

STUK-A127

JOULUKUU 1995

## **Asuntojen radonkorjauksen menetelmät**

**Hannu Arvela**

ISBN 951-712-086-9  
ISSN 0781-1705

Painatuskeskus Oy  
Helsinki 1995

Myynti:  
Säteilyturvakeskus  
PL 14  
00881 HELSINKI  
Puh. (90) 759 881

ARVELA H. *Asuntojen radonkorjauksen menetelmät (STUK-A127).*  
Helsinki 1995, 42 s.

ISBN 951-712-086-9

ISSN 0781-1705

**Avainsanat: radon, radonkorjaus, sisäilma, asunnot**

## TIIVISTELMÄ

Tutkimuksessa on tarkasteltu Suomessa käytettyjä asuntojen radonkorjausmenetelmiä ja niillä saavutettuja tuloksia. Tiedot noin 400 asunnon radonkorjauksesta on saatu Säteilyturvakeskuksen suorittamasta kyselystä ja erillistutkimuksista. Radonpitoisuuden vuosikeskiarvo näissä asunnoissa oli ennen korjausta keskimäärin  $1500 \text{ Bq/m}^3$ . Lähes kaikissa pitoisuus ylitti sosiaali- ja terveysministeriön vanhoille asunnoille antaman enimmäisarvon  $400 \text{ Bq/m}^3$ . Korjauksen jälkeen keskimääräinen pitoisuus oli  $500 \text{ Bq/m}^3$  ja enimmäisarvon alitti 60 % asunnoista.

Parhaat tulokset on saavutettu radonimurilla ja -kaivolla. Näillä menetelmillä vähennetään tehokkaasti maaperän radonpitoisen ilman virtausta asuntoon ja pienennetään vuotoilman radonpitoisuutta. Tyypilliset alenemat ovat olleet 70 - 95 %, ja enimmäisarvo  $400 \text{ Bq/m}^3$  alittui yli 70 %:ssa asunnoista. Rakenteiden tiivistämisellä ja ilmanvaihtoteknisillä korjauksilla radonpitoisuuden alenemat olivat tavallisesti 10 - 50 %. Puurakenteisten pientalojen perusrakenteiden tiivistämisellä tyypilliset alenemat olivat vain 0 - 30 %. Yhdistettynä ilmanvaihdon tehostukseen päästiin 20 - 50 % pitoisuusalenemaan. Ilmanvaihtoteknisillä korjauksilla saavutettiin parhaat tulokset uuden tulo/poisto ilmanvaihtojärjestelmän asennuksella, useimmiten 30 - 70 %.

Useissa asunnoissa korjaus on toteutettu puutteellisella tavalla. Hyvin suunnitellulla ja toteutetulla korjauksella päästään parempaan tulokseen. Monessa asunnossa korjaustyö jatkuu edelleen. Tuloksia on pyritty tarkastelemaan siten, että niistä on hyötyä sekä omatoimisille korjaajille että korjausyriyksille ja kuntien viranomaisille. Raporttiin on koottu käytännön ohjeita, hintatietoja ja esimerkkejä korjausten suorittamisesta.

ARVELA H. *Methods of radon remediation in Finnish dwellings (STUK-A127).*  
Helsinki 1995, 42 pp.

ISBN 951-712-086-9

ISSN 0781-1705

**Keywords: radon, indoor air, homes**

## ABSTRACT

A study was made of remedial measures taken in dwellings with high indoor radon concentrations and the results obtained. The data regarding the remedial measures taken in 400 dwellings was obtained from a questionnaire study. The mean annual average indoor radon concentration before the remedies was  $1.500 \text{ Bq/m}^3$ , the concentration exceeding in nearly every house the action level of  $400 \text{ Bq/m}^3$ . After the measures were taken the mean indoor radon concentration was  $500 \text{ Bq/m}^3$ . The resulting indoor radon concentration was less than  $400 \text{ Bq/m}^3$  in 60 % of the dwellings.

The best results were achieved using sub-slab-suction and radon well. These methods effectively decrease both the flow of radon bearing air from soil into dwellings and the radon concentration of leakage air. Typical reduction rates in radon concentration were 70-95 %. The action level was achieved in more than 70 % of the houses. Sealing the entry routes and improvement of the ventilation resulted typically in reduction rates of 10-50 %. Sealing the leakage routes of foundation structures of single family houses with wooden bearing structures resulted typically in reduction rates of only 0-30 %. Combined with ventilation improvements the results were typically 20-50 %. The best method based on ventilation improvement was the installation of a new supply/exhaust ventilation system, the reduction rates being typically 30-70 %.

In many of the houses studied the remedial measures were carried out in an insufficient and defective way. Using better plans and careful realization of the measures, the results would be better. In many houses the mitigation work will still continue. The goal of this report is to give useful information for the house owners, the do-it-yourself-mitigators, the mitigation firms and the local authorities. The report includes practical guidance, price information and examples of remedial measures.

## ALKUSANAT

Tämän tutkimuksen tarkoitus on antaa perustiedot korjausmenetelmistä, joilla asuntojen radonpitoisuutta voidaan alentaa. Sosiaali- ja terveysministeriö on rahoittanut tähän raporttiin liittyviä tutkimuksia.

Tässä raportissa on hyödynnetty lyhyesti käynnissä olevan laajan radonimuritutkimuksen tuloksia. Tutkimuksen tavoitteena on yksityiskohtainen radonimuriopas, jonka ympäristöministeriö julkaisee vuonna 1996. Säteilyturvakeskus on tehnyt radonimuritutkimusta vuosina 1993 - 95 yhteistyössä Teknillisen korkeakoulun talonrakennustekniikan laboratorion kanssa. Imuritutkimusta ovat rahoittaneet sekä ympäristöministeriö että sosiaali- ja terveysministeriö. Imuritutkimukseen ovat osallistuneet TKK:lta apulaisprofessori Martti Viljanen ja tutkijat Ari-Veikko Kettunen ja Ritva Rissanen, YM:stä yli-insinööri Jaakko Huuhtanen sekä Säteilyturvakeskuksesta tämän raportin kirjoittaja.

Arvokkaita huomioita tästä raportista ovat esittäneet Kymen lääninterveystarkastaja Irma Kanninen ja Kouvolan alueen terveydensuojeluviranomaiset.

---

**SISÄLLYSLUETTELO**

	sivu
TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKUSANAT	5
SISÄLLYSLUETTELO	6
1 JOHDANTO	7
1.1 Miten radon tulee asuntoon	7
1.2 Ilmanvaihdon merkitys	10
1.3 Radonkorjaustutkimus Suomessa	10
2 TUTKIMUSAINEISTO	11
2.1 Korjauskysely	11
2.2 Radonmittaukset	11
3 KORJAUSMENETELMÄT JA NIIDEN TEHOKKUUS	12
4 RADONIMURI	15
5 RADONKAIVO	24
6 RAKENTEIDEN TIIVISTÄMINEN	28
7 RYÖMINTÄTILAN TUULETUS	30
8 KELLARIN ILMANVAIHDON KORJAUS	33
9 ASUINTILOJEN ILMANVAIHTOTEKNISET KORJAUKSET	34
10 RADONKORJAUSTEN HINTA	37
11 RADONMITTAUSTEN SUORITTAMINEN	39
12 ASUNNON TUTKIMINEN ENNEN KORJAUSTA	39
13 RADONIN TORJUNTA UUDISRAKENTAMISESSA	41
14 NEUVONTA JA AVUSTUKSET	41
KIRJALLISUUSVIITTEET	42

# 1 JOHDANTO

Korkeiden radonpitoisuuksien alentamisella suomalaisissa asunnoissa voidaan merkittävästi pienentää säteilyn haittavaikutuksia. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan Suomessa käytettyjä radonkorjausmenetelmiä ja niillä saavutettuja tuloksia. Tuloksia on pyritty tarkastelemaan siten, että niistä on hyötyä sekä omatoimisille korjaajille että korjausyrityksille ja kuntien viranomaisille. Tutkimus perustuu Säteilyturvakeskuksen keräämiin tietoihin Suomessa toteutetuista radonkorjauksista sekä korkeakoulujen, muiden viranomaisten ja alalla toimivien yritysten tutkimusraportteihin ja kokemuksiin. Myös alan kansainvälistä tietoutta on käytetty hyväksi.

Sosiaali- ja terveysministeriön vuonna 1992 antaman päätöksen (994/92) mukaisesti asunnon radonpitoisuuden vuosikeskiarvon tulisi alittaa 400 becquerelia kuutiometrissä ( $\text{Bq/m}^3$ ). Uusia asuntoja rakennettaessa radonpitoisuuden enimmäisarvo on  $200 \text{ Bq/m}^3$ . Radonkorjauksen tavoitteeksi on tässä tutkimuksessa asetettu pitoisuuden alentaminen enimmäisarvoon  $400 \text{ Bq/m}^3$  ja samalla myös enimmäisarvon  $200 \text{ Bq/m}^3$  alittaminen, mikäli se on kohtuullisin kustannuksin saavutettavissa. Vuodesta 1992 Säteilyturvakeskus on lähettänyt radonkorjaus-tiedotteen kaikille niille, joiden radonmittaustulos on ylittänyt  $400 \text{ Bq/m}^3$ .

Enimmäisarvon  $400 \text{ Bq/m}^3$  ylittää koko maassa keskimäärin 3,6 % asunnoista (Arvela, Mäkeläinen ja Castrén 1993). Näistä suurin osa, 59.000, on pientalo-asuntoja ja 7.000 kerrostaloasuntoja. Pientaloista ylittää enimmäisarvon koko maassa keskimäärin 5 %. Uudenmaan läänin itäosassa, Kymen läänin länsiosassa ja Hämeen läänissä noin 15 % asunnoista ylittää enimmäisarvon. Alhaisimman radonpitoisuuden lääneissä näitä asuntoja on 1 - 3 %.

## 1.1 Miten radon tulee asuntoon

Merkittävin radonlähde pientaloissa on maaperän radonpitoinen huokosilma. Maaperästä virtaa huokosilmaa pientaloihin tyypillisesti  $0,2 - 2 \text{ m}^3$  tunnissa (Arvela 1995). Sisä- ja ulkolämpötilan eron tai ilmanvaihtolaitteiden synnyttämä paine-ero pakottaa virtauksen liikkeelle. Kun maaperän huokosilman radonpitoisuus on tyypillisesti  $20.000 - 100.000 \text{ Bq/m}^3$ , riittää tällainen pieni virtaus nostamaan sisäilman radonpitoisuuden satoihin becquereleihin kuutiometrissä. Myös läpäisevä täytesorakerros lisää radonin virtausta. Vuotoilmavirtaukseen vaikuttaa ratkaisevasti maaperän läpäisevyys. Tämän vuoksi läpäiseville soramaille tehdyissä asunnoissa on keskimäärin selvästi korkeammat radonpitoisuudet kuin esimerkiksi savelle tai kalliolle tehdyissä taloissa. Avainkysymys radonkorjausten onnistumisessa on maaperästä ilmavirtauksen mukana asuntoon kulkeutuvan radonmäärän pienentäminen.

Kuva 1 esittää erilaisiin perustamistapoihin liittyviä vuotoreittejä. Merkittävin vuotoreitti on maanvaraisen lattialaatan ja sokkelin välillä oleva kutistumarako. Muita mahdollisia radonin vuotoreittejä ja lähteitä ovat:

- alapohjalaatan ja kantavien väliseinien liitoskohdat
- kantavat väliseinärakenteet, jotka läpäisevät alapohjarakenteet (kuva 1A)
- lattialaatan halkeamat
- kellarin maalattia
- lattialaatan läpivientikohdat, pääsähköjohto ja vesijohto
- takan ja lattian saumat tai takkarakenteet
- radonpitoinen talousvesi, porakaivot
- radiumpitoiset rakennusmateriaalit

Paitsi pientaloissa, myös kerrostalojen alimpien kerrosten asunnoissa, joissa lattialaatta on maanvarainen, maaperän huokosilmavuodot nostavat radonpitoisuuksia merkittävästi. Näissä asunnoissa radonpitoisuudet ovat keskimäärin korkeampia kuin pientaloissa. Kerrostaloissa alapohjan radonvuotoa kasvattaa koneellisen ilmanvaihdon ja talon korkeuden aiheuttama alipaine.

Rakennusmateriaalit eivät tiettävästi Suomessa ole yksin aiheuttaneet enimmäisarvon ylittäviä sisäilman radonpitoisuuksia. Ruotsissa valmistettiin vuosina 1929 - 1975 kevytbetonia huomattavan radiumpitoisesta alunaliuskeesta. Tällaisia harkkoja on käytössä jonkin verran Ahvenanmaalla. Pintakäsittelyllä ja hyvällä ilmanvaihdolla on mahdolliset radonhaitat kuitenkin poistettavissa.

Jos asunnossa käytetään porakaivovettä, on mahdollista, että veden radonpitoisuus lisää huoneilman radonpitoisuutta. Radonia vapautuu pesualtaissa, -koneessa ja suihkussa vedestä huoneilmaan. Asuintiloihin vedestä tulevan radonin määrä riippuu veden käyttötavoista, vesimääristä, asunnon koosta ja ilmanvaihdosta.



