra små skiftningar beror på yttre temperaturskiftningar och överlag sjunkande utomhustemperatur.

11.3 Mätresultaten för hus 1.1. Andra mätningen

I underökningens slutskede, omkring 8/12–27/12 2019, utför jag nya mätningar i hus 1.1. Jag vill jämföra radonvärden från samma ställe men från olika tidpunkter, eftersom radonvärden kan skifta med årstider. Mätningar från perioden november–mars ger oftast ett förhöjt årsmedelvärde, men på Åland har vi ofta mycket milda vintrar. Man kan anta att en reducering på 20 procent av radonvärdena gäller ställen med större variation i klimatet.

Vid den andra mätningen är mätpunkterna exakt desamma som vid första mätningen. Men jag har ändrat på förutsättningarna för ventilationen av ateljén. Jag har sänkt driftstiderna för frånluftsfläkten på wc, minskat på luftdonens diameter, bytt ut skorstenens vinddrivna skorstensventilation mot en dansare och sänkt temperaturen från cirka 16 grader till 12 grader.

Ateljén andra mätningen



figur 18. Den andra och riktgivande mätningen av hus 1.1 som gjordes med Radoneye +2. Radonhalterna steg med hela 94,7 procent i ateljén, i jämförelse med den tidigare mätperioden 27/09–10/10 2019. Det berodde på att jag efter den första mätningen ändrade på ventilationsflödena i ateljén.

En jämförelse mellan figur 18 och figur 15, med den jämförelsebara första mätningen, visar på förvånansvärt stora likheter i radonnivåerna för lagret och lägenheten (se figur 42). Men också på nästan en fördubbling av radonvärdena i ateljén, som under den andra mätningen har ett medelvärde på 452,2 Bq/m³, vilket är klart över uppsatta gränsvärde på 300 Bq/m³. Här är en radonsanering att rekommendera.

Hela periodens medelvärde från mätning med spårfilm är 281 Bq/m³, med två veckor av hemmafixarens energibesparande inbakat. Av alla hus i område 1 har ateljén det högsta årsmedeltalet, medan det äldsta huset uppvisar det minsta medeltalet, som för båda våningarna ligger på 72,5 Bq/m³.

De två mätperioderna skiljdes åt av cirka två månader, och den indikerande mätperioden var omkring 16,5 dagar vid båda tillfällena.

Skillnaden mellan de två mätningarna visar tydligt att några små förändringar i huskroppens ventilation kan påverka radonmedelvärdena. Standardavvikelsen för ateljén var nämligen hela 109,7. Jämför det med siffrorna 2,9 och 5,7 för lägenheten respektive lagret. (Skillnaden mellan värdena från de två mättillfällena är procentuellt sett endast 1,04 procent för lägenheten och 1,05 procent för lagret. Motsvarande siffra är för ateljéns del hela 94,7 procent.) För ateljéns del handlade det alltså om nästan en fördubbling av radonnivåerna. Eftersom skillnaderna i mätvärdena från lagret och lägenheten var så små, kan uteslutas att den kraftiga förhöjningen av radonnivåerna i ateljén skulle ha berott på skillnader i säsong och temperaturer utomhus.

Men på senare år har vintrarna på Åland varit milda, och det är tänkbart att utfallen skulle kunna se helt annorlunda ut om temperaturerna skulle sjunka. Stora skillnader mellan utomhustemperatur och inomhustemperatur orsakar större termik.

12 Område 2. Mariehamn

Mariehamn står till största delen på berg med tunna moränlager, med några få undantag. Hus 2.1. och hus 2.2 står på en gammal äng inom 50 meter från varandra. Området betraktades en gång i tiden som Mariehamns utkant, och har ett ovanligt tjockt lager av lera och silt.

Enligt Stuk, som jag talat med, har det i något fall uppmätts höga radonvärden i Mariehamn, och jag har fått antydningar om att det skulle röra om Lotsberget och Västernäs. Här finns också ett stort antal nya hus, och nya hus tenderar att ha högre radonhalter än äldre på grund av deras mycket tätare vägg- och takkonstruktioner.

12.1 Objektbeskrivningar. Hus 2.1–2.4

Till det yttre påminner husen 2.1 och 2.3 i område 2 om varandra. Husens form är lika, men markförhållandena, husens planlösning och husens kringliggande topografi skiljer sig åt.

Hus 2.1 är ett trähus i Mariehamn, byggt i början av 1950-talet.

Det står på en mark som är mer ler-rik än marken i område 1. Marken under hus 2.1 har mindre möjlighet att ackumulera jordluft än marken i område 1, men här (område 2) har också vinden mindre möjlighet att ventilerar ut jordluft.



Storleken på hus 2.1 förklarar att det har ett trapphus till lägenheterna med avskiljande dörrar och att också källartrappa skiljs åt av en dörr till trapphuset.

figur 19. Beskriver huskroppens form för hus 2.1, 2.2 och 2.3.

Hus 2.1 saknar nästan helt luftdon. Endast i köket finns ett som är inbyggt. Tillgången till atmosfärisk luft är därför mer begränsad än i hus 2.3. Hus 2.1 har också en högre relativ luftfuktighet på plan två, vilket tyder på en sämre ventilation med möjlighet för radon att ackumulera sig, men tack vare husets planlösning och källare sprids inte radongaserna, se figur 22.

Utgående ventilationskanaler löper ihop med en oförändrad skorstenfunktion.

Hus 2.2 är byggt i början av 1950-talet. Det har en källare som avskiljs från lägenheterna med ett trapphus. Lägenheterna finns endast på plan två, eftersom första våningen utgörs av affärslokaler.

Tack vare planlösningen och förändringar som gjorts i huset har det så låga radonvärdena att de i vissa fall inte gått att mäta. Huset ligger cirka 50 meter från hus 2.1. Husens läge går att se i bilaga 1.

Hus 2.3 är en enda en bostad med källartrappa och vindstrappa i anslutning till bostaden, men så att trapporna avskiljs med enkla luftgenomsläppliga dörrar. Hus 2.3 har renoverats i omgångar under de senaste fem åren. Värmesystemet är utbytt till jordvärme, golvvärme har installerats på första våningen, fasaden är tilläggsisolerad, fönstren är utbytta med mera.

Hus 2.3 står mycket nära berggrunden och det har gjorts sprängarbeten i närheten. Huset har dränerats för några år sedan. Det ligger i en sluttning och har en ganska hög vattenbelastning, till skillnad från hus 2.1 som är byggt helt i lerig silt.

I hus 2.3 är alla rum försedda med luftdon för inkommande luft till skillnad från i hus 2.1, men källarens naturliga ventilation är bortrenoverad i samband med byte till värmepump.

Huset har utgående ventilationskanaler ihop med skorstensmuren. Skorstensmuren har påverkats av förändring, till skillnad från skorstensmuren i hus 2.1 som fortfarande har sina förutsättningar kvar.

Hus 2.4 är byggt cirka 1920 och ligger mycket centralt i Mariehamn. På grund av grundkonstruktionen påminner radonutvecklingen i huset om radonnivåerna i hus 2.1, 2.2 och 3.1, men i hus 2.4 åtskiljs lägenheterna väl från källaren med separat ingång från gården. I hus 2.4 har jag gjort mätningar med spårfilm i endast en av lägenheterna.



figur 20. Beskriver huskroppens form för hus 2.4.

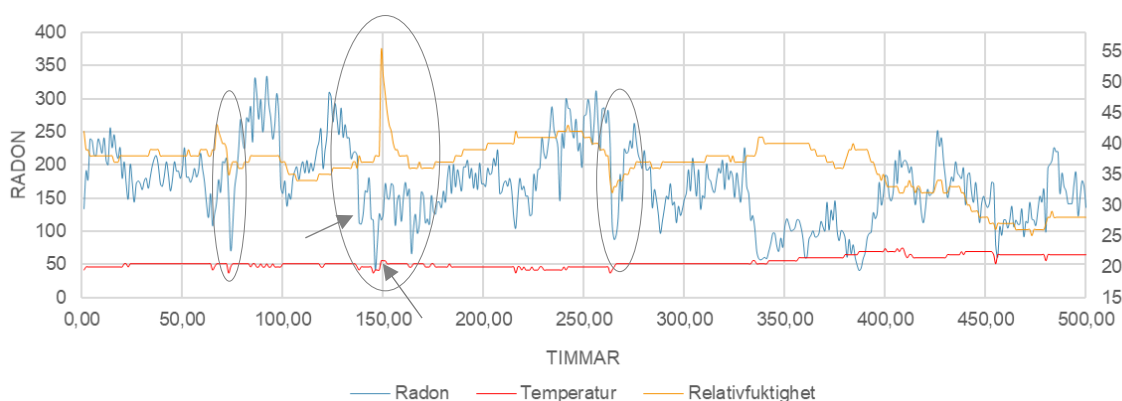
Samtliga mätningar i samtliga hus kan jämföras i figur 42 (bilaga 3). Hus 2.1, 2.2, och hus 3.4 har samma radonutveckling genom huskropparna.

