

Radonsanering av bostäder

H. Arvela, H. Reisbacka

Radonsanering av bostäder

H. Arvela, H. Reisbacka

De slutsatser som framförs i denna rapportserie är författarnas egna, och de representerar inte nödvändigtvis Strålsäkerhetscentralens officiella ståndpunkt.

ISBN 978-952-478-453-5 (tryckt)

ISBN 978-952-478-454-2 (pdf)

ISSN 0781-1705

Layout och grafik: Symboli Advertising Oy
www.symboli.fi

Översättning: Käännöstalo Mester Oy

Edita Prima Oy, Helsingfors 2009

Försäljning:
STUK – Strålsäkerhetscentralen
PB 14, FI-00881 Helsingfors
Tel. +358 9 759 881
Fax +358 9 7598 8500

ARVELA Hannu, REISBACKA Heikki. Radonsanering av bostäder. STUK-A237. Helsingfors 2009, 132 + bilagor 4 s.

Nyckelord: radon, radonsanering, inomhusluft, bostäder

Sammanfattning

I Finland finns det över 50 000 bostäder i vilka maximivärdet för radonhalten i inomhusluft 400 Bq/m³ överskrids. I dessa bostäder behövs radonsanering. De höga radonhalterna beror till största delen på att marken innehåller mycket radonhaltig luft som via springor i grunden strömmar in i bostäderna från marken. I Finland är det vanligast att grundlägga med platta på mark. Denna grundläggning främjar strömningen av radonhaltig luft in i huset, om inte radonbekämpningsåtgärder vidtas. Väggar med direkt markkontakt i de nuförtiden så populära sluttningshusen ökar radonläckagen ytterligare. Ett centralt mål vid radonsaneringar är att förhindra eller minska läckagen av luft från marken.

Denna handbok ger grundläggande information om vilka bestämmelser och anvisningar det finns om radon, om hur den radonhaltiga luften kommer in i bostaden, om vilken inverkan ventilation och undertryck har samt om hur bostaden skall undersökas före saneringen. De i handboken presenterade resultaten vad gäller saneringsmetodernas effektivitet baserar sig på en enkätundersökning som gjordes i 400 bostäder samt på otaliga undersökningar av saneringsobjekt. För radonsugens del utnyttjas i handboken också de viktigaste anvisningarna i den av miljöministeriet publicerade handledningen om radonsugar.

Radonsug och radonbrunn har varit de effektivaste metoderna. Radonhalten har med båda metoderna i vanliga fall sjunkit 70–90 %, i bästa fall över 95 %. En radonsug kan installeras antingen genom golvet eller genom sockeln. Med en avluftsfläkt kopplad till en sugpunkt sugs luft in genom golvplattan. Med hjälp av en radonbrunn sugs luft från marken på ett djup av 3–5 meter. Brunnen byggs utanför den byggnad som saneras. Det kan räcka med en brunn för att sänka radonhalten i till och med tio bostäder som finns i närheten av brunnen.

Med ventilationstekniska åtgärder i bostadshus sänker man radonhalten antingen genom att öka luftväxlingen eller genom att minska undertrycket i bostaden. Radonhalten sjunker i vanliga fall 10–40 %. I undantagsfall sjunker halten 50 %, om luftväxlingen före saneringen var liten eller undertrycket högt.

Genom att täta konstruktioner försöker man minska strömningen av radonhaltig luft från marken in i bostaden. När enbart tätning utförs sjunker

radonhalten i vanliga fall 10–50 %. Man kan använda både ventilationstekniska åtgärder och tätning för att effektivisera radonsugens och radonbrunnens effekt.

Vid radonsanering av de nedersta våningarna i flervåningshus används samma metoder som i småhus. De höga nivåerna på undertrycket i bostäder i flervåningshus höjer radonhalten i inomhusluften, men dessutom försämrar de radonsugens och radonbrunnens funktion. Vid behov bör man effektivisera saneringarna genom att sänka bostadens undertryck med hjälp av friskluftsventiler. Genom tätning kan man också effektivisera saneringsåtgärderna. Med enbart tätning har man sällan kunnat sänka radonhalten över 50 %.

Handboken ger också en kort översikt över radonsanering på arbetsplatser och i stora byggnader samt om radonbekämpning vid nybygge. Vid nybygge gäller för radon ett maximivärde på 200 Bq/m³. I Finland finns 200 000 bostäder där denna gräns överskrids. Radonbekämpningen borde beaktas i allt byggande i vårt land, så att vi inte får fler objekt i behov av sanering.

Handboken innehåller många praktiska exempel på saneringsobjekt. Målet har varit att handboken skall lämpa sig både för saneringsföretag och för privata sanerare.

ARVELA Hannu, REISBACKA Heikki. Indoor radon mitigation. STUK-A237 Helsinki 2009, 132 pp. + appendices 4 pp.

Keywords: radon, radon mitigation, indoor air, homes

Abstract

The action limit for indoor radon concentration in Finnish dwellings is 400 Bq/m³ which is exceeded in 50.000 dwellings. In these dwellings indoor radon mitigation is needed. The most important reason for high concentration is the soil air with high radon concentrations that flows into living spaces through openings and gaps in the building foundation. Slab on-ground is the most prevalent type of foundation in Finnish single family houses. Without preventive measures, this type of foundation promotes the flow of radon-bearing soil air into living spaces. In the second popular foundation type, hill-side houses, the flow of soil air through the walls backing soil still increases radon leakages. The key aim of indoor radon mitigation is to prevent or decrease the harmful flows of radon-bearing soil air into dwellings.

This guide gives the basic information on Finnish regulations on indoor radon, leakage routes, effect of air exchange and underpressure as well as pre-mitigation studies of houses. The results on the efficiency of various mitigation methods are based on a questionnaire study in 400 Finnish dwellings and on-site studies in numerous houses. In the case of sub-slab-suction the Finnish guide published by the Ministry of Environment has also been utilized.

Best mitigation efficiency has been achieved using sub-slab-suction and radon well. Typical reduction factors for both methods are 70–90%, and the best results are above 95%. Sub-slab-suction can be implemented through both floor slab and foundation wall. An exhaust fan coupled to suction pit and exhaust piping creates underpressure and ventilation beneath the slab. In case of a radon well an exhaust fan sucks air from the soil and ventilates the soil air volume through a well construction placed outside the house. The depth of a radon well is 3–5 metres. A single radon well can reduce radon concentration in many dwellings at the distance up to 20–30 metres.

Mitigation work based on ventilation aims at increasing the air exchange or reduction of the underpressure or both. Typical reduction factors are 10–40%. The reduction factors exceed 50% only in rare cases when the initial air exchange has been low or the underpressure level has been high.

Sealing of entry routes aims at reduction of leakage flow of radon-bearing soil air into living spaces. Typical reduction factors with this method

are 10–50%. Both ventilation-based measures and sealing work can also be used for improvement of the efficiency of sub-slab-suction or radon well.

In radon mitigation of apartments in the bottom floor with floor slab in ground contact, high underpressure levels increase indoor radon concentration and, in addition reduce the efficiency of sub-slab-suction or radon well. In this case the mitigation should be enhanced through installation of fresh air vents. Similarly, sealing may be needed to improve the efficiency. The efficiency of mitigation using only sealing measures has exceeded 50% only in rare cases.

The guide gives also a brief overview on radon mitigation at workplaces and in big buildings and on radon prevention in new buildings. The reference limit for design and construction of new buildings is 200 Bq/m³. The number of houses exceeding this limit is 200.000 in Finland. Preventive measures should be taken in all buildings in the whole country in order to avoid new dwellings that need mitigation.

This guide presents many practical examples on mitigation work, and it is intended for the use of both construction companies and do-it-yourself mitigators.

Innehåll

SAMMANFATTNING	3
ABSTRACT	5
FÖRORD	10
1 INLEDNING	11
1.1 Hur kommer radon in i bostaden	11
1.2 Bestämmelser och anvisningar	14
1.3 Ventilationens betydelse	15
1.4 Undertryckets betydelse	16
1.5 Radonsaneringsforskningen i Finland	17
2 SANERINGSMETODERNAS EFFEKTIVITET	19
2.1 Undersökningsobjekt	19
2.2 Radonmätningar	19
2.3 Saneringsmetodernas effektivitet	20
2.4 Val av saneringsmetod	24
3 UNDERSÖKNING AV BOSTADEN FÖRE SANERING	25
3.1 Radonmätning	25
3.2 Grundbotten och grundläggning	26
3.3 Den radonhaltiga luftens läckagevägar	26
3.4 Granskning av ventilationen	27
4 RADONSUG	29
4.1 Radonsugens lämplighet	29
4.2 Instruktioner om radonsugen	29
4.3 Funktionsprincip	29
4.4 Projektering av radonsugen	33
4.5 Bärande mellanväggars inverkan	34
4.6 Behovet av tätning	34
4.7 Placeringen av avluftskanalen och fläkten	35
4.8 Sugpunkternas placering och antal	36
4.9 Sugpunkt och genomföring	38
4.10 Avluftskanaler	41
4.11 Fläkten och dess placering	42
4.12 Dimensionering av radonsugens avluftsmängd	43
4.13 Installation av radonsug genom sockeln	44
4.14 Radonsugens skadeverkningar	46

4.15	Radonsugens inverkan på inomhusluften	47
4.16	Konstruktioner i bottenbjälklaget med god luftgenomsläpplighet	47
4.17	Uppnådda resultat med radonsug	48
4.18	Fördjupning av sugpunkten, Tammerfors	48
4.19	Radonsug och normala dräneringsrör	50
5	RADONBRUNN	51
5.1	Funktionsprincip	51
5.2	Anläggning av radonbrunn	52
5.3	Uppnådda resultat med radonbrunn	54
5.4	En radonbrunn på åsområdet i Hollola 1	55
5.5	En radonbrunn på åsområdet i Hollola 2	56
5.6	Radonbrunn i Hyvinge	59
5.7	Radonbrunn på Pispala ås 1	62
5.8	Radonbrunn på Pispala ås 2	64
5.9	Radonbrunn med borrhvornsteknik	66
6	TÄTNING AV KONSTRUKTIONER	69
6.1	Funktionsprincip	69
6.2	Genomförande	69
6.3	Resultat	71
6.4	Exempel på tätning	72
7	BYGGNADER MED KRYPRUM	77
7.1	Funktionsprincip	77
7.2	Genomförande	77
7.3	Resultat	79
8	VENTILATIONSTEKNISKA SANERINGAR I BONINGSRUM	80
8.1	Funktionsprincip	80
8.2	Genomförande	80
8.3	Resultat	83
8.4	Installation av friskluftsventiler, Helsingfors	84
8.5	Undertryck i saneringsobjekt med radonsug, Mellersta Nyland	85
9	SANERING AV VENTILATIONEN I KÄLLARE	87
9.1	Funktionsprincip	87
9.2	Genomförande	87
9.3	Resultat	87
9.4	Exempel på källarsanering	88
10	RADONSANERING AV FLERVÅNINGSHUS	89
10.1	Inströmningsvägar i flervåningshus	90
10.2	Undertrycksmätningar i bostäder i flervåningshus	91
10.3	Normal och forcerad ventilation	92

10.4	Installation av friskluftsventiler som radonsaneringsåtgärd	92
10.5	Exempel på installation av friskluftsventiler	95
10.6	Tätning och uppnådda resultat	96
10.7	Tätningsobjekt, Helsingfors	96
10.8	Radonsug i flervåningshus	97
10.9	Sanering med radonsug i huvudstadsregionen	97
10.10	Sanering med radonsug i Helsingfors	100
10.11	Våningshusbostäder med bottenbjälklag av trä	102
10.12	Radonbrunn vid sanering av ett flervåningshus	103
10.13	Radonsanering av de övre våningarna	105
10.14	Ventilerat bjälklag i flervåningshus	105
10.15	Nya flervåningshus	105
10.16	Sammandrag av radonsaneringarna i våningshus	106
11	RADONSANERING AV ARBETSPLATSER OCH STORA BYGGNADER	107
11.1	Radonövervakning på arbetsplatser, bestämmelser och anvisningar	107
11.2	Metoder för radonsanering på arbetsplatser	108
12	MÄTMETODER VID UNDERSÖKNING AV BOSTÄDER	111
12.1	Mätning av radonhalten	111
12.2	Mätning av undertryck	113
12.3	Användning av signalrök	115
12.4	Spårämnesanalyser	116
13	RADONSANERINGENS PRIS	117
14	RADONBEKÄMPNING VID NYBYGGE	119
14.1	Bestämmelser och anvisningar	119
14.2	Grundläggningens inverkan	119
14.3	Tätning av platta på mark	121
14.4	Installation av radonrörssystem	124
14.5	Ibruktagnig av systemet	126
14.6	Sugsystemets bristfälliga funktion	126
15	KORT ANVISNING INFÖR VALET AV SANERINGSMETOD	127
16	RÅD OCH BIDRAG	128
17	RESPONS	128
18	LITTERATURHÄNVISNINGAR	129
	BILAGA A Beräkning och modellering av bostadens radonhalt	133

Förord

Syftet med denna handbok är att ge grundläggande information om de saneringsmetoder som kan användas för att sänka radonhalten i bostäder. I denna rapport utnyttjas den radonsaneringsforskning som bedrivits i Finland i över 20 år samt internationell kunskap.

Stommen i Strålsäkerhetscentralens egen undersökning utgörs av de enkätundersökningar som gjorts om saneringsobjekten samt de otaliga undersökningarna av olika objekt. Många husägare och disponenter samt flera byggföretag har bidragit vid genomförandet av undersökningen, vilket var nödvändigt för att den skulle lyckas. Tekn.stud. Maija Härmä, fil.kand.stud. Timo Mikkola samt ingenjör Lauri Lammi har deltagit i insamlingen och behandlingen av materialet i den enkätundersökning som gällde saneringarnas effektivitet.

För radonsugens del har man också utnyttjat den handledning om radonsugar som miljöministeriet gav ut år 1996. Miljöministeriet ger år 2009 ut en förnyad upplaga av handledningen. Handledningen om radonsugar utarbetades utifrån de undersökningar som Tekniska högskolans laboratorium för husbyggnadsteknik och Strålsäkerhetscentralen utförde under åren 1993–1995. Undersökningen av radonsugarna finansierades av både miljöministeriet och social- och hälsovårdsministeriet. I undersökningen deltog biträdande professor Martti Viljanen och forskarna Ari-Veikko Kettunen och Ritva Rissanen från TTK (Tekniska högskolan) samt överingenjör Jaakko Huuhtanen från miljöministeriet. I fråga om radonsaneringarna av flervåningshus har man i undersökningen utnyttjat de undersökningar som Strålsäkerhetscentralen beställt av Tekniska högskolans laboratorium för husbyggnadsteknik. Dessa finansierades också av social- och hälsovårdsministeriet. Undersökningar av radonbrunnar har även utförts av FM Kaj Winqvist från Ramboll Finland.

Anvisningarna om ventilation baserar sig på de undersökningar som Tekniska högskolans VVS-laboratorium har utfört och i vilka tekn.dr. Jarek Kurnitski, tekn.dr. Miimu Airaksinen och DI Kai Jokiranta deltog. I Tammerfors har särskilt Tuula Sillanpää, Tammerfors stads hälsoingenjör, och ingenjörbyrå Sahi Ky bidragit till att undersökningarna lyckades.

Författarna tackar dem som deltog i undersökningarna och alla personer och institutioner som bidrog till att handboken kunde utarbetas. Social- och hälsovårdsministeriet har stött utarbetandet av handboken samt distributionen till hälsoskyddsmyndigheterna.

Denna rapport ersätter Strålsäkerhetscentralens handbok ”Asuntojen radonkorjauksen menetelmät”, som publicerades år 1995.

1 Inledning

Höga radonhalter i bostäder är ett betydande hälsoproblem i Finland. Omfattande internationella studier visar att radon i inomhusluften ökar risken att få lungcancer både för rökare och icke-rökare. I denna handbok granskas de metoder som använts vid radonsanering i Finland och ges praktiska råd om hur saneringarna skall utföras. Vi har försökt behandla resultaten så att de är till nytta för saneringsföretag och kommunernas myndigheter men även för privata sanerare. Studien baserar sig på de data som Strålsäkerhetscentralen insamlat om radonsaneringar i Finland samt på de erfarenheter som högskolor, andra myndigheter och företagen inom branschen har. Även internationell kunskap har utnyttjats.

Enligt social- och hälsovårdsministeriets beslut (994/92), som utfärdades 1992, skall radonhalten i en bostad underskrida årsmedelvärdet 400 becquerel per kubikmeter (Bq/m^3). När nya bostäder byggs gäller ett maximivärde på 200 Bq/m^3 för radonhalten.

Maximivärdet 400 Bq/m^3 överskrids i ca 3 % av alla bostäder i Finland, i sammanlagt ca 50 000 bostäder (Arvela, Mäkeläinen, Castrén 1993). Av dessa är största delen småhusbostäder och ca en tiondedel flervåningsbostäder. Maximivärdet överskrids i genomsnitt i 4 % av småhusen i vårt land. De regionala skillnaderna är betydande. På vidsträckta områden i Södra Finlands län överskrids maximivärdet i ca 15 % av bostäderna. I de län där de lägsta radonhalterna uppmätts är dessa bostäders andel 1–3 %.

1.1 Hur kommer radon in i bostaden

Den största radonkällan i småhus är markens radonhaltiga jordluft. All jord innehåller vanligen 30 % tomt utrymme, och luften i detta utrymme kallas jordluft. Uranet i jordens mineraler upprätthåller i jordluften en ständigt hög radonhalt på 20 000–100 000 Bq/m^3 .

Från marken strömmar vanligen 0,2–2 m^3 per timme radonhaltig jordluft in i småhusen (Arvela 1995a). I Finland är luften utomhus normalt kallare än inomhus. Detta betyder att luftens densitet är lägre inomhus än utomhus, vilket i sin tur innebär att lufttrycket inomhus är lägre än utomhus. Detta undertryck råder särskilt vid byggnadens grund, där det tvingar jordens radonhaltiga luft att röra sig från marken in i bostaden. Eftersom jordluftens radonhalt är mycket hög, är en liten strömning tillräcklig för att höja inomhusluftens radonhalt till hundratals becquerel per kubikmeter.

Markens luftgenomsläpplighet inverkar allra mest på hur mycket luft som strömmar in i bostaden (bilaga A). I grovt grus eller bergkross är luftgenomsläppligheten över tusenfaldig jämfört med täta jordarter, såsom fin sand och lera. På luftströmningen inverkar också storleken på springorna i grundkonstruktionen. Springan mellan golvplattan och väggen begränsar luftströmningen endast i liten utsträckning. Läckaget är betydande redan genom en springa på en millimeter. En större springa ökar inte nämnvärt strömningen. Normalt uppstår en springa som är några millimeter bred när betongplattan torkar, och störst inverkan på strömningens storlek har fyllnadsjordens egenskaper. Även ett genomsläppligt lager av fyllnadsgrus ökar jordluftens strömning. Sålunda kan radonhalten i ett hus som byggts på en mark som ursprungligen var tät också bli hög, om man under plattan av fukttekniska skäl använder grovt fyllnadsgrus eller ett lager av makadam. För att en radonsanering skall lyckas är det avgörande att minska mängden radon som kommer in i byggnaden med jordluften.

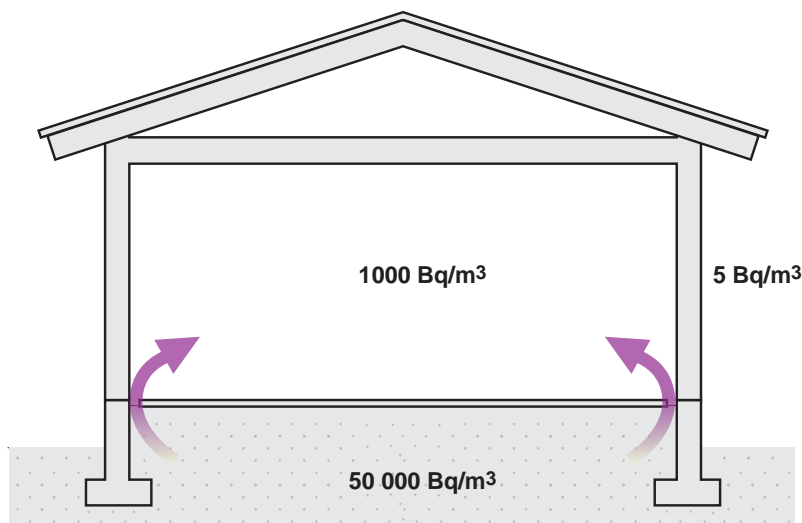


Bild 1.1. Jordluft strömmar in via springor i grundkonstruktionen och ökar radonhalten i inomhusluften.

Bild 1.2 och 1.3 visar vilka vägar jordluften kan komma in vid olika grundläggningar. Den viktigaste vägen är den krympsprunga som finns mellan en golvplatta på mark och sockeln. Övriga möjliga vägar via vilka radonhaltig luft kan komma in i bostaden samt radonkällorna är följande:

- anslutningspunkterna mellan plattan och de bärande mellanväggarna
- de bärande mellanväggskonstruktionerna, som går genom bottenbjälklaget

- sprickor i golvplattan
- jordgolv i källare
- genomföringar i golvplattan för huvudelledningen och vattenledningen
- grundläggningarna för öppna spisar och golvfogar eller öppna spisars konstruktioner
- radonhaltigt hushållsvatten, borrbrunnar
- stenbaserade byggmaterial

Jordluftsläckagen höjer betydligt radonhalten i inomhusluften förutom i småhus även i bostäderna på de nedersta våningarna i flervåningshus där golvplattan läggs direkt på marken. I dessa bostäder är radonhalterna i medeltal högre än i småhus. I flervåningshus höjs radonläckaget via bottenbjälklaget av det undertryck som uppstår på grund av bostädernas täthet och mekaniska frånluftsventilation. Det stora undertryck som självdraget i en hög byggnad skapar kan också höja läckageströmningarna.

I små- och flervåningshus med väggar av betongelement orsakar radonet från byggnadsmaterialen vanligen en radonhalt på 30–100 Bq/m³ i inomhusluften. I ett småhus där endast golvplattan är av betong höjer plattan radonhalten i inomhusluften högst 30 Bq/m³. I Finland har byggnadsmaterialen veterligen inte ensamma orsakat radonhalter som överstiger maximivärdet för inomhusluft. I Sverige tillverkades under åren 1929–1975 lättbetong av alunskiffer med hög radiumhalt. Sådana betongblock är i viss mån i bruk på Åland. Med ytbehandling och god ventilation är det dock möjligt att undanröja eventuella radonolägenheter.

Om man i en bostad använder borrbrunnsvatten, är det möjligt att vattnets radonhalt höjer radonhalten i rumsluften. Radon frigörs i tvättstall, tvättmaskiner och duschar från vattnet till rumsluften. Hur mycket radon i bostäderna som härstammar från vatten beror på sättet att använda vattnet, vattenmängden, bostadens storlek och ventilationen. I bostäder där borrbrunnsvatten används är det alltid nödvändigt att också mäta radonhalten i hushållsvattnet.

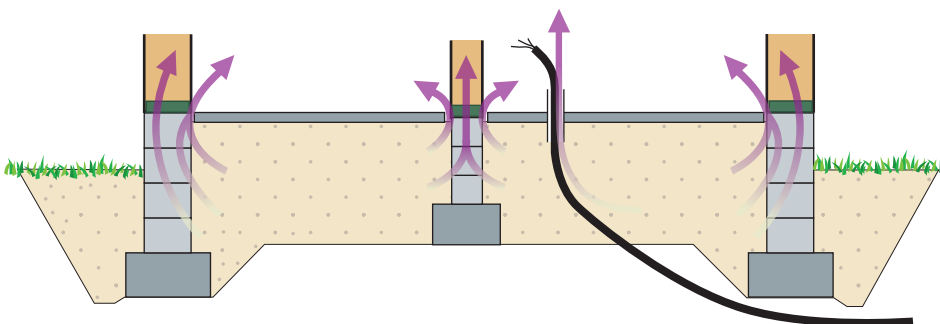


Bild 1.2. Radonhaltiga luftens läckagevägar genom en platta på mark.

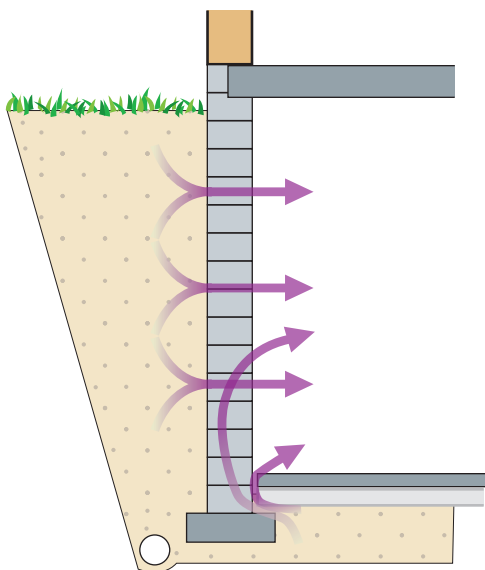


Bild 1.3. Radonets läckagevägar, i byggnader med källare eller på den nedersta våningen i ett sluttningshus.

1.2 Bestämmelser och anvisningar

Enligt social- och hälsovårdsministeriets beslut (944/92) skall radonhalten i rumsluft inte överstiga 400 Bq/m^3 . Nya bostäder skall planeras och byggas så, att radonhalten inte överstiger värdet 200 Bq/m^3 . Med radonhalt avses i beslutet årsmedelvärdet av radonhalten.

Anvisningar om hur radonhalten bestäms har getts i Anvisningar om boendehälsa (Social- och hälsovårdsministeriet 2003). Radonmätningen, med vilken radonhalten bedöms, skall utföras med en mätmetod som Strålsäkerhetscentralen godkänt. Mätmetoden skall vara sådan att den bestämmer medelvärdet för radonhalten under mätperioden genom kontinuerlig mätning. Mätperioden skall vara minst två månader. Mätningar under sommaren kan ge onormalt låga värden på grund av perioder med varmt väder och fönstervädning. På vintern kan radonhalten i rumsluften vara mångfaldig jämfört med de halter som uppmätts under sommaren. Av denna anledning kan en radonmätning enligt social- och hälsovårdsministeriets beslut godkännas endast om den utförs mellan den 1 november och den 30 april.

Enligt anvisningen om boendehälsa får man en tillräckligt noggrann bedömning genom att använda två mätare. I små bostäder kan man även använda en enda mätare. Mätaren placeras i den nedersta bebodda våningen i bostaden. Om man använder två mätare i en tvåvåningsbostad placeras den andra mätaren

på övre våningen. När man använder två eller flera mätare, beräknas rumsluftens radonhalt som ett medelvärde av de halter som de olika mätarna ger så att det vägs mot den genomsnittliga vistelsetiden. Största delen av mätningarna i Finland har gjorts med en mätare. Med en mätare får man normalt en tillräckligt god bedömning av radonhalten i rumsluften i en bostad.

En klar anvisning om hur årsmedelvärdet av radonhalten skall tolkas har getts i Anvisningar om boendehälsa (Social- och hälsovårdsministeriet 2003). Om en mätning utförd under tiden november–april visar att radonhalten i rumsluften överstiger 200/400 Bq/m³ med mer än 20 %, överskrider radonhalten det maximumvärde som anges i social- och hälsovårdsministeriets beslut (994/92).

I praktiken görs de flesta besluten om sanering på basis av den radonmätning som utfördes under mätperioden. Husägarna väljer därmed en något strängare grund för sitt beslut än vad social- och hälsovårdsministeriets beslut och anvisningen om boendehälsa ger möjlighet till.

Till grundprinciperna inom strålskyddet hör att man skall minska exponeringen för strålning alltid när det är ändamålsenligt och praktiskt genomförbart. Enligt denna princip har Strålsäkerhetscentralen uppmanat till att överväga om även halter på över 200 Bq/m³ skall sänkas. Att kontrollera att ventilationen används rätt och att täta uppenbara och lätta läckageställen är enkla åtgärder som det är lönt att vidta.

I kapitel 11 redogörs för de bestämmelser och anvisningar som gäller arbetsplatser. I kapitel 14 granskas de bestämmelser och anvisningar som gäller byggande av nya hus.

1.3 Ventilationens betydelse

Ventilationen minskar halten av radon och alla andra föroreningar i inomhusluften. Människans ämnesomsättning producerar bl.a. koldioxid. I SHM:s Anvisning om boendehälsa behandlas kort behovet av ventilation samt kontroll, mätningar och förbättring av ventilationen (Social- och hälsovårdsministeriet 2005 och 2008).

Inomhusluften uppfyller inte kraven i hälsoskyddslagen om koldioxidhalten överstiger 2 700 mg/m³ (1 500 ppm). Uteluftsflödet borde i allmänhet vara ca 4 l/s per person, för att koldioxidhalten inte skall överstiga riktvärdet. Eftersom det i bostäder också finns många andra föroreningskällor behövs i praktiken mer uteluft, 8–10 l/s per person. Vid bedömning av behovet av ventilation bör man även beakta de olägenheter som en alltför kraftig ventilation för med sig: exempelvis drag och för torr inomhusluft när temperaturen är under – 5 °C.

Ur hälsosynvinkel är en bostads ventilation tillräcklig om den luftväxling som ventilationssystemet åstadkommer är minst 0,5 m³/h per byggnadskubik-

meter som är bebodd (luftväxlingskoefficient 0,5 l/h). Detta betyder att hälften av bostadens luftvolym byts på en timme. Om bostadens luftväxlingskoefficient är bara 0,1 l/h byts endast en tiondedel av luften på en timme. Radonhalten är då femfaldig jämfört med den situation få luftväxlingskoefficienten är 0,5 l/h. Det ovan nämnda uteluftsflödet 10 l/s per person betyder att luftväxlingskoefficienten är 0,5 l/h i ett trepersoners hushåll, om bostadens volym är ca 220 m³.

I kapitel 8 granskas ventilationstekniska metoder för att minska radonhalten.

1.4 Undertryckets betydelse

I Finland är luften utomhus normalt kallare än inomhus. Detta betyder att luftens densitet är lägre inomhus än utomhus, vilket i sin tur innebär att lufttrycket inomhus är lägre än utomhus. Detta undertryck råder särskilt vid byggnadens grund, där det tvingar jordens radonhaltiga luft att strömma från marken in i bostaden. Eftersom jordluftens radonhalt är mycket hög, är en liten strömning tillräcklig för att höja inomhusluftens radonhalt till hundratals becquerel per kubikmeter. När undertrycket blir större blir också luftströmningen från marken större. Undertrycket har således en avgörande betydelse för nivån på radonhalten, om det i bottenbjälklagets konstruktioner finns läckagevägar för jordluften.

Utöver temperaturen inverkar också vinden på tryckförhållandet mellan bostaden och marken. Variationerna i temperatur, vindriktning och vindstyrka ger en kraftig variation i radonhalten. Av denna anledning bör radonhalten mätas under minst två månaders tid och medelvärdet bestämmas.

Om bostaden har mekanisk ventilation inverkar både de ovan nämnda naturliga orsakerna och de luftströmmar som den mekaniska ventilationen åstadkommer på undertrycket. Vid mekanisk ventilation är undertrycket i bostaden alltid större än i hus med självdragsventilation. Detta beror på att en ventilationsanläggning enligt del D2 i Finlands Byggbestämmelsesamling skall ställas in så att det är ett undertryck i bostaden. Övertryck i en bostad kan leda till fuktskador i byggkonstruktionerna. När man använder en mekanisk frånluftsventilation är undertrycket betydligt större än vid användning av mekanisk tillufts- och frånluftsventilation. I tillufts- och frånluftsventilationssystem ställer man in tillufts- och frånluftsflödena så att det i bostaden blir endast ett lätt undertryck.

Tabell 1.1 visar typiska nivåer på undertrycket i bostäder i Finland. Tekniska högskolans VVS-laboratorium och Strålsäkerhetscentralen undersökte nivåerna på undertrycket på bostadsmässområdet i Tusby år 2002 (Airaksinen et al.). Resultaten som presenteras i tabell 1.1 erhöles i denna undersökning,

som ger en rätt så representativ bild av byggandet i Finland. Det mekaniska frånluftssystemet är med avseende på radonhalten den mest problematiska lösningen. Undertrycket är som högst när husets konstruktioner är täta. Enligt dagens krav skall det i byggnader med mekaniskt frånluftssystem också finnas ventiler för ersättningsluft. Med dem kan man emellertid endast i begränsad utsträckning minska undertrycket.

Tabell 1.1. Typiska nivåer på undertrycket i småhus med olika ventilationssystem. Nivåerna på undertrycket ges för småhus med en våning då utomhustemperaturen är 0°C. Vid högre bostäder och vid lägre utomhustemperaturer blir självdragets andel av undertrycket större.

Ventilationssystem	Typiska nivåer på undertrycket i småhus Pa (pascal)
Självdraagsventilation	1-2
Mekaniska frånluftsväntilation	7-10
Mekanisk tillufts- och frånluftsväntilation	2-5

1.5 Radonsaneringsforskningen i Finland

De första radonsaneringsstudierna i Finland utfördes under åren 1985–1986. I sju bostäder sjönk radonhalterna från en nivå på 1 200–27 800 Bq/m³ till en nivå på 80–380 Bq/m³ (Miljöministeriet 1986). Radonsugen var i de flesta objekten den effektivaste metoden. I Tammerfors tekniska högskola gjordes den första omfattande studien om användning av ventilationstekniska metoder (Keskinen et al. 1989). På Pispala ås undersöktes användningen av radonbrunn i ett samarbete mellan Tammerfors stad, Insinööri-toimisto Paavo Ristola (ingenjörbyrå) och Strålsäkerhetscentralen (Reisbacka och Arvela 1991). Flera av de undersökningar som Tekniska högskolans laboratorium för husbyggnadsteknik utfört ger grundläggande kunskap om saneringsbyggande och radonbekämpning vid byggandet av nya bostäder (Viljanen et al. 1987, Kettunen et al. 1993).

År 1993 påbörjades en radonsugsundersökning som utfördes i ett samarbete mellan Tekniska högskolans laboratorium för husbyggnadsteknik och Strålsäkerhetscentralen. Undersökningen finansierades av både miljöministeriet och social- och hälsovårdsministeriet. Arbetet resulterade i publicering av en saneringshandbok om radonsugar (Miljöministeriet 1996). Av denna handbok ges en förnyad förlaga ut år 2009 (Miljöministeriet 2009). Handboken är avsedd för konstruktörer och saneringsföretag samt även för privata sanerare. I bakgrundsrapporten till år 1996 års handbok redovisas detaljerat saneringsresultat samt ges exempel på sugens funktion inklusive beräkningar av flöden (Kettunen et al. 1997). I Kuopio universitet har man studerat undertryckets inverkan på radon-

halten (Keskkikuru et al. 1993).

Målet med Strålsäkerhetscentralens saneringsstudie har varit att samla in data om radonsaneringsmetoder och sänkning av radonhalterna så att man skall få ett underlag för beslutsfattande och utarbetande av saneringshandböcker. Den första STUK-saneringsanvisningen publicerades år 1992 (Strålsäkerhetscentralen 1992). Strålsäkerhetscentralen har hela tiden hållit sig uppdaterad vad gäller resultaten vid radonsaneringar i Finland. Under åren 1992 och 1995 sändes en detaljerad enkät till 250 respektive 350 hushåll, som hade meddelat att radonsaneringar utförs i samband med radonmätningarna (Arvela, Hoving 1993). Omkring 450 boende returnerade blanketten. Resultaten presenterades i Strålsäkerhetscentralens saneringshandbok år 1995 (Arvela 1995). Enkäten upprepades under åren 2000 och 2001. Objekten för dessa enkäter var de saneringar som hade anmälts under åren 1995–2000. I denna rapport presenteras resultaten i detta material.

Tekniska högskolans VVS-tekniska laboratorium har undersökt ventilationens, undertryckets och friskluftsventilernas inverkan på radonhalten i samarbete med Tekniska högskolans laboratorium för husbyggnadsteknik och STUK (Kurnitski et al. 1999). På bostadsmässområdet i Tusby undersökte VVS-laboratoriet hur olika ventilationssystem fungerar och hur de inverkar på radonhalten i inomhusluften (Airaksinen et al. 2002).

Strålsäkerhetscentralen har studerat radonsaneringar i otaliga separata objekt. I objekten har saneringsmetoden varit radonbrunn och radonsug samt även tätning av konstruktioner och ventilationstekniska åtgärder. Resultaten av studierna har utnyttjats i denna rapport.

År 2006 undersöktes radonsaneringar på Pispala ås av två ingenjörsstuderande som gjorde sitt examensarbete. Detta var ett samarbete mellan Tammerfors yrkeshögskola, Tammerfors stad och Strålsäkerhetscentralen (Raatikainen och Tuhola 2006). De grova grusmarkerna och den branta terrängen på Pispala ås höjer radonhalterna i bostäderna och ställer särskilda krav på saneringarna.

Strålsäkerhetscentralen har deltagit i två omfattande sameuropeiska studier (ERRICCA och ERRICCA 2), vilka förutom sanering och nybygge även gällde mätning och kartläggning av radon, byggmaterial samt nationella författningar och anvisningar.

2 Saneringsmetodernas effektivitet

2.1 Undersökningsobjekt

Under åren 2000 och 2001 genomfördes en enkätundersökning i vilken man sände en tilläggsenkät till de husägare som utfört en radonsanering. Till objekt valdes de husägare som i enkätblanketten som fylldes i vid radonmätningen uppgav att de hade gjort saneringar för att sänka radonhalten under åren 1995–2000. I enkätblanketten ställdes frågor om detaljer i anknytning till de utförda saneringarna, om grundkonstruktionerna och ventilationen. Över 500 boende returnerade blanketten. Utifrån svaren var det möjligt att klassificera den använda radonsaneringsmetoden i 400 hus. Uppgifterna om radonhalterna i de undersökta objekten före och efter sanering har fåtts från Strålsäkerhetscentralens radonmätningstjänst.

I denna handledning har man vid bedömningen av saneringsmetoderna och deras effektivitet utöver den ovan beskrivna enkäten även använt undersökningar som gjorts i otaliga separata objekt.