**A****B**

**Kuva 1.** Radonin vuotoreittejä tavallisissa perustamisratkaisuissa; (A) maanvarainen laatta ja (B) kellarillinen rakennus tai rinnetalon maanvastainen seinä.

## 1.2 Ilmanvaihdon merkitys

Asunnon ilmanvaihto on käytännössä ainoa tekijä, joka pienentää sisäilman radonpitoisuutta. Sisäilmaa koskevien rakennusmääräysten mukaan ilmanvaihtuvuuden tulisi olla 0,5 1/h. Tämä merkitsee, että puolet asunnon ilmatilavuudesta vaihtuu yhdessä tunnissa. Jos asunnon ilmanvaihto on vain 0,1 1/h, mikä merkitsee, että vain kymmenesosa ilmasta vaihtuu tunnissa, radonpitoisuus on viisinkertainen verrattuna tilanteeseen, jossa ilmanvaihtuvuus on 0,5 1/h. Tämä vertailu pitää paikkansa, jos ilmanvaihtuvuuden muutos ei vaikuta radonin lähdevoimakkuuteen. Teknillisen korkeakoulun ilmanvaihtotutkimusten perusteella yli puolessa asunnoista ilmanvaihtuvuus on alle 0,5 1/h. Luvussa 9 on tarkasteltu ilmanvaihtoteknisiä menetelmiä radonpitoisuuden alentamiseksi.

## 1.3 Radonkorjaustutkimus Suomessa

Ensimmäiset korjaustutkimukset toteutettiin vuosina 1985 - 1986. Seitsemässä asunnossa radonpitoisuudet alenivat tasolta 1.200 - 27.800 Bq/m<sup>3</sup> tasolle 80 - 380 Bq/m<sup>3</sup> (Ympäristöministeriö 1986). Radonimuri oli useimmissa kohteissa tehokkain menetelmä. Tampereen teknillisessä korkeakoulussa tehtiin ensimmäinen laaja tutkimus ilmanvaihtoteknisten menetelmien käytöstä (Keskinen et al. 1989). Pispalanharjulla tutkittiin radonkaivon käyttöä Tampereen kaupungin, Insinööri-toimisto Paavo Ristolan ja Säteilyturvakeskuksen yhteistyönä (Reisbacka ja Arvela 1991) sekä Tampereen teknillisen korkeakoulun toimesta (Lahti ja Graeffe 1991). Useat Teknillisen korkeakoulun talonrakennustekniikan laboratorion tutkimukset antavat perustietoa korjausrakentamisesta ja radontorjunnasta uudisrakentamisen yhteydessä (Kettunen et al. 1993, Ympäristöministeriö 1994). Kuopion yliopistossa on tutkittu radonin torjuntaa paine-erosäätöisen ilmanvaihtolaitteen avulla (Keskikuru et al. 1993).

Vuonna 1993 aloitettiin radonimuritutkimus TKK:n Talonrakennustekniikan laboratorion ja Säteilyturvakeskuksen yhteistyönä. Sekä ympäristöministeriö että sosiaali- ja terveysministeriö ovat rahoittaneet tätä tutkimusta, jonka tuloksia on hyödynnetty myös tässä raportissa. Tutkimus tähtää vuonna 1996 ilmestyvään radonimurioppaaseen ja tätä tukevaan taustaraporttiin.

Säteilyturvakeskuksen seurantatutkimuksen tavoitteena on ollut tiedon kerääminen radonkorjausmenetelmistä ja pitoisuuksien alenemisesta päätöksentekoa ja korjausoppaita varten. Tuloksia on aikaisemmin hyödynnetty Säteilyturvakeskuksen radonkorjaustiedotteessa (1992), radonkorjausten kustannusten arvioinnissa (Arvela ja Castrén 1994) ja kansainvälisissä julkaisuissa (Arvela ja Hoving 1993).

## 2 TUTKIMUSAINEISTO

### 2.1 Korjauskysely

Tiedot radonpitoisuudesta ennen korjausta ja korjauksen jälkeen on saatu Säteilyturvakeskuksen radonmittauspalvelun tuloksista ja kyselylomakkeesta. Niille talonomistajille, jotka vastasivat radonmittauksen kyselylomakkeessa tehneensä korjauksia radonpitoisuuden alentamiseksi, lähetettiin lisäkysely. Kysely lähetettiin 350 asukkaalle syyskuussa 1992 ja 250 asukkaalle helmikuussa 1995. Kyselylomakkeessa tiedusteltiin suoritettuihin korjauksiin, perustusrakenteisiin ja ilmanvaihtoon liittyviä yksityiskohtia. Noin 450 asukasta palautti kyselylomakkeen. Vastausten perusteella pystyttiin käytetty radonkorjaus-menetelmä luokittelemaan noin 400 talossa.

### 2.2 Radonmittaukset

Mittalaitteena asunnoissa käytettiin Säteilyturvakeskuksen alfa-jälkimenetelmää. Postitse lähetettävässä radonmittauspurkissa (halkaisija 45 mm, korkeus 17 mm) on pieni Makrofol-muovikalvon palanen. Radonin ja sen hajoamistuotteiden lähettämä alfasäteily vaurioittaa muovia. Kalvon sähkökemiallisen käsittelyn jälkeen jäljet ovat näkyviä ja niiden määrä voidaan laskea. Radonpitoisuus on verrannollinen jälkitiheyteen. Normaalisti mittausjakso kestää kaksi kuukautta.

Osassa kohteita on suoritettu mittauksia myös jatkuvasti rekisteröivällä radonmittarilla. Tällainen laite mittaa radonpitoisuutta jatkuvasti ja tallentaa tuloksen laitteen muistiin esim. kerran tunnissa. Tällaisella mittauksella voidaan todeta onko radonpitoisuudessa tapahtunut selvä muutos. Käytetyt tulokset radonpitoisuuden alenemisesta perustuvat kuitenkin ennen korjausta ja korjauksen jälkeen tehtyihin alfajälkimittauksiin.

### 3 KORJAUSMENETELMÄT JA NIIDEN TEHOKKUUS

Käytetyt korjausmenetelmät ja saavutetut tulokset on esitetty taulukossa I ja kuvassa 2. Seuraavissa luvuissa on tarkasteltu erikseen kutakin korjausmenetelmää ja tulokseen vaikuttavia tekijöitä. Kuvassa 2 on esitetty eri menetelmillä saavutetun radonpitoisuuden aleneman vaihtelualue, keskiarvo sekä tyypilliset arvot (rajoina kvartiilit, 25 % ja 75 %). Tulosten parhaassa neljänneksessä alenemat ovat suurempia kuin tyypilliset arvot, huonoimmassa neljänneksessä alenemat ovat taas pienempiä. Tuloksia voi tulkita siten, että edullisissa olosuhteissa, hyvin suunnitellulla korjauksella, on saavutettu tyypillisen aleneman ylittäviä tuloksia.

Tyypillinen alenema radonkaivolla on 85 - 95 % ja radonimurilla 60 - 90 %. Muilla menetelmillä tulokset ovat huonompia. Kaivo ja imuri ovat myös ainoat menetelmät, joilla on saavutettu yli 95 % alenemia. Taulukko I esittää eri menetelmillä saavutettua keskimääräistä radonpitoisuuden alenemaa ja keskipitoisuutta korjauksen jälkeen. Radonpitoisuudet ovat talviaikana mitattuja ja vastaavat vuosikeskiarvot ovat keskimäärin 20 % pienempiä. Taulukkoon on merkitty myös kuinka monessa prosentissa korjauksista on päästy vuosikeskiarvon 400 Bq/m<sup>3</sup> alapuolelle. Imurilla ja kaivolla alitusprosentti on 70 - 85 %, kun taas puurakenteisten pientalojen tiivistyskorjauksilla vain joka viidennessä talossa on päästy alle 400 Bq/m<sup>3</sup>.

Tutkituissa 423 asunnossa talvella mitatun radonpitoisuuden keskiarvo oli ennen korjausta lähes 1800 Bq/m<sup>3</sup> ja korjausten jälkeen noin 600 Bq/m<sup>3</sup>. Radonpitoisuuden keskimääräinen alenema oli siten 1200 Bq/m<sup>3</sup>. Kun radonpitoisuuden vuosikeskiarvo on korkean radonpitoisuuden asunnoissa noin 20 % alhaisempi kuin talvella mitattu radonpitoisuus, on vastaava vuosikeskiarvon alenema noin 1000 Bq/m<sup>3</sup>. Useissa asunnoissa korjaus on toteutettu puutteellisella tavalla. Hyvin suunnitellulla ja toteutetulle korjauksella päästään parempaan tulokseen. Monessa asunnossa korjaustyötä on jatkettu myöhemmin.

**Kuva 2.** Tyypillinen eri menetelmillä saavutettu radonpitoisuuden prosentuaalinen alenema (paksunnettu viiva), aleneman keskiarvo (poikkiviiva) sekä vaihtelualue (ohut viiva). Tulosten parhaassa neljänneksessä alenemat ovat suurempia kuin tyypilliset arvot, huonoimmassa neljänneksessä alenemat ovat taas pienempiä.

**Taulukko I.** Eri korjausmenetelmillä saavutettu radonpitoisuuden keskimääräinen alenemaprosentti, radonpitoisuuden keskiarvo kohteissa korjausta ennen ja korjauksen jälkeen sekä pitoisuusaleneman keskiarvo, enimmäisarvon 400 Bq/m<sup>3</sup> alittaneiden kohteiden prosentuaalinen osuus.

Menetelmä Korjausten lkm	Alenema ka %	Ennen Bq/m <sup>3</sup>	Jälkeen Bq/m <sup>3</sup>	Alenema Bq/m <sup>3</sup>	400 Bq/m <sup>3</sup> alitus * %
Radonimuri laatan läpi 43	70	2000	600	1400	70
Radonimuri sokkelin läpi 49	80	2700	400	2300	75
Radonkaivo 54	90	3400	300	3100	85
Ryömintätilan tuuletus 8	60	1600	600	1000	50
Kellarin ilmanvaihto 8	50	1200	500	700	50
Ilmanvaihdon tehostus 76	30	900	600	300	60
Uusi poisto-ilman- vaihto 9	40	1100	600	500	55
Uusi tulo/poisto- ilmanvaihto 46	50	1200	600	600	55
Vuotojen tiivistys, talossa puurakenteiset seinät 29	20	1400	1000	400	20
Vuotojen tiivistys, talossa seinät be- tonielementeistä 8	40	1700	900	800	40
Vuotojen tiivistys, kerrostalot 4	50	700	400	300	50
Useita menetelmiä 89	50	1500	600	900	55
<b>KAIKKI 423</b>	<b>55</b>	<b>1800</b>	<b>600</b>	<b>1200</b>	<b>60</b>

\* Laskettu talvipitoisuuden 500 Bq/m<sup>3</sup> perusteella. Tämä vastaa keskimäärin vuosikeskiarvoa 400 Bq/m<sup>3</sup>.

## 4 RADONIMURI

### **Toimintaperiaate**

Radonimurilla saadaan aikaan alipaine lattialaatan alle. Alipaine vähentää ilman virtausta maaperästä asuntoon, pysäyttäen sen onnistuneessa korjauksessa kokonaan. Alipaine saadaan aikaan puhaltimella, joka imee ilmaa yhdestä tai useammasta pisteestä lattialaatan alta. Radonimuri alentaa myös vuotoilmavirtauksen radonpitoisuutta tuulettamalla rakennuspohjaa. Menetelmää kutsutaankin myös rakennuspohjan tuuletukseksi.

### **Toteutus**

Kuvat 3 ja 4 esittävät radonimurin rakennetta. Kuva 5 esittää radonpitoisuuden alenemista helsinkiläisessä paritaloasunnossa, kun imuri kytkettiin toimimaan. Tiiviille rakennuspohjalle kuten kalliolle, moreenille, savelle, siltille tai tiiviille hiekalle rakennetuissa taloissa radonimuri toteutetaan lattian tai sokkelin läpi. Kun rakennusmaa on läpäisevää soraa, radonkaivo on vaihtoehtoinen korjausmenetelmä. Radonimuria suunniteltaessa on selvitettävä rakennuksen alapohjarakenteet ja erityisesti kantavien väliseinien sijainti ja rakenne.

Jos alapohjalaatan päällä on puukoolauksen päällä lepävä lattiarakenne, imurin käyttöönotto voi aiheuttaa riskin kosteuden muodostumisesta lattiarakenteisiin. Ulkoilmaan rajoittuvien rakenteiden läheisyydessä on myös arvioitava onko imurin vaikutuksesta syntyneellä virtausreitillä mahdollisuutta kosteuden tiivistymiseen.

Radonimurin suunnittelusta ja toteutuksesta on valmisteltu yksityiskohtaista opasta, jonka ympäristöministeriö julkaisee vuonna 1996. Projektin tuloksia on hyödynnetty lyhyesti jo tässä julkaisussa.