12.2 Mätresultat för hus 2.1 och 2.3.

På grund av planlösningen i hus 2.1 har radonet i källaren inte möjlighet att sprida sig vidare genom byggnaden. Källaren har ett gjutet valv med en tjocklek på cirka 100 millimeter, och bostäderna avskiljs av lägenhetsdörrar till trapphuset och ytterligare en dörr till källartrappan. I källaren finns dessutom flera branddörrar.

Våning 1 och 2 har så låga värden att det är helt försumbara. Men andra våningen har lite högre nivåer radon, som ackumulerat sig där, och den relativa fuktigheten är också lite högre

Källare hus 2.1



figur 21. Källare i hus 2.1. Källarens något nervösa linjer är påverkade av mänskliga rörelsemönster. Källaren har stora sänkor i radonvärden, och även toppar och sänkor i den relativa fuktigheten.

Mätpunkten för Radoneye +2 var utanför pannrummet, som ligger mycket nära garaget med lägre temperatur. Pannrummet har branddörrar både mot källartrappan och mot garaget.

Den andra markeringen i figur 21 visar på en dal i radonet som beror på rörelser under förmiddagen och en andra dalsom beror på bastubad under eftermiddagen. Bastun är vedeldad och så fort förbränningen börjar sjunker radonvärdena. När man börjar duscha så startar pannan och radonvärdena sjunker till cirka 50 Bq/m³.

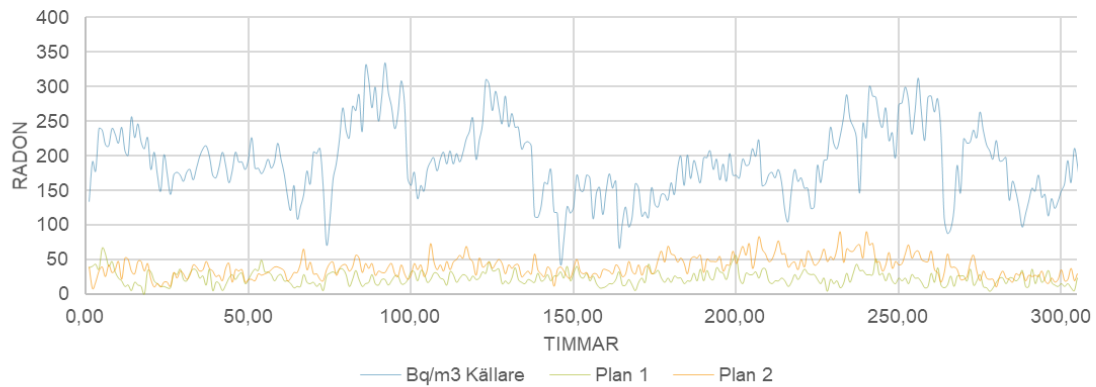
Efter bastubad öppnas dörren till bastun för vädring och luftfuktigheten sugas med till pannrummet av förbränningen, vilket registreras på instrumentet i intilliggande rum. Både spillvärmen från förbränningen och fuktighet från bastun registreras av instrumentet och syns tydligt.

Värdena inom markeringarna ett och tre (cirklarna) ser lite olika ut, och det beror på att dörren till garaget öppnats. Garaget intill mätpunkten är ouppvämt och när dörren öppnades sänktes temperaturen i rummet där mätinstrumentet var, vilket instrumentet registrerade. Det märkliga är att radonhalten sjunker när dörren öppnas. Jämför man det med utvecklingen i hus 3.3 (se figur 42), så kan man tänka sig att radonnivån kan vara lägre i garaget, för att hus 3.3 också har lägre radonvärden i just garaget, men skillnaden borde inte vara så stor. Jag återkommer till detta längre fram i undersökningen (se kapitel 12.3).

En jämförelse mellan husen 2.1 och 2.3 visar på många likheter men också många olikheter, varför man inte kan jämföra radonnivåerna i de båda husen med varandra, se i diagram 22 och 23. Men man kan titta på spridningen av radon mellan våningarna och jämföra olika planlösningars påverkan på radonhalterna.

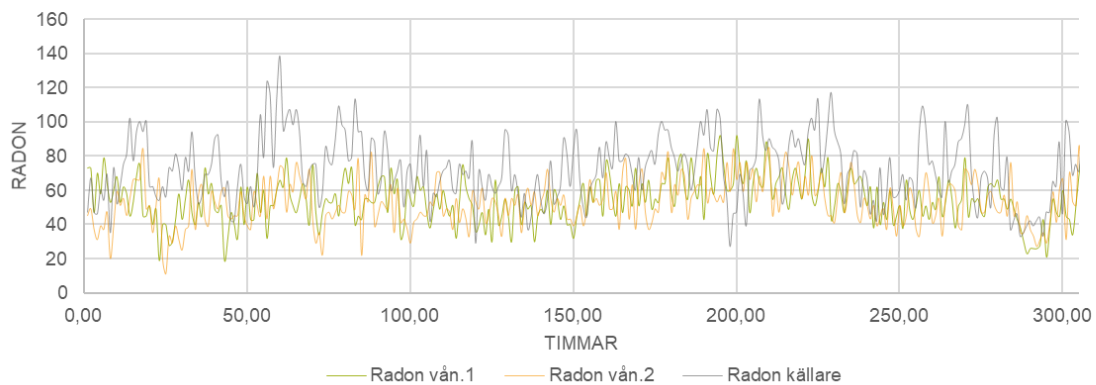
Radonutvecklingen i huskropparna 2.1 och 2.3 ser väldigt olika ut. Alla huskroppars radonutveckling går att jämföra mot varandra i figur 42. Observera dock att i figur 42 visas alla resultat från mätning med Radoneye +2 och radonpuckar, en del hus är endast uppmätta med radonpuck.

Hus 2.1 Radonutveckling



figur 22. Radonutvecklingen i hus 2.1. Samma fenomen som i hus 2.1 kan man se i hus 2.2, 2.4 och 3.1. Jämför figur 22 med figur 42. Observera dock att mätningarna i hus 2.4 och 3.1 gjorts endast med radonpuck.

Hus 2.3 Radonutveckling



figur 23. Radonutvecklingen i hus 2.3. Samma fenomen som i hus 2.3 kan man se i hus 1.2 och 4.1. Jämför figur 23 med figur 42. Observera dock att mätningarna i hus 1.2 och 4.1 gjorts endast med radonpuck.

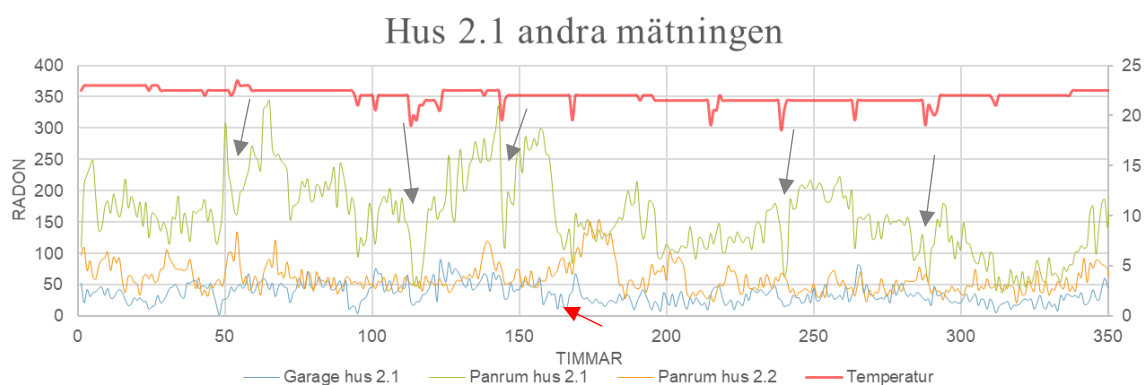
Hus 2.3 har en mycket jämnare radonutveckling och högre värden i hela byggnaden än hus 2.1, fast det generellt sett har mycket bättre tilluft. På grund av planlösningen i hus 2.3, som är öppen för jordluft, så sprids radonet jämt i hela huset. Här inverkar också att källarens naturliga ventilation är bortrenoverad i samband med renovering och byte till jordvärme.

För mätresultat från hus 2.4, se figur 42. I hus 2.4 har jag gjort mätningar i endast en lägenhet som fortfarande har många av sina ursprungliga funktioner kvar. Där har gjorts förhållandevis små renoveringar och köket har fortfarande sin ursprungliga vedspis kvar och den är i användning. För mätresultat av hus 2.2 andra gången, se följande kapitel 12.3.