2.2 Radonmätningar

Radonmätningarna utfördes med Strålsäkerhetscentralens spårfilmsdetektor-metod. I den radonmätningdosa (diameter 45 mm, höjd 17 mm) som skickas per post finns en liten bit Makrofol-plastfolie (bild 12.1). Alfastrålningen, som radon och dess sönderdelningsprodukter sänder ut, skadar plasten. Efter en elektrokemisk behandling syns spåren och deras antal kan räknas. Radonhalten står i proportion till spårtätheten. I normala fall är en mätperiod två månader lång.

I en del objekt har man även utfört mätningar med kontinuerligt registrerande radonmätare. En sådan mätare lagrar resultatet i sitt minne, exempelvis en gång i timmen. Med denna mätning kan man observera om det har skett någon tydlig förändring i radonhalten. Exempelvis bilderna 4.1 och 10.7 visar variationen i radonhalten uppmätt med en radonmonitor; mätperioden har varit en timme. I regel baserar sig de radonhalter som redovisas i rapporten på spår-filmsmätningar som gjorts under två månader före och efter saneringen.

2.3 Saneringsmetodernas effektivitet

I detta kapitel ges ett kort sammandrag av de resultat som erhållits med olika metoder. Saneringsmetodernas effektivitet har granskats utifrån resultaten i den radonsaneringsenkät som utfördes under åren 2000–2001. De använda saneringsmetoderna och de erhållna resultaten visas på bild 2.1 och i tabell 2.1. I de följande kapitlen granskas varje saneringsmetod separat samt de faktorer som påverkat resultaten.

På bild 2.1 visas variationsbredd och typiska värden för radonhalten när den sänkts med olika metoder. Den till saneringseffekten mittersta andelen av materialet representerar typiska värden (kvartilerna, 25 % och 75 %, utgör gränser). I den bästa fjärdedelen av resultaten är sänkningarna större än de typiska värdena, i den sämsta fjärdedelen är sänkningarna däremot mindre. Resultaten kan tolkas så att under gynnsamma omständigheter och med en väl planerad sanering har man nått resultat som överstiger den typiska sänkningen.

Resultaten i tabell 2.1 baserar sig på en av Strålsäkerhetscentralen utförd enkät som var riktad till boende. Bland radonsaneringarna finns det flera saneringar som delvis är halvfärdiga samt saneringar som är bristfälligt planerade och genomförda. Med en väl planerad och genomförd sanering har man uppnått bättre resultat än de genomsnittliga sänkningar som visas i tabellen.

Vid mätning på vintern var medelvärdet av radonhalten i de undersökta 400 bostäderna före sanering 1 150 Bq/m³ och efter sanering ca 350 Bq/m³. Den genomsnittliga sänkningen av radonhalten var således 800 Bq/m³. Eftersom årsmedelvärdet av radonhalten är ca 20 % lägre än den halt som uppmäts på vintern motsvarar sänkningen en sänkning av årsmedelvärdet på ca 640 Bq/m³. Radonsug och radonbrunn var vanligare än andra metoder i bostäder med klart högre radonhalt. Därför var också de genomsnittliga sänkningarna i en egen klass, 1 000–2 500 Bq/m³. I detta material uppmättes den högsta genomsnittliga sänkningen med radonbrunn.

Radonsug och radonbrunn

De effektivaste metoderna har varit radonsug och radonbrunn. En radonsug kan installeras antingen genom golvet eller genom sockeln. Med en avluftsfläkt kopplad till en sugpunkt sugs luft in genom golvplattan (kapitel 4). Både med sugsystem och med radonbrunn har radonhalten vanligen sjunkit 70–90 %. Med andra metoder har resultaten varit sämre. Radonsugar som installeras genom sockeln har använts i hög utsträckning i radhuslängor, där golvplattan är mindre än i enfamiljshus. Det finns då förutsättningar för att radonsugen skall fungera väl och resultaten är i genomsnitt bättre än i enfamiljshus.

Tabell 2.1 innehåller också objekt där radonhalten har kunnat sänkas genom att i samband med nybyggnad koppla en avluftsfläkt till ett installerat radonrörssystem. En sug kopplad till ett rätt installerat radonrörssystem sänker i normala fall radonhalten mycket effektivt.

Med hjälp av en radonbrunn sugs luft från marken på ett djup av 3–5 meter (kapitel 5). Brunnen byggs utanför den byggnad som saneras. Den strömning som uppstår ”vädrar” jorden, och jordluftens radonhalt sjunker.

I bostäder med hög radonhalt kan man med radonsug eller radonbrunn sänka halten hela 99 %. Radonhalten kan sjunka från flera tusen Bq/m³ till en nivå på under 100 Bq/m³. Å andra sidan är det svårare att underskrida maximumvärdet 400 Bq/m³ om radonhalten uppgår till flera tusen Bq/m³. Då kan man utöver sug eller brunn behöva andra åtgärder.

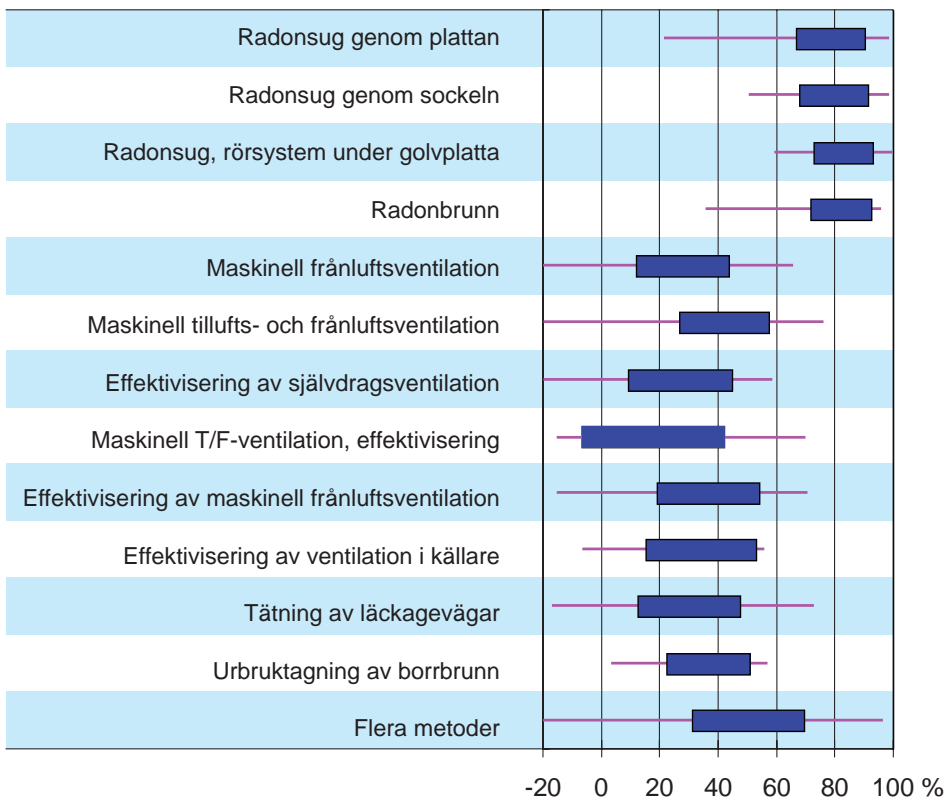


Bild 2.1. Den procentuella sänkning av radonhalten som vanligen uppnås med olika metoder (tjockare strecket, gränserna 25 % och 75 % av materialet) samt variationsbredden (tunna strecket). De negativa värdena är ett uttryck för den naturliga variationen i radonhalten mellan två olika mätningar, när sänkningen är liten.

Tabell 2.1. Med olika saneringsmetoder uppnådd typisk och genomsnittlig sänkning av radonhalten angiven i procent, medelvärdet av radonhalten i objekt före och efter sanering samt medelvärdet av sänkningen av radonhalten.

Metod Saneringarnas antal	Typisk sänkning av radonhalten och (mv) %	Före Bq/m ³	Efter Bq/m ³	Sänkning Bq/m ³
Radonsug genom plattan, 118	70-90 (75)	1310	280	1030
Radonsug genom sockeln, 35	70-90 (80)	1430	220	1210
Radonsug, rörsystem under golvplatta, 22	75-95 (85)	2000	120	1880
Radonbrunn, 15	75-95 (80)	3190	690	2500
Ny frånluftsventilation, 16	10-40 (25)	490	360	130
Ny tillufts-/frånlufts-ventilation, 28	20-50 (40)	960	670	290
Effektivisering av ventilationen, självdragsventilation, 17	10-40 (20)	530	370	160
Effektivisering av ventilationen, mask. frånluftsv., 15	0-40 (20)	480	300	180
Effektivisering av ventilationen, mask. till- och frånluftsv., 8	20-50 (30)	350	210	140
Ventilation av källaren, 5	10-50 (30)	410	280	130
Vädring av kryppgrunden, 2	30-80 (60)	740	270	470
Tätning av läckage, 20	10-50 (30)	560	380	180
Urbruktagnig av borrhunn, 6	20-50 (30)	350	230	120
Flera metoder, 92	30-70 (50)	1000	420	580
ALLA 399	40-80 (60)	1150	350	800

Ventilationstekniska åtgärder

Med ventilationstekniska åtgärder i bostäder sänker man radonhalten antingen genom att öka luftväxlingen eller minska undertrycket i bostaden eller använda båda metoderna (kapitel 8). Med dessa åtgärder har man uppnått sänkningar på över 50 %, om bostadens luftväxling före åtgärderna var liten eller om den maskinella ventilationen orsakade ett betydande undertryck i bostaden. Genom att effektivisera ventilationen har man typiskt uppnått sänkningar av radonhalten på 10–40 %. I många fall har inverkan varit så liten att man inte har kunnat se någon skillnad i radonhalten jämfört med den normala variationen.

Man har effektiviserat självdragsventilationen genom att öppna befintliga ventiler eller genom att öka antalet friskluftsventiler. Den maskinella frånluftsventilationen har effektiviserats genom att installera nya friskluftsventiler, genom att ta i bruk en fläkt som stannat eller genom att öka drifttiden och drifteffekten. De centrala åtgärder som har vidtagits vid effektivisering av den maskinella tillufts- och frånluftsventilationen har varit att övergå till kontinuerlig drift och att höja drifteffekten.

De bästa resultaten med de ventilationstekniska metoderna har uppnåtts genom att installera ett nytt maskinellt tillufts- och frånluftsventilationssystem i hus med en självdragsventilation som fungerar dåligt. Radonhalten har vanligen sjunkit med 20–50 % jämfört med utgångsnivån. De objekt där halterna har sjunkit mest har haft den sämsta nivån på ventilationen innan de ventilationstekniska åtgärderna vidtogs. Genom att installera maskinell frånluftsventilation har man uppnått klart sämre resultat. Effektivisering av ventilationen har vanligen sänkt radonhalten med 10–40 %. Installering av friskluftsventiler i tätt byggda småhusbostäder har ofta haft en betydande effekt. Genom installering av friskluftsventiler har man dock normalt inte kunnat sänka halten med över 50 %.

På de resultat som kan nås genom att installera ett nytt ventilationssystem inverkar kraftigt läget i fråga om ventilationen och undertrycket före radonsaneringen. Installering av ett nytt ventilationssystem är en dyr åtgärd. Av den anledningen bör en omsorgsfull lägesbedömning utföras innan man väljer saneringsmetod – i synnerhet om en sänkning av radonhalten är den enda grunden för valet. I allmänhet har ett nytt ventilationssystem valts när man samtidigt har velat förbättra ventilationen i bostaden. Radonsug och radonbrunn är de primära alternativen, som i normala fall är effektivare och billigare än ventilationstekniska åtgärder.

Tätning av konstruktioner

Genom att täta konstruktioner försöker man minska strömningen av radonhaltig luft från marken in i bostaden. När enbart tätning utförs sjunker radonhalten i vanliga fall 10–50 %. Tätning är effektivt endast om man kan täta läckagevägarna nästan fullständigt. Via en sockel som är gjord av murblock av lättklinker kan radonhaltig luft också komma in i väggkonstruktionerna. Av denna anledning ger en tätning av springan mellan golvplattan och väggen inte alltid önskat resultat. De bästa resultaten genom tätning av konstruktioner har uppnåtts när väggarna är gjorda av betongelement. Tätningar i flervåningshus har varit mer framgångsrika än i småhus.

Övriga metoder

I hus med ett ventilerat utrymme under bottenbjälklaget är ett lämpligt alternativ att effektivisera vädringen av detta kryprum. Radonhalten i en bostad kan vara hög på grund av bristfällig vädring av kryprummet eller luftläckage genom bottenbjälklaget. Väderförhållandena inverkar kraftigt på vädringen av kryprummet. För att erhålla en god ventilation bör vädringen göras maskinell.

Radonhalten i källarvåningar är betydligt högre än i de övre våningarna. När man åtgärdar ventilationen i en källare försöker man få källaren till en egen ventilationsenhet, som är skild från den övriga bostaden. Då minskar radonströmningen från källaren till boningsrummen. Radonhalten i källaren sänks genom att effektivisera ventilationen. Om källaren är den huvudsakliga radonkällan, kan radonhalten sjunka till och med över 80 %.

2.4 Val av saneringsmetod

Val och genomförande av olika saneringsmetoder samt de olika metodernas fördelar och nackdelar behandlas i kapitlen 4–11. I kapitel 15 ingår en kort anvisning för val av metod.

3 Undersökning av bostaden före sanering

Valet av rätt metod är en uppgift som kräver sakkunskap. Vid valet är det viktigt att känna till radonkällorna och byggnadernas konstruktioner. Varje bostad skall undersökas och bedömas separat. Valet av metod påverkas också av grundbotten, fyllnadsjorden och ventilationssystemet. Det viktigaste att utreda är följande:

- Grundbottens och fyllnadsjordens genomsläpplighet. Jordmaterialens grovlek inverkar på hur en radonsug eller en radonbrunn fungerar.
- Radonets eventuella läckagevägar in i bostaden (se kapitel 1.1 och bilder 1.2 och 1.3); av byggritningarna framgår konstruktionernas detaljer, det finns dock risk för att byggritningarna inte motsvarar det slutliga utförandet.
- Ventilationen och undertrycket i bostaden
- Om man i huset använder borrbrunnsvatten bör man mäta vattnets radonhalt. Om vattnets radonhalt är hög bör man före radonsaneringen ta reda på vilken inverkan vattnet har på radonhalten i bostadens inomhusluft.
- De radonbekämpningsåtgärder som vidtogs när huset byggdes inverkar betydligt på vilken saneringsmetod som skall användas, se kapitel 14. Dessa åtgärder kan bestå av montering av bitumenmembran mellan golvpattan och sockeln och/eller installering av ett radonrörssystem under plattan. I dessa fall bör man ta reda på om byggaren har ansvar för att installera den avluftsfläkt som skall kopplas till kanalen.

I kapitel 12 granskas kort några metoder som används vid undersökning av bostäder.

3.1 Radonmätning

Ett beslut om radonsanering bör basera sig på en korrekt utförd radonmätning. Radonhalten kan sommartid vara mycket låg jämfört med de halter som uppmäts under uppvärmningsperioden. En officiell radonmätning, som utförs enligt social- och hälsovårdsministeriets (SHM) beslut, skall utföras mellan november och april, och den skall vara två månader.

Väder, vind och utomhustemperaturer samt de boendes aktiviteter kan ge upphov till stora variationer i radonhalten. Därför kan en kortvarig mätning normalt inte ligga till grund för ett saneringsbeslut. Enligt social- och hälso-

vårdsministeriets publikation Anvisning om boendehälsa kan man uppskatta årsmedelvärdet genom att minska det mätresultat som erhållits på vintern med 20 %.

Om huset står på en ås kan de förändringar som vädret ger upphov till vara exceptionellt kraftiga. På toppen av åsen kan årsmedelvärdet vara hälften så lågt som de höga värden som uppmäts på vintern. I nedre delen av sluttningar kan det finnas områden där halten är högre på sommaren än på vintern. Det betyder att årsmedelvärdet är högre än de värden som uppmäts på vintern. Det enda sättet att ta reda på om denna typ av variationer förekommer är att vid behov utföra flera mätningar under olika årstider.

Ett beslut om radonsanering bör basera sig på en radonmätning i boningsrummen. I källar- och lagerutrymmen kan radonhalterna vara mycket höga trots att radonhalten i boningsrummen inte är för höga. Dessa utrymmen, där man vistas endast kortvarigt, behöver inte saneras.

3.2 Grundbotten och grundläggning

Grundbotten och byggnadens grund inverkar på planeringen av radonsaneringen.

I miljöministeriets handbok om radonsugar (Miljöministeriet 2009) finns beskrivet vad en konstruktionsteknisk utredning som föregår sanering skall innehålla. När det gäller grundbotten och grundläggningen är huvudpunkterna i den konstruktionstekniska utredningen följande:

- jorden i grundbotten
- fyllnadsjordens kvalitet och djup
- bottenbjälklag, grundläggningsmetod
- placering av de bärande mellanväggarna
- källarhus och sluttningshus, konstruktionen på väggarna mot marken
- låga konstruktioner mot marken, olika golvnivåer inomhus
- genomföringar för värme-, vatten- och elledningar i bottenbjälklaget
- konstruktionernas kondition
- behovet av och möjligheterna till tätning

3.3 Den radonhaltiga luftens läckagevägar

Den radonhaltiga luftens läckagevägar inverkar på valet av saneringsmetod. Det är viktigt att man har identifierat läckagevägarna när man skall välja saneringsmetod och utföra saneringen. Läckagevägarnas betydelse och eventuella tätningar behandlas i kapitel 6 "Tätning av konstruktioner".

Ibland kan man i bostäder som saneras påträffa exceptionellt kraftiga

radonkällor som nästan ensamma orsakar höga radonhalter. Sådana har observerats exempelvis i följande fall.

- En betydande läckande genomföring i en bostad där andra läckagevägar är betydelselösa. Sådana har man påträffat exempelvis i nya byggnader där man har använt bitumenmembran vid tätning av fogen mellan plattan och grundmuren.
- Utrymmen med jordgolv, varifrån luft kommer in i boningsrummen.
- Tekniska utrymmen där man inte har tätat läckorna, medan man däremot i boningsrummen har tätat läckorna. Det tekniska utrymmets inverkan kan vara stor, om luften därifrån kan strömma in i boningsrummen.

3.4 Granskning av ventilationen

Om man misstänker att ventilationen fungerar otillfredsställande behövs en undersökning av ventilationen. Radon ställer specialkrav på hur granskningen av ventilationen skall utföras, eftersom i synnerhet maskinell ventilation inverkar på undertryckets nivå i en bostad. Undertrycket i sin tur ökar flödet av radonhaltig luft från marken. Undertryckets betydelse behandlas i kapitel 1.4.

I SHM:s Anvisning om boendehälsa behandlas kort behovet av ventilation samt kontroll, mätningar och förbättring av ventilationen (Social- och hälsovårdsministeriet 2008). Ventilationen behandlas i kapitel 1.3 i denna rapport.

Använd dig av ventilationsexperter. När du anlitar ett ventilationsföretag för bedömning av hur effektiv ventilationen är, begär ett mätprotokoll av vilket framgår ventilationsanläggningens driftläge (på/av), uppmätta luftströmmar och driftseffektlägena. I flervåningshus är det viktigt att mäta luftströmmarna även vid normal luftväxling och inte enbart med effektiviserad luftväxling. Luftväxlingen är effektiviserad endast några timmer per dygn.

Maskinell frånluftsventilation eller oreglerad tillufts- och frånluftsventilation kan öka undertrycket i en bostad. Undertrycket ökar strömningen av radonhaltig luft från marken in i bostaden. Risken för undertryck är störst när bostaden är tät. Särskilt i småhus byggda med betongelement är det viktigt att se till att det finns tillräckligt med tilluftskanaler. Regleringen av ett tillufts- och frånluftsventilationssystem går till så att man ställer in frånluftsflödet så att det är större än tilluftsflödet. Ventilationsexperter utför regleringen i enlighet med tillverkarens anvisningar.

Följande saker kan du emellertid själv kontrollera:

Självdraagsventilation

- Är ventilerna för ersättningsluft och frånluftsventilerna öppna?
- När frånluftsventilerna är placerade i tvätttrum eller exempelvis i en garderob skall det under dörren till rummet finnas en springa genom vilken luften från de övriga rummen i lägenheten (boningsrummen) kan strömma in i rummet i fråga och ut via frånluftsventilen.
- Enligt de nyaste kraven borde det i bostäder finnas friskluftsventiler i alla rum.

Maskinell frånluftsventilation

- I en bostad utrustad med maskinell frånluftsventilation skall det enligt de nuvarande bestämmelserna finnas frånluftsventiler i kök och i tvätttrum. I vardagsrum och i sovrum borde det finnas friskluftsventiler.
- Driftseffekt och driftstid, avsedda att vara i ständig drift.
- Är tilluftsmängden tillräcklig? Friskluftsventilerna säkerställer att luft kommer in och minskar undertrycket i bostaden. I en tät bostad kan effektivisering av frånluftsanläggningen till och med leda till att radonhalten stiger, även om luftomsättningen samtidigt skulle öka.

Maskinell tillufts- och frånluftsventilation

- I en bostad utrustad med maskinell till- och frånluftsventilation finns det tilluftsventiler i vistelse- och sovrum samt frånluftsventiler i kök och tvätttrum. Systemet är utrustat med en värmeåtervinningsenhet.
- Driftseffekt och driftstid, avsedda att vara i ständig drift.
- Regelbunden rengöring eller byte av filter.
- Reglering av tillufts- och frånluftsflödena, finns det ett mätprotokoll över regleringen? Förhållandet mellan luftflödena inverkar på undertrycket.

4 Radonsug

4.1 Radonsugens lämplighet

Radonsug kan användas om det under golvplattan finns sand, grus eller kross, eftersom dessa är jord- eller bergmaterial som lätt släpper igenom luft. Under plattan skall man enligt de nuvarande bestämmelserna använda jordmaterial som inte innehåller finare fraktioner. På detta sätt kan man förhindra att fukt transporteras med kapillärkraften från marken in i konstruktionerna.

Hur väl en radonsug fungerar påverkas både av vilka typer av fyllnadsjord som använts, vilket jordmaterial som använts direkt under plattan samt hurdan den ursprungliga marken var. Radonhalten i bostaden påverkas också av samma faktorer.

I kapitel 4.16 granskas problemsituationer där instruktionerna för radonsugen inte fungerar tillfredsställande. Om det under golvplattan finns ett mycket genomsläppligt fyllnadsmaterial, såsom grov makadam, och det också finns makadam under och utanför grundmurarna, kan inte radonsugen få till stånd ett undertryck under plattan med måttliga luftströmmar.

4.2 Instruktioner om radonsugen

I detta kapitel används i stor utsträckning miljöministeriets handbok om radonsugar: "Pien- ja rivitalojen radontekninen korjaus, Imupistemenetelmä" (Radonteknisk sanering av små- och radhus. Radonsugmetoden. Miljöministeriet 2009). Handboken ger grundläggande information om projekteringen av radonsugar samt detaljerade byggnadstekniska råd om radonsugar. Handboken är utarbetad särskilt för dem som planerar saneringar och för fackmän inom saneringsbranschen, men den lämpar sig också för privata sanerare. Den innehåller också information om hur fukt- och värmetekniska faktorer skall beaktas vid planeringen. Vi beslutade att i denna rapport endast behandla de viktigaste punkterna i miljöministeriets handbok.

4.3 Funktionsprincip

Med radonsug får man till stånd ett undertryck under golvplattan. Undertrycket minskar luftströmningen från marken in i bostaden och vid en lyckad sanering upphör luftströmningen helt. Undertrycket skapas med hjälp av en fläkt som suger luft från en eller flera punkter under golvplattan. Radonsugen sänker

också radonhalten i läckageluftströmmen. Den luftström som sugen får till stånd leder in radonfri utomhusluft i marken, vilket sänker radonhalten i jordluften. Av denna anledning kallas metoden med radonsug på finska ibland också rakenspohjan tuuletus (‘vädring av grundbotten’). Eftersom sugen suger luft via en punkt och inte via kanaler under plattan (Radonbekämpning vid nybygge, kapitel 14), kallas metoden på finska även imupistemenetelmä (‘sugpunktsmetoden’) (Miljöministeriet 1996 och 2008).

Eftersom radonsugen effektivt minskar strömningen av radonhaltig luft från marken in i bostaden, kan man snabbt se en sänkning av radonhalten (bild 4.1).

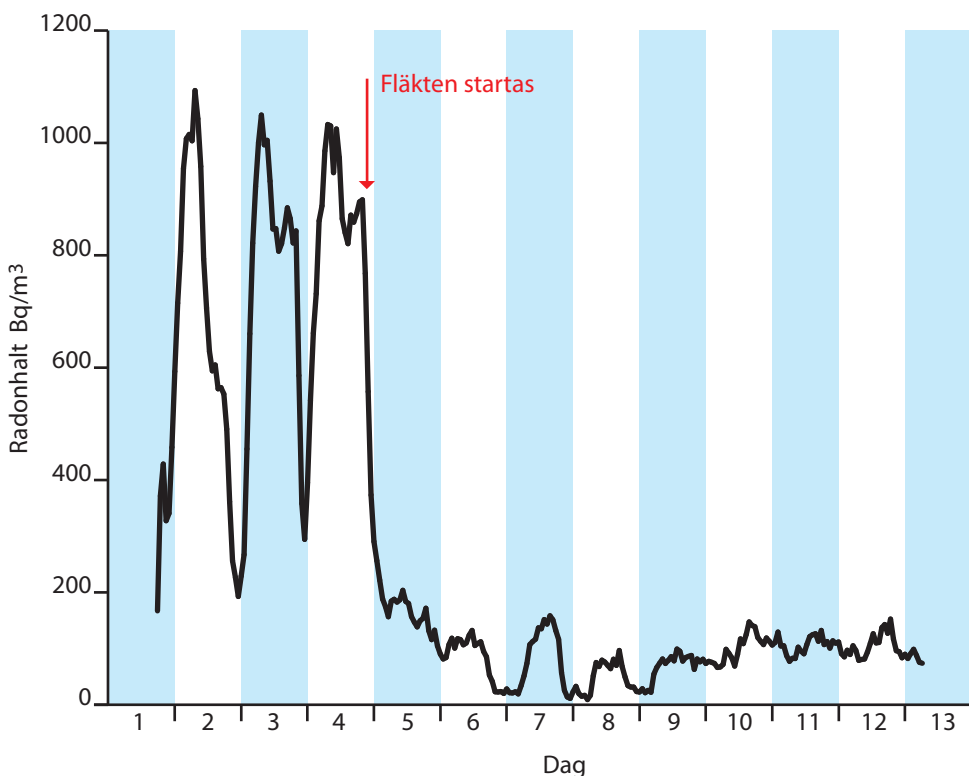


Bild 4.1. Bilden visar hur radonhalten sjunker i en parhusbostad i Helsingfors, då fläkten kopplades på. Variationen i halten under de första dagarna beror på den stora skillnaden mellan temperaturen på dagen och temperaturen på natten i augusti.

Bild 4.2 visar en radonsug och dess delar. Radonsugen suger luft via en grop som urschaktas under plattan. Suggropen minskar strömingsförlusterna och främjar fortplantningen av strömningen till ett så stort område som möjligt. Suggropen kan vara av grund typ som på bild 4.2 eller av en djupare typ som på bild 4.5.

Bild 4.3 visar radonsugens funktionsprincip i ett hus med låg grund. I bästa fall ändrar radonsugen riktningen på strömningen av läckageluft via springorna i bottenbjälklaget. Om det i byggnaden finns bärande mellanväggar som står på grundmuren och grundsulorna, kan de begränsa sugens effekt så att den påverkar endast vissa delar av grunden. Bild 4.4 visar en radonsug i ett hus vars grund består av flera segment. Radonsugen har effekt endast i det ena segmentet.

Bild 4.5 visar en radonsug i ett hus med källare. I detta fall suger radonsugen via en så kallad djup sugpunkt. En djup sugpunkt kan användas om marken är tillräckligt genomsläpplig även under fundamentnivån. Med hjälp av denna lösning har sugen effekt under hela byggnaden även om det finns bärande mellanväggar.

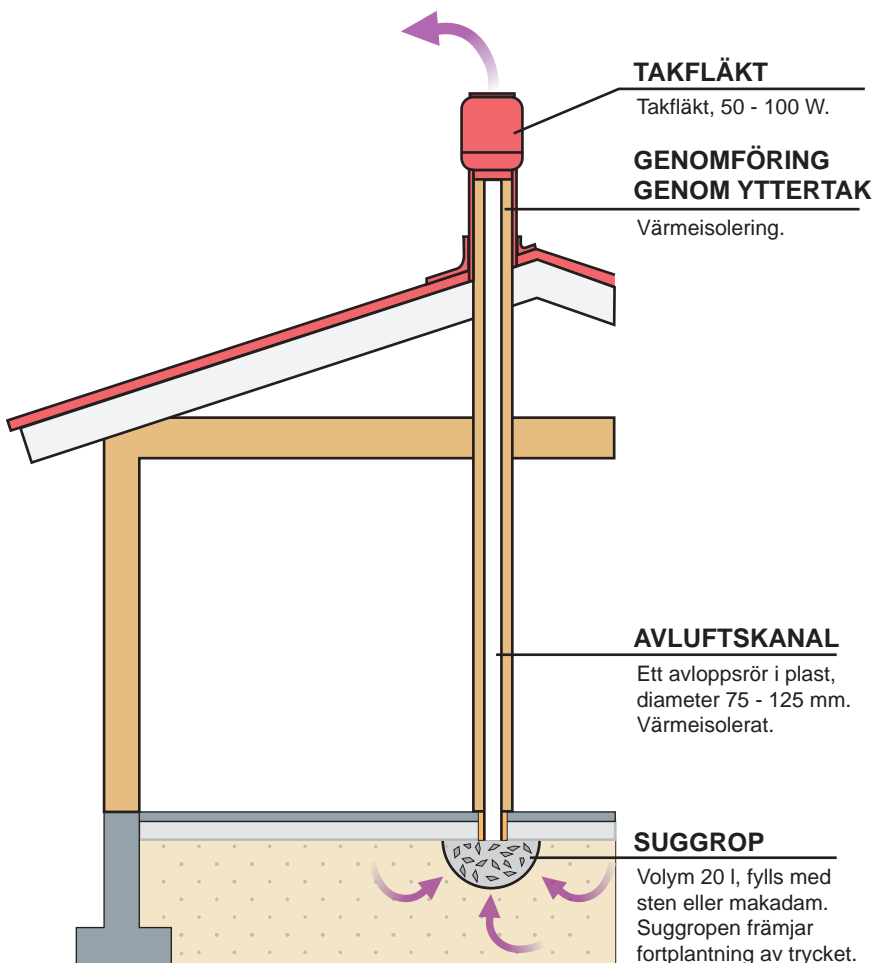


Bild 4.2. Radonsugens funktionsprincip och delar.

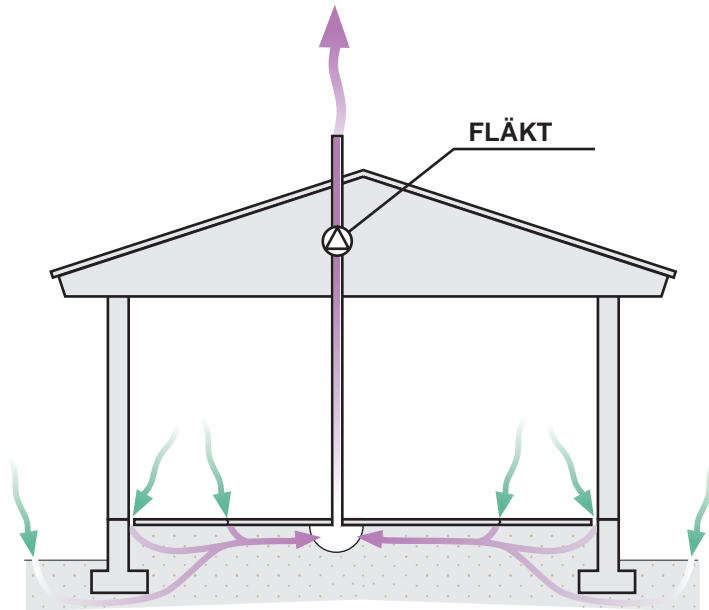


Bild 4.3. Radonsug i ett hus med låg grund och enhetligt bottenbjälklag. Radonsugen har i bästa fall effekt under hela plattan. Jordluftens radonhalt sjunker då luft sugas in i marken från byggnadens omgivning.

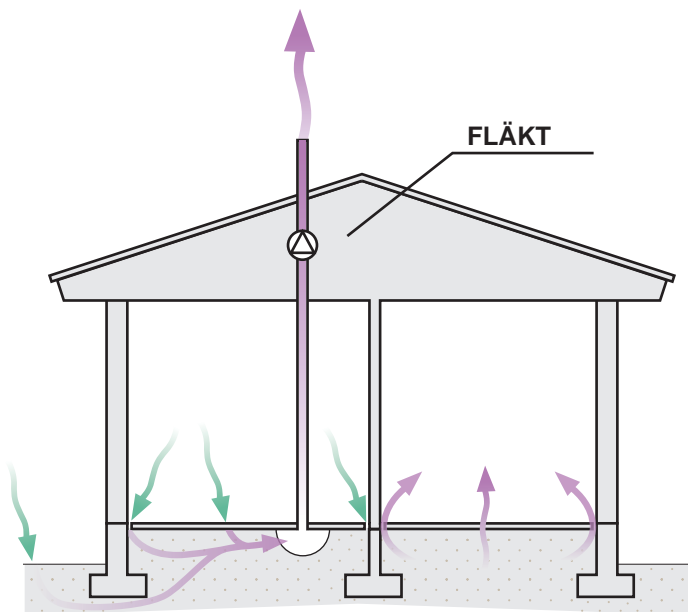


Bild 4.4. Radonsug i ett hus med låg grund, där det finns flera segment i grunden. Sugkraften inverkar bara i det segment där sugpunkten finns. Ersättande luft kommer endast från den ena sidan av byggnaden.

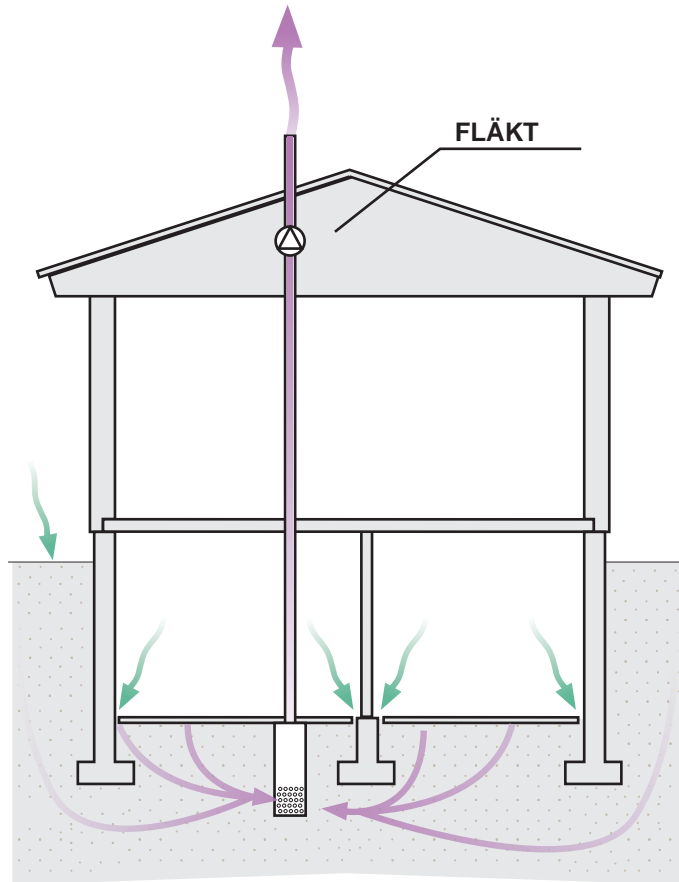


Bild 4.5. Radonsug i ett hus med källare med bottenbjälklag med flera segment. Sug med en så kallad djup sugpunkt. Marken är genomsläpplig även under grundsulorna. Sugkraften inverkar under hela byggnaden.

4.4 Projektering av radonsugen

När det gäller de grundläggande utredningar som behandlas i kapitel 3.2 skall man vid planeringen beakta särskilt följande:

- Jordarterna i grundbotten. Sugpunkten bör placeras i ett jordlager som är tillräckligt genomsläppligt.
- Bottenbjälklagets och de bärande mellanväggarnas placering och konstruktion (kapitel 4.5). Planeringen är enklast då plattan är enhetlig och har formen av en rektangel.
- Typen av golvkonstruktion på mark. Om ett skålat trägolv har lagts på plattan skall man beakta risken för fuktskador. Då radonsugen är påkopplad börjar fuktig inomhusluft transporteras till marken under

plattan. Då luften kommer i kontakt med kalla golvkonstruktioner i trä finns det risk för fuktskador. Situationen bör bedömas av en person som har värme- och fuktteknisk sakkunskap.

- Man bör också bedöma om den luftströmningsväg som sugen åstadkommer eventuell kan leda till fukt-kondensation i närheten av konstruktioner som gränsar till uteluften.
- Behovet av och möjligheterna för tätning av konstruktioner på mark. Genom tätning kan man vid behov effektivisera sugens funktion. Med radonsug har man dock för det mesta uppnått goda resultat utan tätningsåtgärder eller med begränsade tätningsåtgärder.
- Tätning av genomföringarna i bottenbjälklaget. En otätad genomföring i närheten av sugpunkten kan betydligt försämra resultatet.
- De praktiska möjligheterna att placera sugpunkten.
- Möjligheterna att montera avluftskanalen och avluftsfläkten.