### **Imupisteiden valinta**

Imupisteiden sijoitus ja lukumäärä vaikuttavat ratkaisevasti imurin toimintaan. Imukuoppa tulee sijoittaa mahdollisimman keskelle maanvaraista laattaa tai sen osaluetta. Etäisyyden ulkoseinistä tulisi olla vähintään 1,5 m ja kantavista alapohjarakenteen läpäisevistä väliseinistä tai uunin perustuksista vähintään 0,5 m. Yksinkertaisimpia kohteita ovat yhtenäisellä suorakaiteen muotoisella laatalla varustetut rivi- ja pientalot (kuvat 6A ja 6B), joissa imurin vaikutus pääsee esteettä leviämään laatan reuna-alueille saakka. Tällaisessa tapauksessa yhdellä imupisteellä on useimmiten saavutettavissa hyvä tulos 120 m<sup>2</sup>:n tai pienemmällä laatalla.

**Kuva 3.** *Lattian läpi toteutetun radonimurin rakenne.*



**Kuva 4.** *Sokkelin läpi toteutetun radonimurin rakenne.*

Jos kantavien väliseinien perustusrakenteet jakavat laatan useaan eri lohkon siten, että virtaus ei pääse leviämään lohkon ulkopuolelle, on laatan eri osa-alueisiin sijoitettava erilliset imupisteet. Samoin, jos laatta on esim. L:n muotoinen, voidaan tarvita useampia imupisteitä. Osa-alueen laajuus ja merkittävyys vuotojen kannalta vaikuttaa siihen kannattaako alueelle sijoittaa imupiste. Korjauksen voi aloittaa kytkemällä imuri yhteen tai kahteen välttämättömään ja parhaaksi arvioituun imupisteeseen. Putkiston suunnittelussa kannattaa varautua tällöin uusien imupisteiden liittämiseen kanavistoon. Normaalisti yhdellä imurilla voidaan saada aikaan riittävä alipaine useaan imukuoppaan. Kuva 6 esittää esimerkkejä imupisteiden onnistuneesta valinnasta.

### **Imukuoppa ja läpivienti**

Imukuopasta poistetaan täytesoraa noin 20 l. Imukuoppa on tärkeä, koska se edistää alipaineen leviämistä laatan reuna-alueille saakka. Läpivienttiä varten tehdään alapohjalaattaan reikä. Läpivienttikappale tehdään PVC-viemäriputkesta, jonka halkaisija on 75 - 125 mm. Metallinen läpivienti voi ruostua. Läpivientireikä tehdään 25 - 35 mm suuremmaksi kuin läpivienttikappaleen halkaisija. Reikä voidaan tehdä lattiapinnoitteen poistamisen jälkeen poraamalla betoniin pieniä reikiä sopivan kokoisen ympyrän kehälle ja sisälle. Poraamisen jälkeen aukko tehdään kivitaltalla hakkaamalla. Reiän voi tehdä myös vuokraamosta saatavalla timanttiporalla. Timanttiporausyrityksen tekemänä reiän hinta on 400 - 800 mk, yrityksen lähialueella. Läpivienti kiinnitetään reikään polyuretaanivaahdolla. Sauma on lopuksi tiivistettävä polyuretaani- tai polysulfidisaumausaineella.

Imupiste on mahdollista sijoittaa myös syvemmälle käyttämällä esim. yli metrin mittaista läpivienttikappaletta, jonka alaosa on rei'itetty ja päällystetty muoviverkolla. Tällainen putki voidaan asentaa maahan suuremman putken ja teollisuuspölyimurin avulla. Syvälle sijoitettu imupiste auttaa virtauksen leviämistä, kun kantavat väliseinät jakavat alapohjan moneen lohkon. Imupistettä ei saa kuitenkaan sijoittaa täyttösoran alapuolelle tiiviiseen rakennusmaahan.

### **Poistokanava**

Poistokanava voidaan tehdä muovisesta viemäriputkesta tai kierresaumatusta ilmastointiputkesta. Liitokset on huolellisesti tiivistettävä. Pienetkin vuodot asuintiloissa voivat nostaa merkittävästi asunnon radonpitoisuutta. Siksi puhallinta ei saa sijoittaa asuintiloihin.

Maaperässä oleva ilma on kosteaa. Mikäli poistokanavaa joudutaan yläpohjassa viemään sivusuunnassa, on noudatettava ilmanvaihtokanaviston asennuksesta annettuja ohjeita. Siirtokanavat on aina kallistettava, jotta vältettäisiin tiivistyvän veden kertyminen kanavistoon.

Laatan alta imettävä ilma on aina huonetilan ilmaa kylmempää. On mahdollista, että

putken ulkopinnalla tapahtuu kosteuden tiivistymistä. Tämän tarkistamiseksi on suositeltavaa jättää putki näkyviin esim. komeroon. Jos tiivistymistä esiintyy, on putki eristettävä vesihöyrytiivillä lämmöneristeellä.

Yksinkertaisin ratkaisu on käyttää valmista lämpöeristettyä huippuimuria puhaltimena. Puhallin voidaan sijoittaa myös yläpohjan ja vesikaton välille (kuva 3). Vesikaton läpivientiin on saatavissa kullekin katteelle sopivia valmiita läpivientielementtejä. Joskus puhallin kannattaa sijoittaa sateenkestävään koteloon ulkoseinälle. Jos puhallin sijoitetaan lähelle makuuhuonetta, on syytä huomioida myös äänieristyskysymykset.

### **Puhallin ja ilmavirtauksen säätö**

Sopiva puhallinteho on 30 - 100 Wattia. Useissa tapauksissa 60 Watin puhaltimella on saavutettu hyviä tuloksia. Haluttaessa on mahdollista pienentää virtausta sähköisen tehonsäätimen avulla. Tällöin on säädön vaikutus tarkistettava radonmittauksella. Imukanaviston alkuun on mahdollista kytkeä sähköinen tai nestepatsaaseen perustuva alipainemittari. Mittarin avulla on helppo todeta, että laitteisto toimii halutulla tavalla.

Suosittelava maaperästä imettävä ilmamäärä on 0,2 m<sup>3</sup> tunnissa laattaneliometriä kohti (Ympäristöministeriö 1994). Sadan neliömetrin laatan alta imettävä ilmamäärä on tällöin 20 m<sup>3</sup> tunnissa. Virtausmäärä on karkeasti arvioitavissa 150 litran jätessäkin avulla. 20 m<sup>3</sup>:n virtaus tunnissa täyttää pussin 27 sekunnissa. Vastaavasti virtauksen ollessa 50 m<sup>3</sup> tunnissa pussi täyttyy 11 sekunnissa.

Jos tarkistusmittaus osoittaa, ettei pitoisuus ole laskenut halutulle tasolle, voidaan tilavuusvirtaa kasvattaa. Tällöin on kuitenkin muistettava, ettei ilman tarkempaa lämpö- ja kosteusteknistä tarkastelua rakennuspohjasta imettävä ilmamäärä saa ylittää 0,5 m<sup>3</sup> tunnissa rakennuksen pohjapinta-alayksikköä (m<sup>2</sup>) kohti.

Liian voimakkaalla puhaltimella saatetaan rakennuspohjasta imeä liikaa ilmaa, jolloin perusrakenteiden routimisriski kasvaa. Tähänastisten kokemusten perusteella ei alle 100 W puhaltimilla ole havaittu routa- tai kylmähaittoja. Vuotoreittien tiivistämisellä on mahdollista parantaa imurilla saavutettua tulosta.

### **Radonimurin asennus sokkelin läpi**

Radonimuri voidaan rakentaa myös sokkelin läpi. Puhallin asennetaan joko suoraan sokkeliin tehtyyn aukkoon tai sokkelin läpi laatan alle viedyn putken päähän (kuva 4). Jos ei käytetä putkea, imutilaa pitää syventää laatan keskustan suuntaan esim. pitkävartisella kapealla lapiolla. Menetelmän etuna on se, ettei sisätiloissa tarvitse tehdä muutostöitä. Puhallin jää myös sokkelin viereen talon ulkopuolelle. Menetelmään liittyy suomalainen patentti no 82373, tekn. tri. Matti Home. Puhallin valitaan ja säädetään samalla lailla kuin lattian läpi viedyssä imukanavassa.

### **Tulokset**

Radonimuri on tuloksiltaan parhaita korjausmenetelmiä. Radonpitoisuus on tavallisesti pienentynyt 60 - 90 % alkuperäisestä arvosta. Yli 70 %:ssa korjauksista on alitettu 400 Bq/m<sup>3</sup>. Radonimuria on käytetty keskimäärin hyvin korkean radonpitoisuuden asunnoissa, mikä on myös vaikeuttanut enimmäisarvon alittamista. Kuvan 2 ja taulukon I mukaisesti sokkelin läpi asennetulla imurilla on saavutettu keskimäärin parempia tuloksia kuin lattian läpi asennetuilla imureilla. Tämä johtuu siitä että kohteiden joukossa on runsaasti helposti korjattavia rivitaloasuntoja, joissa lattialaatta on alaltaan pienehkö.

Hyvään lopputulokseen myötävaikuttaa:

- Laatan pieni pinta-ala
- Yhtenäinen suorakulmion muotoinen laatta
- Lämpäisevä täytemaa laatan alla edistää painekentän leviämistä

Imurin toimintaa vaikeuttaa:

- Laatan monilohkoisuus ja imupisteiden liian pieni lukumäärä
- Imupisteen huono sijoitus laatan reuna-alueelle
- Imupisteen sijoitus lähelle seinärakennetta (esim. tiivistämätön harkkoseinä), ilmaa virtaa huomattavasti seinän tai saumojen kautta ja alipaine laatan alla huononee.
- Koneellisen ilmanvaihdon aiheuttama suuri alipaine
- Tiivis täytemaa, painekenttä ei leviä koko laatan alueelle.

### **Esimerkkejä**

Kuva 5 esittää radonpitoisuuden alenemista helsinkiläisessä pariataloasunnossa, kun radonimuri kytkettiin toimimaan. Kuva 6 esittää imupisteen sijoitusta erilaisissa pohjaratkaisuissa. Kuvan 6C pohjaratkaisussa kantava väliseinä jakaa alapohjan kahteen lohkoon, joihin on sijoitettu oma imupiste. Kuvien A ja B tapauksissa laatta on yhtenäinen ja suorakaiteen muotoinen, yksi imupiste antoi hyvän tuloksen.

**Kuva 5.** *Radonpitoisuuden aleneminen radonimurin käynnistyttyä helsinkiläisessä paritaloasunnossa syyskuussa 1995.*

**A**

**B**

**Kuva 6.** *Radonimurin onnistuneita sijoituksia erilaisissa pohjaratkaisuissa.*

**C**

**Kuva 6.** *jatkuu*

## 5 RADONKAIVO

### **Toimintaperiaate**

Radonkaivon avulla imetään ilmaa maaperästä. Kaivo alentaa asunnon radonpitoisuutta kahdella tavalla. Ensiksi syntyvä virtaus alentaa asuntoon maaperästä virtaavan ilman radonpitoisuutta. Toiseksi imu synnyttää kaivon lähistöllä alipaineentien lattialaatan alle. Tällöin maaperän huokosilmavirtaus asuntoon vähenee. Parhaassa tapauksessa vuotovirtaus loppuu kokonaan.

### **Toteutus**

Kuvassa 7 on esitetty kaavakuva pientalolle soveltuvan radonkaivon rakenteesta. Imupiste sijoitetaan 3 - 5 metrin syvyyteen, syvemmälle kuin perustuksen anturat. Etäisyyden talon perustuksista tulee olla niin suuri, ettei kaivamisen yhteydessä rakennusmaa ala sortua perustusten alta. Kaivannon pohja täytetään noin 0,5 metrin sepelikerroksella. Tämän päälle asennetaan pystyyn tiivis muoviputki, jonka sopiva halkaisija on 15-40 cm. Putken alapäähän porataan runsaasti reikiä. Näiden tarkoituksena on varmistaa, ettei putken alapää tukkeudu, ja että alipaineentia leviää tehokkaasti. Tämän jälkeen lisätään vielä sepeliä. Karkean sepelikerroksen tarkoituksena on helpottaa ja varmistaa virtauksen leviäminen putken suulta.

Kaivon pohjalla olevan sepelikerroksen päälle laitetaan suodatinkangas ja muovikalvo. Näiden tarkoituksena on pitää eri karkeutta olevat maa-ainekset erillään. Tämän jälkeen kaivanto täytetään selvästi hienorakeisemmalla maalajilla, kuin mihin kaivo oli tehty. Sopivia maalajeja ovat mm. savi, siltti tai hieno hiekka. Muovikalvo ja tiivis maa muodostavat putken ympärille tulpan, joka estää tehokkaasti ulkoilman virtauksen kaivon täytemään läpi.