12.3 Mätresultat för hus 2.1, andra mätningen, och mätresultat för hus 2.2

Här redovisar jag min andra korttidmätning i hus 2.1, som jag utförde under perioden 22/11–7/12 2019 på grund av att det tidigare såg ut som om det inte fanns radon i garaget.

Den andra mätningen gjordes inte helt lika den första. Den här gången hade jag två mätpunkter i källaren. Mätpunkt ett utanför pannrum var densamma som förut. Men jag satte även in en mätare i garaget, som verkade ha så låg radonhalt i den första mätningen från 10/10–31/10 2019 (se figur 21) och s.52.



figur 24. Radonvärdena i källaren i hus 2.1 och hus 2.2. pilarna markerar dalar i kurvan som kan antas komma från mänskliga rörelser i källaren på hus 2.1.

Den här gången gjorde jag också en mätning i grannhusets källare, hus 2.2, för att få jämförelsematerial. I hus 2.2 placerade jag en mätare i det före detta pannrummet.

Pannrummet i hus 2.1, grön linje, har i medeltal ungefär samma radonnivå som vid förra mätperioden: 158,4 Bq/m³, vilket utgör en minskning med endast 9,3 procent i jämförelse med föregående mätperiod, och det är ett resultat som påminner om mätresultaten från de två riktgivande korttidsmätningarna i lägenheten och lagret i hus 1.1.

Men också den nya mätningen visar samma stora dalar i radonvärdena som tidigare. Den här gången kan vi ana vad de beror på: att människor rört sig i lokalerna till exempel i samband med bastubad och att dörrar öppnats till garaget.

Garaget i hus 2.1, blå linje, uppvisar radonnivåer som är 450 procent lägre än nivåerna i pannrummet. Hela husets grund är cirka 120 m² stor. Mätpunkterna skiljs åt av en vägg med en branddörr till garaget. Pannrummet har ventilation genom förbränningen, medan garaget saknar ventilation.

Radonnivåerna i pannrummet i grannhuset, hus 2.2, se den orange linjen i figur 24, ligger också förvånansvärt lågt med tanke på att marken här kan tänkas ha likvärdiga egenskaper som marken under hus 2.1. Radonnivåerna i källaren i hus 2.2 ter sig också låga med tanke på att delar av golven är uppkade efter ett stambyte och lämnats så. Det finns även en jordkällare i anslutning till grunden med en otät dörr. Och värmesystemet har bytts ut mot fjärrvärme. Det finns ingen eller mycket liten rörelse i källaren som kan tänkas påverka radonvärdena märkbart. Källaren är helt oanvänd, förutom som lager åt en av lägenheterna. Man kan tycka att radonnivån borde vara högre.

figur 25. Situationen i pannrummet i hu 2.2 efter stambyte i huset. Vid spaden i bilden finns hålet för förbränningsavgaserna från en gammal panna som tidigare stått här. Punkten för radonmätningen var nere till höger i bilden, cirka 40 centimeter upp från golvet. Fotograf: John-Erik Gustafsson



I samband med en större renovering av fastighetens insida och byte av värmesystem har man installerat en toppventilator på skorstenen som ventilerar källaren och delar av lägenheterna.

Därför finns nu ett stort undertryck i det före detta pannrummet och i delar av källaren. Pannrummet har också tillgång till atmosfärisk luft genom ett källarfönster som är original och har endast en enkel fönsterbåge. Draget från det här fönstret var påtagligt vid det tillfälle då jag avslutade mätningen.



figur 26. Toppventilator på skorstenen till hus 2.2. som installerats efter en omfattande renovering av lägenheterna. Fotograf: John-Erik Gustafsson

I mitten av källaren, i anslutning till källartrappan, hade jag placerat en radonpuck för att få siffror att jämföra med. Resultatet från mätningen med denna puck visas i figur 42.

Tittar man igen på diagrammet från den andra mätningen i pannrummet i hus 2.1, se figur 27 nedan, och sätter resultaten i relation till vindhastighet och vindens skiftningar, kan man se ett samband mellan vindriktning, vindstyrka och radonvärden. Se även bilaga 1.

Informationen om vindar har jag hämtat från Meteorologiska institutet i Finland. Det finns en liten skillnad mellan tidpunkten för institutets uppgifter och mina mätningar på grund av att Radoneye +2 är en enkel konsumentprodukt. Det går inte att programmera dess starttid, varför det är mycket svårt att synkronisera instrumenten med varandra och med data från meteorologiska institutet. Tidsskillnaden gäller alla diagram.

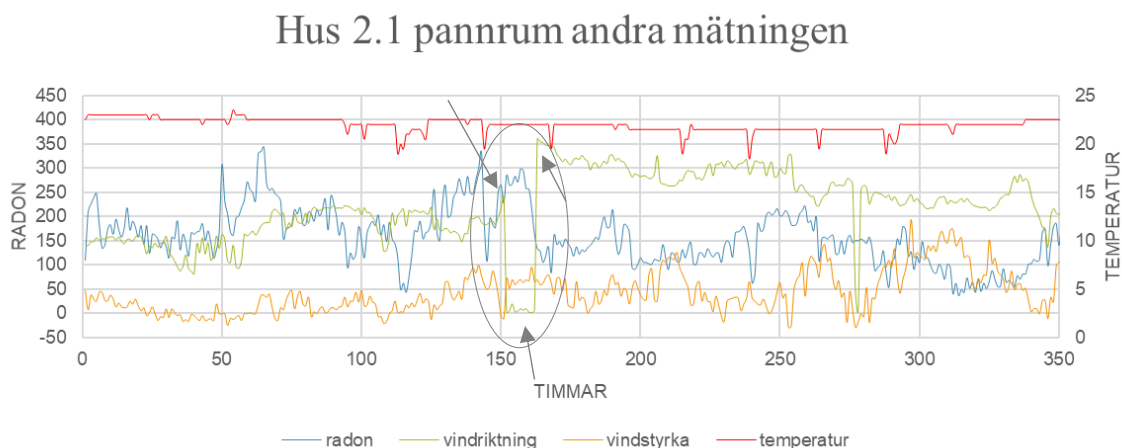
Vindens kurva har också samma formspråk som radonets linje. Är huset i lä, är radonvärdena ofta låga. Men om vinden kommer från en riktning som är känsligt eller ogynnsamt för huskroppens skal, ökar radonvärden redan vid låg vindstyrka som skapar tryckskillnader med ökande radonvärden. Men man kan också se hårda vindars påverkan på ventilationssystemen, S och F, och deras känslighet för vinden i vissa lägen. Vindriktningarna går att se i bilaga 1.

I figur 27 har jag satt in värmeutvecklingen från mätningen i rummet, eftersom vi vet att den kommer från mänskliga rörelser i rummet. Sjunkande temperaturer beror på att garagedörren öppnats, och stigande temperaturer kommer från förbränning i pannan alternativt bastubad.

Man kan helt tydligt se stora dalar i radonvärdena i samband med skillnader i temperatur, alltså rör det sig inte om naturliga påverkningar på radonvärdet.

Tidpunkten för mätningarna har varit densamma i båda husen (hus 2.1 och 2.2.), vilket går att se även i diagrammen (se figurerna 27 och 29): vindstyrkan och vindriktningen är desamma i alla tre diagram samtidigt.

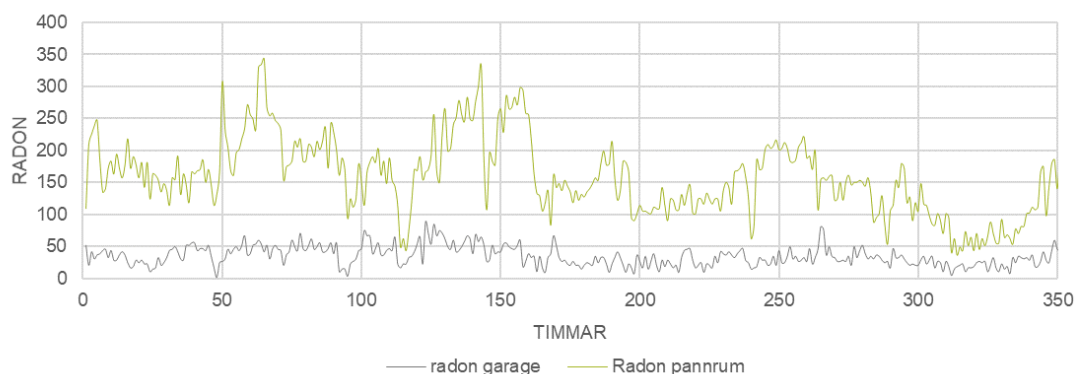
I figur 27 kan man se att i vissa vindriktningar är radonnivåerna större än i andra. Att vindstyrkan påverkar framkommer även av att vissa vindriktningar ger en linje som överensstämmer med radonets formspråk.



figur 27. Samband mellan mänskliga rörelser, vindstyrka, vindriktning och radonnivåer i pannrummet och garaget i hus 2.1.