4.5 Bärande mellanväggars inverkan

Bärande mellanväggar inverkar i stor utsträckning på antalet sugpunkter som behövs och var de skall placeras. Följande är viktigt att beakta:

- En enhetlig betongplatta vid en bärande mellanvägg inverkar på var sugpunkten skall placeras. Avståndet till springan mellan väggen och plattan skall vara minst 0,5 m.
- Mellanväggens (grundmuren under plattan) luftgenomsläpplighet. Om grundmuren är gjord av murblock av lättklinker, som lätt släpper igenom luft, kan sugpunkten inverka även på andra sidan om grundmuren.
- Höjdläget för de bärande mellanväggarnas fundament i förhållande till det täta jordlagret. Om det mellan mellanväggarnas fundament och det täta jordlagret finns mer lättgenomsläpplig jord, kan sugpunkten också ha effekt på andra sidan om väggen. Om mellanväggarnas fundament befinner sig högre upp än det täta jordlagret, kan man använda en djup sugpunkt för att få till stånd ett större influensområde (bilder 4.4 och 4.5).

4.6 Behovet av tätning

Målet med tätningsåtgärder är att avlägsna de vägar via vilka radonhaltig luft kan ta sig in i bostaden samt att effektivisera radonsugens funktion. Genom tätning är det också möjligt att minska det antal sugpunkter som behövs. De viktigaste tätningsobjekten och arbetsmetoderna behandlas i kapitel 6.

Tätning behövs om läckageställena försämrar sugens funktion. I de flesta

lyckade saneringar med sug har det inte varit nödvändigt med tätning.

Följande bör beaktas:

- genomföringar, luckor och kanaler kan fungera som betydande läckagevägar och försämra radonsugens funktion
- VVS- och elsystemens kontrolluckor i golvkonstruktioner
- luckor till husbolagens värmekanaler
- källargropar
- genomföringar för huvudvatten- och elledningar. Genomföringarna har i allmänhet gjorts med ett rör som har större diameter och som fungerar som en direkt anslutning till marken. Om man har använt ett dräneringsrör som genomföring, kan det leda till att radonhaltig luft sugas in i byggnaden från ett stort område. Sådana betydande genomföringar skall alltid tätas.

I några sällsynta fall behövs ingen sug, utan det räcker med att täta några genomföringar. Ett exempel på en sådan situation behandlas i kapitel 6.4, där tätning behandlas.

De rum eller utrymmen som har jordgolv fungerar som betydande läckagevägar och kan leda till att sugen inte fungerar som den skall. Vid gjutning av golv i sådana rum kan man tillämpa de anvisningar som getts för radonbekämpning vid nybyggnad (kapitel 14). Genom att installera ett sugsystem i ett sådant rum kan man få radonhalten att sjunka på ett ännu större område. I vissa fall ger denna typ av rum möjlighet att få till stånd en fungerande sugpunkt. Vid behov väljs en djup sugpunkt.

De fogar och sprickor som finns i närheten av sugpunkten skall tätas ända upp till 1,5–2 meter. Om de inte tätas försämrar de sugens funktion.

4.7 Placeringen av avluftskanalen och fläkten

Vid planering av avluftskanalen skall följande beaktas:

- placeringen av sugpunkterna
- möjligheterna för genomföring av kanalen
- möjligheterna att placera fläkten i husets konstruktioner
- de boendes trivsel och kanalens utseende
- möjligheten att använda befintliga rörkapslingar eller kanaler.

Vid placering av avluftskanalen och fläkten iakttas följande principer:

- fläkten placeras alltid utanför boningsrummen, då uppstår undertryck i den del av avluftskanalen som finns i boningsrummen
- ändan av avluftskanalen placeras på ett ställe där den radonhaltiga luften inte kan ta sig in tillbaka i bostaden Det finns skäl att i tillämpliga delar följa bestämmelserna i del D2 av Finlands byggnadsbestämmelsesamling
- sugen får inte orsaka störande buller

4.8 Sugpunkternas placering och antal

I hus som är byggda på en tät grundbotten såsom berg, morän, lera, silt eller tät sand installeras radonsugen genom golvet eller sockeln. Om grundbotten består av genomsläppligt grus är radonbrunn en alternativ saneringsmetod.

I miljöministeriets handbok finns detaljerade instruktioner om var sugpunkterna skall placeras. När man avgör hur många sugpunkter som behövs iakttas följande principer:

- varje segment som de bärande mellanväggarna (egna fundament) bildar behöver en egen sugpunkt
- oftast är det emellertid så att en eller två av dessa segment är mer betydande med tanke på boningsrummens radonhalt
- en sugpunkt räcker oftast till för ett enhetligt segment med arean 120 m² eller mindre
- i allmänhet behöver ingen sugpunkt placeras i lagerutrymmen som har separat ventilation
- med en djup sugpunkt kan antalet sugpunkter vara lägre

I byggnader med källare rekommenderas dessutom att en sugpunkt placeras i varje strömningstekniskt segment av bottenbjälklaget, om segmentets area överstiger 10 m². I arean skall arean för källarväggar med direkt markkontakt ingå.

Om de bärande mellanväggarnas grundkonstruktioner indelar plattan i flera olika segment så att strömningen inte kan fortplanta sig utanför de enskilda segmenten, skall man placera separata sugpunkter i plattans olika delområden. Likaså kan det behövas flera sugpunkter om plattan har formen av ett L. Delområdets omfattning och betydelse med tanke på läckaget inverkar på om det lönar sig att placera en sugpunkt i området. Saneringen kan påbörjas genom att man kopplar fläkten till en eller två behövliga sugpunkter som bedöms ha det bästa läget. Vid planering av kanalen är det bra att ta med i beräkningen

att nya sugpunkter kan behöva anslutas till kanalen. I normala fall får man med en fläkt till stånd ett tillräckligt undertryck i flera suggropar. Bilderna 4.6 och 4.7 visar exempel på bra val av sugpunkter.

En djup sugpunkt är att rekommendera om:

- grundbotten har flera segment och det är möjligt att få suggropan att i genomtränglig mark nå ner under grunden Marken under grunden skall vara tillräckligt genomtränglig på det djup där suggropan finns, dvs. marken skall bestå av exempelvis grus eller sand.

A



B

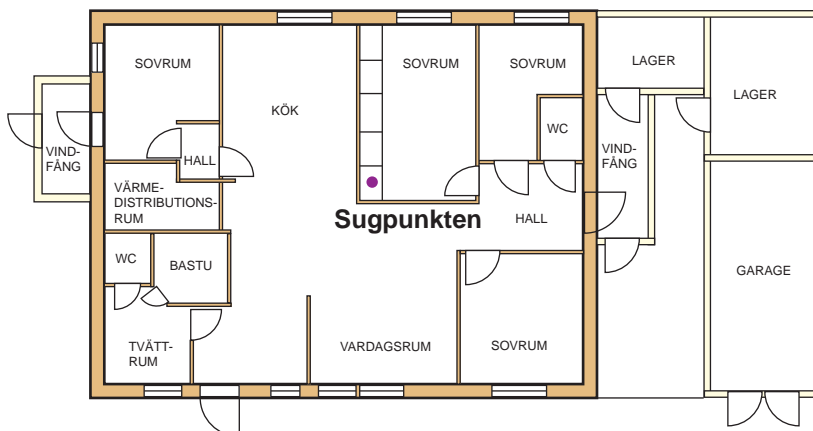


Bild 4.6. Placering av sugpunkten i en radhusbostad (A) och i en småhusbostad (B) som har en enhetlig, rektangulär platta.

Vid placeringen av sugpunkterna iakttas följande principer:

- Avståndet från ytterväggarna till en låg sugpunkt borde vara minst 1,5 m och till en djup sugpunkt 1,0 m.
- Avståndet från bärande mellanväggar som går genom bottenbjälklaget eller från fundamentet till en spis skall vara minst 0,5 m.
- Det är bäst att placera sugpunkten mitt i golvsegmentet i fråga.

De lättaste objekten är radhus och småhus som har en enhetlig, rektangelformad platta (bild 4.6). I dessa kan sugkraften fortplanta sig utan hinder ända fram till plattans kanter. I ett sådant fall kan man med en enda sugpunkt få till stånd ett gott resultat om plattan är 120 m² eller mindre.

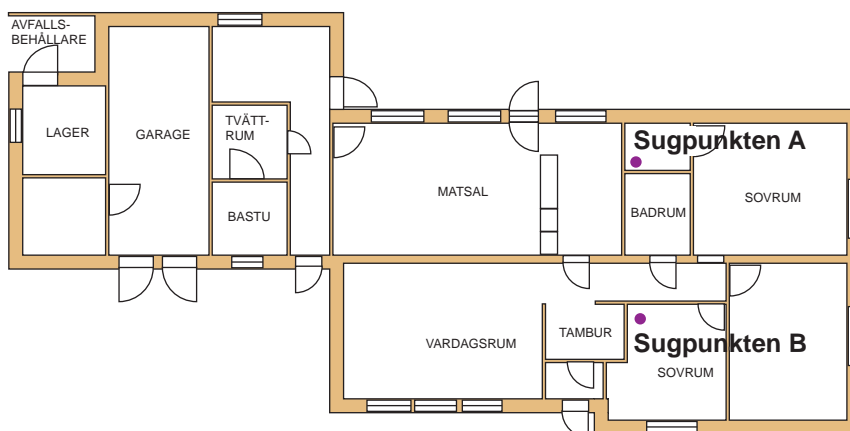


Bild 4.7. Sugpunkternas placering i ett småhus med en bärande mellanvägg som delar grundplattan i två separata segment.

I radhus dimensioneras lägenheternas sugpunkter enligt instruktionerna ovan. De olika lägenheternas kanaler kan anslutas till en gemensam fläkt och kanal i enlighet med de instruktioner som ingår i del E7 av Finlands byggbestämmelsesamling, som behandlar ventilationsanläggningars brandsäkerhet.

4.9 Sugpunkt och genomföring

Suggropen är viktig, eftersom den främjar fortplantningen av undertrycket ända ut till plattans yttre kanter. Bild 4.8 visar hur en suggrop och genomföring görs. Suggropen grävs genom att schakta bort 20–30 liter jord. För genomföringen görs ett hål i plattan.

Av golvbeläggningen avlägsnas så mycket att man senare kan tätas anslutningen mellan genomföringen och plattan. Om man påträffar stora stenar i grundbotten, måste öppningen vid behov förstöras för att man skall få bort stenarna. Öppningen för genomföringen och den installerade genomföringen bör då eftergutas och tätas.

Genomföringsstycket görs av PVC-avloppsrör med en diameter på 75–125 mm. En genomföring i metall kan rosta. Genomföringshålet görs 25–35 mm större än diametern på genomföringsstycket.

Hålet kan göras efter att golvbeläggningen avlägsnats genom att i betongen borra små hål runt och inuti en lämpligt stor cirkel. För arbetet lämpar sig en effektiv slagborrmaskin och exempelvis ett 8 mm bergborrskar. Efter borrarbningen gör man öppningen genom att hugga med en stenmejsel, bild 4.9. Armeringsjärnen kan kapas med en jærnsåg. Hålet kan också göras med en diamantborr som kan hyras från en uthyrningsfirma. Att hyra utrustning eller köpa tjänster ökar betydligt kostnaderna. Genomföringen fästs i hålet exempelvis med fogbetong eller polyuretanskum. Fogen skall till slut tätas med en lämplig elastisk massa, exempelvis polyuretanfogmassa.

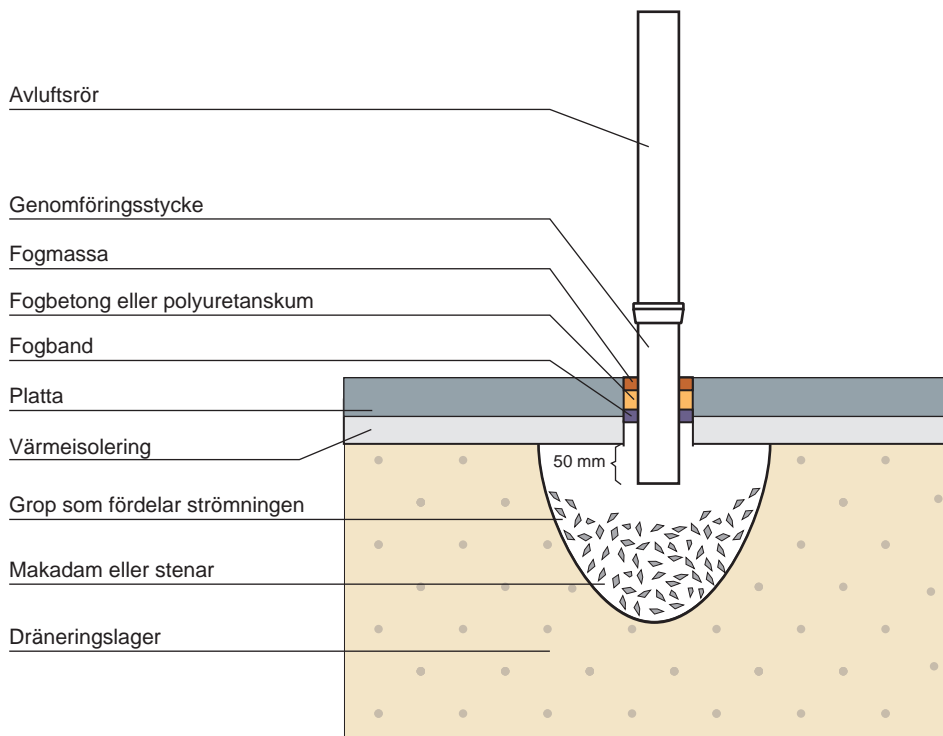


Bild 4.8. Suggropens och genomföringens konstruktion.



Bild 4.9. Hålet för genomföringen kan göras genom att borra hål i golvet och pikhugga upp hålet. (De två nedersta bilderna HT-Talo-Pojat Oy.)

Gropen som fördelar strömningen kan grävas för hand eller med en liten grävskopa eller genom att suga grus med en industridammsugare. Gropens volym kan bedömas med hjälp av mängden grus som avlägsnats. I gropen läggs grov makadam eller stenar för att förhindra att väggarna rasar. Makadam bör inte läggas ända upp till nedre kanten av genomföringsstycket, så att luft kan sugas hinderfritt via gropens hela yta, bild 4.8.

En djup sugpunkt kan göras genom att driva ner avloppsrör med diametern 10–30 cm i marken, bild 4.5. Rörets nedre del bör förses med hål med en 10 mm borr upp till en halv meter. Röret kan drivas ner i marken genom att avlägsna jord under röret antingen genom att gräva eller med en industridammsugare. I botten av röret skall det finnas en grop som är fylld med grov makadam. I miljöministeriets handbok om radonsugar ges råd om en alternativ metod att göra en djup sugpunkt. Ett rör vars nedre del har försetts med silduk installeras i suggropen med ett hjälprör och en industridammsugare.

4.10 Avluftskanaler

Avluftskanalerna kan tillverkas av avloppsrör i plast eller spiralfalsat ventilationsrör med en diameter på minst 75 mm. I speciella fall är det möjligt att använda ett mindre rör eller en rördel, om man med strömningstekniska beräkningar säkerställer att tryckförlusten inte blir för stor i kanalen. Man har ofta använt 110 mm rör.

Fläkten skall placeras utanför boningsrummen. Man har konstaterat att fläktarna läcker exempelvis via mycket små elkabelanslutningar. Även små läckage av radonhaltig luft in i boningsrummen kan betydligt försämra sugens effekt. I avluftskanalen i boningsrummen skall det råda undertryck. Detta får man till stånd genom att placera fläkten utanför boningsrummen.

Den luft som sugas in i kanalen från marken under plattan är kallare än rumsluften. De rör som dragits i rum eller i garderober och dylikt blir svalare och på deras yta kan fukt kondensera. Fuktkondenseringen kan leda till att vatten ansamlas i nedre delarna av rören och till att det uppkommer fuktskador i närliggande konstruktioner. Det säkraste sättet att förhindra detta är att förse kanalerna med en värmeisolering som är tillräckligt tålig mot vattenånga. Alternativt skall man kunna övervaka kanalerna, och de kapslas in först när de fukttkniska åtgärderna utförts.

Vid planering och installering av kanalerna skall man följa anvisningarna för installation av ventilationskanaler. Rördelar som installeras vågrätt skall ha en lutning så att det inte samlas vatten i dem. Eventuellt kondensvatten skall kunna rinna bort.

4.11 Fläkten och dess placering

Fläkten kan vara en takfläkt som placeras på taket eller en kanalfäkt eller centrifugalfäkt som placeras i övre delen av avluftskanalen (bild 4.10). För genomföring genom yttertak finns det för varje takbeklädnad egna färdiga genomföringselement. Fläkten kan alternativt även placeras på ytterväggen på husets gavel. Vid planeringen skall man då beakta att den fuktiga luften kan leda till fukt- och mögelskador på närliggande ytor. Om fläkten placeras i närheten av ett sovrum bör man även beakta behovet av ljudisolering.

Vid placeringen av avluftsfläkten skall man i tillämpliga delar följa de anvisningar som getts om placering av avluftpunkter (Finlands

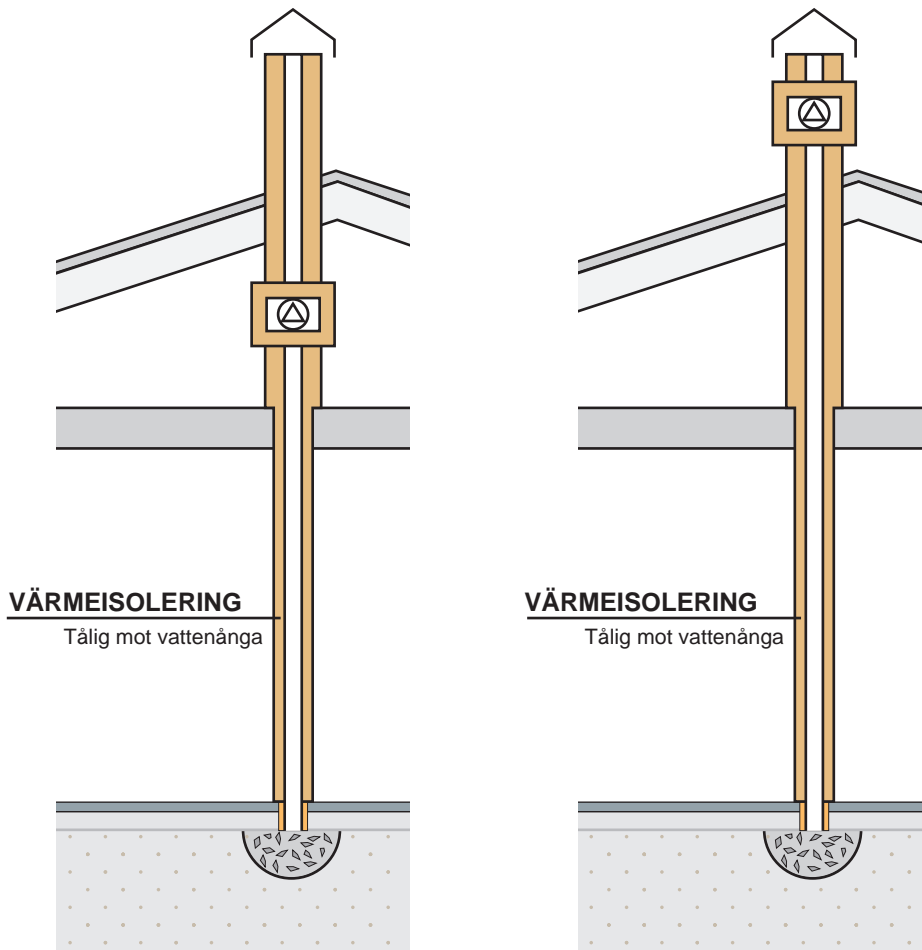


Bild 4.10. Placering av avluftsfläkten och värmeisolering av avluftskanalen.

Byggbestämmelsesamling del D2, Byggnaders inomhusklimat och ventilation). Huvudprincipen är att den utsugna luften, som har en hög radonhalt, inte får komma in på nytt i bostaden via tilluftskanaler eller tilluftsanordningar. Radonhalten i luften som sugts ut sjunker snabbt och om utsugsstället är rätt placerat höjer tillbakaströmning inte radonhalten nämnvärt.

En fläkt med fläkteffekten 50–100 W är lämplig för ett småhus eller en radhuslägenhet. En mindre fläkt är i allmänhet tillräcklig, om det finns endast en sugpunkt. En fläkt med högre effekt behövs när det finns flera sugpunkter. I många fall har man nått goda resultat med en 60 W fläkt. Om man vill är det möjligt att minska flödet med hjälp av en effekregulator. En regulator av transformator typ är att rekommendera. Då bör regleringens inverkan kontrolleras med en radonmätning.

Under perioder med köldgrader har det förekommit skadlig isbildning i takfläktar. Luften som kommer från marken är mycket fuktig, och fukten kondenserar på kalla ytor. Luftens egen värme kan förhindra isbildningen endast upp till en viss temperatur. Risker med isbildningen kan undvikas med en värmeisolerad kanalfläkt som placeras på vindsbjälklaget eller ovanför yttertak. Rören ovanför fläkten skall dessutom värmeisoleras väl. Hatten på ändan av avluftskanalen skall konstrueras så att rörändan inte kan frysa igen.

4.12 Dimensionering av radonsugens avluftsmängd

Med en för kraftig fläkt kan man suga för mycket luft från grundbotten, varvid luftflödena inverkar på golvets temperatur eller höjer risken för att grundkonstruktionerna fryser till.

Enligt miljöministeriets handbok om radonsugar skall dimensioneringsvärdet för den luftmängd som sugts från marken vara $0,2 \text{ m}^3$ per timme ($0,05 \text{ dm}^3/\text{s}$) per kvadratmeter platta (Miljöministeriet 2009). Den luftmängd som sugts från marken under en platta på hundra kvadratmeter är då 20 m^3 per timme ($5 \text{ dm}^3/\text{s}$). Luftflödet dimensioneras separat för varje flödestekniskt segment. Vid dimensionering av sugpunkter i byggnader med källare beaktas även väggarnas area. I miljöministeriets handbok finns exempel på hur dimensioneringen skall utföras. Avluftsmängden kan höjas i enlighet med anvisningarna i tabell 4.1.

Enligt tabell 4.1 kan luftmängden höjas om man säkerställer att luftflödet fördelar sig jämnt inom systemet. Om en stor del av systemets luftflöde är koncentrerat till ett delområde i grundläggningen är risken för köldskador större där än på andra ställen.

Tabell 4.1. Dimensionering av radonsugens avluftsmängd

Dimensioneringsläge	Luftmängd per kvadratmeter golv och vägg med direkt markkontakt (per 100 m ²)	
	dm ³ /s eller l/s	m ³ /h
Dimensioneringsluftflöde	0,05 (5)	0,2 (20)
Effektivisering av driften utan flödes-, värme- och fuktteknisk granskning	0,08 (8)	0,3 (30)
Om man säkerställer att det flödesfält som systemet åstadkommer är jämnt	0,13 (13)	0,5 (50)

Flödesmängden kan grovt uppskattas med hjälp av en tunn 150 l avfalls-säck. Ett flöde på 20 m³ per timme fyller påsen på 27 sekunder. Om flödet är 50 m³ per timme fylls påsen på 11 sekunder. VVS-installatörer har specialutrustning för mätning av luftflöden.

Om en kontrollmätning visar att halten inte har sjunkit till önskad nivå kan flödet höjas. Då bör man emellertid komma ihåg att den mängd luft som sugs från grundbotten per timme inte får överstiga 0,5 m³ per bottenyttenhet (m²) utan noggrannare värme- och fuktteknisk granskning.

Till Strålsäkerhetscentralens kännedom har det inte kommit några köldolägenheter i objekt där man installerat typiska under 100 W fläktar. I närheten av radongropen har man observerat en förhöjd risk för att vattnet i vattenledningen fryser. Då har sugeffekten överstigit 100 W.

4.13 Installation av radonsug genom sockeln

En radonsug kan installeras även genom sockeln. Fördelen med denna lösning är att man inte behöver göra några ingrepp inomhus. Även fläkten placeras bredvid sockeln utanför huset. Metoden har använts mest vid sanering av flervånings- och radhusbostäder. De bästa resultaten har nåtts i radhusbostäder med en enhetlig golvplatta med arean 40–80 m². Flödesfältet sprider sig då effektivt även från en sugpunkt som placerats nära plattans kant.

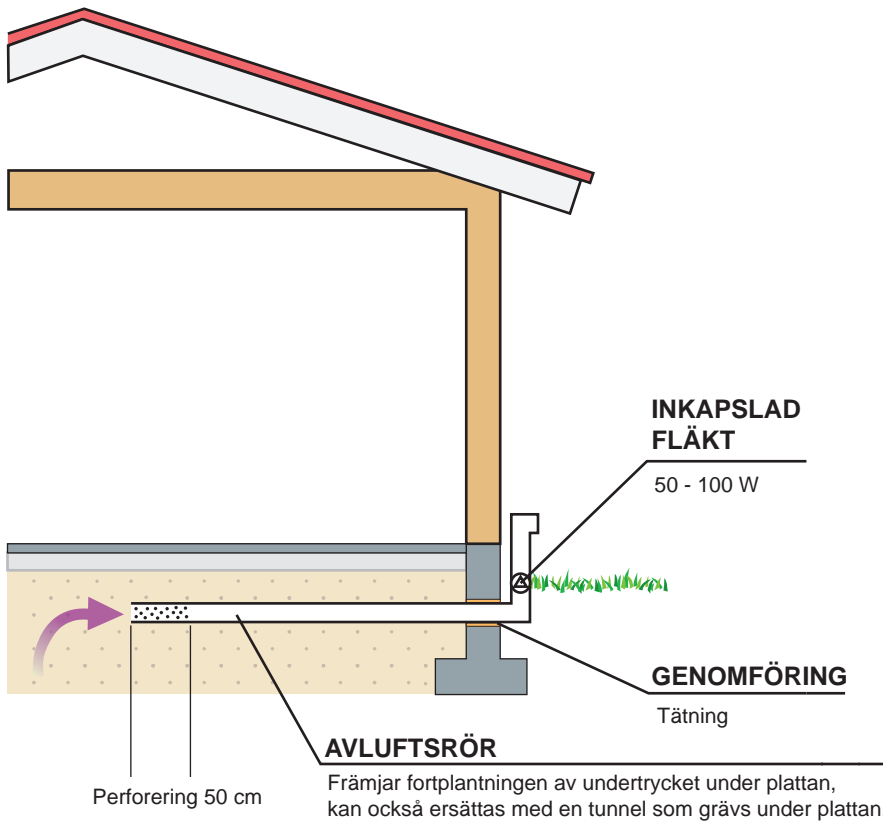


Bild 4.11. Radonsug genom sockeln. Ett bättre sätt skulle vara att dra det värmeisolerade avluftsroret längs väggen upp över taksägget eller placera fläkten i en separat fläktbrunn och dra avluftsroret till en lämplig plats längre bort från bostaden.

På bild 4.11 visas en sockelsug. Med röret som drivs in under plattan försöker man få till stånd att sugkraften inverkar jämnt och under hela plattan. I vissa fall har man nöjt sig med ett kort rör genom sockeln, men då har man urschaktat en suggrop på insidan av sockeln. Då är det bäst att göra suggropen djupare mot mitten av plattan genom att använda exempelvis en långskaftad smal spade.

För att man skall få sugpunkten närmare plattans mittområde är det bäst att under plattan försöka installera ett 1,5–2 m långt rör som är perforerat på den sista halva metern. Exempelvis ett 110 mm avloppsrör är lämpligt. Hålen säkerställer att luftflödet fortplantar sig även om ändan på röret skulle proppas

igen. Om stenar eller andra svårigheter gör det omöjligt att installera ett så här långt rör måste man nöja sig med ett kortare.

Att dra kanalen genom en tjock sockel är en mer krävande uppgift än att göra hål i golvplattan på det sätt som beskrivs i kapitel 4.9. Hålet kan göras med en diamantborr. Jordmassorna kan avlägsnas med en grusborr eller en industri-dammsugare. Även en långskaftad smal spade eller skopa kan räcka till. Om man använder ett rör eller annars gräver strömningsfördelningsgropen in mot plattans mittdelar kan man få till stånd en större strömningsfördelningsgrop, vilket betyder bättre förutsättningar för att strömningen fortplantar sig på ett tillräckligt stort område. I båda fallen bör man observera att gropen i praktiken sträcker sig ända från sockeln till de yttersta delarna av gropen eller röret. Även när man installerar ett rör avlägsnar man vanligen så mycket jord att det uppkommer ett tomt utrymme mellan röret och plattan, och via detta utrymme kan luften utan hinder strömma mot sockeln.

När man installerar en sockelsug är det mycket viktigt att springorna mellan sockeln och golvplattan i närheten av gropen (1,5–3 m) tätas omsorgsfullt. Detsamma gäller genomföringar i närheten. Via dessa springor kan det strömma stora mängder luft från boningsrummen mot gropen, vilket försämrar sugens funktion.

Mer information och exempel på radonsugar som installeras genom sockeln finns i kapitel 10, som behandlar radonsaneringar i flervåningshus. Lösningarna i småhus och radhuslängor är i praktiken likadana.

För radonsugar som installeras genom sockeln finns det inte sådant bakgrundsmaterial tillgängligt som för radonsugar genom golvet (Miljöministeriet 2009). För dimensioneringen av luftflödet för sockelsugar kan man tillämpa de anvisningar som ges i kapitel 4.12. Man bör dock beakta att luftflödet sannolikt fördelar sig ojämnare på bottenytan, eftersom sugpunkten finns vid kanten av plattan. Systemet leder exempelvis till en större risk för att vattenledningar som är dragna i närheten av sugpunkten fryser eller för att tjälen går i jorden. I nyare småhus används mycket genomsläppliga massor under plattan och ibland också under grundsulorna. Då ökar risken för strömning av kall luft i närheten av en sug som installerats genom sockeln. Dessutom försämrar dessa strömningar också radonsugens funktion.

4.14 Radonsugens skadeverkningar

Fukt-, köld-, frys- eller tjälolägenheter har behandlats i kapitlen 4.4, 4.12 och 4.13. Vid placering av radonsugens fläkt bör man iaktta samma slags principer som vid installation av bostadens frånluftsfläkt för att undvika bullerolägenheter.

Resonansljuden kan dämpas bl.a. med fjädrande anslutningar. En omsorgsfullt projekterad och installerad radonsug orsakar inga bullerolägenheter. Utan ljudisolering kan en radonsug genom sockeln orsaka buller. I kapitel 10.9 finns ett exempel på en väl projekterad ljuddämpning. När det gäller sugar som installeras genom sockeln är det möjligt att placera fläkten under markytan, och då transporteras avluften via ett rör i marken och upp längs exempelvis väggen av en förrådsbyggnad och ut ovanför taksågget. Rördelar som är dragna ovanpå marken eller i närheten av markytan skall värmeisoleras för att de inte skall frysa.

4.15 Radonsugens inverkan på inomhusluften

Radonsugen hindrar helt eller minskar strömningen av jordluft från marken in i bostaden. Av denna anledning minskar den också strömningen av andra skadliga ämnen i jordluften in i bostaden. Sådana skadliga ämnen kan vara t.ex. mikrobers ämnesomsättningsprodukter och kemiska föroreningar i marken. Radonsugen har de facto konstaterats minska den okända lukten i bostäder som beror på inträngande jordluft. Motsvarande system har installerats i bostäder och större byggnader uttryckligen för att bekämpa luktolägenheter.

4.16 Konstruktioner i bottenbjälklaget med god luftgenomsläpplighet

Radonsugens funktion har projekterats under antagande att det under plattan finns typiska grusmassor som fyller kraven på dräneringsgrus. I dagens läge har man övergått till att under golvplattan använda mycket grovt kross som fyllnadsmaterial. Kross kan också användas under och utanför sockeln. Om dessutom den ursprungliga marken består av grovt material med en god luftgenomsläpplighet, förmår inte radonsugen med godtagbara luftflöden sänka radonhalten tillräckligt. Om man inte med radonsugen når ett tillräckligt gott resultat och om det inte heller är möjligt med en radonbrunn, kvarstår endast alternativet att göra noggranna – och eventuellt även dyra – tätningsarbeten.

Grova fyllnadsmaterial har också lett till problem vid ibruktagnings av radonkanaler som installerats i samband med nybygge.

Dräneringsgrus och grov makadam används för att undvika fuktskador. På grund av de brister som observerats i sugens funktion bör man under inga omständigheter låta bli att följa anvisningarna om kvaliteten på grusmaterialet.

4.17 Uppnådda resultat med radonsug

Radonsugen hör till de bästa saneringsmetoderna. Radonhalten har vanligen sjunkit 70–90 % jämfört med halten före installation av en radonsug. I över 80 % av saneringarna har man kommit under 400 Bq/m³. Radonsug har i allmänhet använts i bostäder med en mycket hög radonhalt, vilket också har gjort det svårare att underskrida maximivärdet. Enligt bild 2.1 och tabell 2.1 har man med sugar som installerats genom sockeln i genomsnitt nått bättre resultat än med sugar som installerats genom golvet. Detta beror på att det bland objekten finns rikligt med lättsanerade radhusbostäder, där golvplattan har en relativt liten area.

Till ett gott resultat bidrar följande:

- Plattan har en liten area
- Plattan är enhetlig och har formen av en rektangel
- Fyllnadsjord en under plattan är genomsläpplig och främjar därmed fortplantningen av tryckfältet

Sugens funktion försvåras av:

- En platta uppdelad i segment och ett för litet antal sugpunkter
- En dålig placering av sugpunkten (vid kanten av plattan)
- Sugpunktens placering i närheten av väggkonstruktionen (exempelvis en otätad murblocksvägg), ett stort luftflöde via väggen eller fogar och undertrycket under plattan blir sämre.
- Ett högt undertryck åstadkommet av maskinell ventilation
- Tät fyllnadsjord, tryckfältet fortplantar sig inte under hela plattan.
- En bottenbjälkskonstruktion som har för hög luftgenomsläpplighet. Det uppstår inget undertryck under plattan, Kapitel 4.16.

4.18 Fördjupning av sugpunkten, Tammerfors

I ett hus som står på en grusås i Tammerfors uppmättes i början av 1990-talet radonhalter på 2 000–4 000 Bq/m³. Huset är ett sluttningshus i två våningar och den nedersta våningen har en area på nästan 200 m². De högsta halterna uppmättes i nedre våningen, från vilken en trappa leder upp till den övre våningen. Både i den nedre och i den övre våningen finns det sovrum och arbetsrum. I bostaden installerades en radonsug, vars suggrop placerades i närheten av den nedre våningens mittpunkt. Fläkten placerades inomhus och avluften leddes ut via en befintlig kanal i tegelstensmuren. Efter saneringen uppmättes under två år radonhalter på 700–1 300 Bq/m³. Strålsäkerhetscentralen

började på hösten 2007 undersöka objektet i samarbete med det företag som anlätats för saneringen.

Vid undersökningarna observerades följande faktorer som har försämrat saneringens resultat:

- Bostadens ventilation har fungerat bristfälligt
- Fläkten har placerats i ett tekniskt utrymme i källaren och fläktens små luftläckage höjer radonhalten i det tekniska utrymmet. Luft sprider sig från det tekniska utrymmet till andra rum.
- Suggpunkten har placerats nära ventilationskanaler och eldstädernas grundkonstruktioner. Dessa förhindrade för sin del att flödesfältet fortplantade sig i riktning mot nedre våningens ena gavel. I denna riktning ligger nedre våningens sovrum.

Efter denna undersökning gick man vidare genom att avlägsna en gammal fläkt som installerats inomhus och i stället för den installera en ny 60 W takfläkt på skorstenens luftkanal. Samtidigt monterades ett 110 mm avloppsrör i skorstenens kanal på så vis att man fick till stånd en enhetlig avlufts kanal från suggropen till takfläkten. Att använda en tegelstenskanal som sådan som avlufts kanal är inte att rekommendera, eftersom den fuktiga luft som sugts ur marken leder till att tegelstenskanalens kalla delar förvittrar. På basis av mätning med en monitor konstaterades att den nya takfläkten sänkte radonhalten både i nedre och i övre våningen med endast 20–40 %.

Eftersom suggropen är mycket grund, endast 25 cm, beslöt man att göra den djupare. Golvjuttningen öppnades runt suggropen och under plattan placerades ett 175 cm högt rör, som hade en diameter på 315 mm och var perforerat i nedre delen. Efter att den nya suggropen tagits i bruk sjönk radonhalten betydligt. Med den låga suggropen var den genomsnittliga radonhalten under två månader före saneringen 480 Bq/m³ i övre våningen och 1 120 Bq/m³ i nedre våningen. Med den djupa suggropen sjönk halterna till nivåerna 40 och 120 Bq/m³. Bild 4.12 visar sänkningen av radonhalten efter saneringen. Radonsugen fränkopplades under undersökningen ännu två gånger. Dessa perioder syns tydligt i mätningen i januari 2008.

I undersökningen testades dessutom användning av ett 270 cm djupt sugrör. Ingen skillnad jämfört med röret på 175 cm kunde observeras. Exempelfallet visar att suggropen bör placeras på ett ställe där grundkonstruktionerna inte hindrar flödesfältet från att utbreda sig. I osäkra fall kan man säkerställa utbredningen av flödesfältet genom att gräva en suggrop som är tillräcklig djup.

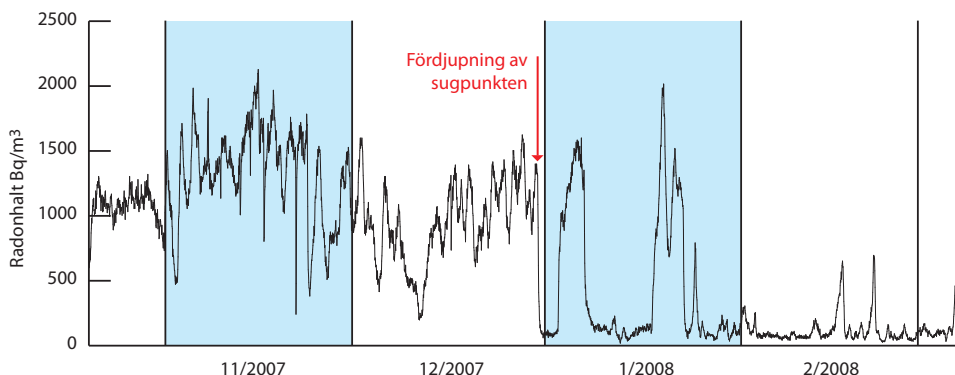


Bild 4.12. Inverkan av fördjupning av sugpunkten på radonhalten i ett enfamiljshus i Tammerfors.