Poistopuhallin asennetaan kaivoputken yläosaan. Betonisen kaivonrenkaan avulla poistopuhallin saadaan jäämään maanpinnan alapuolelle. Kaivon päälle asennetaan poistoputkella varustettu kansi. Kansi vaimentaa tehokkaasti puhaltimen ääntä. Puhallin voidaan vaihtoehtoisesti asentaa putken sisään. Tällöin kaivoputki voidaan peittää kokonaan maan sisään ilman kaivonrengastakin.

Radonkaivon poistoputken pää tulisi sijoittaa siten, ettei radonpitoinen ilma pääse ilmanvaihtokanaviin tai tuuletusikkunoista sisään. Kun kaivo on talon vieressä, on eräs mahdollisuus asentaa putki seinän vierustaa pitkin räystäään yläpuolelle. Poistoputken pää voidaan tarvittaessa viedä kauaskin, jotta äänihaitat jäisivät mahdollisimman pieneksi.



**Kuva 7.** *Radonkaivon rakenne.*

Yhden pientalon kaivoon sopiva puhallinteho on 150 W. Asentamalla puhaltimeen sähköinen tehonsäädin, sitä voidaan käyttää myös pienemmillä tehoilla. Tehovaatimus kasvaa, jos radonkaivon vaikutusalueita halutaan laajentaa. Yhdellä sopivasti sijoitetulla ja tehokkaalla kaivolla on pystytty alentamaan rivitaloyhtiön yli kymmenen asunnon radonpitoisuus. Kaivon vaikutusalue on suotuisissa oloissa 20 - 40 metriä.

### **Tulokset**

Radonkaivon rakentamisessa tarvitaan kokemusta ja maaperäasiantuntemusta. Kaivon tehoon vaikuttavat mm. maaperän tiiveys, kerroksellisuus, imupisteen syvyys sekä käytetyn poistopuhaltimen teho. Radonkaivo toimii vain karkearakeisilla maalajeilla, kuten soralla ja hiekalla. Tiiviistä maasta ei voida imeä riittävästi ilmaa, jolloin ilmavirtaus ei leviä kyllin etäälle. Tiiviitä maalajeja ovat mm. savi, siltti ja moreeni. Lisäksi hienot hiekat voivat olla ongelmallisia. Harjuissa karkea- ja hienorakeiset kerrokset vaikuttavat virtauskentän muotoon ja laajuuteen.

Asunnon korkea radonpitoisuus on merkki maaperän suuresta läpäisevyydestä. Radonkaivon toimintaedellytykset heikkenevät, kun korjattava pitoisuus on alle 1000 Bq/m<sup>3</sup>. Maaperä saattaa olla tällöin jo liian tiivistä.

Kaivon vaikutuksesta radonpitoisuus on tavallisesti pienentynyt yli 90 % alkuperäisestä arvosta. 400 Bq/m<sup>3</sup> on alittunut lähes kaikissa tapauksissa, vaikka radonpitoisuuden lähtöarvot ovat olleet kaikkein korkeimpia.

Radonkaivo voi epäonnistua seuraavista syistä:

- Kaivuuvaiheessa törmätään liian tiiviiseen maahan, esim. hieno hiekka tai savi.
- Liian tiiviit maakerrokset kaivon ja perustusten välillä heikentävät ilmavirtausta.
- Läpäisevät maakerrokset, joiden kautta ilma vuotaa väärää reittiä, heikentävät tulosta.
- Ilma vuotaa putki- tai kaapelikanavien, sadevesi- tai salaojakaivojen kautta.

Radonkaivosta voi olla myös joitain haittavaikutuksia. Radonkaivon lähistöllä maa saattaa jäätymä syvemmälle kuin ennen kaivon toimintaa. Matalalla kulkevat vesijohdot voivat jäätymä aikaisempaa herkemmin. Meluhaittoja voidaan pienentää sijoittamalla poistoilmaputken aukko sopivasti.

### **Esimerkki**

Kuva 8 esittää rivitaloyhtiön radonkaivoratkaisua ja tuloksia. Pihamaalle sijoitettiin kaksi radonkaivoa, joiden avulla radonpitoisuus laski merkittävästi kaikissa asunnoissa.

**Kuva 8.** Rivitaloyhtiön radonkaivojen sijoitus ja radonpitoisuuden muutokset.

## 6 RAKENTEIDEN TIIVISTÄMINEN

### **Toimintaperiaate**

Tiivistäminen vähentää radonpitoisen ilman virtausta maaperästä asuntoon. Tärkeimpiä vuotoreittejä ovat lattialaatan ja seinän välinen rako ja tiivistämättömät läpiviennit. Vuotoilmavirtaus etsii tiivistetyn raon sijasta uuden vuotoreitin. Tämän vuoksi tiivistäminen on tehokasta vain, kun kaikki mahdolliset vuotoreitit saadaan lähes täydellisesti tiivistettyä.

### **Toteutus**

Käsiteltävien rakojen on oltava kuivia ja puhtaita. Irrallinen pöly ja betoniaines on poistettava. Jos tiivistettävä rako on syvä, on siihen syytä asentaa pohjanauha, joka estää sauma-aineen painumisen syvälle ja vähentää sen menekkiä.

Sopivia elastisia saumausmassoja ovat polyuretaani (huom. saumausaine kertakäyttöpatruunassa, ei polyuretaanivahto), kumibitumi (käsitellään kuumana) tai polysulfidimassat (saatavana kertakäyttöpatruunana). Silikonipohjaisia aineita ei suositella, koska niiden tarttuvuus betonipintoihin on huono. Kuva 9 esittää erilaisia saumausvaihtoehtoja.

Jo alle 0,1 mm levyinen betonilaatan läpi menevä halkeama lisää huokosilman virtausta laatan läpi. Halkeamien tiivistämiseen sopii hyvin injektioepoksi (kaksikomponentti epoksimuovia), joka painepuristettuna tunkeutuu jo 0,01 mm leveään rakoonsakin. Keskelle halkeamaa porataan reikiä aineen valmistajan ohjeen mukaisesti, ja epoksi puristetaan halkeamaan tavallisella kertakäyttöpatruunalla ja massapistoolilla.

Halkeamien tiivistämiseen soveltuu myös lattiamassat ja -tasoitteet, kun niitä käytetään riittävän laajalle alueelle ja riittävän paksuna kerroksena valmistajan ohjeiden mukaisesti.

Huokoisesta seinämateriaalista tehty kellarillisen talon perusmuuri tai rinnetalon alakerran maanvastainen seinä voi olla merkittävä radonin virtausreitti (kuva 1B). Perusmuuri tiivistetään slammaamalla betonitasoiteella lattiasta välipohjaan saakka.

**A**

**B**

**Kuva 9.** *Sokkelin ja laatan välisen sauman tiivistäminen.*

## **Tulokset**

### Pientalot

Sokkelin ja laatan välisen raon lisäksi vuotoa voi tapahtua myös sokkelista seinärakenteisiin ja lattialaatan halkeamien kautta. Erityisesti tiivistämättömän harkkosokkelin kautta radonpitoinen ilma pääsee seinärakenteisiin. Jos nämä vuodot ovat merkittäviä, laatan ja seinän välisen raon tiivistäminen ei tuota haluttua tulosta.

Pientaloissa, joissa on puiset kantavat seinärakenteet, radonpitoisuus on tavallisesti pienentynyt 0 - 30 %. Yhdistämällä korjaukseen ilmanvaihdon tehostamista on saavutettu 20 - 50 % alenemia. Joukossa on myös useita tehottomia korjauksia.

Parhaat tulokset on saavutettu niissä pientaloissa, joissa seinärakenteet ovat betonia, alenemat ovat tyypillisesti 30 - 50 %. Kun radonpitoinen ilma ei pääse seinärakenteen kautta asuntoon, tiivistäminen on tuottanut tulosta.

### Kerrostalot

Kerrostalojen alimpien kerrosten asunnoissa on hyvät edellytykset saada hyviä tuloksia laatan ja sokkelin välisen sauman tiivistämisellä. Radonpitoinen vuotoilma ei useimmiten pääse sokkelin ja seinäelementin kautta sisätiloihin ja huolellisella tiivistämisellä on voitu saavuttaa jopa alle 100 Bq/m<sup>3</sup> radonpitoisuuksia. Saavutetut radonpitoisuuden alenemat vaihtelevat 20 ja 90 %:n välillä. STUK selvittää vuosina 1995 - 96 erityisesti kerrostalojen radonkorjausten onnistumiseen vaikuttavia tekijöitä.

## **7 RYÖMINTÄTILAN TUULETUS**

Ryömintätilaiseksi perustustavaksi (kuva 10B) kutsutaan kantavaa tuulettuvaa alapohjaa joka lepää perusmuurin varassa. Jos alapohja on tehty puusta kutsutaan rakennetta myös rossipohjaksi. Maaperässä oleva radonkaasu kasvattaa myös ryömintätilan ilman radonpitoisuutta.

### **Toimintaperiaate**

Ryömintätilan tuuletuksella vähennetään ryömintätilan ilman radonpitoisuutta. Tällä on merkitystä sisäilman radonpitoisuuden kannalta, koska ryömintätilasta voi siirtyä huomattavia ilmamääriä asuntoon.

### **Toteutus**

Ryömintätilaisissa taloissa on keskimäärin pienempi radonpitoisuus kuin muulla tavalla perustetuissa taloissa. Ryömintätilassa maaperästä tulevan huokosilman

korkea radonpitoisuus alenee ennenkuin ilma siirtyy asuntoon. Seuraavat tekijät voivat kuitenkin nostaa radonpitoisuuksia myös ryömintätalaisessa asunnossa:

- Ryömintätilan seinät ovat tiiviit, tuuletusaukkoja on liian vähän. Ryömintätila ei tällöin tuuletu ja radonpitoisuus voi olla korkea.
- Ryömintätilan tuuletusaukot suljetaan talveksi.
- Ryömintätila on matala, tilan ilmanvaihtuvuus on huono.
- Asunnon alapohja läpäisee hyvin ilmaa.

Ryömintätilan ilmanvaihtoa voi tehostaa aukaisemalla ryömintätilan tuuletusluukut ja venttiilit. Eläinten kulkeminen aukoista estetään verkoilla. Jos aukkojen määrä ei ole riittävä, on niiden lukumäärää kasvatettava. Tuulelle alttiilla paikoilla tuuletusaukkojen pinta-alan tulisi olla  $20 \text{ cm}^2$  alapohjan pinta-alan neliometriä kohti (Rakennusalan tutkimuskeskus 1993). Tuulelta suojatulla rakennuspaikalla vastaava suositus on  $30 \text{ cm}^2$ .

Ryömintätilan tuuletus toimii hyvin tuulisella säällä, kun taas tyyneellä säällä ilma ryömintätalassa voi olla hyvin seisovaa. Tuulettimen käytöllä parannetaan tuloksia merkittävästi. Tuuletuksen järjestämiseksi voi käyttää kuvan 10 mukaisia järjestelyjä. Tuuletuksien maanpinnan kosteuseristys voidaan tehdä asentamalla maanpinnalle muovikalvo. Tällainen muovikalvo vähentää samalla tehokkaasti radonkaasun siirtymistä maasta tuuletuksien tilaan.

Seuraavat seikat on huomioitava tuuletuksien järjestettäessä.

- Lisääntynyt ryömintätilan ilmanvaihto talvella vaikuttaa lattian kylmyyteen.
- Tuulettamalla ei saa aiheuttaa ryömintätalassa alipainetta. Alipaineen muodostumisen estämiseksi korvausilma-aukkojen tulee olla riittävän suuria. Korjaus ei saa johtaa siihen, että asunnon kostea ilma siirtyy lattiarakenteisiin ja aiheuttaa kosteusvaurioita ja myöhemmin homevaurioita.

### **Tulokset**

75 %:ssa kohteista radonpitoisuus on alentunut yli 50 %, parhaissa tapauksissa 80 - 90 %. Tuuletusaukkojen lisääminen ja avaaminen ovat olleet käytetyin menetelmä. Myös kuvan 10B mukaista rakennetta on käytetty. Puoleksa tapauksista radonpitoisuus on ollut korjauksen jälkeen vielä yli  $400 \text{ Bq/m}^3$ . Puhallinta on käytetty harvoin. Tulokset paranisivat useissa tapauksissa puhaltimen lisäämisellä.

**Kuva 10.** *Ryömintätilan koneellinen tuuletus; tuuletin asennettu sokkeliin (A) ja katolle vievään poistoputkeen (B).*



## 8 KELLARIN ILMANVAIHDON KORJAUS

### **Toimintaperiaate**

Radonpitoisuus kellaritiloissa on huomattavasti korkeampi kuin ylemmissä kerroksissa. Radonkorjauksessa kellari erotetaan ilmanvaihdollisesti omaksi yksikökseen muusta asunnosta. Tällöin radonin siirtyminen kellarista asuintiloihin vähenee. Radonpitoisuutta kellarissa alennetaan ilmanvaihtoa tehostamalla.