Markeringen i figur 27 visar hur vinden skiftar från cirka 250° till mellan 0°–10° och radonhalten skjuter i höjden, och sjunker igen när vindriktningen skiftar tillbaka till ca 350° utan att vindstyrkan ändrar väsentligt. Det är märkligt att radongaserna samtidigt hålls väldigt låga i garaget, de sjunker med vindstyrkan orange linje (se figur 24 röd pil. Diagrammen i figurerna 24, 27 och 28 visar mätningar från samma källare. Vindriktningarna går att studera i bilaga 1, figur 27 och 29.

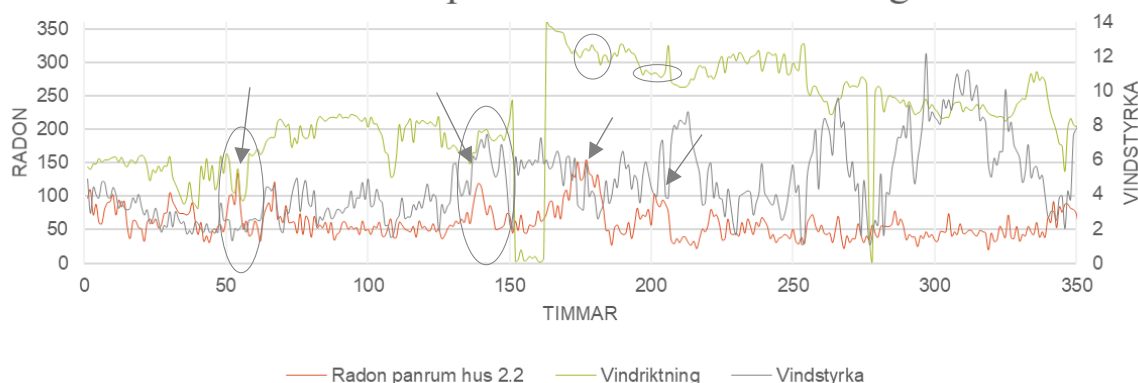
Hus 2.1 Båda radonkurvor samtidigt



figur 28. Här framkommer den låga radonnivån i garaget i hus 2.1 grå linje. Grön linje är pannrummets radonnivå under samma period, det är en stor skillnad i samma källare på 120m².

Vi kan se att hus 2.2 50 meter bort och med F-ventilation påverkas lite annorlunda vid samma tid. Här har vindstyrkan ett större samband med radonnivåerna. Vissa vindriktningar har större påverkan på ventilationen än andra men inte lika stor betydelse. Det går att studera genom att jämföra figur 39 med bilaga 1.

Hus 2.2 pannrum och vind riktning



Figur 29. F-ventilationens känslighet för vindriktning och vindstyrka i hus 2.2. Markeringar 1 (90°) 2 (ca 195°), 3 (ca 325°) och 4 (ca 275°) går även att se i bilaga 1.

Hus 2.1 har toppar i radonvärdena i samband med vissa vindriktningar som är ogynnsamma för huskroppens skal, se figur 27. Tittar man på motsvarande ställen i mätningar från hus 2.2, brun linje, så ser man ibland motsatser med dalar i radonvärdena, men man ser också en konstant lägre radonnivå i hus 2.2, som är oberoende av vindstyrka eller riktning, samt frånluftsventilationens (F) känslighet för vinden, vilket pilarna i figur 29 antyder.

I garaget i hus 2.1 med den lägsta radonhalten har en draglucka installerats för att reglera undertrycket i skorstenen. Dragluckans uppgift är bland annat att minska vindens påverkan på skorstenen. När vinden skapar snabba tryckförändringar runt skorstenen eller ökar i styrka, så jobbar spjället mot vinden och skapar ett mera kontrollerat självdrag i pannrummet. Men det blir en motsatt pulserande ventilation i garaget.



figur 30. Dragluckan i garaget hus 2.1. Pilen visar skruven som balanserar luckan och undertrycket i skorstenen. Fotograf: John-Erik Gustafsson

Skorstenen i hus 2.1 har också sina ursprungliga förutsättningar kvar och hålls torr av ett regnskydd och av pannans förbränning. Självdragen har här en god funktion och är också mer kontrollerat. I hus 2.1 uppstår det ett mindre okontrollerat undertryck, vilket annars är vanligt vid självdragsventilation i samband med till exempel starka vindar.

Hus 2.2 50 meter bort, som vi antar att har samma markegenskaper som hus 2.1, har toppventilator (F) som förtrycker radonnivåerna bra i pannrummet och i delar av källaren. Men här förekommer ofta toppar i radonvärdena i samband med starkare vind och då vindriktningen är ogynnsam för huskroppen. Då uppstår ett större undertryck med högre radonvärden som följd, men de är fortfarande långt under det uppsatta gränsvärdet. F-ventilation är känslig för stark vind och kyla.

Garaget i hus 2.1, se figur 28, verkar vara minst påverkat av skiftningar i vinden, som här många gånger ger en motsatt effekt. Radonnivåerna i pannrummet i hus 2.1, alltså i samma källare, är 450 procent högre. Garaget, med ett radonmedeltal på endast 35,2 Bq/m³ i den riktgivande undersökningen, uppvisar klart lägsta nivåer av alla källarutrymmen i undersökningen, trots att det är nergrävt och har ett högre jordlufttryck. Orsaken kan vara dragluckan som jobbar med vindskiftningar och styrka. Även hus 3.3 figur 42 har ett lägre radonvärde i garaget men inte ens närmelsevis så lågt värde som hus 2.1 uppvisar.

13 Område 3 och 4

Område 3 och 4 ligger på landsbygden. Hus 3.2 och 4.1 är utvalda för sina ovanliga egenskaper. Hus 3.1. har jag valt för att det ligger nära hus 3.2 och för att jag genom mätningar i dessa hus kan jämföra markegenskaper. Mätningarna i hus 3.4 används för jämförelse och en bredare bild.

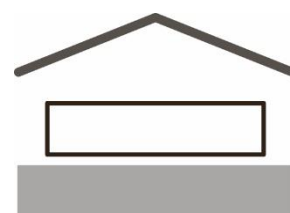
13.1 Objektbeskrivning. Hus 3.1–3.3

Hus 3.1 är byggt ca 1990 i lösvirke. har en krypgrund som är som en källare, men här har man aldrig gjutit någon platta. Källaren har relativt god ventilation och pannrum.



figur 31. Beskriver huskroppens form för hus 3.1.

Hus 3.2 är en enplansvilla byggd i siporex. Hus 3.2 befinner sig längre ner i slänten under hus 3.1 och är helt annorlunda. Jag tar här med radonmätning från hus 3.2 endast som jämförelsematerial. Det är intressant att radonvärdena i källaren i hus 3.2 är mycket lika värdena i bostadsutrymmena i hus 3.1, trots att husen är helt olika. Slutsatsen man kan är att det snarare är planlösningar i hus än markens egenskaper som avgör radonnivåerna inomhus, om husen ligger nära varandra.



figur 32. Beskriver huskroppens form för hus 3.2.

Hus 3.2 har en speciell ventilation och endast en värmeväxlare som huvudvärmekälla. Man tar in luft genom marken genom nergrävda kanaler, som alternativt förvärmer eller kyler inkommande luft, beroende på årstid.

Vid tillfället för hela mätperioden september–december var inte kanalerna i bruk, på grund av det ovanligt milda klimatet. Här ville jag titta på radonvärden, eftersom det är negativt ur ett radonperspektiv med nedgrävda kanaler som kan ackumulera radon som kommer in med ventilationsluften.

Hus 3.3 är ett 70 tals hus i lösvirke. byggt på krönet i en slutning på fyllnadsmassor när berg. Huset har även ett garage i hopbyggt med huskroppen.



figur 33. Beskriver huskroppens form för hus 3.2.

13.2 Mätresultat för hus 3.1 och 3.3

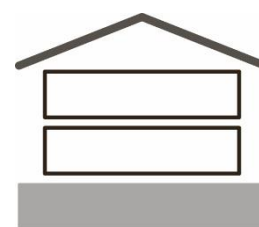
Skillnaderna i radonhalterna i hus 3.1 och 3.2 är inte så stora. Nivåerna i hus 3.1, med krypgrunden, är 358 Bq/m^3 . Nivåerna i hus 3.2, enplansvillan, är i medeltal 378 Bq/m^3 .

Ifall man mäter endast bostadsutrymmena i de båda husen så ser utfallet. Nivån i hus 3.1 är då $19,5 \text{ Bq/m}^3$, och i hus 3.2 378 Bq/m^3 . Husen går att jämföra i figur 42.

Markförhållanden för de båda husen kan antas vara snarlika, varför man kan sluta sig till att det är husens grundkonstruktion och planlösning som påverkar radonhalterna i bostadsutrymmena och inte marken.