4.19 Radonsug och normala dräneringsrör

I samband med radonsaneringar har man också övervägt att utnyttja de normala dräneringsrör som installerats utanför sockeln. Att ansluta en avluftsfläkt till dräneringsrörsystemet kan i gynnsamma fall vara ett alternativ. Strålsäkerhetscentralen känner till objekt där man på detta sätt har kunnat sänka radonhalten betydligt. Å andra sidan har resultaten i några fall inte varit så goda. Det finns så lite forskningsdata om hur metoden fungerar i Finlands förhållanden att vi inte kan ge några detaljerade anvisningar om saken i denna handbok.

Användningen av en sug kopplad till dräneringssystemet begränsas av risken för köldproblem orsakade av luftströmmen. I synnerhet om dräneringsrören är lagda nära markytan och det finns grov makadam i närheten av sockeln, strömmar luft omedelbart utifrån in i rörsystemet. Då blir effekten under golvplattan liten och risken för köldproblem ökar. De bästa resultat som vi känner till har man nått i sluttningshus där rörsystemet ligger djupt. Metoden har prövats också i långa radhuslängor, och då har man använt två fläktar som installerats vid gavlarna. Effekten är störst och tillräcklig vid gavlarna men sämre i mitten av huset.

Den luftström som en fläkt kopplad till dräneringssystemet får till stånd kan sänka radonhalten i luften i de jordmaterial som finns innanför sockeln. Eventuellt kan den också öka undertrycket under plattan. För att nå ett gott resultat måste kontrollbrunnarna i dräneringssystemet och övriga avloppssystem som ansluter till dräneringssystemet vara tillräckligt täta.

5 Radonbrunn

5.1 Funktionsprincip

Med hjälp av en radonbrunn sugs luft från marken. Radonbrunnens funktion baserar sig i första hand på att den luftström som uppkommer sänker radonhalten i den luft som strömmar från marken in i bostaden, bild 5.1. Radonhalten i marken sjunker genom att radonbrunnen suger in ny radonfri luft från området ovanför markytan. Endast i den omedelbara närheten av brunnen kan brunnen få till stånd ett undertrycksfält under golvplattan som också minskar det radonhaltiga luftflödet.

Vid bygge av en radonbrunn behövs erfarenhet och markkännedom. På brunnsens effekt inverkar bl.a. markens täthet, skiktningen, sugpunktens djup samt effekten hos den avluftsfläkt som används. Radonbrunnen fungerar endast med grova jordarter, såsom grus och sand. Om marken är tät kan man inte suga tillräckligt med luft, varvid luftflödet inte fortplantar sig på ett tillräckligt stort område. Bl.a. lera, silt och morän är täta jordarter. Dessutom kan fin sand vara problematiska. På åsar inverkar de grov- och finkorniga skikten på flödesfältets form och storlek.

En hög radonhalt i bostaden är ett tecken på att marken har en hög genomsläpplighet. Förutsättningen för att radonbrunnen skall fungera blir sämre om utgångshalten är under $1\,000\text{ Bq/m}^3$. Marken kan då vara för tät. Goda resultat har emellertid erhållits i t.ex. de radhusbolag som beskrivs i detta kapitel. I dessa var utgångshalterna i flera bostäder $500\text{--}1\,000\text{ Bq/m}^3$.

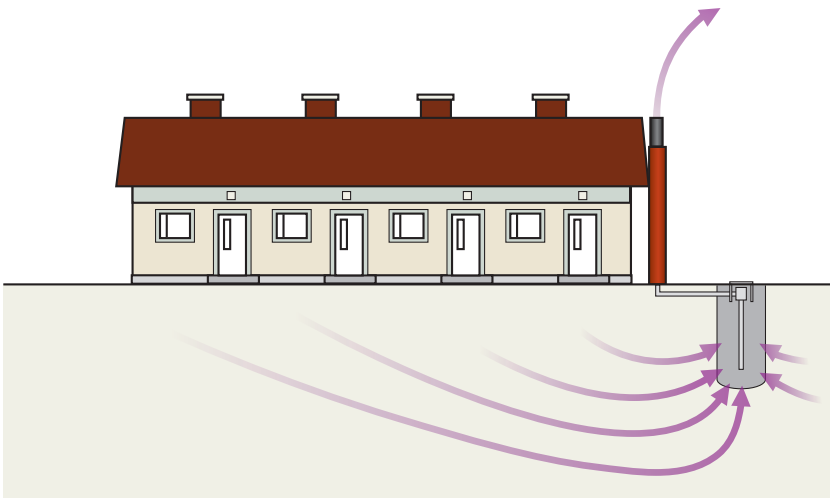
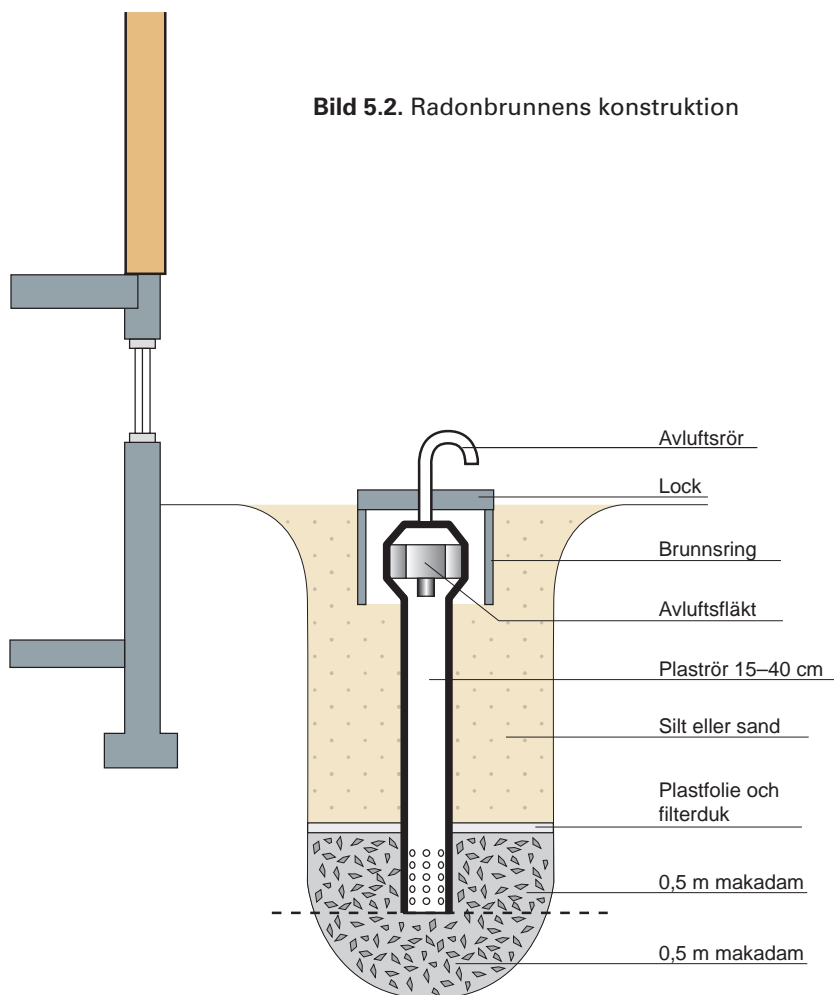


Bild 5.1. Det luftflöde som radonbrunnen åstadkommer sänker jordluftens radonhalt på ett stort område.

5.2 Anläggning av radonbrunn

På bild 5.2 visas en bild av hur en radonsug för ett småhus är konstruerad. Sugpunkten bör placeras på ett djup av 4–5 meter, dvs. djupare än grundsvanorna. Brunnens djup främjar utbredningen av flödesfältet på ett stort område. Avståndet till husets grundkonstruktioner skall vara så stort att jord inte börjar rasa under grunden i samband med schaktningen. Schaktgropens botten fylls med ett ca 0,5 meter djupt makadamlager. På detta monteras ett tätt plaströr i vertikalt läge. En lämplig diameter på röret är 15–40 cm. I rörets nedre del borrar rikligt med hål. Avsikten med dem är att säkerställa att rörändan inte täpps igen och att undertrycksfältet utbreder sig effektivt. Därefter tillsätts mer makadam. Syftet med skiktet av grov makadam är att underlätta och säkerställa att strömningen fortplantar sig från rörets mynning.



På makadamskiktet på brunnens botten läggs en filterduk och en plastfolie. Deras uppgift är att hålla jordmaterialen av olika grovlek åtskilda. Därefter fylls schaktet med klart finare jordarter än de jordarter som finns i brunnens omgivning. Bl.a. lera, silt och fin sand är lämpliga jordarter. Plastfolien och den täta jorden bildar ett spärrskikt runt röret. Detta skikt förhindrar effektivt att luft tränger in i brunnen från området ovanför brunnen.

Fläkten monteras i övre delen av brunnsröret. Med hjälp av brunnsringen av betong kan avluftsfläkten installeras under markytan. På brunnen monteras ett lock försett med ett avlufts rör. Locket dämpar effektivt fläktens ljud. Alternativt kan fläkten monteras inuti röret. Då kan brunnsröret helt täckas av mark och ingen brunnsring behövs.

Avlufts r öret kan också placeras långt från brunnsringen med hjälp av ett transportrör i marken (bild 5.3). Transportröret skall värmeisoleras. Även den del av röret som ligger under markytan skall värmeisoleras. I rörets horisontella del kan det ansamlas vatten som kondenseras ur den fuktiga luften som strömmar i röret. Därför är det rekommendabelt att anlägga röret så att det lutar mot avlufts kanalen. Vattnet kan fås att rinna ut ur röret genom att i krökningen borra ett hål på 10 mm. Under hålet skall det finnas makadam så att vattnet kan rinna bort.

Ändan av radonbrunnens avlufts rör borde placeras så att den radonhaltiga luften inte kan komma in i bostaden via ventilationskanaler eller vädringsfönster. Exempelfallen som beskrivs nedan utgör alternativa lösningar vad gäller avlufts r öret. När brunnen placeras nära huset kan man montera röret längs en vägg ända upp över takskägget (bild 5.7). Vid behov kan man placera ändan av avlufts r öret långt borta, för att bullret skall bli lågt som möjligt.

En fläkteffekt på 150 W är lämplig för ett småhus. Genom att installera en effektregulator kan man också använda lägre effekter. Effektkravet ökar om man vill ha ett större verkningsområde för radonbrunnen. Med en lämpligt placerad och effektiv brunn har man kunnat sänka radonhalten i över tio bostäder i ett radhusbolag. I de exempelfall som beskrivs nedan har den största fläkteffekten varit 370 W. Under gynnsamma förhållanden har brunnen ett verkningsområde på 20–40 meter.

Om huset som skall saneras står i en sluttning är det bäst att placera radonbrunnen på övre delen av sluttningen och vid husets mittlinje.

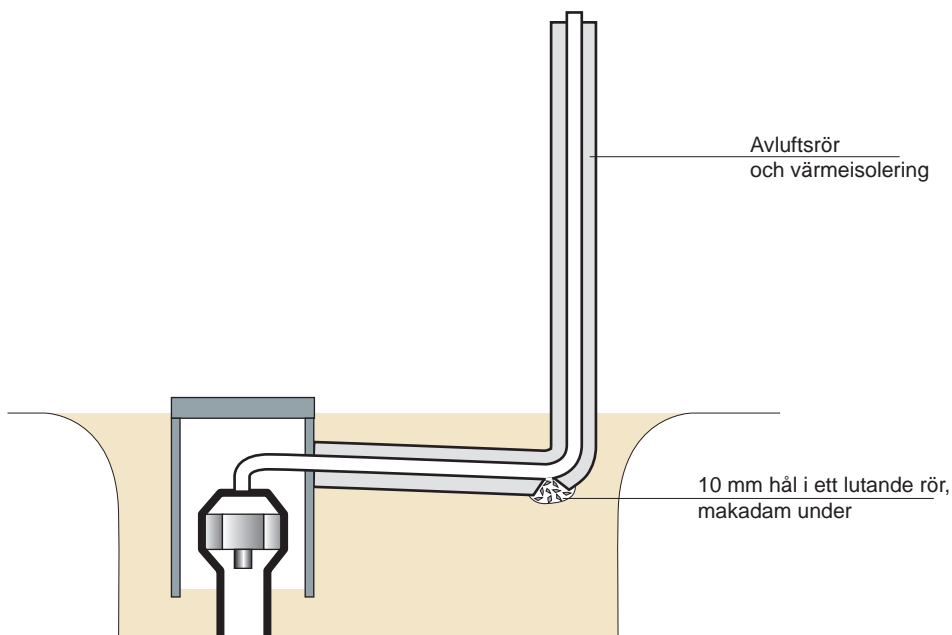


Bild 5.3. Montering av radonbrunnens avlufts rör i marken och därefter i en vertikal kanal.

5.3 Uppnådda resultat med radonbrunn

Tack vare radonbrunnen har radonhalten vanligen sjunkit med över 80 % jämfört med den ursprungliga halten. Trots att utgångsvärdena på radonhalten har varit de allra högsta har värdet 400 Bq/m³ allmänt underskridits.

En radonbrunn kan misslyckas av följande skäl:

- Under schaktningen träffar man på tät mark, exempelvis fin sand eller lera.
- För täta marklager mellan brunnen och grundkonstruktionerna minskar luftflödet.
- Genomsläppliga jordlager via vilka luft strömmar fel väg och försämrar därmed resultatet.
- Luft läcker via rör- eller kabelkanaler, dagvattens- eller dräneringsbrunnar.

Radonbrunnen kan också föra med sig olägenheter. I närheten av radonbrunnen kan tjälen gå djupare än tidigare. Risken för att vattenledningar nära markytan

frysar ökar. Bullerolägenheterna kan minskas genom att placera avluftsriöret exempelvis på husets gavel eller genom att dra rörändan ända upp till taknocken.

5.4 En radonbrunn på åsområdet i Hollola 1

Bild 5.4 visar en radonbrunnslösning i ett radhusbolag och de resultat som nåddes. På gården placerades två radonbrunnar, med vilkas hjälp radonhalten sjönk betydligt i alla bostäder. Vid schaktningen av brunn 2 påträffades ett tätt marklager och brunnen kunde inte göras så djup som brunn 1. Av denna anledning är resultaten i närheten av brunn 2 sämre än i närheten av brunn 1. Fläktarnas effekter var 300 W. I brunn 1 uppmättes ett luftflöde på 70 l/s (250 m³/h) och i brunn 2 40 l/s (140 m³/h).

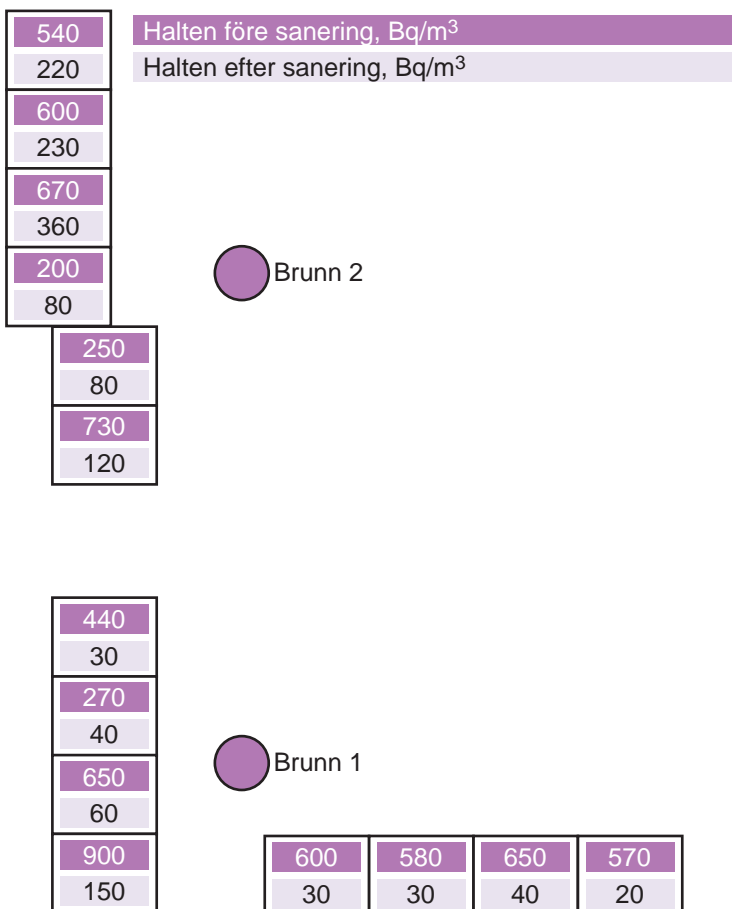


Bild 5.4. Radonbrunnars läge i ett radhusbolag och förändringarna i radonhalten i bostäderna.

De resultat som nåddes med brunnarna var mycket goda. I genomsnitt sjönk halten i 14 bostäder med 79 %. Brunn 2, som inte fungerade tillfredsställande, försämrade resultaten. Som mest sjönk halten med 96 %. I de flesta bostäderna sjönk halten under 200 Bq/m^3 och i många bostäder till och med under 50 Bq/m^3 . Ett annat bostadsaktiebolaget i närheten av brunnarna hade också nytta av brunnarna och där installerades senare egna brunnar, med vilka radonhalterna i detta bolags alla bostäder sjönk effektivt.

Bild 5.5 visar sänkningen av radonhalten i den bostad som låg nära brunn 1, när brunnen kopplades på. Radonhalten sjönk först snabbt. Därefter fortsätter halten att sjunka, men den sjunker långsammare, vilket beror på att radonhalten i jordluften sjunker under de följande dagarna inom ett mycket vidsträckt område runt brunnen. Radonhalten i jordluften uppmättes i ett objekt. Innan fläkten i brunnen startades var halten $40\,000 \text{ Bq/m}^3$. Efter att fläkten startats sjönk halten på fyra dagar med 50 % och fortsatte därefter att sjunka. På basis av mätningarna baserar sig radonbrunnens funktion i första hand på att radonhalten i jordluften sjunker.

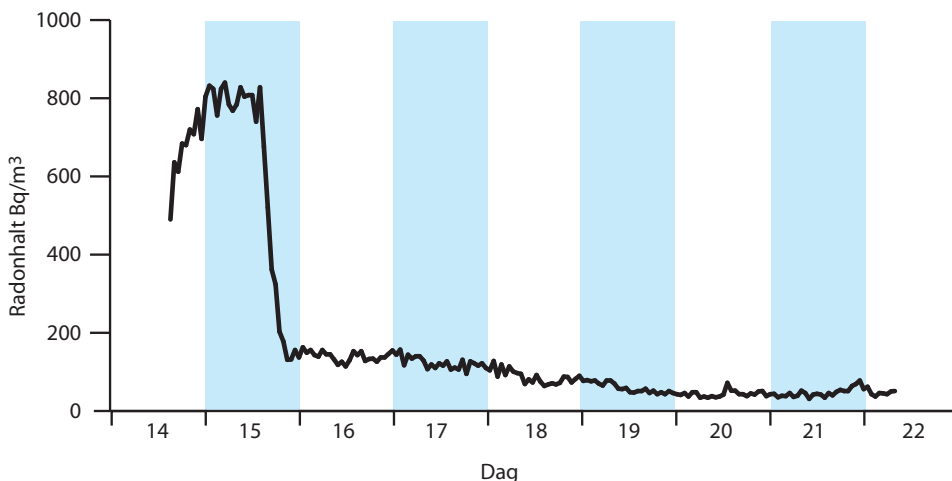


Bild 5.5. Sänkningen av radonhalten i en bostad i närheten av radonbrunnen efter att brunnsfläkten kopplats på.

5.5 En radonbrunn på åsområdet i Hollola 2

Bild 5.6 visar en annan på ett åsområde genomförd radonbrunnslösning för fyra hus och ett radhusbolag omfattande 20 bostäder. Målet var att få till stånd en betydlig sänkning av radonhalten med två brunnar. Bild 5.7 A visar en avluftsfläkt på 300 W som placerats i en brunnsring och från vilken ett transportrör under marken dragits mot husets gavel. Bild 5.7 B visar radonbrunnens lock och

avluftsröret som dragits invid husets takskägg och upp till taknocken. Rörets värmeisolering säkerställer att isbildningen inte täpper till röret på vintern. Det höga avluftsröret transporterar den radonhaltiga avluften från gården och minskar bullret utanför bostäderna.

Brunnarna är 3,5–4 m djupa. I radonbrunnarna uppmättes luftflöden på 68 l/s (den övre brunnen, 250 m³/h) och 58 l/s (210 m³/h). Resultaten var goda. I genomsnitt sjönk radonhalten med 88 % i de 17 objekt där saneringsgränsen 400 Bq/m³ överskreds. Som mest sjönk halten med 99 %.

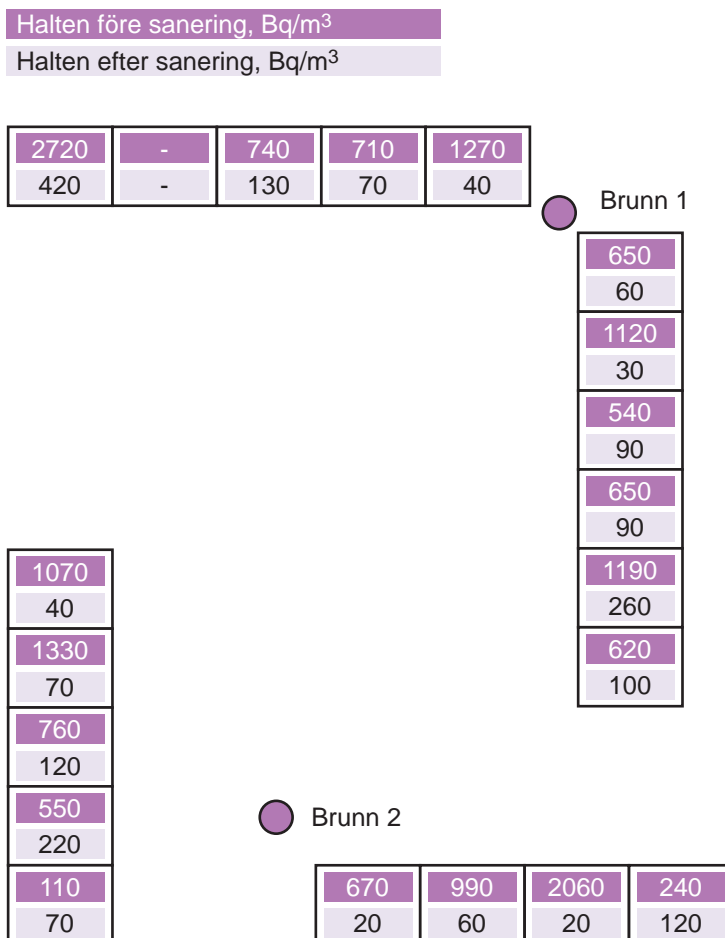


Bild 5.6. Sänkningen av radonhalten i 19 bostäder i ett radhusbolag efter att två radonbrunnar tagits i bruk.



Bild 5.7. Avluftsfläkten placerad i en brunnsring (A) samt brunnslocket och avluftsröret som når ända upp över taksågget (B).

5.6 Radonbrunn i Hyvinge

Radonsaneringen utfördes i ett gammalt parhus med källare som var byggt på grusmark. Bostadens källare har senare tagits i bruk som boningsrum, och i samband med detta har man bl.a. varit tvungen att göra grundmurskonstruktionerna djupare. Det verkade som om betongen i den gamla sockeln var porös, och det fanns flera genomföringar för fjärrvärme-, vatten- och avloppsrör. Före saneringarna var radonhalterna i källarutrymmena i parhusbostäderna 1 300 Bq/m³ och 2 500 Bq/m³ och i rummen på marknivå 600 och 1 370 Bq/m³. I början prövades sugning från dräneringsrören, men detta fungerade inte. Orsaken kan bl.a. vara att dräneringsrören inte ligger på den nuvarande fundamentnivån utan högre upp.

En radonbrunn anlades. Eftersom avsikten var att lösa radonproblemet i denna fastighet så säkert som möjligt, placerades brunnen vid husets mittlinje och nära ytterväggen, bild 5.8. Radonbrunnen var 4 m djup och brunnsröret gjordes till en början av ett 6 m långt kontrollrör till en dräneringsbrunn. Kontrollrörets innerdiameter var 270 mm och ytterdiameter 315 mm. Botten av brunnen fylldes med 6–32 mm makadam. Ovanför filterduken och plasten, på 2,2 m djup, finns ett extra tätskikt med platonmatta ('patolevy'). I radonbrunnen installerades en 190 W kanalfläkt, och avluftsflödet från brunnen är 50 l/s. Avluften transporteras med ett värmeisolerat rör under marken från husets vägg mot gatan och blåses ut genom ett vertikalt rör som är ca 2 meter högt. Temperaturen på avluften varierade mellan + 9 och + 14 °C. Även under en period på flera dagar med utetemperaturer på - 20 °C höll sig avluftens temperatur kring + 9 °C.

Vid kontrollmätningar på vintern uppmättes radonhalter i källarvåningen på 370 och 210 Bq/m³. Radonhalten undersöktes också i de grannhus som låg nära husets gavlar. I detta fall hade radonbrunnen en liten inverkan på radonhalten i grannhuset som står vid den ena gaveln, medan man i grannhuset vid den andra gaveln inte alls observerade någon inverkan.



Bild 5.8. Radonbrunnens avluftsror på gården till ett parhus i Hyvinge.



Bild 5.9. Schaktet för radonbrunnen, makadampåfyllning, borrning av hål i brunnsrörets nedre del samt utläggning av plastfolie på makadamen och filterduken.

5.7 Radonbrunn på Pispala ås 1

Pispala ås är en grusformation som höjer sig över 80 meter över de omgivande sjöarnas vattenyta. Det grova gruset och de interna luftflöden i den höga åsen höjer radonhalten betydligt i de bostäder som finns på krönet av åsen och i mittdelarna av sluttningarna (Arvela et al. 1994). På dessa områden översteg den genomsnittliga radonhalten 2 000 Bq/m³. Det bostadsaktiebolag som är beläget på åsen består av 10 bostäder som är uppdelade på tre olika byggnader. Bild 5.10 visar byggnaderna. Ett av huset är beläget ca 3 meter högre upp än de övriga byggnaderna. På gården finns en gemensam förrådsbyggnad.

I husbolagets alla byggnader uppmättes radonhalter på flera tusentals Bq/m³. De högsta halterna uppmättes i bostäderna med boningsrum i två våningar och där den understa våningen har grundlagts direkt på åsgruset.

Radonsaneringen genomfördes med en radonbrunn som placerades framför förrådsbyggnaden mellan hus 1 och 2, bild 5.11. Effekten hos radonsugens avluftsfläkt är 260 W, och ett avluftsflöde på 105 l/s (380 m³/h) uppmättes. Avluftskanalen försågs med ett värmeisolerande skydd, som även utrustades med ljuddämpare.

Den största sänkningen av radonhalten uppmättes i den bostad som finns i hus 1 och som har boningsrum även i källarvåningen. En månad lång mätning med monitor på vintern visade att radonhalten i bostaden hade sjunkit från över 10 000 Bq/m³ till 100 Bq/m³. I den andra bostaden med källare i samma hus sjönk halterna från ca 2 500 Bq/m³ till ca 150 Bq/m³. Brunnens effekt var mindre i den bostad som fanns längst borta från brunnen vid hus 2. Radonhalten sjönk i arbetsrummet på den nedersta våningen från ca 8 000 Bq/m³ till ca 1 500 Bq/m³. När källarvåningen hade totalrenoverats hade man installerat en radonkanal under golvet. Vid undersökningen kopplades en 60W avluftsfläkt till kanalen, varvid radonhalten sjönk ännu mer – till 50 Bq/m³.

Radonbrunnens effekt minskar när höjdskillnaden mellan byggnaden och brunnen sugkammare ökar. I hus 3, vars grundkonstruktioner ligger ca tre meter högre än hos hus 1 och 2, sänkte radonbrunnen halten med endast 50 %.

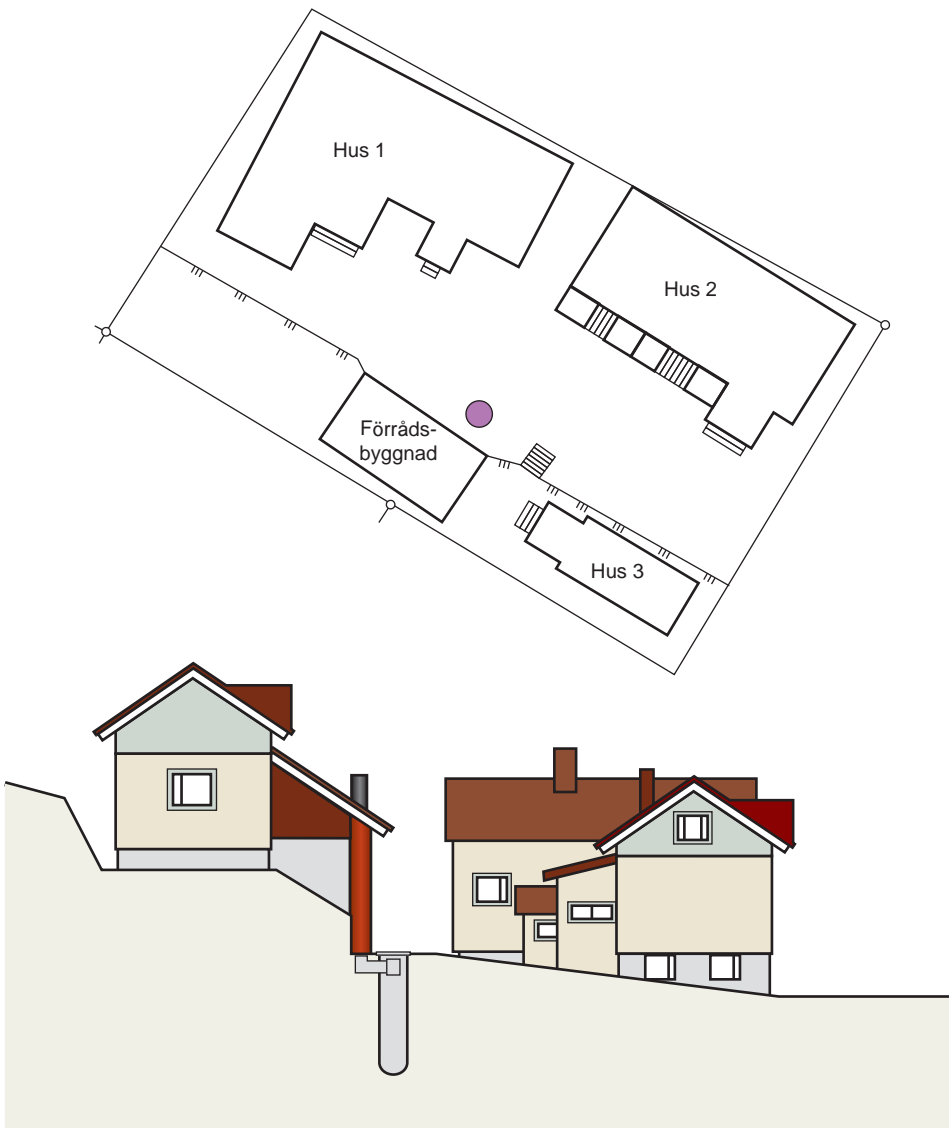


Bild 5.10. Radonbrunnens läge på gården till ett bostadsaktiebolag på Pispala ås.



Bild 5.11. Ett avluftsror från en radonbrunn invid väggen på ett förråd på Pispala ås.

5.8 Radonbrunn på Pispala ås 2

Saneringsobjektet ligger på övre delen av Pispala ås. Två byggnader ingår i bostadsaktiebolaget. Utöver dessa byggnader följde vi upp hur radonbrunnen påverkade de omgivande grannbyggnaderna. Av bild 5.12 framgår tydligt den stora höjdskillnaden som råder mellan byggnaderna. Hus 1 omfattar flera bostäder i tre våningar, hus 2 och grannhuset 3 är enfamiljshus. Hus 3 ligger i linje med hus 1 på granntomten bakom hus 1. Avståndet mellan hus 1 och 3 är endast sex meter. Den yttre väggen på hus 2 gränsar till den smala gatan på övre delen av sluttningen. Saneringsobjektets radonhalt hade mätts flera gånger och det högsta månadsmedelvärdet för radonhalten som hade uppmätts i hus 2 var 40 000 Bq/m³.

Till saneringsmetod valdes radonbrunn, eftersom radonhalterna var mycket höga, saneringsobjekten var belägna på väl genomsläppligt grovt grus, byggnaderna var gamla och grundkonstruktionerna läckte kraftigt. Golven på bottenvåningen i den här byggnaden är delvis jordgolv och delvis består de av flera porösa betongplattor. Hus 1 har en terrasserad grundkonstruktion. Terrasseringen ökar inströmningsvägarna. Avsikten vara att lösa radonproblemen i båda husen med hjälp av en brunn. Brunnen placerades mellan husen på ett avstånd på 2,5 m från hus 1 och 5,5 m från hus 2. Gårdsplanens form och terrassen som

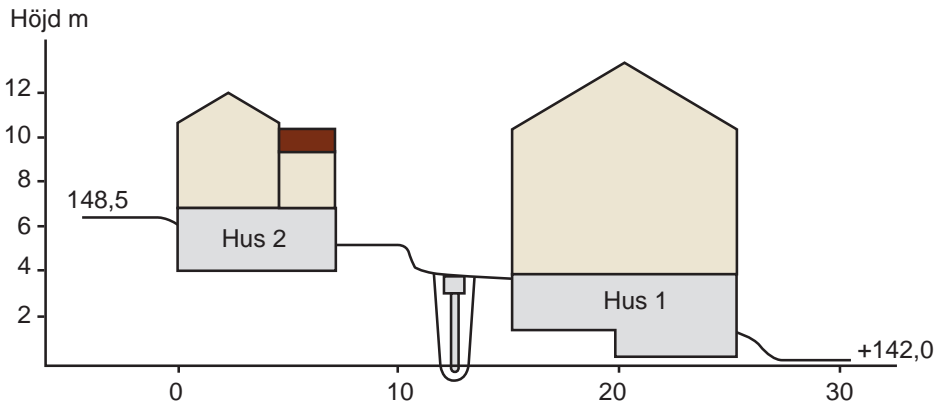


Bild 5.12. Byggnaderna på Pispala åsen och radonbrunnens läge.

trappstegsformats med hjälp av stora stenar försvårade alla andra eventuella placeringsmöjligheter. Brunnen fick ett djup på fyra meter. Det tämligen jämnkornigt grova gruset medförde att gropen i samband med schaktningen började rämna vid kanterna och blev så bred att man måste befara att även stenterasseringen skulle ge efter. En fördjupning hade varit möjlig enbart om schaktet hade stöttats upp.

Som fläkt för radonbrunnen valdes en centrifugalfäkt med en motoreffekt på 370 W. Det var inte möjligt att uppnå en tillräcklig sänkning av radonhalten med lägre effekt. Efter att anordningen startats uppgick frånluftsflödet till 1 200 m³/h. Bullernivån vid saneringsobjektet mättes medan brunnen fortfarande låg öppen. På ett avstånd på en meter från brunnen uppmättes 60 dB(A) och på ett avstånd på 5 meter 52 dB(A). Inomhus uppmättes 26 dB(A) med en bakgrundsljudnivå på 25 dB(A). Då brunnen sattes igång uppgick radonhalten i frånluften till 120 000 Bq/m³.

Först efter en lång tid installerades avluftsror, och före det skedde utblåsningen direkt till markytan. Av den här anledningen mättes även radonhalten i utomhusluften på gården. Mätningen visade en radonhalt på 80 000 Bq/m³ i avluften från radonbrunnen. Radonhalten i uteluften bredvid radonbrunnen var ca 20 000 Bq/m³ och på ett avstånd på 11 m från brunnen 220 Bq/m³.

Av alla saneringsobjektets byggnader lyckades radonreduceringen bäst i hus 1. Med tanke på detta ligger radonbrunnen renlärigt på den övre delen av slutningen och nästan vid byggnadens mitt. Brunns sugpunkt ligger för djupt för hus 2. I samband med uppföljningsmätningarna upptäckte man att radonbrunnen endast påverkade grannhus 3 som låg i nordväst i slutningens riktning. Av resultaten att döma kan man sluta sig till att radonbrunnens verkningssområde för det här saneringsobjektets del inte är en cirkel utan en ellips i slutningens riktning.

Tabell 5.1 visar de radonhalter som dosmätningen gav omedelbart innan radonbrunnen byggdes och de radonhalter som erhöles vid kontrollmätningar följande vinter.

Tabell 5.1 Minskningen av radonhalten på övre delen av sluttningen på Pispala ås tack vare radonbrunnen.

	Rumsluftens radonhalt Bq/m ³	Rumsluftens radonhalt Bq/m ³
Mätplats	Ingen radonbrunn	Radonbrunn i bruk
Hus 1 bostad 1	7500	300
Hus 1 bostad 2	3000	200
Hus 2	14000	700
Hus 3 granne	2000	100

5.9 Radonbrunn med borrhunnsteknik

Ett småhus i två våningar som uppförts på en brant sluttning på en grusås radonsanerades. Husgrunden är L-formad, bottenplanet omfattar 154 m² och den totala ytan i två våningar är 308 m². Före saneringen varierade radonhalten mellan 600 och 1 250 Bq/m³ i de olika delarna av byggnaden.

Det rekommenderas att radonbrunnen för ett sluttningshus placeras på den övre delen av sluttningen. Sluttningen var emellertid så brant att det inte hade varit möjligt att till rimliga kostnader bygga en radonbrunn på den övre delen av sluttningen. Därför bestämde man sig för en kombination av radonbrunn, som uppfördes på den lilla jämna gården på nedre delen av sluttningen, och djupsugpunkter. Rören installerades med hjälp av en anordning som vanligtvis används för bergsborrhunnar (bild 5.13).