### **Toteutus**

Ilmanvaihtoa tehostetaan poisto- ja tuloilmakanavia avaamalla tai lisäämällä. Tarvittaessa kellarin asennetaan koneellinen poistoilmanvaihto. Radonpitoisuus alenee ja radonin siirtyminen kellaritiloista asuinkerrokseen vähenee. Kellarin oven tiivistäminen tai uuden oven rakentaminen portaikon alapäähän auttavat myös eristämään kellarin muusta asunnosta. Porraskäytävän kytkeminen asunnon ilmanvaihtojärjestelmään voi myös pienentää radonpitoisuutta.

### **Tulokset**

Radonpitoisuus on tavallisesti pienentynyt 30 - 70 % alkuperäisestä arvosta. Alle 400 Bq/m<sup>3</sup> on päästy noin 50 %:ssa tapauksista. Osassa korjatuista taloista kellari on pienempi kuin yläpuolinen kerros, jolloin osassa asuntoa on matalaperustuksinen maanvarainen laatta tai ryömintätila. Asunnon radon-pitoisuutta on nostanut myös näiden rakenteiden läpi tuleva eikä ainoastaan kellarin kautta tuleva radonpitoinen ilma. Kellarin ilmanvaihdon korjauksella ei tällöin päästä välttämättä haluttuun radonpitoisuuteen. Tulokset ovat hyviä vain sillä edellytyksellä, että kellarin radonpitoinen ilma on ollut asuintilojen kohonneen radonpitoisuuden syynä. Jos talon perustuksena on osaksi maanvarainen laatta ja osaksi kellari, tarvitaan maanvaraisen laatan vuotojen vähentämiseksi todennäköisesti radonimuria tai -kaivoa.

### **Esimerkki**

Vuonna 1986 rakennetun 120 m<sup>2</sup> kellarillisen pientalon asuinkerroksen radonpitoisuudeksi mitattiin 1900 Bq/m<sup>3</sup>. Asuintiloissa on koneellinen poistoilmanvaihto. Välipohja on betonia. Radonkorjauksena suoritettiin useita toimenpiteitä:

- Kellarin harkkoseinät tiivistettiin betonitasoitteella.
- Portaikon alapäähän rakennettiin tiiliseinä ja uusi ovi.
- Läpiviennit tiivistettiin.
- Kellariin asennettiin koneellinen poistoilmanvaihto, poistoilmaputki katolle. Kellariin asennettiin yksi tuloilmaventtiili.
- Portaikko kytkettiin asunnon poistoilmakanavistoon.
- Asuinhuoneisiin asennettiin tuloilmaventtiileitä.

Korjausten seurauksena radonpitoisuus asuintiloissa laski tasolle 50 Bq/m<sup>3</sup>. Esimerkin tapauksessa radonpitoinen ilma tuli asuintiloihin kellarista ja suoritettujen toimenpiteiden johdosta erittäin hyvään tulokseen.

## 9 ASUINTILOJEN ILMANVAIHTOTEKNISET KORJAUKSET

### **Toimintaperiaate**

Sisäilman radonpitoisuutta alennetaan joko ilmanvaihtuvuutta lisäämällä tai asunnon alipaineisuutta vähentämällä tai molempia näitä hyväksi käyttäen.

### **Toteutus**

Hyvä ilmanvaihto vaikuttaa koko asunnon viihtyisyyteen ja terveellisuuteen. Samalla se estää kosteus- ja homevaurioita rakenteissa. Hyvä ilmanvaihto pitää kaikkien sisäilman epäpuhtauksien pitoisuudet alhaalla.

Rakennusmääräysten mukaan asunnon ilman tulisi vaihtua kerran kahdessa tunnissa. Jos ilma vaihtuu asunnossa esim. kerran viidessä tunnissa myös radonpitoisuus kasvaa heikon ilmanvaihdon vuoksi. Jos tällaista ilmanvaihtuvuutta tehostetaan niin, että ilma vaihtuu kerran kahdessa tunnissa ja radonin tulo asuntoon pysyy ennallaan, alenee radonpitoisuus 40 prosenttiin aikaisemmasta. Samalla asunnon ilma paranee myös muilta ominaisuuksiltaan.

Ilmanvaihtotekniset menetelmät soveltuvat erityisesti silloin, kun ilmanvaihtuvuuden taso on alhainen. LVI-alan ammattilainen voi auttaa tilanteen arvioimisessa. Kuntien terveystarkastajilla on myös perusmittalaitteet tilanteen arvioimiseksi. Jos ilmanvaihtuvuus on jo hyvä tai jopa korkeaa tasoa, ei ole enää järkevää ilmanvaihtuvuutta lisäämällä pyrkiä alentamaan radonpitoisuutta. Seurauksena voi olla lisääntynyt vetoisuus, meluhaitat ja lämmityskustannusten kohoaminen.

Jos mitattu radonpitoisuus on yli 800 Bq/m<sup>3</sup> eli kaksinkertainen radonpitoisuuden enimmäisarvoon verrattuna, on todennäköistä, että ilmanvaihdon parantaminen ainoana toimenpiteenä ei ole riittävä menetelmä radonpitoisuuden alentamiseksi. Jos asunnon ilmanvaihtuvuus on lähtötilanteessa hyvin alhainen tai jos koneellisen ilmanvaihdon asunto on merkittävän alipaineinen, voidaan pelkillä ilmanvaihtoteknisillä korjauksilla saavuttaa hyviä tuloksia vaikka radonpitoisuus olisikin yli 800 Bq m<sup>-3</sup>.

Ensin kannattaa selvittää, miten ilmanvaihtojärjestelmä on suunniteltu ja miten se toimii. Apuna on hyvä käyttää alan asiantuntijoita. Järjestelmän laitekohtaisia

käyttö- ja huolto-ohjeita tulee noudattaa.

#### Ilmanvaihdon tehostaminen

Painovoimaista ilmanvaihtoa voi tehostaa asentamalla tuloilmaventtiileitä tai aukaisemalla poisto- ja tuloilmaventtiilit suurempaan asentoon. Venttiilien tulee olla säädettäviä, jotta tuloilmamäärä olisi hallittavissa.

Koneellinen ilmanvaihto takaa riittävän ilmanvaihtuvuuden vain oikein suunniteltu- na ja käytettynä. Koneellinen ilmanvaihto on suunniteltu jatkuvasti käytettäväksi. Sitä voi tehostaa suurentamalla puhaltimen ilmavirtaa. Jos ilma tuntuu tunk- kaiselta normaalissa sisälämpötilassa, 18-22 °C, tai ilmanvaihtuvuus on muulla tavalla todettu pieneksi, kannattaa harkita ilmanvaihtuvuuden mittaamista. Ilmanvaihtuvuuden mittauksen, säädön ja tasapainotuksen suorittaa ilmanvaihtoalan ammattilainen, jolla on siihen tarvittavat mittalaitteet ja asiantuntemus.

Jos ilmanvaihtolaitteen käytön tehostaminen aiheuttaa häiritsevää melua, on tarkistettava, että puhaltimen ja huonetilan välisessä kanavaosuudessa on riittävä äänenvaimennus. Tarvittaessa voi asentaa äänenvaimentimen. Jos tulo- ja poistoilmanvaihdon käytön tehostaminen aiheuttaa vedontunnetta, voi koneellisen tuloilman lämpötilaa nostaa muuttamalla jälkilämmityspatterin lämpötilan ase- tusarvoa.

Koneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihdossa on kokonaistuloilmavirta sekä kokonaispoistoilmavirta tasapainotettava. Liian suuri kokonaispoistoilmamäärä verrattuna kokonaistuloilmamäärään lisää asunnon alipaineisuutta ja siten myös radonvuotoa asuntoon. Merkkinä tasapainottomuudesta voi olla se, että puhaltimet on sammutettava, jotta takasta ei tulisi savua asuntoon. Tasapainotusta ei suoriteta huoneiden venttiileistä, vaan järjestelmässä olevilla säätölaitteilla. Ilmanvaihto- järjestelmän suodattimet on puhdistettava säännöllisesti.

#### Koneellisen ilmanvaihtojärjestelmän asentaminen

Asennettaessa koneellista poistoilmanvaihtojärjestelmää tulee asentaa riittävä määrä tuloilmaventtiileitä. Venttiilien tulee olla portaattomasti säädettäviä tuloilman hallitun virtauksen aikaansaamiseksi. Tuloilmaventtiilejä on sijoitettava ainakin makuuhuoneisiin. Venttiilin oikea paikka on lämpöpatterin yläpuolella, jolloin kylmä ilmavirta sekoittuu patterista nousevaan lämpimän ilman virtaukseen. Vedon- tuntemuksen välttämiseksi voi vaihtoehtoisesti harkita ns. tuloilmalämmittimen asentamista. Radonvuodon pienentämiseksi tuloilmalämmitin kannattaa sijoittaa mahdollisimman alas. Tällöin vuodon aiheuttava alipaine pienenee eniten.

Asennettaessa koneellista tulo- ja poistoilmanvaihtoa on kokonaistuloilmavirta ja kokonaispoistoilmavirta tasapainotettava. Tulo- sekä poistoilmakanavissa tulee olla säätöpelti ja ilmavirran mittauselin. Nämä asennetaan ennen äänenvaimenninta,

runkokanavaan ennen kanaviston ensimmäistä haaraa. Kanavistot on suunniteltava ja venttiilit on valittava niin, ettei suunnitelman mukaisilla ilmavirroilla aiheudu melua.

### **Tulokset**

Parhaat tulokset on saavutettu asentamalla uusi koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä huonosti toimivan painovoimaisen ilmanvaihdon taloon. Radonpitoisuus on tavallisesti pienentynyt 30-70 % lähtötilanteesta. Koneellisen poistoilmanvaihdon asentamisella on saavutettu selvästi heikompia tuloksia. Ilmanvaihdon tehostaminen on tavallisesti johtanut 10-40 % pitoisuusalenemiin. Tuloilmaventtiilien asentaminen tiivisrakenteisiin pientaloasuntoihin on usein auttanut merkittävästi. Erityisesti betonielementtirakenteisissa pientaloissa, joissa on koneellinen poistoilmanvaihto, on saavutettu hyviä tuloksia.

Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän vaikutusta radonpitoisuuteen voidaan parantaa lisäämällä järjestelmään alipaineisuuden säätöä suorittavat laitteet. Järjestelmää on toistaiseksi testattu vain tutkimuskohteissa (Keskikuru 1994).

### **Esimerkki**

Helsinkiläisen paritaloyhtiön 14 asunnosta neljässä radonpitoisuus ylitti enimmäisarvon  $400 \text{ Bq/m}^3$ . Muissa asunnoissa pitoisuus oli  $100\text{-}400 \text{ Bq/m}^3$ . Talot on rakennettu betonielementeistä ja ovat hyvin tiiviitä. Ilmanvaihtuvuus asunnoissa oli tyydyttävä. Asunnoissa on liesituulettimesta säädettävä koneellinen poistoilmanvaihto, joka on toiminnassa myös säätimen nolla-asennossa.

Asuntoihin asennettiin ikkunoiden yläkarmiin tuloilmaventtiilit. Venttiilien aiheuttama alipaineisuuden pieneminen ja ilmanvaihtuvuuden kasvaminen alensivat radonpitoisuuksia 30-40 %. Kolmessa asunnossa suoritettiin lisäksi lattialaatan ja sokkelin välisen sauman tiivistämistä polyuretaani-saumasaineella. Tiivistämisen johdosta radonpitoisuus aleni selvästi vain kahdessa asunnossa kolmesta. Asuntoon, jossa tiivistäminen ei auttanut sekä toiseen asuntoon, jossa tuloilmaventtiilien asentamisen jälkeen pitoisuus oli vielä yli  $600 \text{ Bq/m}^3$ , asennettiin lisäksi radonimuri, jolloin radonpitoisuus näissä aleni selvästi  $200 \text{ Bq/m}^3$  alapuolelle. Kuva 5 esittää imurin vaikutusta toisessa asunnosta.

## 10 RADONKORJAUSTEN HINTA

Radonimurin hinta muodostuu rakennus- ja sähkötyökustannuksista sekä laite- ja tarvikkeista. Valmis lämpöeristetty katolle asennettava läpiviennillä varustettu huippuimuri maksaa 1000 - 1700 mk. Saatavana on myös valmiita koteloituja seinälle asennettavia puhaltimia. Viemäriputki maksaa putkiosan pituudesta ja läpimitasta riippuen 20 - 50 mk metri. Sähköinen tehonsäädin maksaa 300 - 500 mk. Markkinoilla on myös valmis tarvikepaketti, joka sisältää kaikki laitteet ja asennustarvikkeet, myös tehonsäätimen ja paine-eromittarin. Hinta on 3500 - 4300 mk talon sisään tai ulkoseinälle asennettavalla puhaltimella. Sokkelin läpi toteutetun radonimurin hintaan vaikuttaa ratkaisevasti sokkelin läpäisyn ja putken asennuksen työkustannukset. Pelkkä koteloimaton puhallin maksaa 500 - 900 mk.