13.3 Objektbeskrivning. Hus 4.1

Hus 4.1 är ett nybyggt hus, men det är uppfört med en gammal stockstomme, som är flyttad och återuppbygg med tanke på byggnadskultur. Allt i huset är så ursprungligt som möjligt i relation till dagens byggnadsregler. Grunden är en modern krypgrund med ett isolerat bjälklag av trä. Huskroppen är otät och har till exempel originalfönster kvar. Tomten där huset står är låg och vattentrycket är mycket stort.

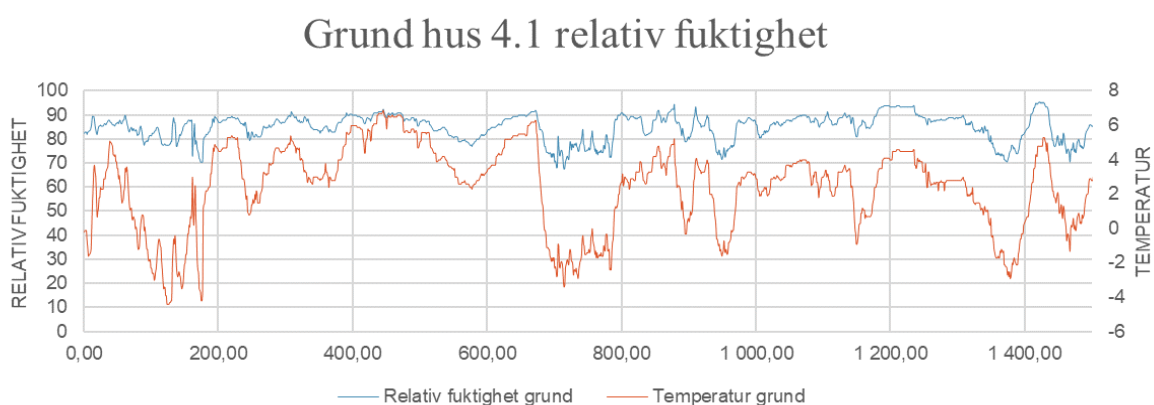


figur 34. Beskriver huskroppens form för hus 4.1.

13.4 Mätresultat för hus 4.1

I hus 4.1 ville jag också titta på den relativa fuktigheten i grunden, eftersom fukt kan vara ett problem i krypgrunder.

Risken för höga radonvärden är extremt liten med otät huskropp, torpargrund och en vattensjuk tomt. Radonvärdena visade sig mycket riktigt och vara låga i krypgrunden i hus 4.1 på 54 Bq/m^3 på grund av husets planlösning sprider sig radonhalterna jämnt genom alla plan. Går att se i figur 42 hus 4.1.

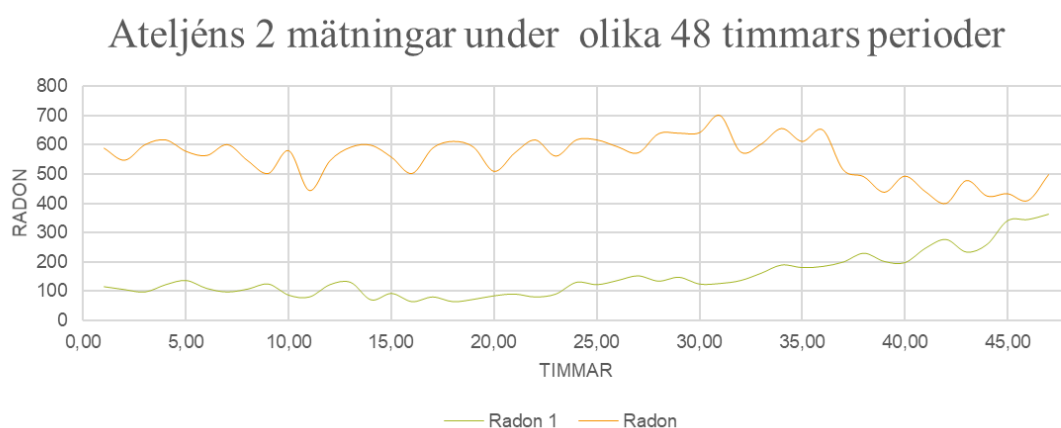


figur 35. Beskriver hus 4.1 torppargrunds fuktutveckling och temperatur under perioden 01.11.2019 till 02.01.2020. Någonting som man bör ta i beaktande och få att fungera ihop med en eventuell radonsanering, i detta fall var radonvärden låga. De uppmätta fuktvärden i figur 35 kan jämföras mot figur 9.

14 Kortidsmätningarna i undersökningen

Rekommendationen är att göra kortidsmätningar, alltså rådgivande mätningar, med kontinuerligt registrerande instrument, eftersom informationen från dem går att läsa av i realtid eller direkt efteråt (Clavensjö & Åkerblom, 2014, s. 57).

Här tittar jag på två 48-timmarsperioder som uppvisar de högsta och de lägsta radonvärdena från mätperioden, 8/12–27/12 2019, se figur 36 för att illustrera hur rätt- eller felvisande mätningar från mycket korta perioder kan vara.



figur 36. Är två kortidsmätningar av radon med Radoneye +2 i ateljén närmast till vänster i figur 12. Mätningar med Radoneye +2 ger ett riktigivande grundvärde. Mätningarna i diagrammet omfattade 48 timmar vardera och utfördes under perioden 08/12–27/12 2019. Den orange 48-timmarsperiod visar den kortidsmätning som gav de högsta värdena. Den gröna 48-timmarsperiod visar linjen som gav de lägsta värdena. Värdet med spårfilm för hela perioden var 231 Bq/m³.

Den övre linjen beskriver maxnivån med ett medelvärde på 552.1 Bq/m³, vilket är 84 procent över rekommenderat värde. Den undre linjen beskriver minimivärdet med ett medeltal på 163 Bq/m³, vilket ligger 84 procent under gällande rekommendation. Värdet ligger klart under spårfilmens vetenskapliga värde som för hela perioden som var 231 Bq/m³, som i sig är ok för ett befintligt hus där man räknar med ett max. värde på 300 Bq/m³. För nya hus är det 200 Bq/m³.

Jämför vi dessa resultat med basvärdet från radondosorna med spårfilm, alltså det vetenskapligt godtagbara resultatet från hela mätperioden (från månadsskiftet september/oktober till slutet av december 2019), ser vi att i det här fallet har kortidsmätningarna på cirka två veckor gett över lag ett ganska bra, riktgivande värde. Man kunde konstatera det utifrån vilken av mina mätningar som helst – förutom mätningen av de manipulerade värdena i ateljén (jag ändrade på förutsättningarna i huskroppen) och mätningarna från dom öppna planlösningarna hus 1.1 går att studera i figur 42.

Här måste dock sägas att utomhustemperaturerna var relativt lika under samtliga mätperioder. Normalt är temperaturskillnaderna större vintertid, och man kan anta att också skillnaderna i mätresultat skulle vara större under en strängare vinter och vid starkare termik.

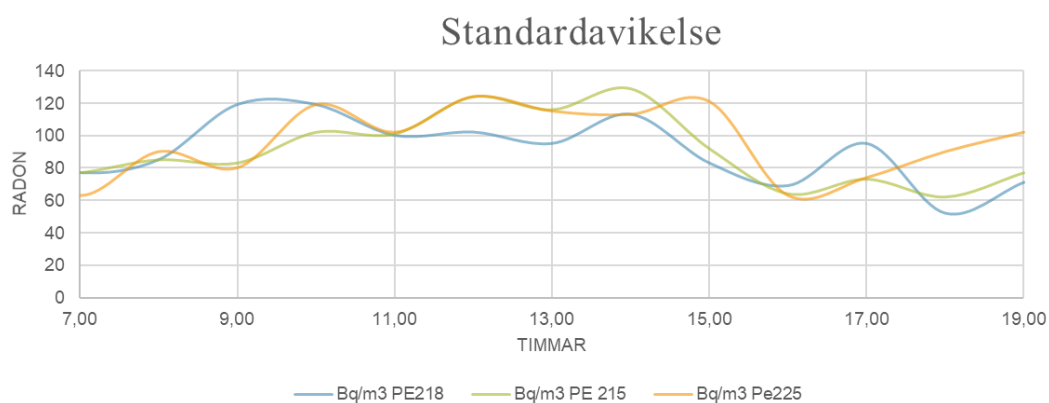
Men vi kan också konstatera att mätningar av radon måste ske under tillräckligt långa perioder (tre månader) för att vara pålitliga, vetenskapliga.