Under byggnadens båda flyglar monterades sugkanaler i en vinkel på 40° under främre väggens grundsula så att rörets nedre ända kom under byggnaden nära den linje som skulle uppstå om bakre väggens grundmur fortsattes nedåt. Ett silrör monterades över en sträcka på 2 m på den undre delen av utsugningsröret för en jämnare fördelning av undertrycket. Utsugningsröret hade en diameter på 140 mm, rörets hela längd uppgick till 7 m. Den undre delen av röret, dvs. silrörets botten låg på ett djup på 4,5 m medan den övre delen av silröret placerades på 3,2 meters djup från gårdsplansnivån.

Rören sammanfördes på gården i en brunnsring av betong med hjälp av en T-förgrening, en aning under markytan. I samma brunn monterades också en

kanalfläkt på 70 W så som bild 5.14 visar. Avluftsflödet var $84 \text{ m}^3/\text{h}$. Avluftens temperatur steg på sommaren till högst $+ 14 \text{ }^\circ\text{C}$. På vintern sjönk den maximalt till $+ 9 \text{ }^\circ\text{C}$, då utomhustemperaturen var som lägst $- 20 \text{ }^\circ\text{C}$. Avluften leddes längre bort från gårdsområdet via ett nergrävt värmeisolerat avloppsrör (bild 5.15).

Efter saneringen uppgick radonhalterna vid de fyra mätpunkterna till $40\text{--}70 \text{ Bq}/\text{m}^3$.



Bild 5.13 Borrbrunnstrustningen bredvid huset.



Bild 5.14 Sammanfogningen av två skilda sugningsförgreningar och kanalfläkten i brunnringen.



Bild 5.15 Radonbrunnens värmeisolerade avluftsror på gården. Även de horisontala delarna värmeisolerades.

6 Tätning av konstruktioner

6.1 Funktionsprincip

Tätning minskar inströmningen av radonhaltig luft från marken in i bostaden. De viktigaste inströmningsvägarna är springan mellan golvplattan och väggen och genom otäta genomföringar. När ett läckageställe har tätats söker sig jordluften en ny inströmningsväg. Därför har tätningsresultatet ofta blivit bristfälligt om inströmningsvägarna inte har täppts fullständigt. Ju grövre gruset eller krosset under golvplattan är, desto högre krav ställs på omfattningen av tätningen och kvaliteten på arbetet.

6.2 Genomförande

De viktigaste inströmningsvägarna för radonhaltig luft beskrivs i kapitel 1.1.

De springor som skall behandlas måste vara torra och rena. Löst damm och betongmaterial skall avlägsnas. Springan som skall tätas måste vid behov förstöras och rengöras för att en god vidhäftningsförmåga skall uppnås.

När det gäller tätningen av betongfogar har man goda erfarenheter av följande elastiska fogmaterial, och det finns forskningsresultat som stöder lämpligheten:

- polyuretanbaserade fogmaterial (obs. fogmaterial i engångspatron, inte polyuretanskum)
- het gummibitumen (hanteras som het)
- tätskikt

Vid tätningen av genomföringar kan olika slags material med tillräcklig vidhäftning och hållbarhet användas. I valet och användningen av fogmaterialet skall tillverkarens rekommendationer och anvisningar beaktas.

Av fogmaterialen krävs bra vidhäftningsförmåga och elasticitet. Golvplattan kan med åren sätta sig och då är det viktigt att fogarna tänjer och hålls fast i fogyorna. Belastningen på fogarna minskar när springan förstöras. En rörelse på två millimeter innebär redan en uttänjning på 200 % i fogen, medan motsvarande uttänjning i en fog på tio millimeter utgör endast 20 %. Vanligtvis ställs inte sådana uttänjningskrav på tätningen av genomföringar.

Polyuretanbaserade fogmaterials vidhäftning mot betong är av hög kvalitet när materialet används enligt anvisningarna. De har hög hållfasthet även då fogarna rör sig.

En god vidhäftning kan förutsätta förbehandling (primer) enligt tillverkarens anvisningar. Fogmaterial finns att få i engångspatroner.

Det heta gummibituminets vidhäftning mot betong och dess elasticitet är högklassig. Däremot är hanteringen inte lätt. Hanteringen av hett gummibitumen fordrar tillstånd att utföra heta arbeten. Bituminet skall ha rätt temperatur när det fogas. Fel temperatur försvagar bituminets egenskaper. Inalles är det svårt och krävande att sanera med hett bitumen.

Silikonbaserade fogmaterial skall inte användas för tätning av golvfogar, eftersom de inte har god vidhäftning mot betongytor. De silikonbaserade fogmaterialen är avsedda för behandling av fogar i tvättrum och toaletter. Vid fogning med polyuretan skall vid behov förbehandlingsämnen användas enligt tillverkarens anvisningar.

Tättskikt har använts med framgång för tätning av springan mellan golv och grundmur. Det här tätningsmedlet är flytande och tränger bra in i mycket små springor. Tätningsmedlen skall användas i enlighet med tillverkarens anvisningar. Goda resultat har uppnåtts då man mellan två behandlingsomgångar har placerat ett förstärkningsband i fogen. Det finns skäl att vid behov utvidga springan mellan sockeln och golvet för att uppnå det bästa resultatet. Tätningskikt med två komponenter rekommenderas eftersom det torkar snabbt och jämnt både på ytan och djupare. Ett elastiskt förstärkningsband (t.ex. av syntetiskt gummi) höjer fogningens hållbarhet om golvplattan ännu sätter sig under de följande åren.

På bild 6.1 visas olika fogningsalternativ. Om springan som skall tätas är djup lönar det sig att installera ett fogband som förhindrar att tättskiktet sjunker och även minskar åtgången. En strängfog som visas på bild 6.1B är möjlig om det finns plats för fogen under listen. De rengjorda kontaktytorna måste vara tillräckligt breda för att man skall kunna vara säker på att fogningen är välutförd.

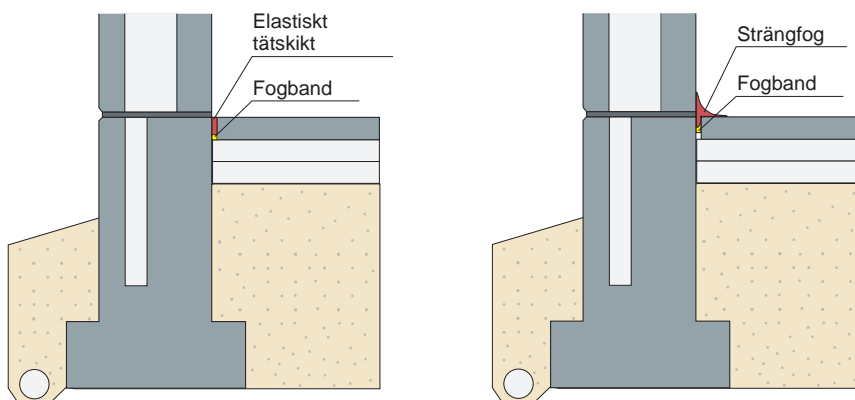


Bild 6.1 Tätning av fogen mellan sockeln och plattan.

Genomföringarna kan vara betydande inströmningsvägar. För tätningen av dem lämpar sig många olika slags fogmaterial. Om bostadens huvudvattenledning eller elkabel har letts in t.ex. via ett rör på 100 mm genom golvplattan måste fyllningsmaterial, t.ex. en lämpligt tillskuren bit cellplast först placeras på botten av genomföringsröret. Därefter kan den slutliga tätningen utföras med en liten mängd elastiskt fogmaterial. Bild 6.6 visar tätningen av en vattenledningsgenomföring som gjorts med tunn spackelpasta.

Redan en spricka med en bredd på mindre än 0,1 mm genom betongplattan ökar inströmningen av jordluft genom plattan. För tätningen av sprickor lämpar sig injektionsepxi (epoxiplast av två komponenter), som i tryckkomprimerad form redan tränger in i springor med en bredd på endast 0,01 mm. I mitten av springan borras hål i enlighet med materialtillverkarens anvisning och epoxin förs in i springan med hjälp av en vanlig engångspatron och presspistol.

Golvmassor och golvspackel lämpar sig också för tätning av sprickor när de används på ett tillräckligt stort område och i tillräckligt tjocka skikt i enlighet med tillverkarens anvisningar.

En grundmur gjord av ett poröst väggmaterial i ett hus utan källare eller en vägg med markkontakt i bottenvåningen i ett sluttningshus kan utgöra betydande inströmningsvägar för radon (bild 1.3). Grundmuren tätas genom tunnputsning från golvet ända upp till mellanbjälklaget. Tunnputsningen minskar blockens luftgenomsläpplighetsförmåga avsevärt. Åtminstone följande omständigheter kan försvåra tätningen av en blockvägg:

- I blockväggar kan luften även komma åt att röra sig i höjddled. Radonhaltig luft som tränger in från väggens yttre sida kan komma in via väggens övre sida.
- En viss mängd radon kan tränga in även genom putsade block genom diffusion. Av den här anledningen rekommenderas det för nybyggen att väggar mot jord ytbeläggs med bitumenmembran. Membranet säkerställer också att det inte blir kvar öppningar i väggen som tillåter luft att strömma in.

I tillverkarnas anvisningar kan ingå bra och fungerande instruktioner som avviker från dem som ges här.

6.3 Resultat

Småhus

Förutom genom springan mellan sockeln och plattan kan läckage också förekomma mellan sockeln och väggkonstruktionerna och via sprickor i golvplattan.

Radonhaltig luft tränger särskilt in i väggkonstruktionerna genom en otätad blocksockel. Från väggkonstruktionerna strömmar den radonhaltiga luften in i inomhusluften. Vanligtvis handlar det om betydande läckage, och tätningen av springan mellan plattan och väggen ger inte önskat resultat. Däremot finns goda förutsättningar för att en tätning av springan mellan en sockel av gjutbetong och golvplattan skall lyckas – i den mån man kommer åt springan.

En förfrågan som Strålskyddscentralen genomförde (kapitel 2) visar att radonhalten i småhus med bärande väggkonstruktioner av trä vanligtvis har minskat mellan 0 och 30 %. Genom att kombinera saneringen med en effektivisering av ventilationen har det varit möjligt att uppnå minskningar på 20–50 %. Bland dessa ingår också ett flertal saneringar som inte har haft någon effekt.

De bästa resultaten har uppnåtts i småhus med väggkonstruktioner av betong, den typiska minskningen har legat mellan 30 och 50 %. När radonhaltig luft inte kan komma in i bostaden genom väggkonstruktionen har tätningen gett resultat. Under de senaste åren har man med omfattande saneringar med tätskikt kunnat sänka radonhalten med över 50 %. Även i ett flertal enskilda fall där otäta genomföringar har utgjort en betydande inströmningsväg har resultatet kunnat överstiga 50 %.

I nya småhus tätas fogen mellan plattan och sockeln i enlighet med anvisningarna med bitumenmembran (kapitel 14). Otätade genomföringar kan då utgöra anmärkningsvärda inströmningsvägar. I vissa saneringsobjekt har man uppnått minskningar på 50–90 % genom att täta endast en betydande genomföring.

Flervåningshus

I bostäderna på de nedre våningarna i flervåningshus finns goda förutsättningar att uppnå bra resultat genom tätning av fogen mellan plattan och sockeln. Den radonhaltiga jordluften kan vanligtvis inte tränga in genom sockeln och vägg-elementen, och genom omsorgsfull tätning har man lyckats uppnå radonhalter som underskrider t.o.m. 100 Bq/m³. Minskningarna som uppnåtts i radonhalterna varierar mellan 20 och 80 %.

I kapitel 10 presenterar vi resultat av tätningsaneringar som utförts i flervåningshus.

6.4 Exempel på tätning

Tätningen av springan mellan golvplattan och sockeln kräver omsorgsfulla förberedelser och skall utföras noggrant. På bild 6.2 visas en misslyckad tätning. Springan under golvlisten som skall fogas har inte utvidgats eller rengjorts.

Med hjälp av tätskikt har tätningen lyckats bra. På bild 6.3 åskådlig-



Bild 6.2 På bild visas en misslyckad tätning. Springan under golvlisten som skall fogas har inte utvidgats eller rengjorts.



Bild 6.3 Tätning av läckande golvspringa med tätskikt och tätband.



Bild 6.4 Tätning inne i en mellanvägg utförd med tätskikt. Isoleringsremsan av cellplast som syns på bilden mellan plattan och grundmuren förhindrar inte att radonhaltig luft tränger in.

görs en sanering där det i den utvidgade och rengjorda fogen först har placerats tätskikt. Därefter har ett förstärkningsband lagts i fogen och på detta har igen fuktspärr strukits på. För att få ett gott resultat måste arbetet även gälla det inre i väggar av lätt konstruktion så att väggen öppnas och dess stödkonstruktion avlägsnas, bild 6.4.

Isoleringsremsan av cellplast som syns på bilden mellan plattan och grundmuren förhindrar inte att radonhaltig luft tränger in. I rummet på bilderna sjönk radonhalten med flera hundra Bq/m³ och det var möjligt att fullständigt förhindra radonhaltiga läckage.

På bild 6.5 har hela bostaden tätats med hjälp av tätskikt. I ett småhus hade det i samband med ett nybygge installerats radonrör under golvplattan (kapitel 14). Till radonrörssystemet anslöts en avluftsfläkt. På grund av de synnerligen grova fyllningarna kunde man emellertid inte skapa ett tillräckligt undertryck med måttlig luftström. Man blev tvungen att effektivisera utsugningen genom omfattande tätning.



Bild 6.5 Tätning av alla golvfogar med tätskikt och förstärkningsband i ett småhus. På grund av det synnerligen grova fyllnadsmaterialet fungerade radonsugen inte som avsett i saneringsobjektet.

Fogen mellan golvplattan och sockeln på bild 6.6 hade tätats framgångsrikt redan i byggnadsskedet. I väggen mellan klädrummet och vardagsrummet fanns en otätad genomföring av skyddsroren för vattenledningarna. Via mellanrummen mellan skyddsroren var det direkt kontakt till området under golvplattan. Tätningen genomfördes med hjälp av flytande spackelmassa. Resultatet var att radonhalten i vardagsrummet sjönk från 600 Bq/m^3 till 60 Bq/m^3 . Materialet under golvplattan var grov makadam som höjer läckaget avsevärt redan med en otät öppning.



Bild 6.6 Otätad genomföring i samband med vattenledningsfördelaren i ett småhus. Det var direkt kontakt från mellanrummet mellan skyddsroren till värmeisoleringen och fyllnadsgruset (A). Tätningen utfördes med synnerligen flytande spackelmassa (B).

7 Byggnader med kryprum

Grundläggning med kryprum (bild 7.1) kallas även ventilerat bottenbjälklag. Golvkonstruktionerna vilar på grundmuren och inte direkt på marken som då man använder golvplatta på mark. Om bottenbjälklaget är av trä kallas konstruktionen även trossbotten. Radongas i marken höjer även radonhalten i luften i kryprummet under golvkonstruktionen.

I byggnader med kryprund är radonhalterna i genomsnitt allra lägst. Det förekommer emellertid överskridningar av de maximala värdena 200 Bq/m^3 och 400 Bq/m^3 , särskilt i byggnader där ventilationen i kryprum och tätningen av bjälklaget är bristfälligt utförda. Via springor och öppningar i bjälklaget kan betydande mängder luft från kryprummet tränga in i bostaden.

7.1 Funktionsprincip

Radonsaneringen grundar sig antingen på en förbättring av ventilationen i kryprummet eller på en sänkning av luftflödet eller på bägge samtidigt. En förbättring av ventilationen i kryprummet sänker radonhalten i luften i kryprummet. Inverkan av luftflödet genom bjälklaget på radonhalten i inneluften avtar då.

7.2 Genomförande

Radonhalten i hus med kryprum är i genomsnitt lägre än i hus med andra slag av grunder. Den höga radonhalten i jordluften från marken sjunker i kryprummet innan luften strömmar in i bostaden. Följande faktorer kan emellertid höja radonhalterna även i bostäder med kryprum:

- Väggarna i kryprummet är täta, det finns för få ventilationsgluggar.
- Kryprummet vädras således inte och radonhalten kan vara hög.
- Kryprummet ventilationsgluggar stängs till vintern.
- Kryprummet är lågt, ventilationen i utrymmet dålig.
- Det finns otätade öppningar i bostadens bottenbjälklag.
- Hela bostadens bottenbjälklag släpper väl igenom luft.

Ventilationen i kryprummen kan effektiviseras genom att vädringsgluggarna och ventilerna öppnas. Man förhindrar att djur kan komma in genom öppningarna med hjälp av nät. Om det inte finns tillräckligt med öppningar eller om de är för små kan antalet öppningar ökas eller öppningarna förstöras. Del C2 av Finlands byggbestämmelsesamling (Miljöministeriet 1998) ger följande anvisningar om hur ventilationen i kryprum skall ordnas:

”Kryprummet ventileras i allmänhet ut mot det fria genom ventilationsöppningar eller -rör i sockeln. Kryprummet kan också ventileras maskinellt eller med hjälp av tryck, till exempel genom ventilationsrör som leder ut på taket. I kryprummet får inte bildas slutna, icke-ventilerade utrymmen avskiljda med mellanväggar eller balkar.

Den totala ytan av kryprummets ventilationsöppningar skall vara minst 4 promille av kryprummets yta. Med ventilationsöppningsyta avses hålen i skyddsnät och skyddsgaller. Ventilationsöppningarna skall fördelas jämt längs fasadlinjen så att hela kryprummet ventileras. Öppningarnas nedre kant skall vara minst 150 mm ovanför markytan men i mån av möjlighet högre än detta. Öppningarnas minimistorlek skall vara 150 cm² och minimiavståndet mellan ventilationsöppningarna 6 m. I kryprummets mellanväggar och i balkar som avdelar rummet görs motsvarande, men minst två gånger så stora ventilationsöppningar som de som leder ut i det fria på samma strömningsrutt.”

Ventilationen i kryprummet fungerar väl i blåsigt väder medan luften i kryprummet då det är vindstilla kan vara mycket stillastående. Med hjälp av fläktar är det möjligt att märkbart förbättra resultatet. Arrangemangen på bild 7.1 visar hur ventilationen kan ordnas. Radonhalten i kryprummet kan även sänkas med fuktspärmedel på bottnen i kryprummet. Erfarenheterna av fuktspärmedel varierar, det kan också leda till att mögel uppstår under fuktspärren. Anvisningar om fuktbekämpningen i kryprumt och planeringen av fuktisolering har getts i ovannämnda del C2 av Finlands Byggbestämmelsesamling.

Följande faktorer skall beaktas vid ordnandet av ventilationen:

- Ökad ventilation av kryprummet under vintern inverkar på hur kalla golven är.
- Ventilationen får inte orsaka undertryck i kryprummet. För att förhindra att undertryck bildas måste luckorna för utomhusluft vara tillräckligt stora. Saneringen får inte leda till att den fuktiga luften i bostaden tränger in i golvkonstruktionerna och orsakar fuktskador och senare mögel.
- Det är viktigt att vid projekteringen och genomförandet av ventilationen vid behov anlita yrkeskunniga personer i byggbranschen i frågor som berör de fukt- och värmetekniska aspekterna.

7.3 Resultat

Förbättrad ventilation i kryprummet har medfört att radonhalten i 75 % av saneringsobjekten har sjunkit med över 50 %, i de bästa fallen med 80 – 90 %. De mest tillämplade metoderna har gått ut på att man satt in flera vädringsluckor och öppnat dem. Passiva ventilationskanaler som på bild 7.1B har också använts. Endast sällan har en fläkt anslutits till kanalen. I hälften av fallen har radonhalten även efter saneringen överstigit 400 Bq/m³. I ett flertal fall blev resultaten bättre när man installerade en fläkt.

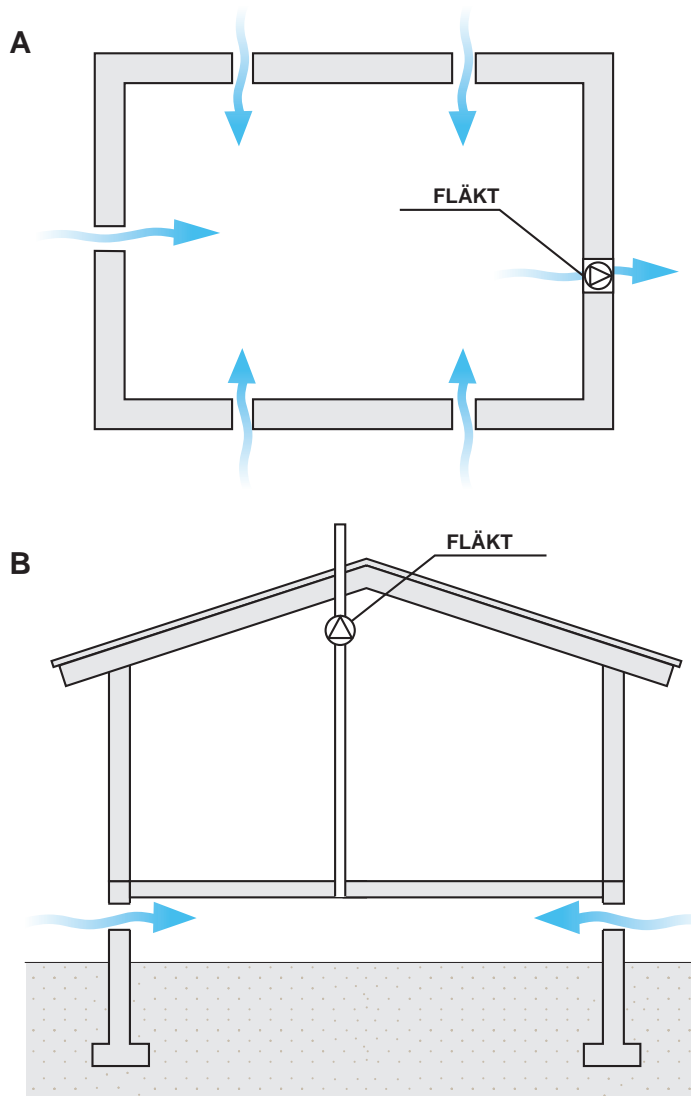


Bild 7.1 Mekanisk ventilation av ett krypprum; en fläkt har installerats i sockeln (A) och i ett avluftsror som leder upp på taket (B).

8 Ventilationstekniska saneringar i bostadsrum

8.1 Funktionsprincip

Radonhalten i inomhusluften minskas antingen med hjälp av ökad ventilation eller minskat undertryck i bostaden eller med hjälp av båda metoderna.

8.2 Genomförande

En god ventilation inverkar på hur trivsamt bostaden är och på om det finns hälsorisker i den. Samtidigt förhindrar den fukt- och mögelskador i konstruktionerna. En god ventilation håller halten av alla föroreningar i inomhusluften på en låg nivå. Enligt byggbestämmelserna skall luften i en bostad bytas ut en gång på två timmar. De krav som ställs på ventilationen och ventilationens betydelse för radonhalten har granskats i kapitel 1.3. Ventilationen är nära anknuten till bostadens undertryck, vars betydelse behandlas i kapitel 1.4.

Bostadens ventilationssystem och dess funktion skall kontrolleras innan radonsaneringen inleds. I kapitel 3.4. behandlas ventilationskontrollen. Det lönar sig att först utreda hur ventilationssystemet är planerat och hur det fungerar. Det lönar sig också att anlita branschexperter. Bruks- och underhållsanvisningarna för systemets enskilda anordningar skall iakttas.

Ventilationstekniska metoder lämpar sig särskilt vid låga luftomsättningsnivåer. Yrkeskunniga inom VVS-branschen kan hjälpa till med att bedöma läget. Kommunernas hälsoinspektörer har också mätinstrument för bedömning av läget. Om luftomsättningen redan är god eller rentav högklassig är det inte förnuftigt att försöka minska radonhalten genom att öka luftomsättningen. Det kan leda till ökat drag, buller och ökade värmekostnader.

Fläktventilation garanterar tillräcklig luftomsättning endast när den har planerats rätt och används rätt. Fläktventilationen är avsedd att vara i gång fortlöpande.

Om radonhalten överstiger 800 Bq/m^3 , dvs. är två gånger högre än gränsvärdet är det sannolikt att en förbättring av ventilationen inte räcker till som enda åtgärd för att sänka radonhalten. Om en bostads luftomsättning i utgångsläget är mycket låg eller om en bostad med fläktventilation har ett avsevärt undertryck är det möjligt att uppnå goda resultat med hjälp av endast ventilationstekniska åtgärder trots en radonhalt på t.o.m. mer än 800 Bq/m^3 .

Handboken Anvisningar om boendehälsa (Social- och hälsovårdsministeriet 2008) innehåller allmänna anvisningar om hur ventilationen kan förbättras.

Dessa anvisningarna har också tillämpats i detta kapitel.

Effektivisering av självdragsventilation

Självdragsventilationen kan effektiviseras genom installation av friskluftsventiler eller genom att frånlufts- och friskluftsventilerna öppnas mer. Rengöring av de självdragande ventilationskanalerna eller utbyte av ventilerna mot öppnare ventiler kan effektivisera luftväxlingen. Ventilationen kan också effektiviseras genom att höja frånluftskanalerna eller flödestvärnsnittsarean i kanalerna. Ofta är det inte möjligt att justera höjden. Däremot är det ibland nödvändigt och möjligt att öka antalet kanaler. En av nackdelarna med självdragsventilation är att uteluften inte når alla rum. I sovrum skall det finnas friskluftsventiler.

Avsaknaden av friskluftsventiler kan kompenseras genom att en del av det innersta fönstrets isolering ovanför fönstret avlägsnas. För att ventilationen mellan glasen skall kunna garanteras får det yttersta fönstret inte vara helt tätat.

Effektivisering av fläktventilation

Ett för lågt frånluftsflöde kan bero på att frånluftsfläkten inte fungerar eller inte används ändamålsenligt. Fläktens driftshastighet kan även vara för låg. En vanlig orsak till den låga luftväxlingen är fel driftstid och driftseffekt. Fläktventilationen skall inte stängas av helt.

En annan orsak till en svag fläktventilation är att det inte finns friskluftsventiler i alla rum. I sovrum borde det finnas friskluftsventiler och en dörrspringa som gör det möjligt för luften att ta sig via andra rum in i tvättrum och andra rum som har frånluftsventiler.

Om man öppnar och ökar antalet friskluftsventiler kan man sänka radonhalten. En ökning av tilluftsvägarna ökar luftväxlingen och sänker undertrycket i bostaden. En sänkning av undertrycket minskar den radonhaltiga luftströmmen från marken in i bostaden. Däremot minskar en ökad rotationshastighet hos frånluftsfläkten sällan radonhalten. En höjning av frånluftsflödet förbättrar luftväxlingen. Samtidigt stiger emellertid också undertrycket i bostaden. I sin helhet kan effekten på radonhalten förbli liten. Allra mest problematiska är synnerligen täta byggnader, t.ex. radhusbostäder av betongelement eller de lägsta våningarna i flervåningshus. I de saneringsobjekt som Strålsäkerhetscentralen har undersökt har man också kunnat fastställa att radonhalten ökat när frånluftsfläktens effekt har ökats. I sådana fall skall luftväxlingen ställas in på en tillräcklig men inte för stor effekt. Radonsaneringen skall vid behov intensifieras med hjälp av andra metoder.

Effektivisering av mekanisk till- och frånluftsventilation

I hus med mekanisk till- och frånluftsventilation är luftväxlingen i allmänhet på en god nivå. Otillräcklig luftväxling beror vanligtvis på att fläkten inte roterar eller att den drivs med en för liten effekt. En annan orsak till att ventilationen är otillräcklig kan vara att luftflödet fördelar sig ojämnt i rummen. Det här kan åtgärdas genom att luftflödet justeras med hjälp av tillufts- och frånluftsventilerna och spjällen. Ett tilltäppt filter kan försämra systemets funktion. Nätet i systemets uteluftsgaller och filtren skall rengöras regelbundet enligt tillverkarens anvisningar.

Det totala tilluftsflödet och det totala frånluftsflödet vid mekanisk tillufts- och frånluftsventilation skall balanseras. För hög total frånluftsmängd i jämförelse med den totala mängden tilluft ökar undertrycket i bostaden och sålunda också mängden radon som läcker in. Ett tecken på obalans kan vara att fläkten måste stängas av för att det inte skall ryka in från öppna spisen. Balanseringen sker inte med hjälp av ventilerna i rummen utan från systemets reglage. Justeringen av luftflödet skall utföras av en yrkeskunnig fackman. Ett tilltäppt filter inverkar negativt på undertrycket.

Installation av mekaniskt ventilationssystem

Det är sällsynt att ett nytt mekaniskt ventilationssystem installeras endast i syfte att sänka radonhalten. Vanligtvis totalrenoveras samtidigt bostadens ventilation, eftersom den totala ventilationen i bostaden fungerar bristfälligt. Tydligt svag luftväxling i utgångsläget och märkbart högt undertryck i bostaden utgör de bästa förutsättningarna för en sänkning av radonhalten genom ventilations-tekniska åtgärder. Undertryckets betydelse har granskats i kapitel 1.4

Vid installationen av ett mekaniskt frånluftsventilationssystem skall ett tillräckligt antal friskluftsventiler monteras. Ventilerna skall vara steglöst justerbara för att man skall få till stånd ett kontrollerat flöde av utomhusluft. Friskluftsventiler skall åtminstone installeras i sovrummen. Ventilernas rätta plats är ovanför värmeelementen. Då blandar sig den kalla luftströmmen med den varma som stiger från värmeelementen. För att undvika drag kan man alternativt överväga att installera en s.k. tilluftsvarmare. För att minska radonläckaget lönar det sig att placera tilluftsvarmaren så lågt som möjligt. Då minskar det läckage som undertrycket åstadkommer mest.

Saneringsresultaten visar att de sänkningar av radonhalten som man uppnått genom installation av frånluftsventilationssystem är tämligen små och endast i undantagsfall överstiger 50 %. Radonhalten förblir nästan oförändrad, eftersom ökningen av undertrycket minskar effekten av den förbättrade ventilationen.

Installation av en ny mekanisk tillufts- och frånluftsventilation är en dyr åtgärd. För att kunna uppskatta den sänkning av radonhalten som ventilationen möjligtvis har medfört gäller det att känna väl till ventilationen och undertrycket i bostaden vid utgångsläget. Med tanke på radonhalten är det viktigt att en yrkeskunnig fackman justerar det totala tillufts- och frånluftsflödet i enlighet med anvisningarna.

Minskande av undertrycket

Problemen med undertryck är störst i bostäder med mekanisk frånluftsventilation och särskilt i täta hus. I småhus och radhus av betongelement har problem förekommit allra mest. Undertrycket kan sänkas genom att man öppnar friskluftsventilerna eller vid behov installerar fler. I bostäder med mekanisk tillufts- och frånluftsventilation inverkar regleringen av luftflödet i systemet på undertrycket.

I täta småhus förekommer samma undertrycksproblem som i de lägsta våningarna i våningshus. De erfarenheter som har gjorts med våningshus (kapitel 10) kan tillämpas också på småhus.

8.3 Resultat

Effektivisering av ventilationen har vanligtvis medfört en minskning av radonhalten med 10–40 % (kapitel 2). I många fall har effekten varit så svag att det inte syns någon förändring i radonhalten som skulle avvika från den normala variationen.

Självdregsventilationssystem har effektiviserats genom att man har öppnat de ventiler som finns eller installerat nya friskluftsventiler. Vanligtvis har antalet friskluftsventiler utökats betydligt, med 4–6 st. Rengöring av kanalerna och flera vädringsspringor i nedre delen av dörrarna hör också till åtgärderna.

Mekanisk frånluftsventilation har effektiviserats genom att nya friskluftsventiler har installerats, en fläkt som inte alls har varit i funktion har tagits i bruk eller genom att driftstiden och effekten har ökats. Ibland har befintliga och tilltäppta friskluftsventiler rengjorts. Antalet nya ventiler har varit betydande, 3–6 st. Alternativt har också det inre fönstrets tätning avlägsnats på ett område av 20 cm ovanför fönstret. Vid mekanisk frånluftsventilation är det viktigt att dörrarna i tvättrum och sovrum är försedda med en springa nertill. I vissa fall har antalet dörrspringor ökats.

Ofta har det hjälpt att installera friskluftsventiler i täta småhusbostäder. Särskilt i våningshus och småhus av betongelement med mekanisk frånluftsventilation har goda resultat uppnåtts. Genom att installera friskluftsventiler

når man i vanliga fall inte sänkningar på över 50 %.

De viktigaste åtgärderna för att effektivisera den mekaniska tillufts- och frånluftsventilationen har vanligen inneburit att man har övergått till en fortlöpande användning och höjt drifteffekten. Åtgärderna består också av rengöring av hela kanalsystemet och basservice av en defekt centralenhet.

De bästa resultaten har uppnåtts genom att installera ett nytt mekaniskt tillufts- och frånluftsventilationssystem i ett hus med självdragsventilation som fungerar dåligt.

Radonhalten har vanligtvis minskat med 20–50 % från utgångsläget. Det är uppenbart att saneringsobjekt med den största minskningen också hade den svagaste ventilationsnivån i utgångsläget. Installation av mekanisk frånluftsventilation har entydigt gett ett svagare resultat. De mest typiska minskningarna rör sig mellan 10 och 40 %.

De resultat som kan uppnås med ett nytt ventilationssystem påverkas kraftigt av läget vad gäller ventilationen och undertrycket före radonsaneringen. Installation av ett nytt ventilationssystem är en dyr åtgärd.

Därför är det viktigt att göra en noggrann bedömning av situationen innan saneringsmetoden väljs – särskilt om minskningen av radonhalten är orsaken till saneringen. Vanligtvis har man gjort detta val om man samtidigt har velat förbättra bostadens dåligt fungerande ventilation. Radonsug och radonbrunn är de primära saneringsmetoderna, och i genomsnitt är de effektivare och billigare.

8.4 Installation av friskluftsventiler, Helsingfors

I 14 bostäder i ett parhusbostadsaktiebolag i Helsingfors överskred radonhalten maximivärdet 400 Bq/m³. I de övriga bostäderna låg radonhalten på 100–400 Bq/m³. Husen var byggda av betongelement och var mycket täta. Luftväxlingen i bostäderna var tillfredsställande. I bostäderna fanns en mekanisk frånluftsventilation som reglerades vid spisfläkten och som också fungerade när reglaget stod i 0-läge.

I bostäderna installerades friskluftsventiler i de övre fönsterkarmarna. Ventilerna medförde mindre undertryck och ökad luftväxling vilket minskade radonhalten med 30–40 %. I tre bostäder tätades dessutom fogen mellan golvplattan och sockeln med fogmassa av polyuretan. Som en följd av tätningen minskade radonhalten tydligt endast i två av de tre bostäderna. I bostaden där tätningen inte hjälpte och i en annan bostad som ännu efter att friskluftsventilerna hade installerats hade en radonhalt på över 600 Bq/m³ installerades dessutom radonsugar. Då sjönk radonhalten i bostäderna klart under 200 Bq/m³. På bild 4.1. visas verkningarna av radonsugen i den ena bostaden.

8.5 Undertryck i saneringsobjekt med radonsug, Mellersta Nyland

Vilken inverkan undertrycket har och hur de typiska undertrycksnivåerna i småhus ser ut har granskats i kapitel 1.4. Följande exempel visar mycket tydligt vilken betydelse undertrycket har. Undersökningsobjektet är ett parhus i två våningar med en bottenyta på 45 m² och en boendeyta i två våningar på 90 m². Bostaden har en mekanisk frånluftsventilation med en regulator med fyra effektlägen. I bostaden mättes undertrycket genom vädringsluckan i nedre våningen och frånluftsventilationens totala luftflöde vid frånluftsfläkten på taket. Resultaten ges i tabell 8.1.

Kännetecknande för bostäderna med mekanisk frånluftsventilation var ett undertryck på 4–10 Pa (pascal) när ventilationen var inställd på något av ventilationens normala driftslägen. Resultaten av mätningarna med hastigheterna 1 och 2 låg inom det här området. Bostadens väggar och tak är av betongelement och mycket täta. Tätheten yppar sig som en fördubbling av undertrycket när friskluftsventilerna stängs. På bild 10.2 visas den använda typen av friskluftsventil. Bostadens vägg- och takkonstruktioner är mycket täta eftersom undertrycket mer än fördubblas när friskluftsventilerna stängs. Bostadens volym är 225 m³. De luftflöden som uppmättes med ventilationsaggregatet inställt på hastigheterna 1 och 2 motsvarar luftomsättningar på 0,43 och 0,70 l/h. Dessa är båda goda värden, eftersom den rekommenderade luftomsättningen är 0,5 l/h.

Tabell 8.1 Mätning av undertrycket i ett parhus i Mellersta Nyland när ventilationsaggregatet och friskluftsventilerna står i olika lägen.

Den mekaniska frånluftsventilationens inställning	Frånluftsflöde l/s (m ³ /h)	Undertryck Friskluftsventiler öppna, Pa	Undertryck Friskluftsventiler stängda, Pa
1	27 (97)	6	14
2	44.5 (157)	11	27
3	58.5 (211)	16	41
4 (max)	70 (252)	21	55

När saneringsobjektets radonhalt mättes var friskluftsventilerna stängda under en del av mätningen. Resultatet presenteras på bild 8.1. När ventilerna var stängda uppgick radonhalten till ca 400 Bq/m³ medan den med öppna ventiler låg vid endast 100 Bq/m³. I enlighet med tabell 8.1. mer än fördubblas bostadens undertryck när ventilerna stängs. Den stora variationen i radonhalten beror på det undertryck under golvplattan som radonsugen orsakar i förhållande till bottenvåningens boendeyta. Det här undertrycket som radonsugen orsakar konkurrerar med bostadens eget undertryck. När friskluftsventilerna är stängda är bostadens eget undertryck klart större och ökar inströmningen av radonhaltig luft från marken in i bostaden.