Radonkaivoon sopiva 150 W puhallin maksaa 1000 - 2000 mk. Kuuden metrin viemäriputki, jonka halkaisija on 40 cm maksaa 1500 - 2500 mk. Ohuempi putki on selvästi halvempaa. Puhaltimen liitäntäosat kaivo- ja poistoputkeen saa LVI-alan yrityksiltä. Kustannuksia tulee myös sepelistä ja kaivon täytemaasta. Työkustannuksia aiheutuu kaivinkoneen käytöstä, maa-aineksien kuljetuksesta ja puhaltimen sähköasennuksesta.

Taulukko II esittää yhteenvetoon korjauskuluista (Arvela ja Castrén 1994). Korjauksissa käytettävistä tarvikkeista ja laitteista esitetyt hinnat perustuvat vuonna 1993 kerättyihin tietoihin.

### **Korjausten ylläpitokulut**

Korjausten ylläpitokuluihin vaikuttavat sähkönkulutus, huolto ja radonpitoisuuden tarkistusmittaukset. Radonimurin puhaltimen tehon ollessa 50 W vuotuiset sähkökustannukset ovat 200 mk (sähkön hinta 45 p/kWh). Vastaavasti radonkaivon 150 watin puhaltimen käyttö maksaa 600 mk vuodessa. Huoltokulut aiheutuvat puhaltimen uusimisesta kerran kymmenessä vuodessa. Radonpitoisuuden tarkistusmittaus on syytä tehdä ainakin kerran viidessä vuodessa.

**Taulukko II.** Radonkorjausten tarvike- ja kokonaiskulut.

Korjausmenetelmä	Tarvikkeet mk	Kokonaiskulut, hinta-alue ja keskimää- räiset kulut mk
Radonimuri lattian läpi, yksipistei- muri	1500-3500 2000	4000-8000 6000
Radonimuri lattian läpi, monipis- teimuri	1300-4 000 2300	5000 -10000 8000
Radonimuri sokkelin läpi	1500-3000 2000	400-10000 6000
Radonkaivo	3500-7000 4000	6000-15000 10000
Vuotojen tiivistäminen, matalape- rustus	400-1200 800	1) 800
Vuotojen tiivistäminen, kellarillinen talo, perusmuuri kevytsoraharkosta	800-2500 1200	1500 -4 000 2000 <sup>2)</sup>
Ryömintätilan koneellinen tuuletus	700-2000 1300	1500-4000 2500
Kellarin koneellisen ilmanvaihdon asennus	600-3000 1500	1300-5000 3 000
Tuloilmaventtiilien asennus, pois- toilmanvaihto	600-1 200 800	1500 -2500 2000
Tulo- ja poistojärjestelmän säätö ja käytön tehostus	-	800-1500 1000
Tulo- ja poistojärjestelmän asennus	10000-15000 12000	15000-25000 20000
Poistojärjestelmän ja tuloilmavent- tiilien asennus	1000-3000 3000	3000-8000 6000

- 1) Tiivistystöissä asukas tekee tyypillisesti kaikki tai suuren osan työstä itse. Kalliit purkutyöt rajoittavat töiden tekoa. Kustannuksia on vaikea arvioida.
- 2) Seinän slammaus betonitasoiteella, tarvittavien purku- ja uudelleenrakennustöiden kustannuksia ei ole arvioitu.

## 11 RADONMITTAUSTEN SUORITTAMINEN

Radonpitoisuus sisäilmassa vaihtelee. Vuodenaika, säätilojen päivittäinen vaihtelu ja asuminen talossa vaikuttavat merkittävästi pitoisuuteen. On tärkeätä, että radonpitoisuus ennen korjausta mitataan Säteilyturvakeskuksen hyväksymällä menetelmällä. Mittausajan tulee olla vähintään kaksi kuukautta lämmityskautena ja mittarin on ilmoitettava radonpitoisuuden keskiarvo mittausaikana.

Korjaustoimen vaikutusta voidaan tutkia myös lyhytaikaisilla mittauksilla välittömästi korjauksen jälkeen. Kuntien terveysturvaviranomaisilla, yrityksillä ja oppilaitoksilla on tällaisiin mittauksiin sopivia laitteita. Mittauksilla voidaan todeta, onko radonpitoisuudessa tapahtunut selvä muutos. Kuva 5 esittää tällaisen mittauksen tulosta, mittausjakson pituus kuvassa on yksi tunti. Tällaisella mittauksella nähdään nopeasti onko selvää muutosta tapahtunut ja tulos voi auttaa korjauksen jatkosuunnittelussa. Nopeat mittaukset eivät kuitenkaan anna aina luotettavaa tulosta. Esim. radonkaivon tapauksessa radonpitoisuuden aleneminen voi kestää yli viikon ajan. Säätilan muutokset voivat myös sekoittaa havaintoja. Korjaustoimen vaikutus on aina varmistettava Säteilyturvakeskuksen hyväksymällä menetelmällä, vähintään kahden kuukauden mittauksella lämmityskautena.

Harjualueet voivat olla ongelmallisia radonpitoisuuden poikkeavan vuosivaihtelun vuoksi. Jyrkkämuotoisen harjun lakialueella, rinteiden lähellä, pitoisuus voi olla talvella huomattavasti korkeampi kuin kesällä. Ero voi olla yli kymmenkertainen. Harjun rinteellä taas kesäpitoisuus voi olla korkeampi kuin talvipitoisuus. Korjaustarvetta ja korjauksen onnistumista arvioitaessa on tarvittaessa tehtävä mittauksia myös kesäaikana.

## 12 ASUNNON TUTKIMINEN ENNEN KORJAUSTA

Oikean menetelmän valinta on asiantuntemusta vaativa tehtävä. Radonlähteiden ja talon rakenteiden tunteminen ovat valinnassa tärkeitä seikkoja. Jokainen asunto on tutkittava ja arvioitava omana tapauksenaan. Rakennusmaa, täytemaa ja ilmanvaihtojärjestelmä vaikuttavat myös menetelmän valintaan. Tärkeimpiä selvitettäviä seikkoja ovat:

- Radonin mahdolliset tuloreitit asuntoon (Ks. luku 1.1, kuva 1); rakennuspiirustuksista selviää rakenteiden yksityiskohdat, rakennuspiirustukset voivat kuitenkin poiketa lopullisesta toteutuksesta.
- Ilmanvaihtuvuustaso; huono vaihtuvuus lisää radonpitoisuutta.
- Aiheuttaako ilmanvaihtojärjestelmä liiallisen alipaineen asuntoon.

- Rakennusmaan läpäisevyys; radonkaivo toimii vain kun maaperä on läpäisevää.
- Jos talossa käytetään porakaivovettä, on syytä selvittää veden radonpitoisuus. Jos veden radonpitoisuus on korkea, on ennen radonkorjauksiin ryhtymistä selvitettävä vedestä tulevan radonin vaikutus asunnon sisäilman radonpitoisuuteen.

### **Ilmanvaihdon tarkistaminen**

Käytä ilmanvaihtoalan asiantuntijoita. Kun käytät ilmanvaihtoyrityksen palveluita ilmanvaihdon tehokkuuden arvioinnissa, vaadi mittauspöytäkirja, josta ilmenee ilmanvaihtokoneen käyttötilanne (päällä/poissa), mitatut ilmavirrat ja käyttötehon asennot. Kerrostaloissa on tärkeää mitata ilmavirrat myös normaalilla ilmanvaihdolla eikä vain tehostetulla ilmanvaihdolla. Tehostettu ilmanvaihto on käytössä vain muutamana tuntina vuorokaudesta.

Koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä tai säätämätön tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä voivat kasvattaa asunnon alipaineisuutta. Alipaineisuus lisää maaperän radonpitoisen ilman virtausta asuntoon. Alipaineisuuden vaara suurin kun asunto on tiivis. Erityisesti betonielementtirakenteisissa pientaloissa on syytä varmistua riittävästä tuloilmakanavien riittävydestä. Pientalon tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän säätö suoritetaan siten, että poistoilmavirtaus on vain lievästi tuloilmavirtaa suurempi. Ilmanvaihtoalan ammattilaiset suorittavat säätötyöt valmistajan ohjeiden mukaisesti.

Seuraavat asiat voit kuitenkin tarkistaa itse.

### Painovoimainen ilmanvaihto

- Ovatko venttiilit auki?
- Kun poistoventtiilit sijaitsevat pesutiloissa tai esim. vaatehuoneessa tulee huoneen oven alla olla rako, josta muun huoneiston (asuintilojen) ilma pääsee virtaamaan kyseiseen huoneeseen ja poistoventtiilin kautta ulos.
- Asunnossa tulisi olla uusimpien vaatimusten mukaan myös huonekohtaiset tuloilmaventtiilit.

### Koneellinen poistoilmanvaihto

- Käyttöteho ja käyttöaika, tarkoitettu jatkuvasti käytettäväksi.
- Onko tuloilman saanti riittävää? Tuloilmaventtiilit varmistavat ilman saannin ja vähentävät asunnon alipaineisuutta. Tiiviissä asunnossa voi poistoilmakoneen käytön tehostaminen johtaa jopa radonpitoisuuden kasvuun, vaikka ilmanvaihtuvuus samanaikaisesti tehostuukin.

### Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto

- Käyttöteho ja käyttöaika, tarkoitettu jatkuvasti käytettäväksi.
- Suodattimien säännöllinen puhdistus tai vaihto.



## 13 RADONIN TORJUNTA UUDISRAKENTAMISESSA

Uutta taloa rakennettaessa voidaan merkittävästi vaikuttaa sisäilman radonpitoisuuteen yksinkertaisilla ja hinnaltaan edullisilla toimenpiteillä. Toimenpiteet on esitetty ympäristöministeriön julkaisemassa oppaassa (1994). Harkkosokkeli, lattiasaumot ja maanvastaiset seinät on saatava niin tiiviiksi, että ilma ei pääse kulkemaan asuntoon niiden läpi. Tämä voidaan toteuttaa siten, että sokkelin yläpintaan laitetaan alumiini-bitumihuopa ja maanvastaisiin seiniin ohutrappaus. Bitumihuopa taitetaan ennen lattia valua laatan reunaa vasten. Huopakaistan ja lattian välille syntyvä kutistumarako tiivistetään valun kuivuttua. Samanlaista menetelmää käytetään kantavien väliseiniä ja takan perustusten tiivistämisessä.

Rakennuspohjan alipaineistusputkisto kannattaa sijoittaa laatan alle täytemaahan ympäristöministeriö oppaan ohjeiden mukaisesti. Jos mittauksen jälkeen todetaan radonpitoisuuden ylittävän  $200 \text{ Bq/m}^3$ , voidaan putkistoon liittää puhallin. Putket asetetaan täytesoraan noin 15 cm syvyydelle ja 1,5 m etäisyydelle sokkelista. Oikein suunniteltu ja valmiiksi asennettu putkisto takaa alipaineen tasaisen leviämisen täytesoraan paremmin kuin jälkepäin lattian läpi tehty imurijärjestelmä. Uudisrakentajalle radonin torjunnasta aiheutuvat lisäkustannukset ovat tarvikkeiden osalta korkeintaan pari tuhatta markkaa.

## 14 NEUVONTA JA AVUSTUKSET

Kunnan rakennus- ja terveydensuojeluviranomaiset neuvovat radonkorjauksiin liittyvissä kysymyksissä. Neuvoa voi kysyä myös paikallisilta rakennus- ja ilmanvaihtoalan yrityksiltä.

Valtion budjettivaroista myönnettäviä korjausavustuksia voi tiedustella kunnan viranomaisilta. Hakemukseen liitetään terveydensuojeluviranomaisen antama todistus terveyshaitan olemassaolosta. Tähän tarvitaan kopio radonmittaustuloksesta. Hakemukseen on syytä liittää yksityiskohtainen korjaussuunnitelma, rakennuspiirustus ja kustannusarvio. Avustuksen yläraja on 20 % korjauskuluista tai enintään 15.000 mk (tilanne joulukuussa 1995). Oman työn osuus voi vaikuttaa avustuksen suuruuteen.

## KIRJALLISUUSVIITTEET

Arvela H., Mäkeläinen I. ja Castrén O. Otantatutkimus asuntojen radonista Suomessa. STUK-A108, Säteilyturvakeskus, Helsinki 1993.

Arvela, H. and 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, Helsinki 1993.

Arvela H. ja Castrén O. Asuntojen radonkorjauksen kustannukset Suomessa. STUK-A114, Säteilyturvakeskus, Helsinki 1994.

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

Keskikuru T., Kokotti H., Kalliokoski P., Jantunen M. ja Arvela H. Radonin torjunta paine-erosäätöisen ilmanvaihtolaitteen avulla. Ympäristötieteiden laitoksen monistesarja 6/1993, Kuopion yliopisto, Kuopio 1993.

Keskinen J., Niinisaari M., Graeffe G. ja Ukkonen A. Radonhaitan torjuminen rakennetuissa asunnoissa. Loppuraportti. Tampereen teknillinen korkeakoulu. Fysiikka, Raportti 3-89, Tampere 1989.

Kettunen A-V., Rissanen R. ja Viljanen M. Radontekninen suunnittelukäytäntö Suomessa. Teknillinen korkeakoulu, Rakennetekniikan laitos, Julkaisu 123, Espoo 1993.