14.1 Standardavvikelse

Under perioden 21/11–22/11 2019, mellan mina korttidsmätningar av radon, kontrollerade jag instrumentens mätnoggrannhet under 19 timmar. Jag placerade instrumenten på arbetsbordet i ateljén, inom ett mycket litet område, och jag växlade plats på dem under de 19 timmarna. Det är av stor betydelse att instrumenten visar jämförbara resultat så att min undersökning och mina slutsatser om huskroppar, planlösningar och våningsplan blir så rättvisande som möjlig.



figur 37. Jämförelse av instrumentens mätnoggrannhet. Resultatet går att läsa av i figur 42. Fotograf: John-Erik Gustafsson



figur 38. Uppmätta värden från tre Radoneye +2 från en 19-timmarsperiod. Standardavvikelsen för alla tre är 0,19. Instrumenten stod strax intill varandra i ateljén.

DEL III. Sammanfattning

15 Resonemang och slutsats

Under arbetes gång har jag i olika sammanhang kommit i kontakt med olika människor och diskuterat radon med dem. Efter det står det helt klart för mig att det har gjorts många fler mätningar av radon än vad som framkommer av Stuks hemsida och statistik från Åland. Ålänningar har mätt förekomsten av radon av eget intresse för hälsa och radon. De mätningar som privatpersoner utfört har ofta varit indikerande kontinuerliga mätningar under olika tidpunkter och av olika längd. Mätningar av radon i vatten har varit vanligare än mätningar av radon i luft.

Problemet är att det är svårt att få information från de mätningar som gjorts, eller rent av omöjligt, eftersom mätningarna gjorts helt i privat regi och inte finns upptagna i register. Resultaten är också svåra att jämföra med varandra, eftersom det endast rör sig om ungefärliga uppgifter om medelnivåer från riktgivande mätningar. Jag har inte fått tillgång till anteckningar om hur mätningarna gjorts, mätperiodernas längd och när under året de infallit.

Förekomsten av radon i vatten kan variera med 30–50 procent mellan olika mättillfällen (Clavensjö & Åkerblom, 2014, s. 87), och radon i huskroppar på grund av jordluft varierar kraftigt med årstider, månader, veckor, dygn och vindförhållanden.

Mätresultaten kan därför variera kraftigt beroende på mätperiodens längd. Mätperiodens längd är alltså av mycket stor betydelse, vilket går att se i min praktiska undersökning.

Med tanke på de samtal jag fört med personer på Åland, den kunskap om radon som jag läst mig till samt resultaten från mina egna mätningar, verkar det som att radon kan tänkas vara ett större problem på Åland där morän finns och i byggnader som har täta huskroppar och står på stora massor av fyllnadsmaterial. Här är en grund som är otät mot jordluft i kombination med en i övrigt tät huskropp ett dåligt scenario.

Jag har också kunnat sluta mig till att radonvärden inte är helt nyckfulla, utan beror på kombinationer av byggnadskroppens skal, planlösning, ventilation, människors rörelsemönster och vindens skiftningar runt den. Så har vi ju också huskroppar, eller klimatskal, just för att kunna skilja mellan utomhus- och inomhusklimat.

Slutsatser

- radonmätningar borde aldrig göras i en obebodd bostad.
- en radonmätning ska göras med endast individerna som bor och kommer att bo i byggnaden.
- vid byte av hyresgäster eller flytt till ny fastighet ska en ny radonmätning göras. Eventuella resultat från tidigare mätningar kan betraktas endast som riktgivande.
- god ventilation har mycket stor betydelse (se figur 18). En justering av ventilationen kan vara helt tillräcklig för att halvera eller fördubbla radonkoncentrationen. Det är viktigt att komma ihåg, eftersom många ”hemmafixare” vill spara energi genom att begränsa ventilation.
- huskroppens skal och planlösning påverkar radonvärdena, precis som de boende gör det. All påverkan på olika funktioners förutsättningar i huskroppen och runt den kan antas påverka radonkoncentrationerna.
- en indikerande mätning på cirka två veckor har i den här undersökningen givit medelvärden som är förvånansvärt lika de vetenskapligt godtagbara värdena från radonpuckar med spårfilm. Det verkar som att indikerande mätningar på två veckor kan fånga upp påverkan från vädrets skiftningar och cykler tillräckligt bra – för att ge just *indikerande* medelvärden på radonnivåerna.
- i de fall där Radoneye +2 och radonpuckar har varit placerade mycket nära varandra har också mätresultaten från lägenheterna varit mycket lika för till exempel hus 2.1 och 2.3. Andra gånger, när jag på grund av placering av eluttag eller brist på ställen att placera puckarna på och avstånden mellan instrumenten varit lite längre har också mätresultaten skiftat lite. Allt detta går att studera i figur 42.

15.1 Analys

Vad betyder resultaten av min undersökning? Vilka brister och begränsningar har min undersökning?

Undersökningens begränsas av flera faktorer:

- tiden för undersökningen har begränsats till en period från månadsskiftet september/oktober till slutet av december 2019 – här saknas alltså resultat från hela perioden januari–april.
- under tiden för mina mätningar hade Åland ovanlig mycket nederbörd. Markerna kan tänkas ha varit mera påverkade av vatten än vad de vanligtvis är. Markens permeabilitet var säkert annorlunda än det föregående året, som var extremt torrt.
- antalet undersökta objekt är endast 12.
- i undersökningen representeras inte samtliga marktyper som finns på Åland.
- kapitlen om bergarter och markens egenskaper är min egen sammanfattning av olika böcker och information som jag kommit i kontakt med och är inte granskad av en geolog.

Undersökningens statistiska värde är undermåligt på grund av det låga antalet undersökta hus och platser. I undersökningen ingår, vad jag vet, inget område med särskilt höga radonvärden.

När man läser om radonsaneringar eller pratar med olika yrkesgrupper får man lite olika synvinklar på problematiken. Kanske behöver man titta över olika yrkesgränser och integrera olika perspektiv på ventilation, saneringar, ombyggnader, byggnadsfysik och byggnaders naturliga nedbrytning – och hur dessa faktorer påverkar varandra. Samtidigt som man radonsanerar måste man eventuellt åtgärda problem som beror på riskkonstruktioner, tidigare åtgärder som har gjorts åt huset och kanske hemmafisarens egna, energibesparande lösningar. Också hållbarhetsfrågan är intressant i sammanhanget, eftersom sanering av radon ofta betyder ett ökat energiuttag.

Riktgivande kortidsmätningar med kontinuerligt mätande instrument har i den här underökningen varit avgörande för analysen av olika huskroppars radonvärden. Men det har också min användning av flera instrument samtidigt varit. Tack vare kombinationen av olika instrument har jag kunnat förstå vad skillnader i mätresultat berott på. Kortidsmätningar på två veckor har också visat sig ge goda riktgivande värden.

Men för att man ska kunna förstå vad skillnader beror på, är det av stor betydelse att man vet vad som händer i byggnaden. Människors levnadsmönster, som kraftig vädring och semesterresor, påverkar radonvärden – i kombination med bland annat vindens skiftningar. I samband med mina undersökningar har jag intervjuat de boende och observerat levnadsvanor. Flera av husen är också väldigt bekanta för mig: två har jag byggt och ett är mitt barndomshem. Jag känner till hur husen renoverats och, i vissa fall, byggnadstekniska brister.

Att analysera huskroppar på det sätt jag gjort skulle underlättas om de boende under mätperioden förde dagbok över sina levnadsmönster. Även en väderstation på till exempel husetsnock skulle hjälpa till vid analysen av skiftningar i radonvärden.

Jag anser att det är av stor vikt att vid mätning av radon, och vid eventuell sanering, analysera hela byggnaden och förstå den som helhet.

Ordförklaringar

ablationsmorän – material som kommer från isälvar och avsmältning och inte är komprimerad av isen.

bottenmorän – mekaniskt nedbrutet material som komprimerats av inlandsisen; sten- och blockfattigt material som tillhör gruppen moräner.

daggpunkt – den temperatur vid vilken luftens fuktighet börjar utfällas i form av dagg (Svenska akademins ordbok). Kall och torr luft som kommer in är sällan ett problem i ett uppvärmt utrymme, förutom att det ökar energibehovet, någonting man måste räkna med när man radonsanerar.

humus – organiska förmultnade växtdelar som föroreningar i vatten och svärmsand.

huskropp – är husets alla funktioner: ventilation, lufttäthet, tätskikt, isolering, stomme och värmesystem.

jordluft – luft som tar sig fram genom marken och innehåller radon.

kapillärkraft – korn och porer med mycket liten diameter som gör att vatten kan stiga i material.

makadam – stenmaterial som används i betong.

morän – jordart uppkommen under istiden, består av söndersmulade bergartsfragment med växlande grovlek, från block till lerpartiklar.

permeabilitet – markens genomsläpplighet för gas och vätska

självdrag – ventilation som drivs av temperaturskillnader (termik).

standardavvikelse – ett mått på den genomsnittliga avvikelsen från medelvärdet i en serie observationsvärden.

termik – uppåtgående varm luftström på grund av skillnader i temperatur.

uppvärmningssäsong – den period under året då huset behöver värmas med värmesystem, vid radonundersökningar brukar den sägas infalla oktober–april.