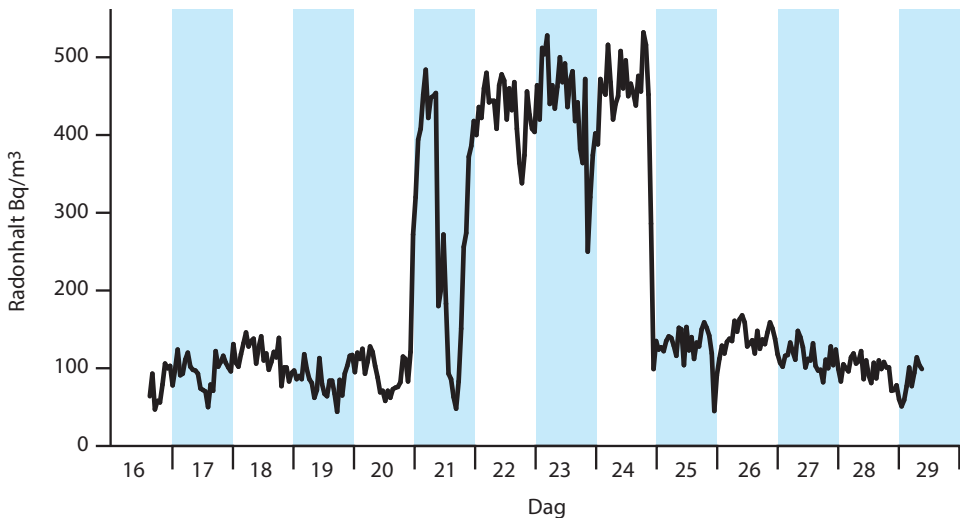


Bild 8.1 De öppnade friskluftsventilernas inverkan på radonhalten i ett parhus med radonsug, oktober 2007.

9 Sanering av ventilationen i källare

9.1 Funktionsprincip

Radonhalten i källare är betydligt högre än i de övre våningarna. Med tanke på ventilationen avskiljs källaren vid radonsaneringen från den övriga bostaden till en egen enhet. Då minskar intrånget av radon från källaren in i boningsrummen. Radonhalten i källaren sänks genom att effektivisera av ventilationen.

9.2 Genomförande

Ventilationen effektiviseras genom att frånlufts- och tilluftskanalerna öppnas eller antalet kanaler utökas. Vid behov installeras en mekanisk ventilation i källaren. Radonhalten sjunker och inströmningen av den radonhaltiga luften i källarlokalen minskar. När man vill isolera källaren från den övriga bostaden lönar det sig att täta dörren till källaren eller bygga en ny dörr i nedre ändan av trappan. Anslutning av trappuppgången till bostadens ventilationssystem kan också sänka radonhalten.

9.3 Resultat

Radonhalten i de saneringsobjekt (kapitel 2) som enkätundersökningen omfattade sjönk vanligtvis med 10–50 % från det ursprungliga värdet. I ca 50 % av fallen uppnåddes en radonhalt på mindre än 400 Bq/m³. I Strålsäkerhetscentralens tidigare forskningsmaterial har minskningar på t.o.m. mer än 70 % förekommit. I en del av de sanerade husen är källaren mindre än våningen ovanpå, varvid en del av bostaden har en platta på mark med låg grund eller kryprum. Inte bara den radonhaltiga luft som strömmar in i källaren utan också den som tränger in genom de här konstruktionerna höjer radonhalten i bostaden. I det fallet uppnår man nödvändigtvis inte den önskade radonhalten genom att sanera ventilationen i källaren. Goda resultat kan nås endast förutsatt att det är den radonhaltiga luften i källaren som har varit orsaken till den förhöjda radonhalten.

Om husets grund delvis utgörs av en platta på mark och delvis av källare behövs det sannolikt en radonsug eller radonbrunn för att minska läckaget genom plattan. Radonsug och radonbrunn är effektiva saneringsmetoder och ett alternativ värt att beakta även som primär metod för sanering av hus med källare.

Läckageställen i källaren som det går lätt att täta lönar det sig att täta. Med hjälp av dem förstärks de andra saneringsmetodernas effektivitet.

9.4 Exempel på källarsanering

Radonhalten på bostadsplanet i ett småhus på 120 m² med källare som byggts år 1986 var 1 900 Bq/m³. I boningsrummen finns mekanisk frånluftsventilation. Mellanbotten är av betong. Ett flertal åtgärder vidtogs.

- Blockväggarna i källaren tätades med betongspackel.
- En tegelvägg och en ny dörr byggdes i nedre ändan av trappuppgången.
- Genomföringarna tätades.
- I källaren installerades en mekanisk frånluftsventilation med ett frånlufts rör som ledde upp på taket.
- En friskluftsventil monterades i källaren.
- Källartrappan anslöts till frånluftskanalen.
- I boningsrummen installerades friskluftsventiler.

Som följd av saneringen sjönk radonhalten i boningsrummen till 50 Bq/m³. I exempel-fallet trängde den radonhaltiga luften in i boningsrummen från källaren och åtgärderna som sattes in gav ett synnerligen bra resultat.

10 Radonsanering av flervåningshus

I våningshus är radonhalterna i genomsnitt betydligt lägre än i småhus. De typiska radonhalterna i våningshus ligger mellan 40 och 100 Bq/m³ medan det i småhus är synnerligen vanligt med radonhalter på 100–200 Bq/m³. I småhus förekommer det också mycket överskridningar av maximivärdet 400 Bq/m³.

I de övre våningarna i våningshus utgör betongväggar, tak och golv de mest betydande radonkällorna. Alla byggnadsmaterial som innehåller stenmaterial innehåller också uran som avsöndrar radon i någon mån. Normala målarfärger och tapeter hindrar inte avgivningen av radon ur betongkonstruktionerna i inomhusluften. Vid normal ventilation höjer avgivningen av radon ur byggmaterialet endast sällan radonhalten till en nivå över 200 Bq/m³.

Radonhalterna i bostäderna på de nedre våningarna är märkbart högre än i bostäderna på våningarna högre upp. Orsaken till de förhöjda halterna är den radonhaltiga luften i marken som tränger in särskilt då det omedelbart under golvplattan finns grus.

Konstruktionerna i våningshusbostäder är synnerligen täta. Tätheten, den mekaniska frånluftsventilationen och avsaknaden av friskluftsventiler medverkar till undertrycket i bostäderna. Undertrycket igen ökar mängden radonhaltig luft som strömmar in i bostäderna från marken.

Av bostäderna i de nedre våningarna utgör de med de högsta radonhalterna och golvplatta på mark mindre än 10 % av det sammanlagda antalet våningshusbostäder (Arvela et al.) 1993). Utrymmena på nedersta våningen används vanligtvis också i annat syfte än som bostäder, t.ex. som lager och bastu. Källarplanet bryter den direkta kontakten mellan marken och boningsrummen ovanför källarplanet. Källarvåningen skyddar sålunda de ovanliggande bostäderna mot radonläckage.

Den genomsnittliga radonhalten i bostäderna med markkontakt på bottenvåningen och överskridningarna av maximivärdet motsvarar de som förekommer i småhus. Enligt en stickprovsundersökning som Strålsäkerhetscentralen har genomfört överskrids 200 Bq/m³ i åtminstone en femtedel av dessa bostäder. På motsvarande sätt överskrids 400 Bq/m³ i åtminstone var tionde bostad. Bedömningen försvåras genom att endast en grov uppskattning av vilka bostäder som har en golvplatta på mark är möjlig utgående från invånarnas uppgifter i frågeformulären. Dessutom kan invånarna i våningshus sällan tillförlitligt bedöma husets grundläggningsmetod. I våningshus som byggts på grovt grus är halter på några tusen Bq/m³ vanliga. De högsta radonhalterna på bottenvåningen har legat på mer än 10 000 Bq/m³.

Överskridningar av maximivärdet är också möjliga i bostäderna ovanför första våningen. Särskilt otätade rörkanaler mellan en bostad på andra våningen och bostaden eller lagerrummet nedanför kan fungera som inströmningsvägar. Rörkanaler (ventilation, avlopp) som sträcker sig nerifrån ända upp i ett våningshus kan också göra det möjligt för luften att förflytta sig upp i de högre våningarna om de inte har stängts och tätats mellan våningarna. I bostäderna på bottenvåningen i ett hus med källare kan det också förekomma förhöjda halter om det finns luftläckage mellan källaren och boningsrummen.

I hus med kryppgrund kan det förekomma förhöjda radonhalter i bostäderna på bottenvåningen. Halterna i boningsrummen stiger om radonhalten i luftrummet mellan markytan och bottenbjälklaget är tillräckligt hög och bjälklaget har läckageställen. Otillräcklig ventilation i kryppgrunden höjer radonhalten. Störst är risken på grus. Alla genomföringar och öppningar i bostadens bottenbjälklag kan fungera som inströmningsvägar.

I kapitel 10.15 analyseras nya våningshus med tanke på radonförekomsten. Övergången till separat tillufts- och frånluftsventilation för enskilda bostäder i våningshus inverkar reducerande på radonhalterna.

10.1 Inströmningsvägar i flervåningshus

Den mest betydande inströmningsvägen för radonluft i bostäderna i de nedre våningarna i ett våningshus utgörs av sprickor mellan golvplattan på mark och sockeln. Här är situationen densamma som i småhus med golvplatta på mark. Andra märkbara inströmningsvägar kan vara:

- otätade genomföringar i golvkonstruktioner mot mark, i sluttningshus byggda på sluttningar även i väggar mot mark
- anslutningarna till kanaler under golvplattan, t.ex. fjärrvärmekanalerna
- alla genomföringar i bottenbjälklaget i hus med kryppgrund
- hög radonhalt i trappuppgången kan inverka på radonhalterna i boningsrummen

I de övre våningarna är alla kanaler längs vilka radonhaltig luft kan tränga in i bostaden från marken eller våningar lägre ner potentiella inströmningsvägar.

I stora byggnader av typen flervåningshus kan boningsrummens egna radonläckage som uppmäts och den luft som förs upp med ventilationen från våningarna lägre ner på ett komplicerat sätt inverka på de uppmätta radonhalterna. Radonkällornas verkningar i olika delar av byggnaden kan förändras betydligt när ventilationseffekten varierar. I sådana fall skall byggnadens inströmningsvägar av radonhaltiga jordluften och de inre luftströmningarna analyseras noggrant.

10.2 Undertrycksmätningar i bostäder i flervåningshus

Betongelementen i bostäder i flervåningshus är till sin konstruktion mycket täta. En mekanisk frånluftsventilation orsakar ett märkbart undertryck i bostäderna. Undertrycket kan i viss mån minskas genom att sörja för tillförseln av utomhusluft via ventilerna. Kravet på friskluftsventiler i nya bostäder har ställs först sedan början av 1990-talet. I äldre våningshus är friskluftsventiler sällsynta. På bild 10.1 visas undertrycksmätningar som Strålsäkerhetscentralen har utfört i 16 bostäder på bottenvåningen.

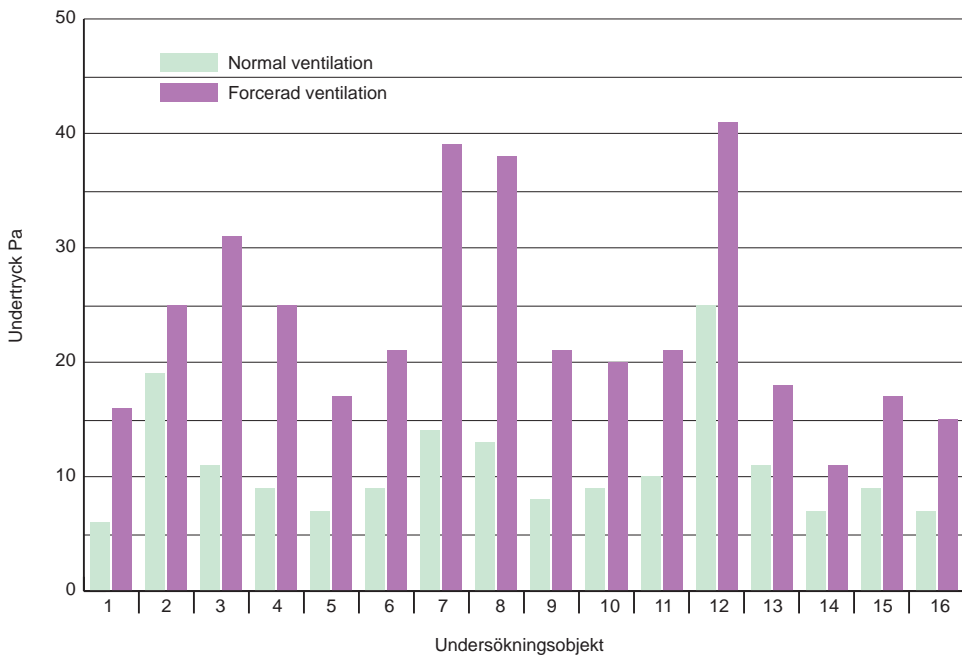


Bild 10.1 Undertrycksmätningar med normal och forcerad ventilation i bostäder på bottenvåningen i ett våningshus.

Medelvärdet av undertrycket vid normal ventilation låg på 11 Pa och vid forcerad ventilation på 25 Pa. Det högsta undertrycket mätt vid normal ventilation uppgick till 25 Pa. I den här bostaden fanns friskluftsventiler, men den trånga luftkanalen som berodde på spjället på utsidan av fönsterkarmen begränsade ventilernas funktion. Undertrycket i småhus försedda med mekanisk ventilation är i genomsnitt tydligt lägre, i vanliga fall under 10 Pa vid de lägre ventilationseffekterna. I småhus med mekaniskt tillufts- och frånluftssystem ligger undertrycket i allmänhet på endast 2–5 Pa.

Mätningar som genomförts i en flervåningslägenhet i Helsingfors visar hur tätheten och ventilationen i ett våningshus inverkar på radonhalten. Med forcerad ventilation uppgick undertrycket till 25 Pa och med halv effekt till 11 Pa.

Den forcerade ventilationen var i bruk några timmar per dygn i bostaden. Luftomsättningen i bostaden uppmättes vid normal ventilation till 0,35 1/h och vid forcerad ventilation till 0,62 1/h. Övergången till forcerad ventilation höjer proportionellt sett undertrycket mer än luftomsättningen. Om den radonhaltiga luft som kommer från marken är den mest betydande radonkällan är radonhalten i bostaden tämligen direkt proportionell mot undertrycket och omvänt proportionell mot luftomsättningen. I exempelfallet innebär en forcering av ventilationen inte alls att radonhalten sjunker utan i stället höjs den till och med. I den här bostaden observerades en minskning av undertrycket med ca 20 % när den inre ytterdörren (som förhindrar ljud från trapphuset) öppnades. Det här avslöjar också någonting om bostadens täthet för vilken läckageställen i ytterdörren spelar en viktig roll. Man iakttog skillnader i undertrycket på flera tiotals procent i bostäderna i samma hus. Undertrycksskillnaderna kan orsakas av skillnader i hur täta fönstren är men också av skillnader i justeringen av luftflödet.

10.3 Normal och forcerad ventilation

I våningshus är den forcerade ventilationen i gång vanligtvis på morgonen och på kvällen vid tidpunkten för matlagningen. I de objekt på bottenvåningen som Strålsäkerhetscentralen undersökt har radonhalten inte märkbart påverkats av att ventilation ställts in på olika effekter. När luftväxlingen ökar stiger också undertrycket och inströmningen av radonhaltig luften från marken. Radonhalten påverkas inte nämnvärt. I de högre våningarna i våningshus är det byggmaterialet som utgör den huvudsakliga radonkällan. Då sänker en forcerad ventilation radonhalten.

10.4 Installation av friskluftsventiler som radonsaneringsåtgärd

I allmänhet är det möjligt att med hjälp av friskluftsventiler uppnå en minskning av radonhalten på 20–50 %. Förändringar i samma storleksklass i undertrycket har uppmätts i samband med Strålsäkerhetscentralens undersökningar genom att de befintliga friskluftsventilerna i bostäderna öppnades. Av tabell 10.1 framgår resultaten som uppmätts i fyra lägenheter i flervåningshus.

VVS-laboratoriet vid Tekniska högskolan undersökte år 1999 användningen av friskluftsventiler vid reduceringen av radonhalter (Kurnitski et al. 1999). I samband med projektet analyserades en öppen ventillösning som gick ut på att utomhusluften värms upp genom värmeelementet under fönstret. Resultaten var i samma storleksklass som resultaten för undersökningsobjekten i kapitel 2. Installation av ventiler resulterar endast i undantagsfall i minskningar på mer än 50 %, vanligtvis är resultatet lägre. Med tanke på friskluftsventilernas

Tabell 10.1 Exempel på minskningar av radonhalten som uppnåtts med hjälp av friskluftsventiler i flervåningslägenheter. Undertrycket har uppmätts med den mekaniska ventilationen inställd på normal effekt.

Objekt	Undertryck med ventilationen på normal effekt, Pa	Radonhalten före radonsanering, Bq/m ³	Radonhalten efter radonsanering, Bq/m ³	Reducering av radonhalten, %
Vanda	13	500	250	50
Hollola 1	5	1200	700	42
Hollola 2	9	1150	610	47
Hollola 3	10	1040	740	29

användbarhet skall man hellre montera flera ventiler i olika rum än att försöka uppnå goda resultat med hjälp av endast en ventil. Under de kallare årstiderna är då luftströmmen ur ventilerna mindre menlig. I undantagsfall har aktiva värmeaggregat och tilluftsanordningar försedda med fläktar installerats för att värma upp den inkommande luften så att den är behaglig. Sakkunniga VVS-affärer betjänar i frågor som gäller val av friskluftsventiler och monteringen av dem.

Uteluftsventilerna kan vara antingen spaltventiler eller ventiler av rörmodell som monteras på väggen. Spaltventilerna är som namnet säger ventiler formade som en spalt och är avsedda att monteras ovanför fönster antingen direkt i fönstrets karmspringa eller i hål som borras eller fräses i lämplig storlek. Det finns filterförsedda ventiler, ventiler utan filter och också ljudisolerade modeller. Luftflödets hastighet och styrka kan vanligtvis regleras genom att springan i tilluftsdonet förstoras eller minskas. På bild 10.2 presenteras spaltventilen, som är vanlig i fönsterkarmar. Spaltventilerna lämpar sig både för nybyggen och gamla byggnader. Med hjälp av den här lösningen kan man undvika att särskilt i gamla byggnader bl.a. bli tvungen att göra genomföringar i väggelementen.

Runda ventiler monteras på väggen, antingen ovanför fönstret eller på väggen bredvid fönstret. Deras genomföringsdel är alltid rund, men det yttre gallret kan utformas på vilket sätt som helst. Den inre sidan av ventilen är vanligtvis försedd med en riktningsskiva för riktning av luftflödet mot taket. Det går relativt enkelt att montera filter och ljudisoleringskomponenter på de här modellerna. En del av modellerna har försetts med en termostat som minskar tilluftsflödet vid låga utomhustemperaturer.

Den här ventilmodellen används både vid nybyggen och vid renoveringar. I renoveringsobjekt är man alltid tvungen att borra ett hål genom väggkonstruktionen, vilket vanligtvis är besvärligare än att bearbeta fönsterkarmen. Ventilen kan också monteras på vädringsgluggen i vädringsfönstret och i anslutning till den är det möjligt att installera t.o.m. krävande ljudisolerings- och filterlösningar.



Bild 10.2 Spaltventil som installerats i fönsterkarmen.

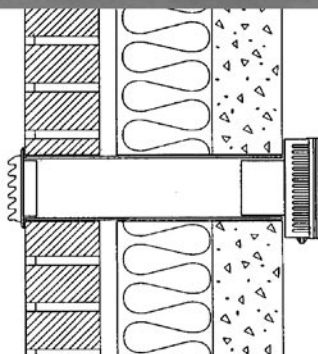


Bild 10.3 Friskluftsventil som installerats på väggen.

10.5 Exempel på installation av friskluftsventiler

I en bostad i ett våningshus i Vanda uppmättes under vintern 1994 en radonhalt på 440 Bq/m^3 . Bostaden har en golvplatta på mark. Under golvet löper också en värmeledningskanal som är förbunden via en lucka med klädrummet och tvättutrymmena. Kanalen höjer för sin del radonhalten. I de övre våningarna varierade radonhalten mellan 30 och 90 Bq/m^3 . I syfte att bedöma vilken verkan friskluftsventiler har mättes radonhalten i mer än två dygn så att vädringsfönstret hölls på glänt mindre än en centimeter. Under mätningen som genomfördes i augusti sjönk radonhalten från en nivå på 600 Bq/m^3 till mindre än 100 Bq/m^3 , se bild 10.4. Efter undersökningen avlägsnades fönstertätningen från fönstrens övre delar längs ett område på ca 20 cm. Tack vare den här åtgärden sjönk radonhalten permanent till ca 300 Bq/m^3 . Det installerades friskluftsventiler i bostaden vilket ledde till att radonhalten sjönk ytterligare till en nivå på ca 20 %, dvs. till 250 Bq/m^3 . Utgående från undertrycksmätningarna hade avlägsnandet av fönstertätningen nästan samma inverkan som installationen av friskluftsventiler. Installation av friskluftsventiler är att rekommendera.

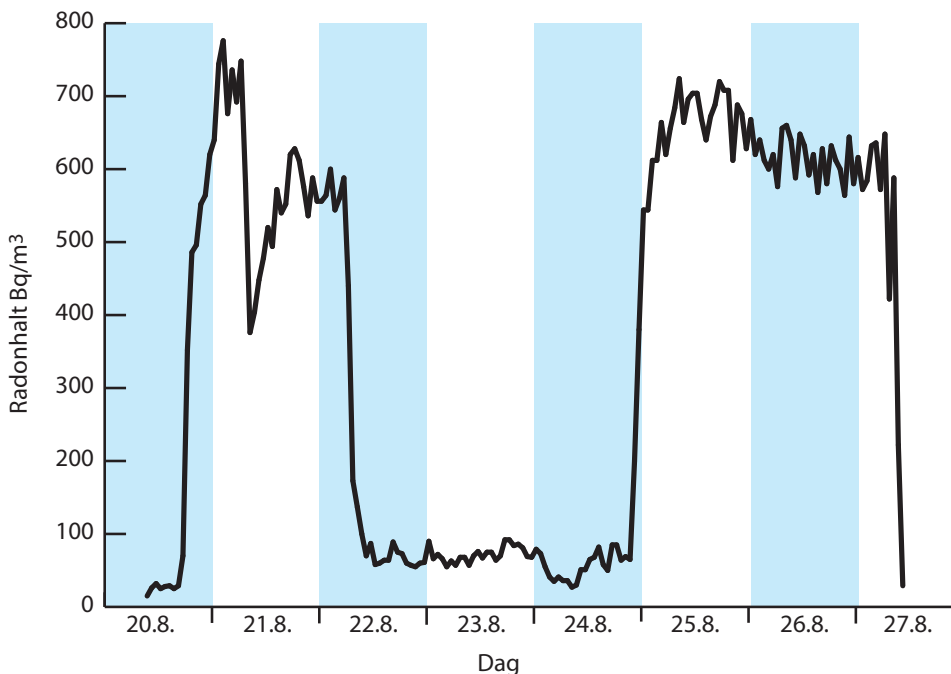


Bild 10.4 Minskningen av radonhalten i en bostad i ett våningshus i Vanda under sommaren när vädringsfönstret har stått på glänt. Efter att friskluftsventilerna hade installerats sjönk radonhalten till en nivå på 250 Bq/m^3 med stängda fönster.

10.6 Tätning och uppnådda resultat

Förutsättningarna för att tätning skall lyckas i våningshus är avsevärt bättre än i småhus. Eftersom både grundmuren och väggelementens nedre delar är gjorda av gjutbetong kan den radonhaltiga luften inte tränga in i väggkonstruktionerna via grundmuren. Då kan en tätning av springan mellan golvplattan och väggkonstruktionen ge goda resultat. I småhus av trä är situationen sämre. I ett småhus tränger radonhaltig luft in i väggkonstruktionerna om grundmuren är av lättklinkerblock, och tätningen av springan mellan golvplattan och väggen förhindrar inte fullständigt läckagen. Även i våningshus skall tätningen omfatta alla läckageställen för att ett gott resultat skall kunna uppnås, eftersom nästan samma mängd radonhaltig luft kan ta sig in i boningsrummen genom otätade springor.

Fogmaterial och arbetsmetoder som används vid tätning har tagits upp i kapitel 6. Tätning i våningshus har i genomsnitt gett bättre resultat än tätning i småhus. På resultatet inverkar i hur stor omfattning springorna har tätats. I våningshus kan en del av golvets läckageställen befinna sig t.ex. runt tvättutrymmena inne i väggkonstruktionerna och då är det inte möjligt att nå dem utan rivning. Springan som skall tätas måste tas fram så att det går lätt att behandla den, t.ex. genom att såga bort parkettkanten. Springan skall utvidgas och rengöras före fogningen. Det här är viktiga åtgärder, se kapitel 6.

10.7 Tätningssubjekt, Helsingfors

I ett våningshusaktiebolag i Helsingfors mättes radonhalten i sju bostäder på bottenvåningen. Resultatet varierade mellan 100 och 630 Bq/m³, se tabell 10.2. Bostäderna i de nedre våningarna i samma våningshus eller i en grupp av hus kan visa på stora skillnader i radonhalten. Skillnaderna beror på olikheter i grundbotten, fyllnadsjorden, läckageställena i bottenbjälklagen eller undertrycket i bostäderna. I tre bostäder överskreds maximivärdet 400 Bq/m³ (550, 600 och 630 Bq/m³). I de här bostäderna tätades golvfogarna av ett företag inom fogningsbranschen. Vid tätningen användes polyuretanbaserat fogmaterial och man strävade efter att beakta alla fogar vid de bärande mellanväggarna och de som gränsade till ytterväggarna. I två bostäder lyckades saneringen endast måttligt, medan resultatet för en bostad blev bristfälligt.

Tabell 10.2 Radonhalten i bostäderna på bottenvåningen i ett flervåningshus i Helsingfors (bostäderna 1–7). Bostad nr 8 befinner sig på andra våningen och representerar det slag av bostad där radonhalten inte påverkas av radonläckagen från marken. I tre bostäder gjordes tätningar.

Bostad	1	2	3	4	5	6	7	8
Radonhalten före radonsanering, Bq/m ³	550	600	230	270	630	100	120	90
Radonhalten efter radonsanering, Bq/m ³	300	430	-	-	260	-	-	-
Minskning, %	46	28			56			

10.8 Radonsug i flervåningshus

Projekteringen och installationen av en radonsug har beskrivits i kapitel 4. I bostäder i våningshus är det vanligt att bärande mellanväggar som sträcker sig djupt delar bottenbjälklaget i segment och försvårar radonsugens funktion. Radonsugarna i våningshus har nästan undantagslöst installerats via sockeln (kapitel 4.13), varvid man inte har behövt röra bostädernas inre konstruktioner. Det undertrycket som råder i våningshus försvagar radonsugens funktion. Undertrycket som radonsugen ger upphov till borde vara så stort även i utkanterna av plattan att luftströmningen från marken förhindras.

10.9 Sanering med radonsug i huvudstadsregionen

Radonsanering undersöktes i ett våningshus som uppförts på 1980-talet. Bottenvåningen i tvåvåningshuset har byggts i en sluttning. Sockeln ligger en meter högre på den nedre delen av sluttningen än på den övre delen. Under plattan på mark ligger ett tjockt lager fyllnadsgrus. I en bostad på 110 m² finns ett stort kombinerat vardagsrum och kök samt tre sovrum, bild 10.5. I bostaden uppmättes före saneringen under vintern en radonhalt på 1 900 Bq/m³.

Bostaden är försedd med en för våningshus typisk mekanisk frånluftsventilation och den har mycket täta konstruktioner. När den första radonmätningen utfördes fanns det inga friskluftsventiler i bostaden.

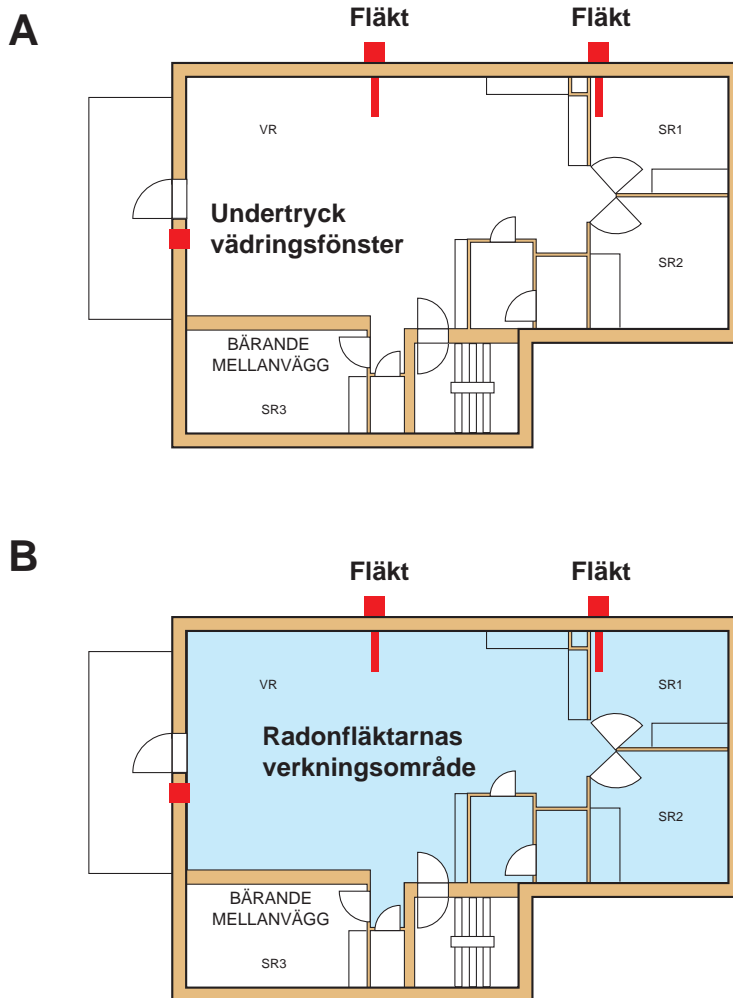


Bild 10.5 Installationen av två radonsugar i en bostad i ett våningshus i huvudstadsregionen (A) och radonsugarens verkningsområde (B).

Som huvudsaklig saneringsmetod valdes radonsugen, som installerades genom sockeln. Då behöver man inte alls röra bostadens inre konstruktioner. Dessutom beslutade man att montera sammanlagt fyra friskluftsventiler i fönstren och att tät springorna mellan golvplattan och väggen. Bild 10.2 visar de spaltventiler som monterades på fönsterkarmarna i bostaden.

Det installerades sammanlagt två radonsugar. Bild 10.5 visar hur radonsugarna placerades ut. Fläktarna är kanalfäktar 60 W som kopplats på halv effekt. Radonsugarna installerades av ett företag med tidigare erfarenhet av att

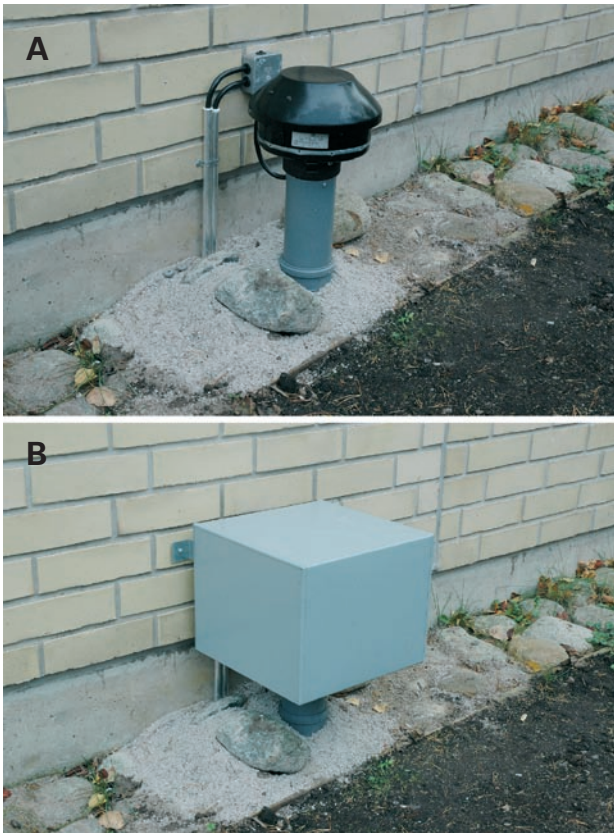


Bild 10.6 Avluftsfläkt som monterats invid sockeln (A) och en effektiv ljuddämpare runt fläkten (B).

radonsanera med utsugning genom sockeln. Bild 10.6 visar en avluftsfläkt som monterats nära sockeln och en effektiv ljuddämpare runt fläkten.

I bostaden genomfördes en undertrycksmätning med hjälp av ett rör som förts in genom en springa i vädringsfönstret. När friskluftsventilerna var öppna uppgick undertrycket till ca 7 Pa och när de stängdes till 9 Pa. När ventilationen kopplades på forcerat läge mer än fördubblades undertrycken. Nästan samma tryckskillnad rådde på golvnivån och tvingade jordluften att strömma in i bostaden genom alla springor.

De undertryck som uppmättes genom plattan visade att flödesriktningen ändrades när radonsugen kopplades på. Undertrycken mättes endast vid en mätpunkt. Röktester (bild 12.3) visade emellertid att radonsugens effekt inte sträcker sig till hela den motsatta väggen. Trots att springorna i plattan har tätats suger radonsugen ut så betydande luftmängder ur bostaden att det också syns i bostadens undertrycksnivå. De undertryck som uppmättes genom vädringsfönstret ökade när radonsugen kopplades på.

Radonsugning genom sockeln är en effektiv radonsaneringsmetod.

I de objekt som utgjorde föremål för undersökningen sjönk radonhalten med mer än 90 %. På bild 10.7 presenteras de mätningar som genomfördes i samband med radonsaneringen. Under vintern före saneringen uppmättes under mätperioden på två månader en radonhalt på 1 900 Bq/m³. De mätningar som genomfördes i samband med att radonsugarna togs i bruk visar att radonhalten sjönk från en nivå på 1 700 Bq/m³ till 170 Bq/m³. Dessförinnan hade friskluftsventilerna som sattes in redan reducerat radonhalten ca 300 Bq/m³. Effekten av friskluftsventilerna testades än en gång när radonsugarna var avstängda. Även då medförde de en minskning av radonhalten på ca 35 %, från en nivå på 1 600 Bq/m³ till 1 200 Bq/m³. I slutet av mätperioden konstaterades att radonhalten utan utsugning och med öppna ventiler uppgick till 1 150 Bq/m³. Tätandet av springorna mellan plattan och väggen kan eventuellt också ha haft en liten reducerande inverkan på radonhalten.

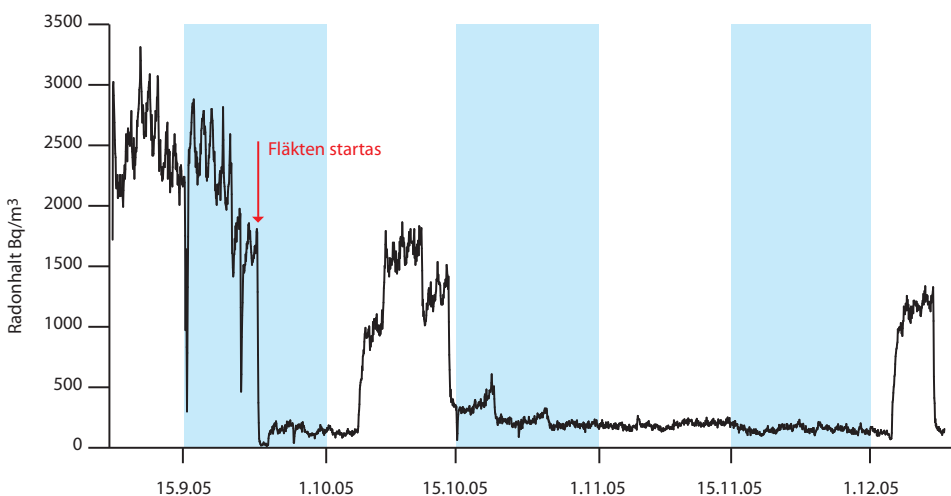


Bild 10.7 Effektiv minskning av radonhalten i samband med att radonsugarna kopplades på i ett våningshusaktiebolag i huvudstadsregionen.

10.10 Sanering med radonsug i Helsingfors

Saneringsobjektet ligger i Helsingfors och omfattar flera små våningshus med 2–3 våningar som färdigställdes år 1983. Det hade uppmätts höga radonhalter i bostäderna på bottenvåningen i de källarlösa husen. Jordarterna på byggnadsområdet består i huvudsak av sand, ställvis också av silt och sandmorän.

Grundsulorna, grundmuren och de bärande mellanväggarna är betongkonstruktioner som gjutits på platsen. De bärande mellanväggarna sträcker sig genom bottenbjälklaget direkt ner på grundsulorna. Bottenbjälklaget ligger mot marken och dess övre yta är i nivå med den övre kanten av grundmuren. Under golven finns ett täckdikesskikt med grus. Ventilationssystemet utgörs av en mekanisk frånluftsventilation som forceras på morgonen och kvällen.

Vid bostadsaktiebolagets mottagningskontroll av uppmättes radonhalter som överskred maximivärdet 400 Bq/m³ i tio bostäder, se tabell 10.3. Radonsaneringen genomfördes utifrån med hjälp av en radonsug som monterades genom sockeln (kapitel 5.13). I två av de objekt som mättes steg fläktens luftflöde till 11 och 14 m³/h. Radonhalten för tre objekt överskred fortfarande

Tabell 10.3 Radonsanering med radonsug i ett våningshusaktiebolag i Helsingfors. Saneringen lyckades men undertrycket i bostäderna och det bristfälliga antalet sugpunkter försvagade resultatet.

Bostad	Radonhalt före radonsanering, Bq/m ³	Radonhalt efter radonsanering, Bq/m ³
1	950	280
2	2390	580 1)
3	1240	340
4	1120	230
5	1020	260
6	1020	490 1)
7	410	50
8	540	110
9	710	70
10	1310	410 1)

1) Efter tätning underskrider radonhalterna 400 Bq/m³

400 Bq/m³ efter att radonsugen kopplats på. I de här bostäderna tätades fogen mellan golvplattan och sockeln, varefter mätningarna visade att radonhalten hade sjunkit under 400 Bq/m³.