Lahti K. ja Graeffe G. Radonkaivo. Loppuraportti. Tampereen teknillinen korkeakoulu. Fysiikka, Raportti 6-91, Tampere 1991.

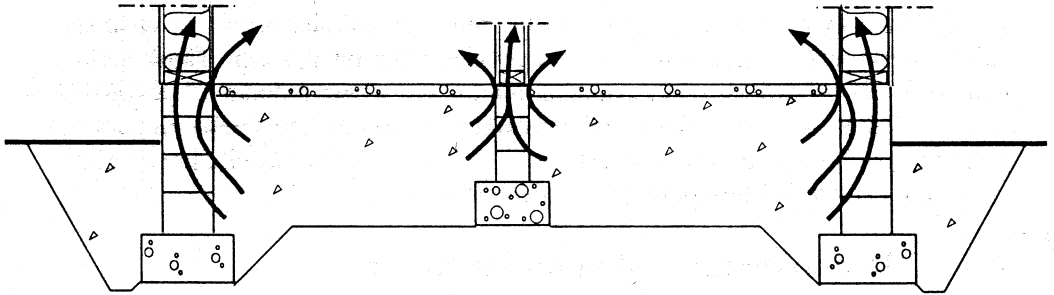
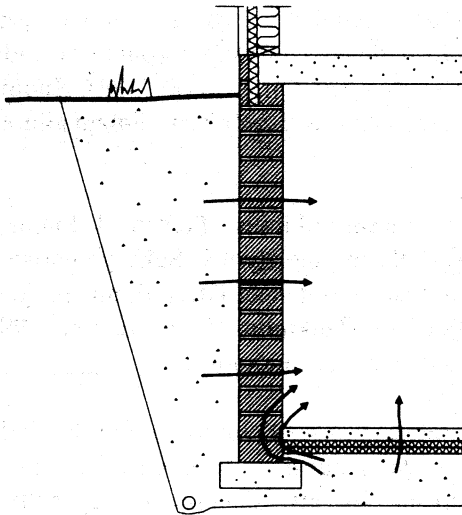
Rakennusalan Tutkimuskeskus Oy. Rossipohja. Gummerus Oy, Jyväskylä 1993.

Reisbacka H. ja Arvela H. Radonkaivokokeilu Pispalanharjulla. Säteilyturvakeskus, STUK-B-VALO66, Helsinki 1991.

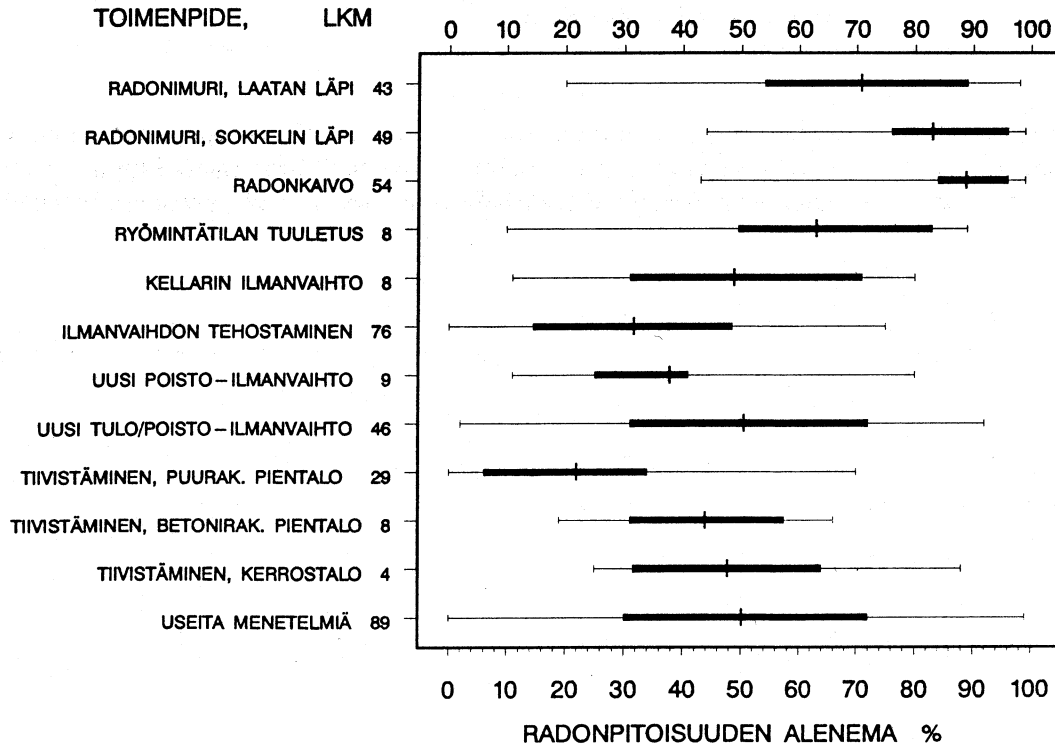
Säteilyturvakeskus. Asuntojen radonkorjaaminen. STUK Tiedottaa 1/92. Säteilyturvakeskus, Helsinki 1992.

Ympäristöministeriö, Radonkorjausrakentaminen. Tutkimuksia 5/1986. Helsinki 1986.

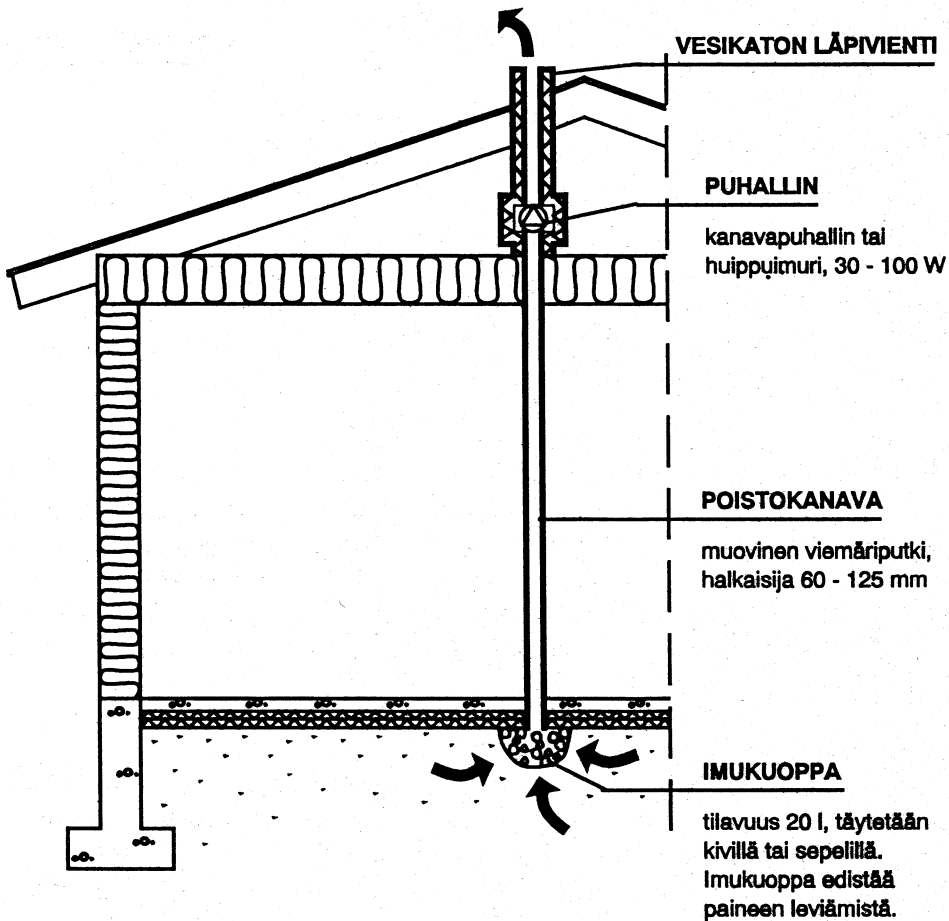
Ympäristöministeriö. Radonin torjuminen pien- ja rivitaloissa. Maanvastaisten rakenteiden radontekninen suunnittelu. Opas 2 1993, Ympäristöministeriö. Painatuskeskus Oy, Helsinki 1994.

**A****B**

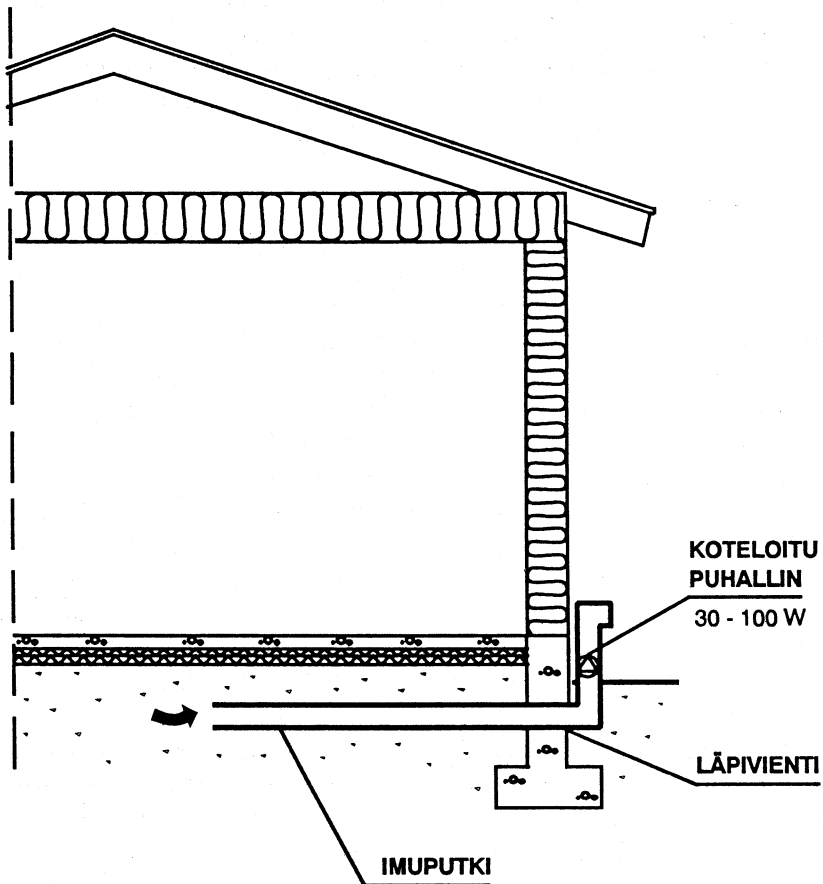
**Kuva 1.** Radonin vuotoreittejä tavallisissa perustamisratkaisuiissa; (A) maanva-  
rainen laatta ja (B) kellarillinen rakennus tai rinnetalon maanvastainen seinä.



**Kuva 2.** Tyypillinen eri menetelmillä saavutettu radonpitoisuuden prosentuaalinen alenema (paksunnettu viiva), aleneman keskiarvo (poikkiviiva) sekä vaihteluväli (ohut viiva). Tulosten parhaassa neljänneksessä alenemat ovat suurempia kuin tyypilliset arvot, huonoimmassa neljänneksessä alenemat ovat taas pienempiä.