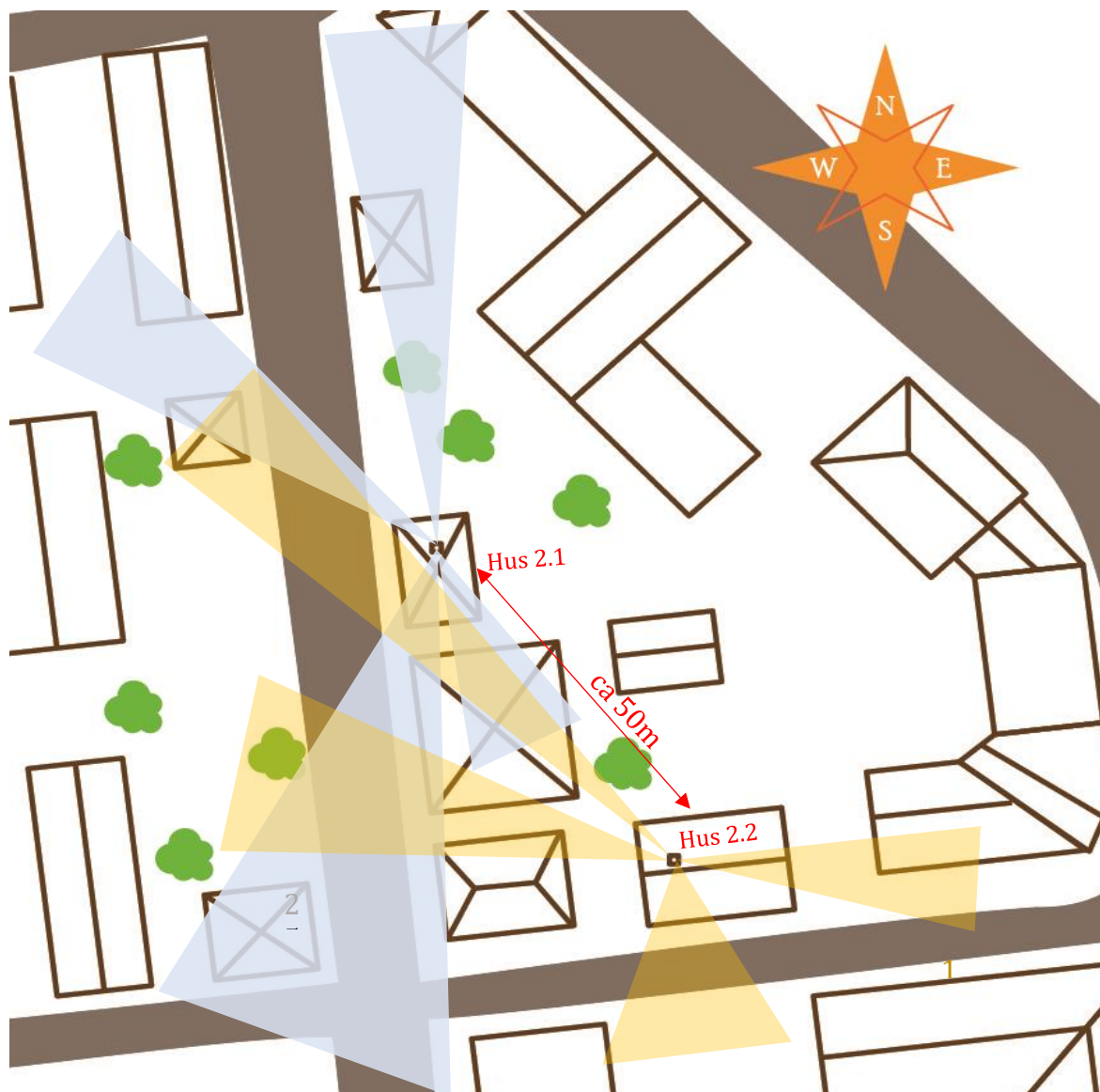
ursvallat material – jordar som blivit ursköljda på delar av sitt finare material av havets vågor och på grund av landhöjning.

Källor

- Bankvall, Claes, 2013. *Luftboken. Luft rörelser och täthet i byggnader*. Lund: Studentlitteratur AB.
- Clavensjö, Bertil & Gustav Åkerblom, 2014. *Radonboken*. Stockholm: AB Svensk Byggtjänst.
- Ewing, Annica & Maria Wannberg, 2003. *En liten bok om mögel*. [Stockholm]: Skansens byggnadsvård, kulturhistoriska avdelning och byggnadsavdelningen på Skansen.
- Forslund, Gunnel & Jan Forslund, 2016. *Bästa inneklimat till lägsta energikostnad*. Malmö: Svenskbyggtjänst.
- Hagentoft, Carl-Eric, 2002. *Vandrande fukt strålande värme*. (8 uppl.) Lund: studentlitteratur AB.
- Hausan Hans, 1964. *Geologisk Beskrivning över landskapet Åland*. Mariehamn: Ålands Kulturstiftelse.
- Hollsten Synnöve & Carl Ehlers, 1987. *Urberg och istid*. [Mariehamn]: Arkeologiska sektorn vid museibyrån, Ålands Landskapsstyrelse.
- Lundegårdh, Per H, 2002. *Bergarter och mineraler i Norden*. Västerås: ICA Bokförlag.
- Nordiska ministerrådet, 1984. *Terrängformer i Norden*. Oslo.
- Samuelson, Ingemar, Jesper Arfvidsson & Carl-Erik Hagentoft, 2007. *Få bukt med fukt*. Stockholm: Forskningsrådet Formas.
- Schou Jensen, Erik & Ulf Svedberg, 2006. *Våra Stenar*. Stockholm: Prisma.
- Severinson, Hans, 2015. *Ventilation*. (5 uppl.) Stockholm: AB svensk byggtjänst
- Sihvonen, Keijo m.fl., 2000. *Övervakning och inspektionsprotokoll vid småhusbyggen*. (5 uppl.) [Helsingfors]: Miljöministeriet.
- Strålsäkerhetscentralen, Finland www.stuk.fi.
- Strålsäkerhetsmyndigheten, Sverige www.stralsakerhetsmyndigheten.se.
- WHO 2009, *WHO handbook on indoor radon: a public health perspective*
https://www.who.int/ionizing_radiation/env/9789241547673/en/.
- Åberg, Olle, 2000. *Åtgärder mot fukt i kryprumsgrunder*. Bygghälsorådet, Stockholm.
- Ålands statistik- och utredningsbyrå, Åsub, www.asub.ax

Bilaga 1. Hus 2.1 och 2.2

Bilaga 1 beskriver hus 2.1 och hus 2.2, topografin och avståndet mellan husen. Sektorn beskriver vindriktningar som är känsliga för huskropparna och ger höga radonnivåer enligt diagram 27 och 29.

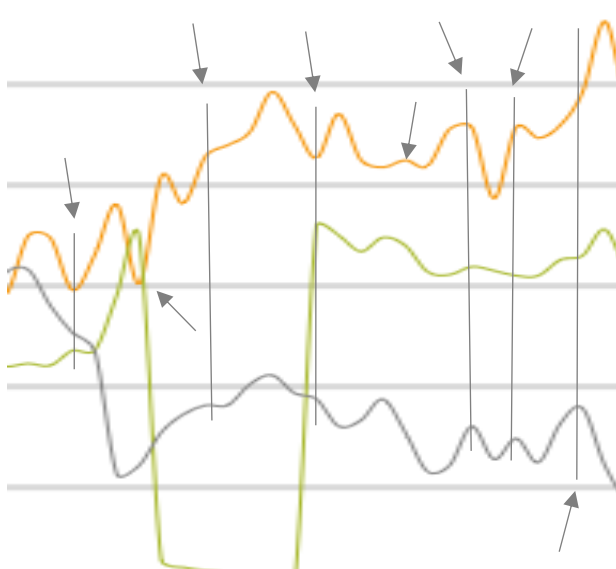


Figur 39.