I bostäderna finns bärande väggar som har medfört att radonsugen inte varit lika effektiv över hela bostadsytan. Undertrycket som rådde i bostäderna har likaså försvagat resultatet. Undertrycket som radonsugen orsakar under

golvplattan är lägre än det undertryck ovanför golvplattan som frånluftsventilationen skapar. Sålunda klarar radonsugen endast delvis av att förhindra den radonhaltiga jordluften från att tränga in i bostäderna. Det var möjligt att sänka objektens radonhalt så att den underskred maximivärdet 400 Bq/m³. För att effektivisera saneringen kan följande åtgärder vidtas:

- minska undertrycket i bostäderna genom att installera friskluftsventiler
- tätta fogarna mellan golvet och sockeln
- öka radonsugens luftflöde
- installera en radonsug till

10.11 Våningshusbostäder med bottenbjälklag av trä

Bottenbjälklag av trä är särskilt vanliga i våningshus som byggts i början av 1900-talet. Under golvkonstruktionerna av trä under bostaden på bottenvåningen kan berg, fyllnadsjord, källarutrymmen eller valv förekomma. Från utrymmet under golvet kan det finnas en förbindelse till källaren eller vidsträckta utrymmen under huset. Det är mycket svårt att förutsäga radonhalten i bostäderna. I Strålsäkerhetscentralens undersökningar har man å ena sidan uppmätt mycket låga radonhalter i det här slaget av bostäder, t.ex. 40 Bq/m³, men å andra sidan även radonhalter på flera tusen Bq/m³. I sådana fall där berggrunden är tät och hel kan radonhalterna vara låga. Om byggnadsmarken däremot består av grus eller morän ökar risken för höga radonhalter. Det lönar sig att överväga att vidta följande åtgärder vid saneringen.:

- Öka ventilationen i bostäderna och ha kontroll över undertrycket. Ventilationen i bostäderna i gamla våningshus är delvis fortfarande självdragande. Ökad ventilation är en saneringsmöjlighet, om nivån på luftväxlingen är låg. Undertrycket kan i någon mån minskas genom installation av friskluftsventiler.
- Tätta bottenbjälklaget. Tätandet är en synnerligen krävande uppgift på grund av mellanväggar, garderober och tvättrum.
- Skapa undertryck i kryprummet under bottenbjälklaget. Om det finns en förbindelse från kryppgrunden till vidsträckta utrymmen under huset kan metoden visa sig fungera dåligt. Radonsugen suger fortlöpande ny radonhaltig luft in under bottenbjälklaget och det uppstår inget undertryck.
- Bygga ett nytt ventilerat golv. Utrymmet mellan de nya och de gamla

golvkonstruktionerna ventileras så att den radonhaltiga luften inte längre tränger in i boningsrummen. Det finns platonmattor och ventilationsmattor att köpa. Ett ventilerat golv kan byggas med hjälp av en platonmatta eller en distansmatta med räfflad undersida. Rumsluft leds in under golvmattan via luftintagsöppningar. Systemet ansluts till frånluftsventilationen varvid de föroreningar som tränger upp under golvkonstruktionen inte längre kommer in i boningsrummen.

10.12 Radonbrunn vid sanering av ett flervåningshus

Radonbrunnar har använts med framgång vid radonsanering av våningshus belägna på åsar. En radonbrunn lämpar sig enbart på tillräckligt grovt grus och det krävs erfarenhet och sakkunnighet för att kunna bygga en radonbrunn. Principen för hur radonbrunnar fungerar, hur de projekteras och byggs har beskrivits i kapitel 5.

Exempel på en radonsanering med radonbrunn på ett område med flervåningshus i Tavastland ges på bild 10.8. På ett vidsträckt område med 25 våningshus byggdes sammanlagt 25 radonbrunnar redan under 1980-talet. I våningshusen finns det i den nedersta våningen bostäder endast vid husens gavlar. I mitten av huset finns gemensamma lagerutrymmen och bastur. De flesta av radonbrunnarna har placerats mellan gavlarna på två hus, sålunda minskar en radonbrunn radonhalten i båda gavelbostäderna. Medelvärde av den radonhalt som uppmättes under vintern i 24 bostäder på de nedersta våningarna sjönk från 4 200 Bq/m³ till ca en tiondedel. Radonhaltens årsmedelvärde sjönk i alla bostäder under 400 Bq/m³ efter att två radonbrunnar omplacerats.

I saneringen med radonsug under 80-talet beaktades inte undertrycket i bostäderna. I senare undersökningar konstaterades bostäderna ha ett synnerligen högt undertryck. I ett objekt som Strålsäkerhetscentralen undersökte uppgick undertrycket med normal ventilationseffekt till 12 Pa. Genom att installera friskluftsventiler är det möjligt att ytterligare sänka radonhalten i bostäderna med några tiotals procent. Saneringen kan också effektiviseras genom att läckageställena i bottenbjälklaget tätas.

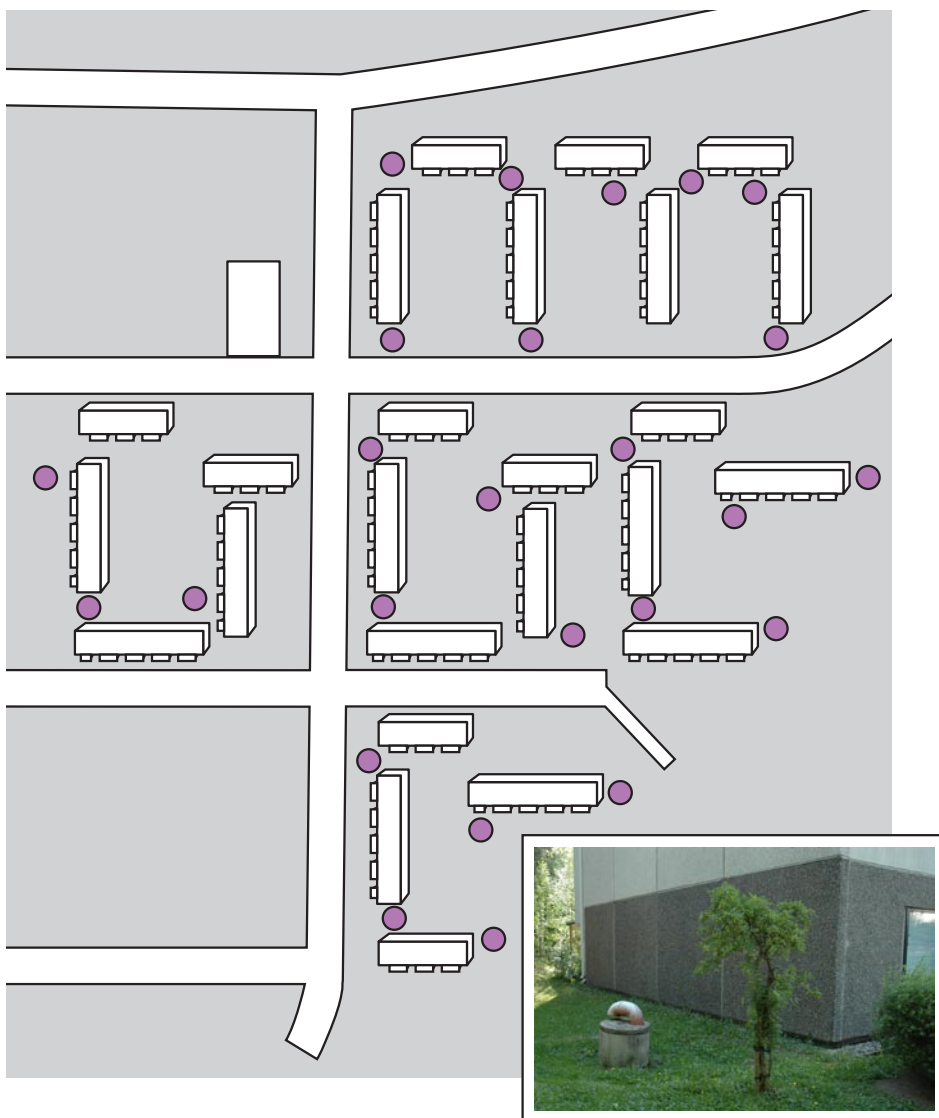


Bild 10.8 25 radonbrunnar installerade på ett vidsträckt område med flervåningshus, Lahtis.

10.13 Radonsanering av de övre våningarna

Radonhalter som överskrider maximivärdet har också observerats i våningshusbostäder som är belägna ovanför bottenvåningen. Radonhaltig luft strömmar in i bostäderna längs olika rörschakt. På åsar kan radonhalten i luften i källarrum vara mycket hög och risken för överskridningar är störst där. Radonhaltig luft från källarvåningen eller lagerutrymmena på första våningen kommer lätt in i våningen ovanför via rörkanaler. Avsikten med radonsaneringen har varit att bryta luftflödet i rörkanalerna. Sänkningen av radonhalten i källare och lagerutrymmen är ett alternativ eller en kompletterande saneringsmetod.

10.14 Ventilerat bjälklag i flervåningshus

En vanlig grundläggningsmetod för våningshus är ventilerat bjälklag. Överskridningar av maximivärdet är sällsynta i de här bostäderna jämfört med i hus med platta på mark. Radonhalten i jordluften avtar avsevärt om ventilationen i kryppgrunden är tillräcklig. Från kryppgrunden kan radonhaltig luft ta sig upp i bostäderna ovanför t.ex. längs rörgenomföringarna. Invånarna kan känna läckaget från kryppgrunden som en unken lukt. Tätning av bottenbjälklagskonstruktionerna och rörkanalerna förhindrar radonhaltig luft från att läcka in i bostäderna.

10.15 Nya flervåningshus

I våningshus försedda med platta på mark skall anvisningarna om radonbekämpning vid nybyggen tillämpas (se kap. 14). På bottenvåningen skall fogen mellan plattan och väggkonstruktionerna tätas omsorgsfullt med ändamålsenliga elastiska fogmaterial. Byggföretagens praktiska åtgärder när det gäller tätning måste ännu utvecklas mycket. Strålsäkerhetscentralens undersökningar har visat att radonbekämpningen ännu under 1990-talet vanligtvis omfattade endast installation av radonrör.

Att installera radonrör under bottenvåningens golv på mark är en nödvändig åtgärd. Rörsystemen är numera redan mycket allmänna i våningshus. Det är möjligt att sänka radonhalten genom att koppla en radonsug till rörsystemet om tätningen inte har lyckats. I projekteringen av rörsystem kan man iaktta principerna i RT-kortet RT 81-10791 (kapitel 14).

På grund av de nya bestämmelserna om energisparande har man efter 2003 börjat installera ventilationssystem med värmeåtervinning i flervåningsbostäder. Det finns både tillufts- och frånluftsventilationsaggregat för enskilda bostäder och gemensamma anordningar försedda med värmeåtervinning. Med hjälp av de nya anordningarna håller sig undertrycket i bostäderna på en avsevärt lägre nivå än i bostäder försedda med mekanisk frånluftsventilation.

De minskade undertrycksnivåerna förbättrar också förutsättningarna för framgångsrik radonutsugning. Den här nya byggnadsrutinen kommer att sänka radonhalterna i bostäder på bottenvåningen men åtgärdar inte problemet fullständigt. Det borde också höra till god byggnadspraxis att konstruera bjälklaget så tätt att jordluft inte längre läcker in i bostaden.

10.16 Sammandrag av radonsaneringarna i våningshus

I radonsaneringen av våningshus borde man sträva efter att tillämpa de allra effektivaste metoderna, dvs. radonsug och radonbrunn. Radonbrunn lämpar sig endast för mark som släpper igenom tillräckligt med luft. Höga undertryck i bostäderna inverkar negativt på hur väl metoderna fungerar. Vid behov kan man förstärka radonsugens och radonbrunnens effekt genom att sänka undertrycket i bostaden med hjälp av friskluftsventiler. Det är också möjligt att effektivisera radonsugen och radonbrunnen genom att täta läckageställena i bottenbjälklaget. Med hjälp av ett separat tillufts- och frånluftsventilationssystem för den enskilda bostaden kan undertrycksnivåerna bäst hanteras. Endast en ventilationsteknisk sanering eller en tätning har sällan resulterat i en omfattande minskning av radonhalten.

11 Radonsanering av arbetsplatser och stora byggnader

11.1 Radonövervakning på arbetsplatser, bestämmelser och anvisningar

Maximivärdet för radonhalten på arbetsplatser vid regelbundet arbete är 400 Bq/m³. När detta värde överskrids skall radonhalten reduceras. Alla arbetsgivare är skyldiga att på eget initiativ, utan särskild uppmaning av myndigheterna, utreda radonhalten i arbetslokalerna, om det finns anledning att misstänka att maximivärdet överskrids. Det här kravet baserar sig på strålningslagen. Anmälan om överskridning av maximivärdet skall göras till Strålsäkerhetscentralens avdelning för säkerhet vid användning av strålning. Anmälan kan göras t.ex. på Strålsäkerhetscentralens webbplats www.stuk.fi.

Radonhalten på arbetsplatserna skall utredas på områden där man vet att radonhalterna är höga. På Strålsäkerhetscentralens webbplats finns en förteckning över de kommuner där radonhalten skall mätas på alla arbetsplatser. Förteckningen grundar sig på Strålsäkerhetscentralens databas över radonmätningar i bostäder, och de kommuner i vilka överskridningarna av 400 Bq/m³ utgör mer än 10 % har tagits upp i förteckningen. Mätningar skall genomföras också i offentliga byggnader, som t.ex. skolor och daghem. I alla kommuner i Finland skall radonhalten mätas på arbetsplatser som ligger på åsar eller grus- och sandformationer som lätt släpper igenom luft. Radonhalten skall också mätas i alla landets arbetslokaler där arbete utförs konstant. Radonmätningarna på arbetsplatserna utförs i arbetslokaler som är delvis eller fullständigt belägna under jord och i arbetslokaler på marknivå. Vanligtvis behöver det inte utföras mätningar i arbetslokaler på andra våningen eller högre våningar.

Den första mätningen genomförs under eldningssäsongen i november-april med radondosor. Mättiden omfattar åtminstone två månader. På kontor räcker det med en mätdosa för ca 200 m², i industrihallar räcker vanligtvis 1–2 mätdosor när hallen utgör en sammanhängande arbetsplats. I varje separat byggnad skall mätas i enlighet med anvisningarna ovan. De anordningar och metoder som används för mätning av radonhalten på arbetsplatser skall vara godkända för det här ändamålet av Strålsäkerhetscentralen.

Närmare upplysningar om radonövervakningen och mätmetoderna ger Strålsäkerhetscentralen. Närmare anvisningar och krav som gäller radon på arbetsplatserna ges i direktivet ST 12.1 Strålsäkerheten vid verksamhet som medför exponering för naturlig strålning. Direktivet finns att läsa på

Strålsäkerhetscentralens webbplats www.stuk.fi under Publikationer och bestämmelser/Myndighetsdirektiven/ST-direktiv.

11.2 Metoder för radonsanering på arbetsplatser

I stora byggnader tillämpas samma radonsaneringsmetoder som i småhus och våningshus. Den största skillnaden beror på byggnadernas storlek och ventilationssystemet. På arbetsplatser och i offentliga byggnader har ventilationen ställts in på en avsevärt högre effekt under arbetstiden än under natten. Luftväxlingen är avsevärt större under arbetstiden på arbetsplatser än i småhus.

Golvkonstruktionerna på mark under stora byggnader består ofta av flera separata plattor, och fogarna mellan dem ökar risken för att radonhaltig luft skall läcka in.

Radonhalten är i regel betydligt lägre under arbetstid än under kvällen och natten. Å andra sidan kan förändringar i undertryck och ventilation under dagen och natten orsaka avsevärt högre radonhalter under dagen i byggnader med endast frånluftsventilation. Kraftiga punktutsugningar kan också ha en betydande inverkan. Ventilationens och undertryckets inverkan på den radonhaltiga jordluftens flöde under olika tider av dygnet kan vara mycket mångfacetterad och förutsätta utredningar av sakkunniga.

I lösningar med radonsug på arbetsplatserna har man vanligtvis använt sig av flera sugpunkter som kan kopplas samman eller till flera avluftsfläktar.

Radonbrunnar har använts med framgång vid radonsanering av stora byggnader på grusområden. Kring stora byggnader har man varit tvungen att installera flera radonsugar med effekter mellan i allmänhet 150 och 350 W. Utgångsnivåerna har vanligtvis varit flera tusen Bq/m³. Byggnaderna har varit belägna på grovt grus. När det gäller sluttningshus är den bästa placeringen för radonbrunnen liksom i samband med småhus den övre delen av sluttningen.

Tätning av konstruktioner har tillämpats som metod också vid radonproblem i industribyggnader. Golvplattorna t.ex. i stora hallar består ofta av flera separata plattor med otätade fogar. Fogarna mellan pelare genom golvet och golvplattan skall också tätas. Tätningen underlättas av att golvfogarna i stora byggnader ofta är öppna och man kommer åt att täta dem utan att riva konstruktioner. För fogningen av betongplattor finns det mer yrkesmässig erfarenhet att tillgå än för behandlingen av golvfogar i småhus.

På bilderna 11.1 och 11.2 tätas sprickor i golvet och en läckande kontrollbrunn i en stor universitetsbyggnad. Förutom sprickorna i golvet tätades också dilatationsfogar och springor mellan golvet och väggarna. Genom att täta springor, sprickor och kontrollbrunnar var det möjligt att i betydande utsträckning minska

radonhalten i stora rum.

De flesta radonsaneringarna på arbetsplatser har utförts genom att man har justerat eller förbättrat det redan existerande ventilationssystemet. Goda resultat har ofta också uppnåtts när man har startat den forcerade ventilationen tidigare. I huvudparten av saneringsobjekten har en tidsinställning på tre timmar före arbetstiden inleds visat sig vara ett bra val. När ventilationen kör igång i rätt tid kan man garantera att radonhalten är låg redan då arbetstagarna anländer till arbetsplatsen. I problemobjekten har radonhalten ännu under de första arbetstimmarna eventuellt uppgått till flera tusen Bq/m³, vilket höjer radonhaltens medelvärde över maximivärdet.

Bild 11.3 visar hur radonhalten varierar kraftigt under natten och under dagen på en arbetsplats där medelvärdet för radonhalten översteg 1 000 Bq/m³ under en mättid på två månader. På arbetsplatsen tidigare hade man den forcerade ventilationen till klockan fem på morgonen. Därefter utfördes en uppföljningsmätning med hjälp av en radonmonitor i enlighet med bilden. Mätningen visade att radonhalten klockan 7 uppgick till ca 400 Bq/m³ och under arbetstiden mellan klockan 8 och 16 till 100 Bq/m³. Medelvärdet för en mätperiod på en vecka uppgick till ca 1 000 Bq/m³, med en variation mellan 40 och 2 710 Bq/m³. Om ventilationens driftstid inte hade tidigare lagts skulle den genomsnittliga radonhalten under arbetstiden ha överskridit maximivärdet 400 Bq/m³.

När arbetsplatsens genomsnittliga radonhalt under en mättid på två månader överskrider maximivärdet 400 Bq/m³ fortsätter man ofta undersökningarna med att mäta radonhalten under arbetstiden med en kontinuerligt registrerande mätare. Justeringen av driftstiderna har resulterat i radonhalter som underskrider 400 Bq/m³ i de flesta sådana tillufts- och frånluftsventilationsobjekt som har haft en radonhalt på mindre än 1 500 Bq/m³. Radonsanering av objekt med mekanisk ventilation har varit märkbart svårare att utföra.



Bild 11.1 Sprickorna i golvet i källargången i en universitetsbyggnad tätades med en ytbeläggning av epoxi.

Bild 11.2 På bilden har ett läckande lock på kontrollbrunnen för täckdiken tätats genom att det stängts med ett tätat metallock.

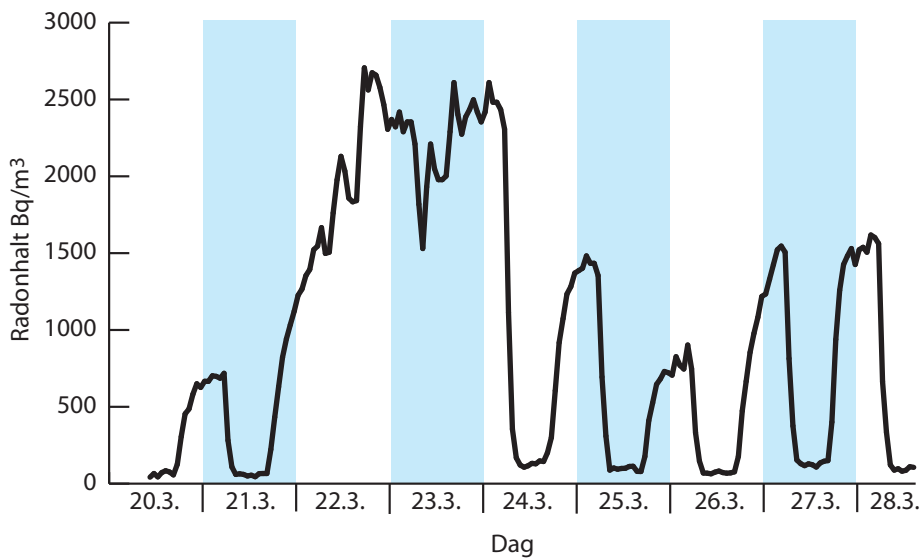


Bild 11.3 Radonhalten varierade kraftigt på arbetsplatsen under dagen och natten.

12 Mätmetoder vid undersökning av bostäder

12.1 Mätning av radonhalten

Radonhalten i inomhusluften varierar. Årstiden, de dagliga förändringar i väderleksförhållandena och boendet i huset inverkar avsevärt på radonhalten. Det är viktigt att radonhalten före saneringen mäts med hjälp av metoder som godkänts av Strålsäkerhetscentralen. Mättiden skall omfatta minst två månader under eldningssäsongen och mätinstrumentet skall ange den genomsnittliga radonhalten under mättiden.

Vilken effekt en saneringsåtgärd har haft kan också undersökas med hjälp av kortvariga mätningar omedelbart efter att saneringsåtgärden satts in. Kommunernas hälsoskyddsmyndigheter, företag och läroanstalter har mätutrustning som lämpar sig för ändamålet. Utgående från mätningarna är det möjligt att fastställa om det har skett en tydlig förändring i radonhalten. Många bilder i den här rapporten, t.ex. bilderna 4.1 och 11.3 visar resultatet av en sådan mätning. Mättiden omfattar en timme. Bild 12.1 visar den kontinuerligt registrerande mätutrustning som Strålsäkerhetscentralen använder. Bredvid ett av mätinstrumenten syns en radonmätningdosa som skickas per post.

Tack vare den kontinuerligt registrerande mätningen är det möjligt att snabbt kunna konstatera om det har skett en tydlig förändring, och resultatet kan utnyttjas i den fortsatta planeringen av saneringen. Snabba mätningar ger emellertid inte alltid tillförlitliga resultat. Tolkningen av dem kräver erfarenhet och yrkeskunskap. Radonreduceringen t.ex. med hjälp av en radonbrunn kan ta över en vecka. Förändringar i väderleksförhållandena kan också försvåra iakttagelserna. De kraftigaste förändringarna äger rum på åsar där radonhalten kan förändras med en faktor på tio under tio timmar då vinden ändrar riktning. Saneringsmetodens inverkan skall alltid säkerställas med hjälp av en metod som Strålsäkerhetscentralen har godkänt, dvs. en mätning under minst två månader under eldningssäsongen.

Områdena kring åsar kan vara besvärliga på grund av radonhaltens avvikande årsvariation. På det kala området på en brant ås kan radonhalten under vintern vara betydligt högre än under sommaren. Skillnaden kan vara mer än tiofaldig. På åsens sluttning däremot kan radonhalten under sommaren vara högre än under vintern. För att kunna bedöma saneringsbehovet och för att saneringen skall lyckas måste man vid behov mäta radonhalten också under sommaren.

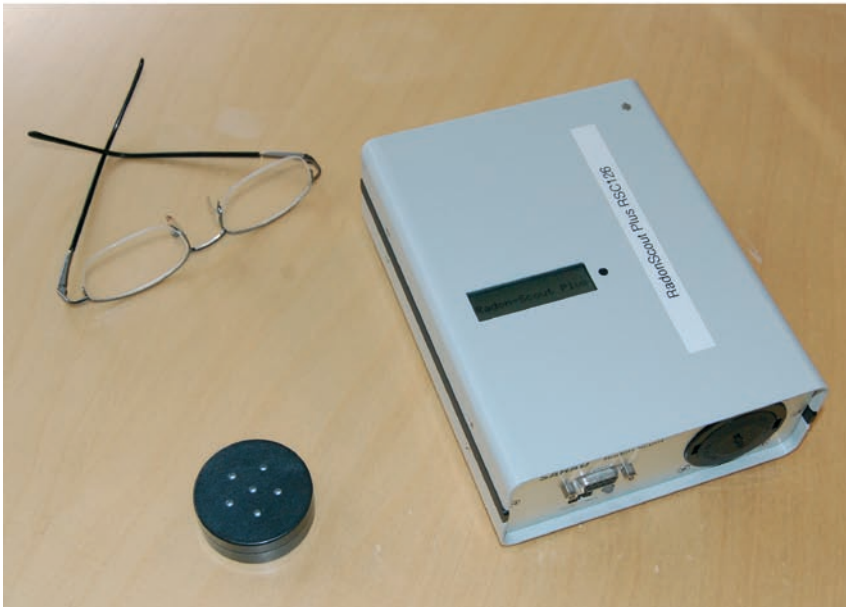


Bild 12.1 Kontinuerligt registrerande radonutrustning och radonmätningdosor som skickas per post och som används för att fastställa radonhaltens långtidsmedelvärde.

12.2 Mätning av undertryck

I bostäder råder vanligtvis ett undertryck på 1–10 Pa (pascal). Det här är ett lågt undertryck jämfört med det normala lufttrycket på 100 000 Pa. Å andra sidan är redan ett undertryck på en pascal så stort att det tvingar den radonhaltiga jordluften att tränga in i boningsrummen. För mätningen av så låga tryck behövs ett särskilt mätinstrument som kallas mikromanometer. På bild 12.2 visas den mätutrustning som Strålsäkerhetscentralen använder. Tryckskillnaderna mäts vanligtvis i en springa i vädringsfönstret eller ytterdörren. Under mätningen skall dörrar och fönster hållas stängda eftersom ett fönster på glänt sänker undertrycket effektivt. Med hjälp av ett tunt rör av koppar eller plast som anslutits till mätaren mäter undertrycksmätaren det tryck som råder utomhus. Mätarens rör skall vara så tunt att det har plats i fönsterspringan. Det skall vara möjligt att stänga fönstret ordentligt trots att röret ligger kvar mellan fönstret och karmen.

Undertrycket varierar kraftigt vid blåst. Då kan det råda ett avsevärt avvikande undertryck på vindsidan än på läsidan av bostaden. Om det blåser lönar det sig ofta att mäta på nytt när vinden har mojnät.



Bild 12.2 Mikromanometer som används för att mäta undertryck. Undertrycket i förhållande till utomhusluften mäts med hjälp av ett tunt rör i fönsterspringan.

12.3 Användning av signalrök

Med hjälp av signalrök kan man undersöka luftflödet mellan olika delar av bostaden men också luftflödet under bjälklaget. Det finns signalrök som baserar sig på kemiska reaktioner och sådan som baserar sig på förbränning. Ibland är det möjligt att avgöra luftflödets riktning bara med hjälp av en brinnande tändsticka. På bild 12.3 visas en signalröksanordning försedd med en luftpump av gummi.

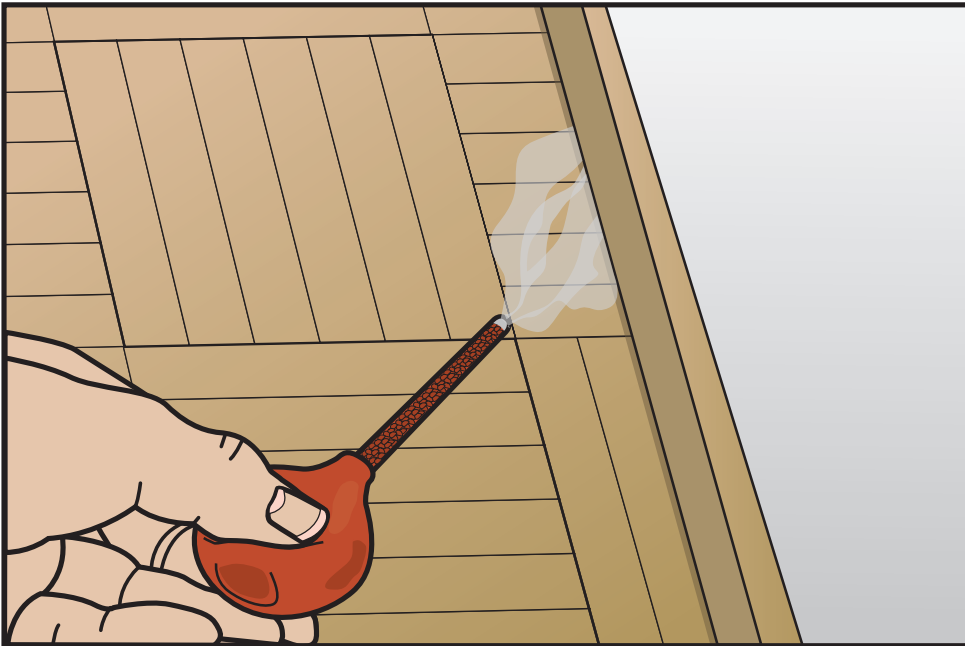


Bild 12.3 En signalröksanordning används för observation av luftflödet i springan mellan golvplattan och sockeln. I bostaden på bilden hade en radonsug installerats och signalröken strömmade in under golvplattan genom springan.

12.4 Spårämnesanalyser

Läckage av radonhaltig jordluft från marken kan i särskilda fall också undersökas med en spårämnesmetod. I Finland har man använt en gas som består av 5 % väte och 95 % kväve som spårämnessubstans i det här slaget av analyser. I syfte att undersöka radonhalten har gasen släppts in i det radonrörssystem som installerats under plattan. Om det inte har funnits något radonrörssystem har spårgasen släppts in under plattan via hål som borrats i sockeln. Genom att ansluta en kanalfläkt till rörssystemet kan man släppa in spårgasen i radonrörssystemet med en riklig luftmängd. Då sprider sig gasen snabbt och jämnt i rörssystemet och därifrån in under plattan i fyllnadsgruset.

Inomhus analyseras flödet med hjälp av en bärbar vätedetektor som bild 12.4 visar. Mätmetoden är ytterst känslig och kan också fastställa flöden som med tanke på radonhalten inte är betydande. Om man får gasen att sprida sig under plattan är det lätt att registrera radon som sipprar in via spingan mellan golvet och sockeln med hjälp av den här metoden. Med den här metoden kan man hitta inkapslade otätade genomföringar.



Bild 12.4. Letande efter radonläckage i fogen mellan golv och rörkanal (A). Också springan mellan golvet och väggen läckte. Vatten- och avloppsrörkanaler visade sig vara betydande inströmningsvägar. Rörkanalen är förbunden med ventilationsinkapslingen längs vilken den radonhaltiga luften sprids ut i andra utrymmen (B).

13 Radonsaneringens pris

Priset för en radonsug består av kostnaderna för planering, byggande och elinstallationer och av utgifterna för anordningar och utrustning. En färdigt värmeisolerad takfläkt försedd med en avluftskanal på ca 70 cm avsedd att monteras på taket kostar 250 – 300 euro. Radonsugen förutsätter också en serie genomföringar som väljs i enlighet med takbeläggningen och som kostar 50 – 150 euro. Ett avloppsrör som lämpar sig som avluftskanal kostar beroende på delarnas längd mellan 3 och 6 euro per meter. Arbetskostnaderna för genomföring genom sockeln och installation av röret inverkar avgörande på priset för en radonut-sugning via sockeln. En oinkapslad fläkt som monteras i en genomföring kostar ca 200 euro. Både fläktar som monteras på tak och i sockeln lönar det sig att utrusta med ett effektreglage, som kostar ca 100 euro. Helhetskostnaden för en radonsug med en sugpunkt rör sig i allmänhet mellan 1 700 och 3 000 euro.

Kanalfläktar på 150 – 350 W som lämpar sig för radonbrunnar kostar mellan 150 och 300 euro. Som brunnsrör lämpar sig t.ex. rör med en diameter på 315 mm som är avsedda t.ex. för kontrollbrunnar vid täckdikning. Ett rör på 6 meter kostar 70 – 100 euro. VVS-företag säljer de anslutningsdelar som behövs för att koppla ihop fläkten med brunns- och avlufts-röret. Vid behov lönar det sig att placera avlufts-röret högre och på längre avstånd från brunnen trots att det innebär högre kostnader. Kom ihåg att beakta avlufts-kanalens värmeisolering och ljudisolering. Kostnader orsakas också av makadamen och brunnsens fyllnads-jord. Arbetskostnaderna orsakas av kostnaderna för grävmaskinen, transporten av jordmaterial, installationen av rörsystemet, värmeisoleringen och elinstallationerna. I allmänhet uppgår helhetskostnaderna till 2 500 – 4 500 euro.

Priset för en ventilationsteknisk sanering varierar mycket. Ventilationsanläggningens längre drifttid, ibruktagande av en fränkopplad anordning eller öppnandet av friskluftsventiler medför inte direkta kostnader. Den dyraste åtgärden igen är installation av en ny tillufts- och frånluftsventilationsanläggning.

Priset för en friskluftsventil uppgår till 30 – 50 euro. Priset för en installerad friskluftsventil i bostaden rör sig mellan 150 och 200 euro. I bostadsaktiebolag där flera bostäder saneras kan priset bli lägre.

Materialet för installation av ett frånluftsventilationssystem i ett hus med självdragsventilation kostar vanligtvis 1 000 – 1 500 euro. I materialet ingår fläkten som monteras på taket, genomföring lämplig för beläggningen, spiskåpa försedd med reglage, kanaler och ventiler. Arbetskostnaderna stiger vanligtvis till 1 000 – 2 000 euro och till ett ännu högre belopp om många konstruktioner öppnas och inkapslas.

I materialet för ett nytt tillufts- och frånluftsventilationssystem ingår

ett ventilationsaggregat med värmeåtervinning, en ventilationshuv för taket, en takgenomföring, ljuddämpare, kanalsystem och ventiler. Materialets andel av kostnaderna uppgår till 3 000 – 4 500 euro. I allmänhet uppgår totalkostnaderna till 8 000 – 12 000 euro.

Saneringarnas driftskostnader

På driftskostnaderna för saneringen när det gäller radonsug och radonbrunnar inverkar elförbrukningen, servicen och kontrollmätningarna av radonhalten. Med en fläkteffekt på 50 W uppgår elkostnaderna för en radonsug till 50 euro per år (elektricitetens totalpris 0,11 euro/kWh). Användningen av en 150 W fläkt i anslutning till en radonbrunn kostar i sin tur 150 euro per år. När det gäller att uppskatta servicekostnaderna utgår man ifrån att fläkten måste förnyas vart tionde år. Utifrån erfarenheterna av de fläktar som använts i radonbrunnar behöver fläktarna bytas ut betydligt mer sällan än vart tionde år. Radonhalten bör kontrollmätas åtminstone vart femte år.

Tabell 13.1 Material- och helhetskostnaderna för radonsaneringar, uppgifterna baserar sig på prisnivån i början av år 2008.

Saneringsmetod	Material euro	Totala kostnader, prisområde euro
Radonsug genom golvet, en sugpunkt	450 - 600	1700 - 3000
Radonsug genom golvet, flera sugpunkter		500 - 700 2000 - 5000
Radonsug genom sockeln	200 - 400	2000 - 4000
Radonbrunn	400 - 800	2500 - 4500
Tätning av läckage	50 - 200 1)	1)
Installation av friskluftsventiler, 4 ventiler	120 - 200	600 - 800
Installation av tillufts- och frånluftsventilationssystem	3000 - 4500	8000 - 12000
Installation av frånluftsventilationssystem	1000 - 1500	2500 - 5000

1) Behovet av att riva konstruktioner i samband med tätningen varierar kraftigt. Materialkostnaderna är en uppskattning av de typiska kostnaderna för fogningsmaterial i ett hus med låg grund där springan mellan golvet och sockeln skall tätas. Tätningen av genomföringarna kan utföras med lägre materialkostnader. Kostnaderna för tätning av konstruktioner på mark med tunnputs och därmed förbundna rivnings- och nybyggnadskostnader har inte uppskattats.

14 Radonbekämpning vid nybygge

14.1 Bestämmelser och anvisningar

När ett nytt hus byggs kan man påverka radonhalten i ineluften avsevärt genom enkla och förmånliga åtgärder. Målet vid nybyggen är att uppnå en så låg radonhalt som möjligt. Med stöd av Finlands byggbestämmelsesamling del D2 (Miljöministeriet 2002), Byggnaders inomhusklimat och ventilation, samt med stöd av beslutet av social- och hälsovårdsministeriet skall nya byggnader planeras och uppföras så att radonhalten i ineluften ligger under 200 Bq/m³. Enligt bestämmelserna i del B3 i Finlands byggbestämmelsesamling (Miljöministeriet 2004), som gäller geokonstruktioner och som trädde i kraft 2004, skall radonriskerna på byggplatsen beaktas vid projekteringen och under byggandet. Enligt anvisningen kan en radonteknisk projektering lämnas ogjord endast om lokala radonundersökningar tydligt visar att radonhalten i bostäderna utan undantag underskrider gränsvärdet. Om radonförekomsten inte beaktas vid projekteringen skall en skriftlig motivering bifogas till byggobjektets projekteringshandlingar.

I flera kommuners byggnadsordning har man ställt krav på radonbekämpningsåtgärder vid nybyggen inom hela kommunens område. Med hjälp av de här besluten har situationen klarställts och kraven motsvarar nu de bestämmelser som getts om byggande och om radonhalten i ineluften.