Bilaga 2. De meteorologiska mätningarna

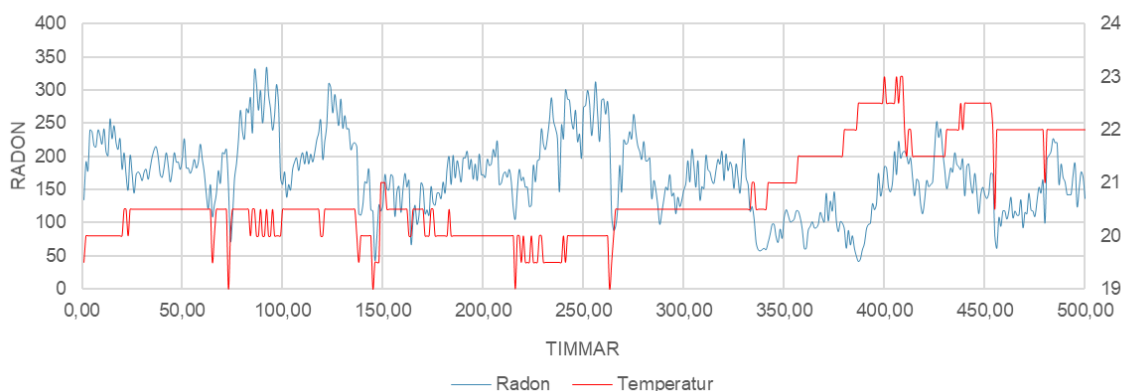
Huskroppens alla funktioner och radonnivåerna i den påverkas av vindens egenheter och rörelser på insidan. Ventilation och i vissa fall även värmesystem är beroende av lufttäthet och av vindförhållanden. Resultaten från alla mina mätningar med Radoneye +2 visar på samband mellan radonnivåer och vinden och dess skiftningar – förutom en mätning i hus 2.1. Se figur 24, som visar hur radonnivåerna får motsatt effekt av vindens egenheter.

I hus 2.1 ligger pannrummet mitt i källaren och är avskilt med stängda dörrar. Man kunde tänka sig att det skulle behövas mera tilluft. När pannan startar sjunker radonhalten, men när temperaturen sedan stigit har också radonnivån stigit. Hus 1.1 uppvisar samma fenomen, även om inte lika tydligt: I samband med påbörjad eldning i kaminen dalar först radonvärdena men sedan följer en liten pik. Först töms rummet på luft. Sedan dras jordluft in från otätheter.



Figur 40. period 08.12 till 27.19.2019 ateljéns huskropp är känsligast för vindens skiftningar på grund av den högre lufttätheten. Markeringen visar ett område där det lett går att se vindriktningen och skiftningar i vindstyrka påverkar radonen nivå. Oranger är radonnivån.

hus 2.1 rörelser i källaren och pannans inverkan



Figur 41. Här syns tydligt att temperaturskiftningar sammanfaller med förändringar i radonnivåerna.

Bilaga 3. Översikt över samtliga mätningar

Sammanställning av samtliga uppmätta värden från mina mätningar utförda från oktober 2019 till årsskiftet 2019/2020.

Hus 1.1	Hus med samma radonutveckling	Metod		Period		Dagar Ca	Medelvärde Bq/m ³	Misvisning % Bq m ³
Fyllnings-massor och moränmark		Spårfilm	Leg.	27.09.2019	till 30.12.2019		206	± 25
		Spårfilm	Lag.	27.09.2019	till 30.12.2019		189	± 23
		Spårfilm	Ate	27.09.2019	till 30.12.2019		281	± 33
		Radoney e+2	Leg.	27.09.1919	Till 10.10.19	14	162.5	> 26
		Radoney e+2	Lag.	27.09.2020	Till 10.10.19	14	222.2	< 17
		Radoney e+2	Ate. 45 m3	27.09.2020	Till 10.10.19	14	232.8	> 20
		Radoney e+2	Leg.	8.12.19	Till 27.12.19	19	168.4	> 22.3
		Radoney e+2	Lag.	8.12.20	Till 27.12.19	19	234	< 23
Radoney e+2	Ate.	8.12.21	Till 27.12.19	19	452	<62.1		
Hus 1.2		Metod		Period		Dagar Ca	Medelvärde Bq/m ³	Misvisning % Bq m ³
M orän		Spårfilm	våning 2	29.09.1919	Till 30.12.19		78	± 12
		Spårfilm	våning1	29.09.1919	Till 30.12.20		67	± 11
Hus 1.3		Metod		Period		Dagar Ca	Medelvärde Bq/m ³	Misvisning % Bq m ³
M orän		Spårfilm	våning 1 vardagsrum	28.09.2019	till 01.01.2020		67	± 11
		Spårfilm	Källare 0	28.09.2019	till 01.01.2020		140	± 18
Hus 2.1		Metod		Period		Dagar Ca	Medelvärde Bq/m ³	Misvisning % Bq m ³
lera /silt ca.10 m djupt		Spårfilm	våning 2. vardagsrum	27.09.1919	Till 05.01.2020		40	± 8
		Spårfilm	våning 2. såvrum	27.09.1919	Till 05.01.2020		43	± 8
		Spårfilm	våning 1 såvrum	27.09.1919	till 05.01.2020		20	± 7
		Spårfilm	våning 1 vardagsrum	27.09.20	Till 05.01.2020		26	± 7
		Spårfilm	Källartrappa	27.0.9.21	Till 05.01.2020		115	15±
		Radoney e+2	våning 2	10.10.1919	Till 31.10.1919	21	39.3	> 0.98
		Radoney e+2	våning 1	10.10.1919	Till 31.10.1919	21	24.3	< 1
		Radoney e+2	Källare 0	10.10.1919	Till 31.10.1919	21	171	
		Radoney e+2	Pannrum	22.11.2019	Till 07.12.2019	16	158.4	
Radoney e+2	Garage	22.11.2019	Till 07.12.2019	16	35.2			
Hus 2.2		Metod		Period		Dagar Ca	Medelvärde Bq/m ³	Misvisning % Bq m ³
lera /silt ca.10 m djupt		Spårfilm	våning 2 Sovrum	27.09.1919	Till 02.01.2020		10	< 10
		Spårfilm	våning 2 vardagsrum	27.09.1919	Till 02.01.2020		14	± 6
		Spårfilm	våning 2 Sovrum	27.09.1919	Till 02.01.2020		12	< 10
		Spårfilm	våning 2 vardagsrum	27.09.1919	Till 02.01.2020		13	< 10
		Spårfilm	Källartrappa	27.09.1919	Till 02.01.2020		64	± 10
		Radoney e+2	pannrum	22.11.2019	Till 07.12.2019	16	59.6	
Hus 2.3		Metod		Period		Dagar Ca	Medelvärde Bq/m ³	Misvisning % Bq m ³
nära berg		Spårfilm	våning 2	28.09.19	Till 30.12.19		51	± 9
		Spårfilm	våning 1	28.09.19	Till 30.12.19		59	±10
		Spårfilm	Källare 0	28.09.19	Till 30.12.19		69	±11
		Radoney e+2	våning 2	31.10.19	Till 21.11.19	22	50.3	> 1.2
		Radoney e+2	våning 1	31.10.19	Till 21.11.19	22	53.8	> 9,7
		Radoney e+2	Källare 0	31.10.19	Till 21.11.19	22	70.3	< 0,19
Hus 2.4		Metod					Medelvärde Bq/m ³	Misvisning % Bq m ³
morän tunnare lager		Spårfilm	våning 1	27.09.2019	Till 30.12.2019		22	± 7
		Spårfilm	Källare	27.09.2019	Till 30.12.2019		238	± 29
Hus 3.1		Metod		Period			Medelvärde Bq/m ³	Misvisning % Bq m ³
morän nära berg		Spårfilm	våning 2 Sovrum	27.08.2019	Till 31.12.19		18	± 7
		Spårfilm	våning 1 vardagsrum	27.08.2019	Till 31.12.19		21	± 7
		Spårfilm	Källare / kryppgrund	27.08.2019	Till 31.12.19		358	± 42
Hus 3.2		Metod		Period			Medelvärde Bq/m ³	Misvisning % Bq m ³
fyllningsmassor nära berg		Spårfilm	platta på marken	28.09.1919	Till 26.12.2019		390	± 46
		Spårfilm	platta på marken	28.09.1919	Till 26.12.2019		366	± 43
Hus 3.3		Metod		Period			Medelvärde Bq/m ³	Misvisning % Bq m ³
fyllningsmassor nära berg		Spårfilm	våning 1 Garage	29.09.2019	Till 26.12.2019		157	± 20
		Spårfilm	våning 1 Vardagsrum	29.09.2019	Till 26.12.2019		226	± 28
		Spårfilm	Våning 1 Sovrum	29.09.2019	Till 26.12.2019		198	± 24
Hus 4.1		Metod		Period			Medelvärde Bq/m ³	Misvisning % Bq m ³
Morän låg höjd från vattnet och vattensjuk mark		Spårfilm	våning 2	28.09.2020	Till 01.01.2020		44	± 9
		Spårfilm	våning1	28.09.2020	Till 01.01.2020		51	± 9
		Spårfilm	krypgrund	28.09.2020	Till 01.01.2020		54	± 10
Medeltal radon av alla mätningar tillsammans i undersökningen.							126,8	

Figur 42. Observera att i hus 1.2, hus 1.3, hus 2.2, hus 2.4, hus 3.1 och hus 4.1 har mätningar utförts med endast radonpuck (spårfilm). I hus 3.2 har mätning utförts endast med Radoneye +2.