År 2003 publicerades RT-kortet 81-10791 Radonin torjunta ('Radonbekämpning') (Rakennustieto 2003) om radonsäker grundläggning. Anvisningen omfattar grundläggande information om hur en radonsäker grund anläggs. Kortet ersätter miljöministeriets tidigare handbok från 1994 (Miljöministeriet 1994), vars anvisningar har granskats utgående från forskningsprojekt och erfarenheter.

Det lönar sig för byggherrar att kräva att projekterare och byggare utarbetar radonbekämpningsplaner och att arbetet utförs i enlighet med RT-kortets anvisningar. De radontekniska lösningarna skall framgå av byggtillståndshandlingarna. Det lönar sig att begära att småhusleverantörerna i ritningarna för husgrunden har en lösning i enlighet med RT-kortet.

14.2 Grundläggningens inverkan

På radonhalten kan man inverka genom valet av grundläggning. Vilket slag av grund man väljer påverkar också antalet radontekniska lösningar som behövs i samband med bygget. På områden där man har uppmätt mycket höga radon-

halter spelar valet av husgrund en stor roll när det gäller att lyckas med radonbekämpningen. Avgörande är hur väl man med hjälp av grundlösningen kan förhindra att den radonhaltiga jordluften kommer in i bostaden. Radonsäkra grundläggningsmetoder:

- Ventilerat bottenbjälklag (krypgrund)
- Grund med en enhetlig platta utan fogar
- Platta på mark, plattan gjuts separat in i grundmuren, om man ser till att fogen mellan plattan och sockeln är tät

I hus med ventilerat bottenbjälklag och hus med en enhetlig platta på mark förekommer avsevärt mycket mindre överskridningar av gränsvärdet för radon än i hus med platta på mark som ingjuts separat i grundmuren.

Ventilerat bottenbjälklag

I samband med ventilerade bottenbjälklag späds den radonhaltiga jordluften ut om det finns en fungerande ventilation i kryprummet. En tillräcklig ventilation uppnås genom att man iakttar de bestämmelser om vädringsluckornas storlek som getts. Ett ventilerat bjälklags radontekniska funktion påverkas av tillräcklig ventilation och bjälklagets täthet. I konstruktionen gäller det att fästa särskild uppmärksamhet vid hur täta bjälklagskonstruktionen, dess fogar och genomföringar är. I bästa fall är radonhalten i hus med ventilerat bjälklag av trä mycket låg, under 20 Bq/m³.

Även i nya hus med ventilerat bjälklag har man uppmätt radonhalter som överskrider maximivärdet 200 Bq/m³. Orsaken ligger bl.a. i följande brister:

- det finns en öppning i bjälklaget för hustekniska rör och ledningar
- de enskilda genomföringarna har inte tätats
- ett lågt kryprum ventileras dåligt och andas genom hela golvkonstruktionen

Grund med en enhetlig platta

Fördelen med en enhetlig platta utan fogar är att det inte uppkommer springor i fogen mellan grundmuren och plattan. Den här grundläggningslösningen kallas också för kantförstärkt platta. Grundläggningsmodellen erbjuder som sådan en tät lösning, det krävs inga andra åtgärder för att hålla fogen mellan plattan och sockeln tät. En högklassig golvplatta släpper inte igenom betydande mängder radon, om det inte finns springor eller sprickor i fogarna. En kantförstärkt platta kräver omfattande armering, vilket ökar kostnaderna och har inneburit att grundlösningen tillämpats i mindre omfattning. Den enda radonkällan i en

kantförstärkt platta kan egentligen utgöras av plattans betongmaterial, som vanligtvis endast ger en radonhalt på ca 20 Bq/m³.

Även den här lösningen förutsätter att genomföringarna tätas. I en platta som kantförstärks förstklassigt uppkommer det inte sprickor som kan öka den radonhaltiga jordluftens intrång.

Väggar med markkontakt som uppförs på en enhetlig platta kan ge upphov till radonläckage. I bekämpningen av dessa läckageställen skall RT-kortets rekommendationer följas.

Grundmur och bottenbjälklag på mark

Platta på mark som gjuts skilt innanför grundmuren har blivit det mest använda sättet att grunda småhus under de senaste årtiondena. Radonhaltig luft som strömmar genom fogarna i ett sådant bottenbjälklag är den mest betydande radonkällan i bostäder. I RT-kortet fokuserar man till stor del på att just detta sätt att grunda skall göras radonsäkert. I kortet lyfts tre väsentliga åtgärder fram:

- Fogområdet mellan plattan och sockeln tätas genom att en enhetlig remsa tätskiktsmatta av gummibitumen läggs på sockeln och under plattans kantområde.
- Genomföringarna tätas omsorgsfullt.
- Dessutom installeras ett dräneringsrörssystem under plattan. Om radonhalten överskrider maximivärdet i samband med kontrollmätningen i den nya bostaden aktiveras rörssystemet genom att en fläkt ansluts till det.

14.3 Tätning av platta på mark

I RT-kortet ges detaljerade anvisningar för hur tätning skall utföras. Fogen mellan grundmuren och plattan på mark kan tätas i enlighet med exemplet på bild 14.1. Bitumentätskiktet monteras på grundmuren och vidare under plattan på mark på ett område som är minst 150 mm brett, sandytan mot gjutningen. Tätskiktet placeras ut så att det inte skadas eller lossnar från konstruktionerna om de krymper, sätter sig eller på annat sätt rör på sig.

På bild 14.2 visas radonbekämpning när det gäller en källarvägg av blockkonstruktion. Väggen tunnputsas på den inre och yttre sidan. En putsad yta förhindrar i betydande utsträckning radonluft från att strömma in genom blockkonstruktionen. På utsidan fästs ett tätskikt av gummibitumen på den tunnputsade ytan. Med hjälp av tätskiktet kan man säkerställa bekämpningen av läckflöden. Det minskar också den diffusiva radontransporten genom putsen. Det är synnerligen viktigt att de inre lodräta inströmningsvägarna i blockkonstruktionen stängs av med membranet.

Anvisningen kan tillämpas på alla slag av sockeldetaljer. Det rekommenderas att man använder ett tätskikt av gummibitumen med polyesterstödlager av produktklass TL2, t.ex. K-MS 170/3000, som svetsas eller klistras vid underlaget. RT-kortet innehåller exempelbilder på hur bärande väggar och väggar mot jord kan radonskyddas.

Erfarenheterna av tätningar visar att det är viktigt att fästa särskild uppmärksamhet vid tätningen av tätskiktsgogarna. Fogar uppstår mellan raka delar och förlängningsdelar och i hörn. I fogarna skall tätskikten svetsas samman genom upphettning. Vid behov skall bitumenbaserat membranklister användas. Det lönar sig att alltid också säkra fogkanterna med bitumenklister (bild 14.3).

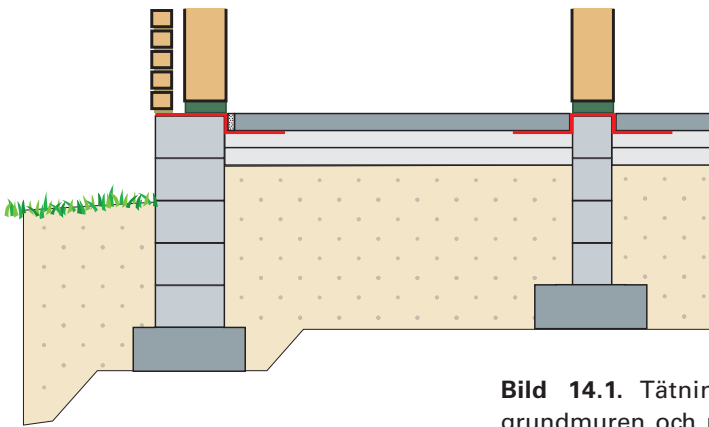


Bild 14.1. Tätning av fogen mellan grundmuren och plattan mot mark med bitumentätskikt i enlighet med RT-kortet RT 81-10791.

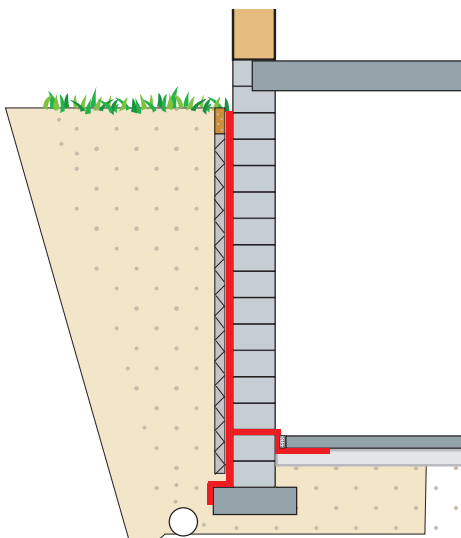


Bild 14.2. Radonbekämpning av källarvägg med blockkonstruktion i enlighet med RT-kortet RT 81-10791.



Bild 14.3. Montering av bitumentätskikt på grundmuren och tätning av hörnfogen.
Foton: Katepal Oy.

Tätning av genomföringar

Genomföringar kan utgöra en beaktansvärd inströmningsväg för radonhaltig jordluft. Genomföringarna för elektriska kablar, värmerör, vatten- och avloppsrör eller deras skyddsrör som leds in i byggnaden genom bottenbjälklaget kan bilda inströmningsvägar för radonhaltig luft. Det är också viktigt att täta luckkonstruktionerna i plattan. I RT-kortet visas exempel på tätning av enskilda rör och rörgrupper. Tätningen utförs med elastisk fogmassa efter att stället som skall tätas har avgränsats med lämpligt tätband eller lämpligt fyllnadsmaterial.

Fogarna mellan genomföringarna och plattan skall tätas överallt i byggnaden. Om man försummar tätningen t.ex. i tekniska utrymmen eller lager kan det leda till en drastisk ökning av radonhaltig luft i bostaden. Tätningen av genomföringarna skall planeras omsorgsfullt för att den skall kunna göras i rätt tid. En tätning i efterhand förutsätter eventuellt att konstruktioner måste öppnas, vilket blir dyrt.

14.4 Installation av radonrörssystem

Med hjälp av rörssystem som installeras på grundbotten kan man hantera radonhalten i inneluften om grundkonstruktionen fortfarande har läckageställen. Syftet med systemet är att skapa ett undertryck i grundbotten och sänka radonhalten i jordluften i dräneringsskiktet. Radonhalten sjunker eftersom avluftsfläkten medför att grusmaterialet under plattan ventileras. Då minskar radonhalten i jordluften och i den luft som strömmar in i bostaden.

Radonrörssystemet installeras som en försiktighetsåtgärd under plattan och tas i bruk först efter kontrollmätningen, om radonhalten överskrider gränsvärdet 200 Bq/m³. Då kopplas en fläkt till rörssystemet som effektivt minskar radonhalten. Tätning är emellertid den primära åtgärden. Målet är att man enbart genom tätning skall nå en låg radonhalt.

Det råder ett flertal felaktiga uppfattningar om rörssystemets funktion. Ett rörssystem utan radonsug minskar inte märkbart radonhalten, så som många tror. Minskningen av radonhalten grundar sig i första hand på undertryck, och ett tillräckligt undertryck under plattan skapas endast med hjälp av mekanisk utsugning. Det finns skäl att iaktta anvisningarna i RT-kortet vid installationen av rörssystemet. Om man avviker från anvisningarna kan det leda till en dåligt fungerande lösning.

Kanalsystemet skall utformas antingen som en ring eller så att det har flera förgreningar (bild 14.4). I RT-kortet ges dimensionerna för rörssystem av olika längd. Rörssystemet skall placeras minst 200 mm under värmeisoleringen. Då åstadkoms ett större undertryck i rören. Ventilationssystemet kan byggas upp av färdiga byggnads- och ventilationsdelar som finns i handeln. På marknaden finns också färdiga radonrörssystempaket som lämpar sig för småhus och som innehåller alla rör, fogdelar och tillbehör.

Avluftskanalen lönar det sig att redan under byggskedet dra upp ovanför yttertaket. Då behövs ett genomföringsstycke som lämpar sig för takbeläggningen. På det här sättet undviker man ändringsarbeten i färdiga byggnader om man senare måste ansluta en fläkt till rörssystemet. En öppen avluftskanal som dras ända upp på taket kan också ha en minskande effekt på radonhalten. Den eventuella ventilationseffekten torkar dessutom upp grusmaterialet under plattan.

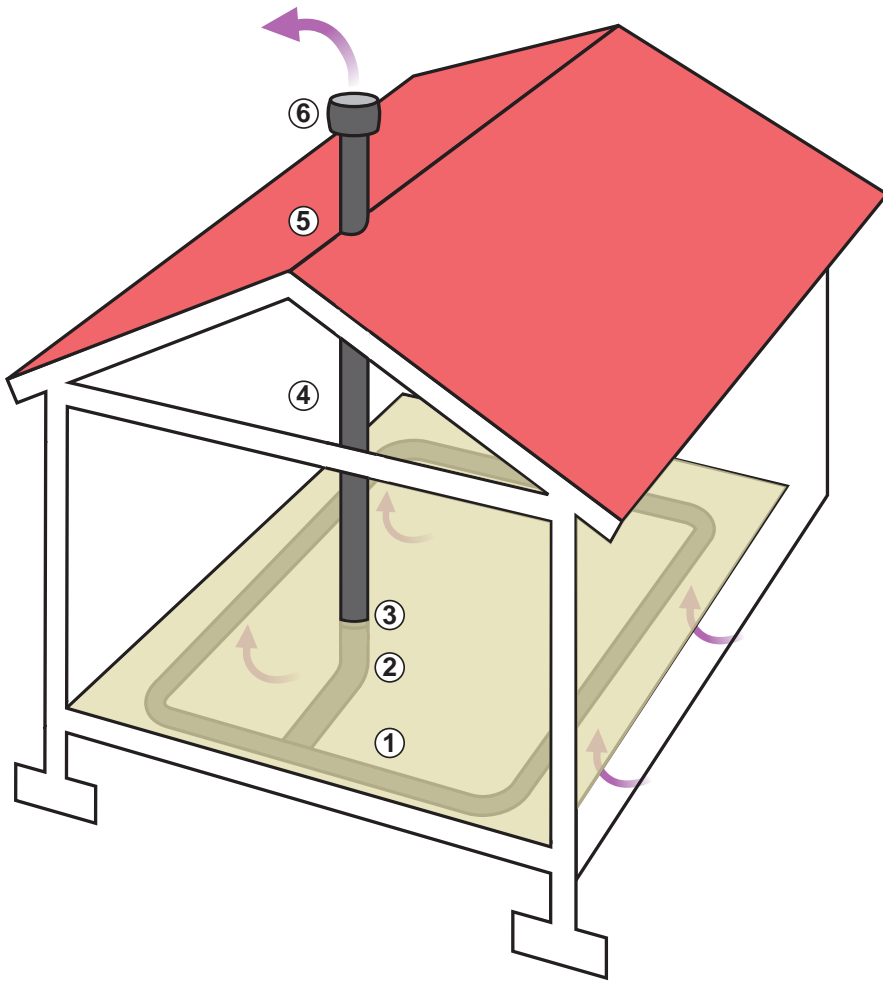


Bild 14.4. Installation av radonrörsystem under golvplatta på mark.

Bildförklaringar:

1. Sugkanalsystem, dräneringsrör av plast, avståndet från grundmuren ca 1,5 m, minst 20 cm under värmeisoleringen
2. Transportkanal, avloppsrör av plast
3. Tätad genomföring i golvplattan
4. Värmeisolerat avluftsror
5. Genomföring på yttertaket
6. Takfläkt

14.5 Ibruktagning av systemet

När byggnaden är färdigställd kontrollmäts radonhalten. För att man skall få ett tillförlitligt resultat skall värmen och ventilationen vara fullständigt färdiga och i normalt bruk. Om radonhalten överskrider 200 Bq/m³ kopplas fläkten till avluftskanalen. Det är enklast att använda sig av en färdig takfläkt som ansluts till avluftskanalen. En lämplig effekt för radonsugen är vanligtvis mellan 30 och 70 W.

RT-kortet innehåller anvisningar om dimensioneringen av den luftström som fläkten skall suga ut. Om det sugs ut mycket större mängder luft från grundbotten än planerat ökar risken för att grundkonstruktionerna skall tjäl-skadas. Luftflödet dimensioneras så att det är 0,05 dm³/s (0,05 l/s, ca 0,2 m³/h) per kvadratmeter platta på mark. För t.ex. en platta på 100 m² skall luftflödet dimensioneras till 5 dm³/s (5 l/s, ca 20 m³/h). Luftflödet kan också vara lägre om radonhalten uppfyller kraven. Anvisningen om sanering (Miljöministeriet 2009) tillåter större luftflöde om man kan förvissa sig om att luftströmmen fördelar sig jämt i grundbotten.

14.6 Sugsystemets bristfälliga funktion

Sugkanalsystemet är projekterat att fungera utgående från att grusmaterialet under plattan är för täckdikning typiskt grus som fyller kraven. Numera har man övergått till att använda kross som fyllnadsmaterial under golvplattan. Kross kan användas även under sockeln och utanför.

Man har konstaterat att sugkanalsystemet på många ställen fungerar bristfälligt om det har använts mycket genomsläppligt stenmaterial som t.ex. makadam under plattan och sockeln eller grundsulorna. Då har det inte varit möjligt att minska radonhalten tillräckligt med de godkända luftflödesmängderna. Det luftflöde som skulle kunna åstadkomma en sänkning av radonhalten överskrider det dimensionerade luftflödet flera tiotals gånger. Det uppstår inte ett tillräckligt undertryck under plattan och ventilationseffekten är inte heller tillräcklig. Det höga undertryck som den mekaniska frånluftsventilationen skapar har i samband med många saneringsobjekt medfört att sugsystemet inte fungerar så bra.

De brister som konstateras i användningen av sugsystemet understryker hur viktig tätningen är. Anslutningen av en avluftsfläkt till rörsystemet åstadkommer inte alltid en minskning av radonhalten. Om man inte kan projektera och utföra bottenbjälklaget mot mark omsorgsfullt är det ett säkrare alternativ att välja ventilerat bjälklag i stället. Radonhalten är tekniskt lättare att hantera med ett ventilerat bjälklag än med en platta på mark.

15 Kort anvisning inför valet av saneringsmetod

Hus med låg grund, platta på mark

- radonsug eller radonbrunn i första hand
- vid behov åtgärder som effektiviserar (ventilation, undertryck, tätning)
- enbart genom en effektivare ventilation eller minskat undertryck har man endast i ett fåtal fall lyckats åstadkomma omfattande minskningar (mer än 50 %)
- enbart tätning är en mycket krävande åtgärd om målet är en minskning på mer än 50 %

Hus med källare och sluttningshus

- radonsug eller radonbrunn i första hand
- vid behov åtgärder som effektiviserar (ventilation, undertryck, tätning)
- ventilationstekniskt separat källare möjliggör en sanering som baserar sig på ventilation
- behov av att täta väggarna mot jord, blockväggar
- lagerlokaler som gränsar till källare kan vara en betydande inströmningsväg

Enhetlig kantförstärkt platta

- kontrollera genomföringarna
- sprickor kan öka läckaget

Ventilerat bottenbjälklag

- ventilationen i lufrummet skall säkerställas och förbättras
- tätning av bjälklaget, genomföringarna
- kontroll av undertrycksförhållandena i byggnaden

16 Råd och bidrag

Kommunens byggnads- och hälsoskyddsmyndigheter ger råd i frågor om radonsanering. Du kan också be lokala företag inom byggnads- och ventilationsbranschen om råd.

På Strålsäkerhetscentralens webbplats finns grundläggande information om radonförekomsten, sanering och bekämpning i nybyggen (www.stuk.fi). Den här saneringsguiden finns också för utskrivning på webbplatsen.

Du kan fråga de kommunala myndigheterna om hur du skall ansöka om saneringsbidrag som beviljas ur statens budgetmedel. År 2008 beviljar Finansierings- och utvecklingscentralen för boendet ARA bidrag (www.ara.fi). På ARA:s webbplats kan du skriva ut anvisningar för ansökan om understöd för sanitära olägenheter. De uppskattade saneringskostnaderna för avlägsnade av de sanitära olägenheterna skall vara minst 7 000 euro. Bidraget uppgår maximalt till 70 % av de godkända kostnaderna. Ansökan lämnas in till kommunens hälsoskyddsmyndigheter, som gör en bedömning av de sanitära olägenheterna. För fastställande av radonförekomsten behövs en kopia av resultatet av radonmätningen. Det finns skäl att till ansökan bifoga en detaljerad saneringsplan, byggritningar och en kostnadsberäkning.

Hushållsavdrag

Utgifterna för radonsaneringen kan för arbetets del avdras i beskattningen. Närmare information fås i skatteförvaltningens anvisningar (www.vero.fi). Du kan också vända dig till skattebyrån på din hemort för närmare upplysningar.

17 Respons

Författarna tar tacksamt emot respons och förbättringsförslag och tar gärna del av dina erfarenheter av radonsanering.

Respons: radonkorjaus (at) stuk.fi

18 Litteraturhänvisningar

Airaksinen M, Arvela H och Jokiranta K. Ilmanvaihto- ja radontutkimukset Tuusulan asuntomessualueella. (Ventilations- och radonundersökningar på Tusby bostadsmässområde.) Rapport B73 Tekniska högskolan. Avdelningen för maskinteknik. Laboratoriet för VVS-teknik. Esbo 2002.

Arvela H, Mäkeläinen I och Castrén O. Otantatutkimus asuntojen radonista Suomessa. (Stickprovsundersökning av radon i bostäder i Finland.) STUK-A108. Strålsäkerhetscentralen. Helsingfors. 1993: 1–49.

Arvela H, Hoving P. Finnish experiences in indoor radon mitigation. Proceedings of the 6th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, July 4 – 8, 1993, Vol 4: 563 – 568, Helsingfors 1993.

Arvela H, Castrén O. Asuntojen radonkorjauksen kustannukset Suomessa. (Kostnaderna för radonsanering av bostäder i Finland.) STUK-A114, Strålsäkerhetscentralen, Helsingfors 1994.

Arvela H, Voutilainen A, Honkamaa T, Rosenberg A. High indoor radon variations and the thermal behavior of eskers. *Health Physics* 67(3), 254–260 (1994).

Arvela H. Residential Radon in Finland: Sources, Variation, Modelling and Dose Comparisons. STUK-A124. Strålsäkerhetscentralen, Helsingfors 1995.

Arvela H. Asuntojen radonkorjauksen menetelmät. (Metoder för radonsanering av bostäder.) STUK-A127. Strålsäkerhetscentralen. Helsingfors. 1995: 1–42.

ERRICCA: European research into radon in construction concerted action. European Commission Contract F14PCT960064. Final Report Prepared by Chris Scivyer. Building Research Establishment, UK, 2000.

ERRICCA 2: European Radon Research and Industry Collaboration Concerted Action. European Commission Contract No FIRI-CT-2001-20142. Prepared by Chris Scivyer. Building Research Establishment, UK, 2004.

Keskikuru T, Kokotti H, Kalliokoski P, Jantunen M, Arvela H. Radonin torjunta paine-erosäätöisen ilmanvaihtolaitteen avulla. (Radonbekämpning med en ventilationsanläggning med tryckdifferensreglering.) Institutionen för miljövetenskaper, kompendium 6/1993, Kuopio universitet, Kuopio 1993.

Keskinen J, Niinisaari M, Graeffe G, Ukkonen A. Radonhaitan torjuminen rakennetuissa asunnoissa. (Bekämpning av radon i byggda bostäder.) Slutrapport. Tekniska högskolan i Tammerfors. Fysik, rapport 3-89, Tammerfors 1989.

Kettunen A-V, Rissanen R, Viljanen M. Radontekninen suunnittelukäytäntö Suomessa. (Den radontekniska projekteringspraxisen i Finland.) Tekniska högskolan, Institutionen för konstruktionsteknik, publikation nr 123, Esbo 1993.

Kettunen A-V, Rissanen R, Viljanen M, Arvela H. Imupistejärjestelmän radontekninen toiminta eri tyyppisissä pien- ja rivitaloissa. Sugsystemets radontekniska funktion i små- och radhus av olika typer.) Tekniska högskolan, Husbyggnadsteknik, Publikation 62, 1997. 46+85 s.

Kurnitski Jarek, Jokiranta Kai, Matilainen Miimu. Koneellisen poistoilmanvaihdon parantaminen. Radon, vuotoilma ja korvausilma. (Effektivisering av maskinell frånluftsventilation. Radon, läckageluft och ersättande luft.) Tekniska högskolan, Laboratoriet för VVS-teknik. Rapport B65, Esbo 1999. 77 s.

Medicinalstyrelsens cirkulär nr 2/1986. Anvisningar om radon i rumsluften som getts med stöd av hälsovårdslagen (469/65) och hälsovårdsförordningen (55/67). Helsingfors. Painatuskeskus Oy, 1986.

Miljöministeriet. Radonkorjausrakentaminen, korjauskohteet. (Radonsaneringsbyggande, saneringsobjekt.) Undersökningar 5/1986, Statens tryckericentral, Helsingfors: 1986: 1–141.

Miljöministeriet. Radonin torjuminen pien- ja rivitaloissa. Maanvastaisten rakenteiden radontekninen suunnittelu. (Radonbekämpning i små- och radhus. Radonteknisk projektering av konstruktioner med direkt markkontakt.) Guide 2 1993, Painatuskeskus Oy, Helsingfors: 1994: 1–32.

Miljöministeriet. Pien- ja rivitalojen radontekninen korjaus. Imupistemenetelmä. (Radonteknisk sanering av små- och radhus. Radonsugmetoden.) Miljöguide 4, Oy Edita Ab, Helsingfors: 1996: 1–44.

Miljöministeriet. Byggnaders inomhusklimat och ventilation, föreskrifter och anvisningar. 2003. Finlands Byggbestämmelsesamling, del D2.

Miljöministeriet. Geokonstruktioner, föreskrifter och anvisningar. 2004. Finlands Byggbestämmelsesamling, del B3.

Miljöministeriet. Pien- ja rivitalojen radontekninen korjaus. Imupistemenetelmä. (Radonteknisk sanering av små- och radhus. Radonsugmetoden.) (reviderade 2:a upplagan färdigställd 2009).

Raatikainen (nyk. Pylvänäinen) Sanna-Kaisa, Tuhola Katariina. Radonkorjaukset Pispalanharjulla. (Radonsaneringar på Pispala ås.) Ingenjörsexamensarbete, Tammerfors yrkeshögskola, 2006.

Rakennustieto 2003, Bygginfo Ab Radonin torjunta. RT ohjekortti (Radonbekämpning. RT-kortet) RT 81-10791, 2003.

Reisbacka H, Arvela H. Radonkaivokokeilu Pispalanharjulla. (Experiment med radonbrunn på Pispala ås.) Strålsäkerhetscentralen, STUK-B- VALO66, Helsingfors 1991.

Social- och hälsovårdsministeriets beslut om maximivärden för radonhalten i rumsluft, nr 944, 1992.

Social- och hälsovårdsministeriet. Anvisningar om boendehälsa. Social- och hälsovårdsministeriets publikationer 2003:1

Social- och hälsovårdsministeriet. Anvisningar om boendehälsa. Tidskriften Ympäristö ja terveys, 2005.

Social- och hälsovårdsministeriet. Anvisningar om boendehälsa. Tidskriften Ympäristö ja terveys, 2008, 2. Reviderad upplaga.

Strålsäkerhetscentralen. Asuntojen radonkorjaaminen. (Radonsanering av bostäder.) STUK Tiedottaa 1/92. Strålsäkerhetscentralen, Helsingfors 1992.

Viljanen M, Lehtoviita T, Kanerva P, Slunga E. Radonin merkitys talonrakennustekniikassa. Radontekninen suunnittelu. (Radonets betydelse i husbyggnadstekniken. Radonteknisk projektering.) Tekniska högskolan, Institutionen för konstruktionsteknik, publikation nr 88, Esbo: 1987: 1–135.

Voutilainen A, Mäkeläinen I, Pennanen M, Reisbacka H, Castrén O. Suomen radonkartasto. (Karta över radonläget i Finland.) STUK-A148. Helsingfors. 1997.

BILAGA A BERÄKNING OCH MODELLERING AV BOSTADENS RADONHALT

Beräkning av radonhalten

Radonhalten i bostaden kan beräknas med hjälp av följande ekvation:

$$A = \frac{S}{V N} \quad (1)$$

$$A = \frac{Q C}{V N} \quad (2)$$

A	radonhalten i inneluften, Bq/m ³
S	radonkällans källstyrka, Bq/h
Q	den radonhaltiga jordluftens flöde in i bostaden, m ³ /h
C	radonhalten i jordluften, Bq/m ³
V	bostadsvolymen, m ³
N	luftomsättningen i bostaden, 1/h

Exempel

Radonhalten i jordluften (C) är 50 000 Bq/m³, jordluft strömmar in i bostaden (Q) 1 m³/h, bostadens volym (V) är 250 m³ (ytan 100 m² och takhöjden 2,5 m) och luftomsättningen 0,5 1/h (luften byts en gång på två timmar). Genom att placera dessa variabler i ekvationen (2) kan man räkna ut radonhalten. I detta fall blir resultatet 400 Bq/m³ (A).

Modellering av radonhalten

Bild 1 visar hur den radonhaltiga jordluften strömmar in i bostaden från marken enligt modellberäkningar. Bilden visar att markens genomsläpplighet inverkar avgörande på hur stor mängd radonhaltig som strömmar in. På bilden visas strömningen som radonflöde (Bq/s). Till exempel: 10 Bq/s motsvarar i exemplet på bilden ett radonhaltigt luftflöde på ca 0,3 l/s (1 m³/h). När markens genomsläpplighet ökar börjar radonhalten i den radonhaltiga luft som strömmar in i bostaden spädas ut på grund av den utomhusluft som tränger in i marken.

Därför överskrider inte källstyrkan en viss övre gräns.

Placeringen av ett 15 cm tjockt lager fyllnadsgrus med högre genomsläpplighet än den ursprungliga jorden under plattan ökar läckflödet med faktorn 3–5. Det här beror på att det genomsläppliga materialet har en ökande effekt. Fyllnadsgrusets radonproduktion är inte betydelsefull om den är av samma storleksklass som i den ursprungliga jorden.

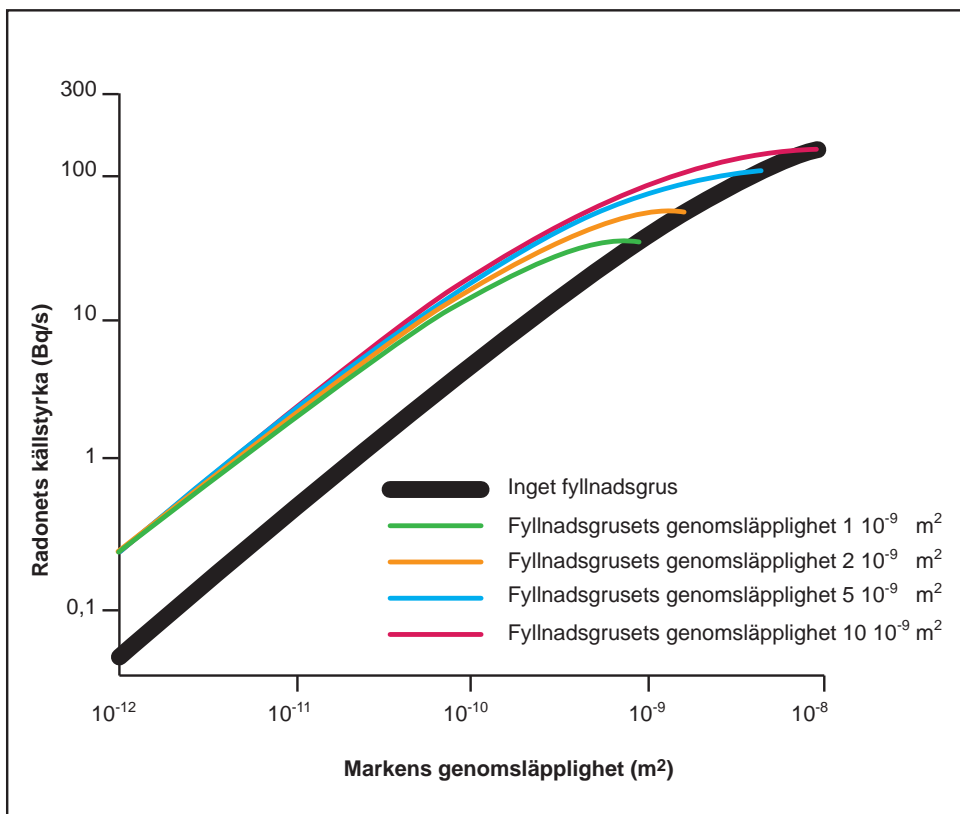


Bild 1. Radonets strömningshastighet i en bostad med källare. Springan mellan grundmuren och plattan är 3 mm. Radonhalten djupt nere i jordluften är 37 000 Bq/m³. Fyllnadsgrusskiktet under plattan är 15 cm tjockt. Skillnaden i trycket i jämförelse med utomhusluften är 5 Pa. (Revzan och Fisk, 1992)

På bild 1 representerar den luftgenomsläpplighet i marken som finns i början av X-axeln (10^{-12} m^2) av jordmaterial som redan innehåller rikligt med fint jordmaterial, t.ex. grusmorän. Den största genomsläppligheten 10^{-8} m^2 igen representerar ett tämligen grovt grus. Tabell 1 innehåller exempel på olika jordarters genomsläpplighet och deras kornstorlek (Viljanen et al, 1987, RIL 2004). De osorterade jordarterna (moränerna) består av både fina och grova jordarter. När det gäller kornstorleksfördelningen för grusmoräner är de grövre kornstorlekarna mer företrädade än de finare. De fyllnadsgrusmaterial som visas i bild 1 och som har en luftgenomsläpplighet på $10^{-9} \text{ m}^2 - 10^{-8} \text{ m}^2$ är siktat grus med en kornstorlek från flera millimeter till tiotals millimeter. Sålunda representerar de det mest använda fyllnadsgrusmaterialet i Finland. Krossad makadam är ännu mer genomsläpplig.

Tabell 1 Jordarternas luftgenomsläpplighet och kornens diameter.

Jordart eller kornstorleks-grupp	Luftgenomsläpplighet m^2 Storleksordning	Kornens diameter mm
Lera	10^{-15}	< 0,002
Silt	10^{-14}	0,002 - 0,06
Sandmorän	10^{-13}	osorterad
Grusmorän	10^{-12}	osorterad
Sand		0,06 - 2,0
finsand	10^{-11}	0,06 - 0,2
mellansand	10^{-10}	0,2 - 0,6
grovsand	10^{-9}	0,6 - 2,0
Grus		2,0 - 60
fingrus	10^{-9}	2 - 6
mellangrus	10^{-8}	6 - 20
grovgrus	10^{-7}	20 - 60
Stenar		60 - 600

Litteraturhänvisningar

Revzan KL, Fisk WJ. Modeling radon entry into houses with basements: The influence of structural Factors. *Indoor Air* 2, 40–48 (1992).

RIL 121-2004. Pohjarakennusohjeet. (Instruktioner om grundläggning) Finlands Byggnadsingenjörers Förbund rf., 2004.

Viljanen M, Lehtoviita T, Kanerva P, Slunga E. Radonin merkitys talonrakennustekniikassa. Radontekninen suunnittelu. (Radonets betydelse i husbyggnadstekniken. Radonteknisk projektering.) Tekniska högskolan, Rakennetekniikan laitos, publikation nr 88, Esbo: 1987: 1–135.

STUK-A-rapporter

STUK-A237 Arvela H, Reisbacka H. Radonsanering av bostäder. Helsinki 2009.

STUK-A236 Saxén R, Rask M, Ruuhijärvi J, Vuorinen P, Rantavaara A, Koskelainen U. ¹³⁷Cs in small forest lakes of Finland after the Chernobyl accident. Helsinki: Radiation and Nuclear Safety Authority; 2009.

STUK-A235 Mustonen R, Sjöblom K-L, Bly R, Havukainen R, Ikäheimonen T. K, Kosunen A, Markkanen M, Paile W. Säteilysuojelun perussuosituksset 2007. Suomenkielinen lyhennelmä julkaisusta ICRP-103. Helsinki 2009.

STUK-A234 Belyakov O (Ed.). Non-targeted effects of ionising radiation. Proceedings of the RISC-RAD specialised training course “Non-targeted effects of ionising radiation”. STUK – Radiation and Nuclear Safety Authority, Helsinki, Finland 14–16 February 2005. Helsinki 2008.

STUK-A233 Arvela H, Valmari T, Reisbacka H, Niemelä H, Oinas T, Mäkeläinen I. Radontalkoot – Tilannekatsaus 2008. Helsinki 2008.

STUK-A232 Kiljunen T, Patient doses in CT, dental cone beam CT and in projection radiography in Finland, with emphasis on paediatric patients. Helsinki 2008.

STUK-A231 Tapiovaara M, Siiskonen T, PCXMC. A Monte Carlo program for calculating patient doses in medical x-ray examinations. Helsinki 2008.

STUK-A230 Salomaa S, Sirkka L. (toim.), Tutkimushankkeet 2006-2008. Helsinki 2008.

STUK-A229 Arvela H, Reisbacka H. Asuntojen radonkorjaaminen 2008. Helsinki 2008.

STUK-A228 Toivonen H, Lahtinen J, Pöllänen R (toim.). Säteilyyn liittyvät uhkakuvat – Ydinvoimalaturma. Helsinki 2008.

STUK-A227 Ilus E, Klemola S, Vartti V-P, Mattila J, Ikäheimonen TK. Monitoring of radionuclides in the vicinities of Finnish nuclear power plants in 2002–2004. Helsinki 2008.

Fullständig lista av STUK-A-rapporter på STUKs hemsidor:
<http://www.stuk.fi>



Flänsvägen 4, 00880 Helsingfors
Tel. (09) 759 881, fax (09) 759 88 500
www.stuk.fi

ISBN 978-952-478-453-5

ISSN 0781-1705

Edita Prima Oy, Helsingfors 2009