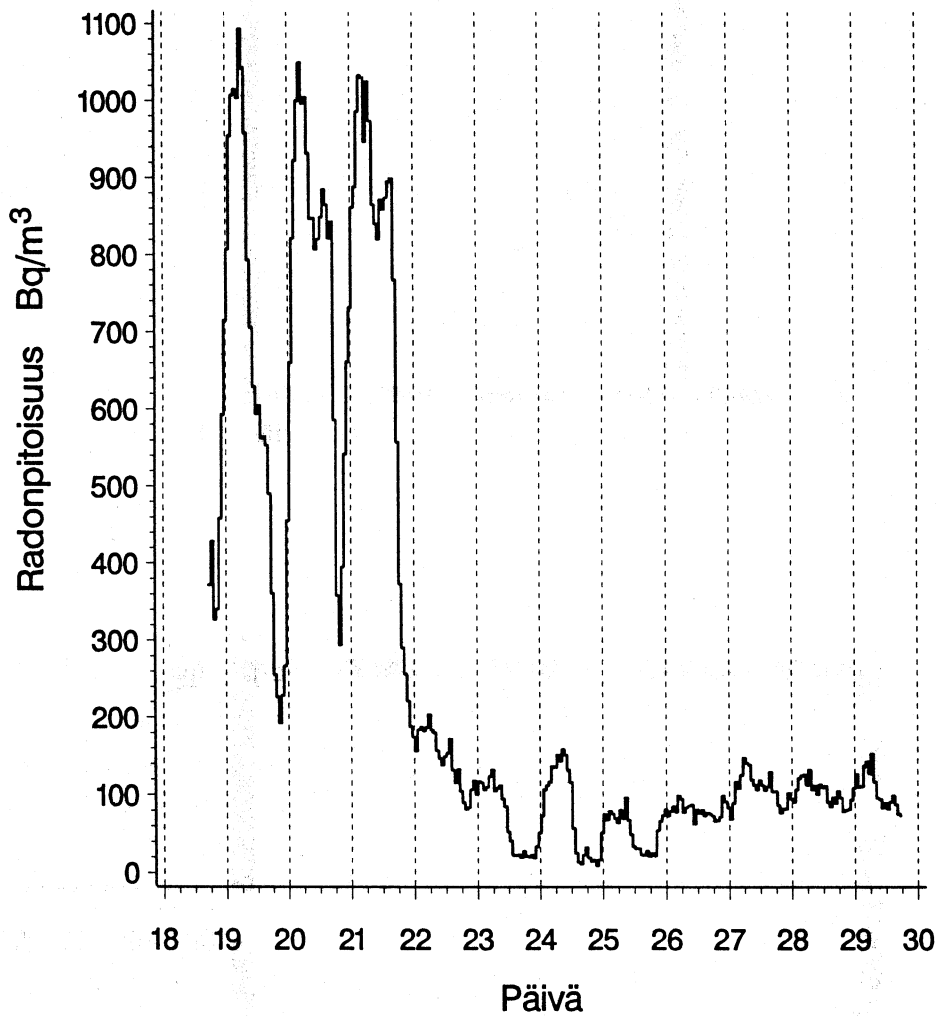


**Kuva 3.** Lattian läpi toteutetun radonimurin rakenne.

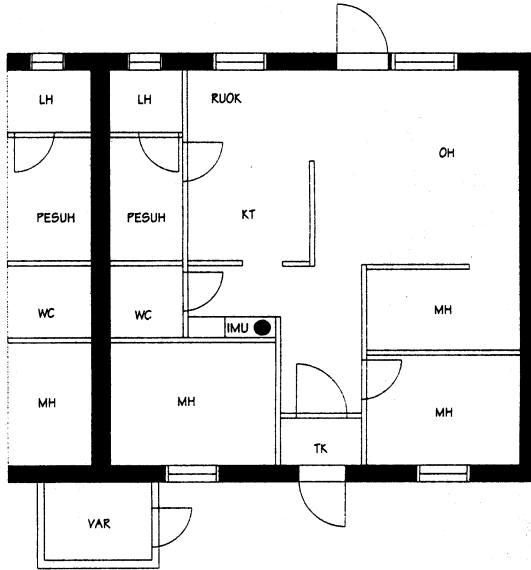
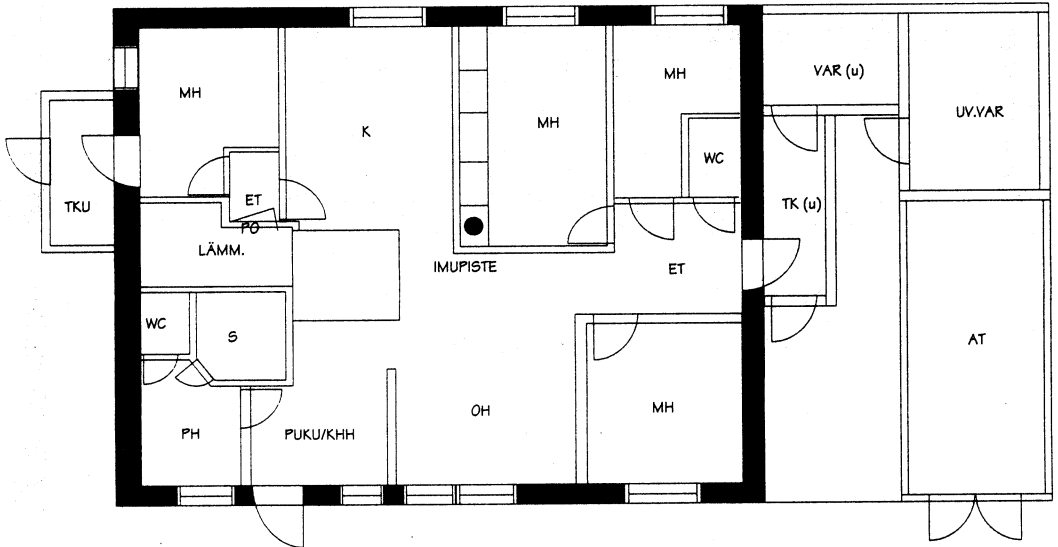


edistää alipaineen leviämistä laatan alle,  
voidaan korvata myös laatan alle kaivetulla tunnelilla

**Kuva 4.** Sokkelin läpi toteutetun radonimurin rakenne.



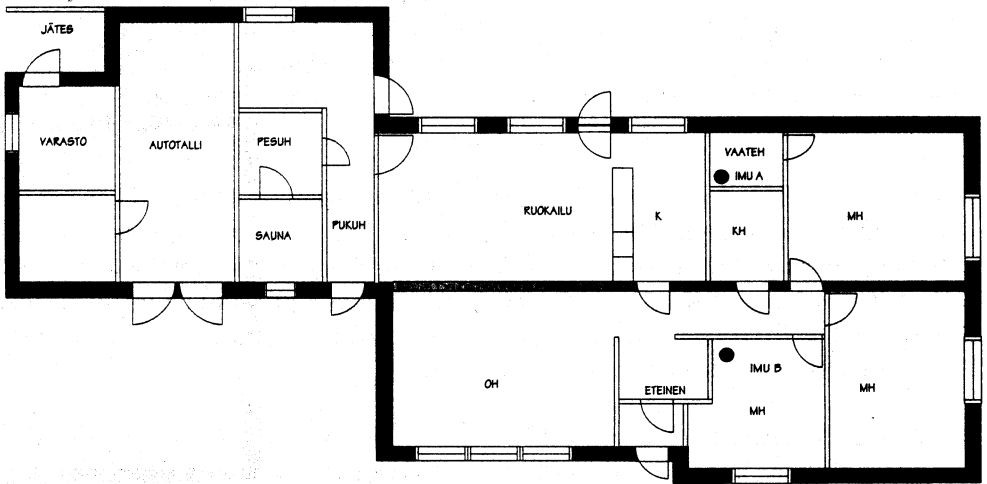
**Kuva 5.** Radonpitoisuuden aleneminen radonimurin käynnistyttyä helsinkiläisessä paritaloasunnossa syyskuussa 1995.

**A****B**

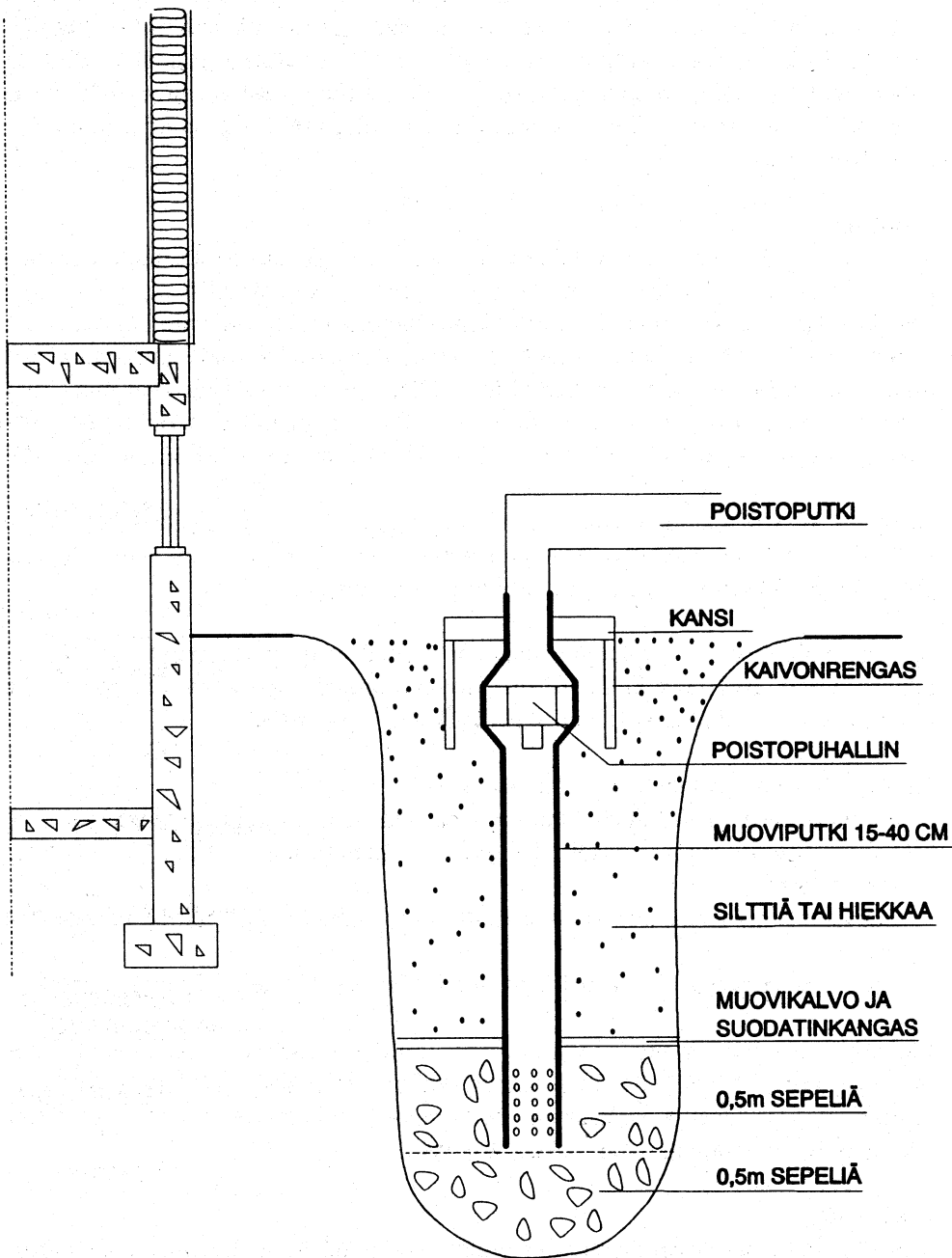
**Kuva 6.** Radonimurin onnistuneita sijoituksia erilaisissa pohjaratkaisuissa.



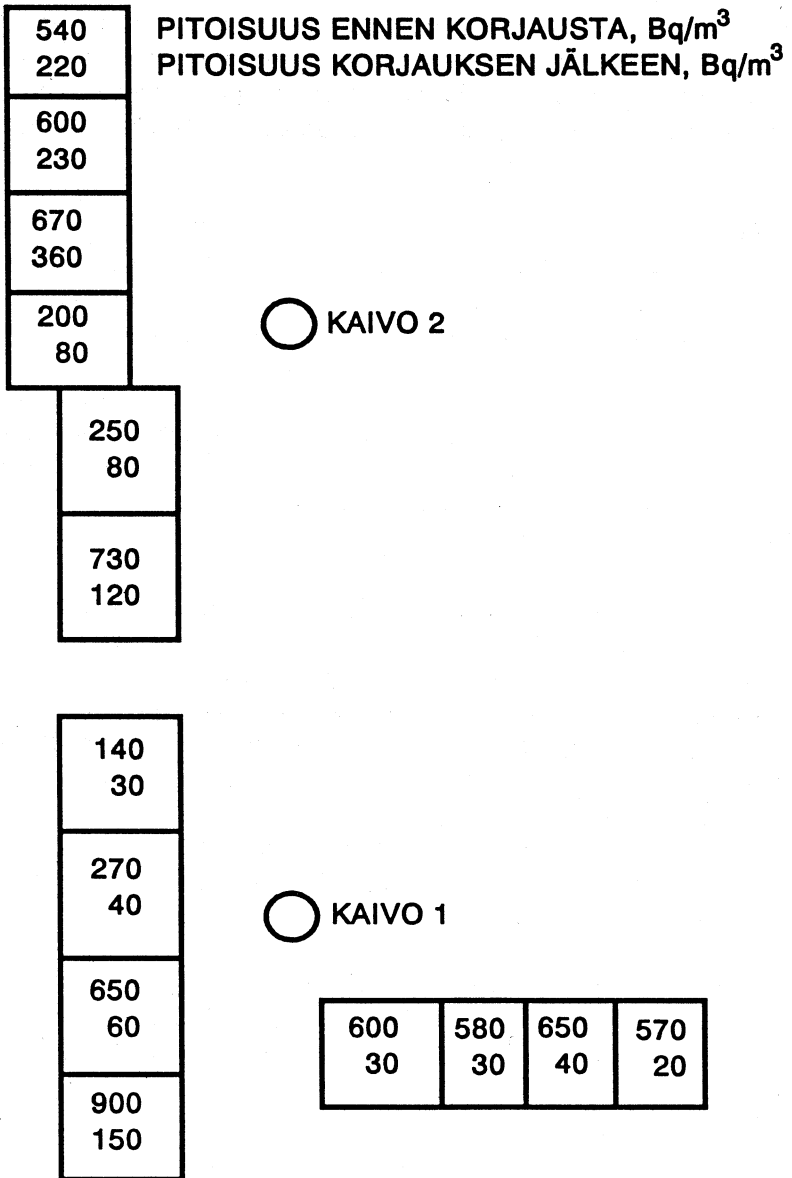
C



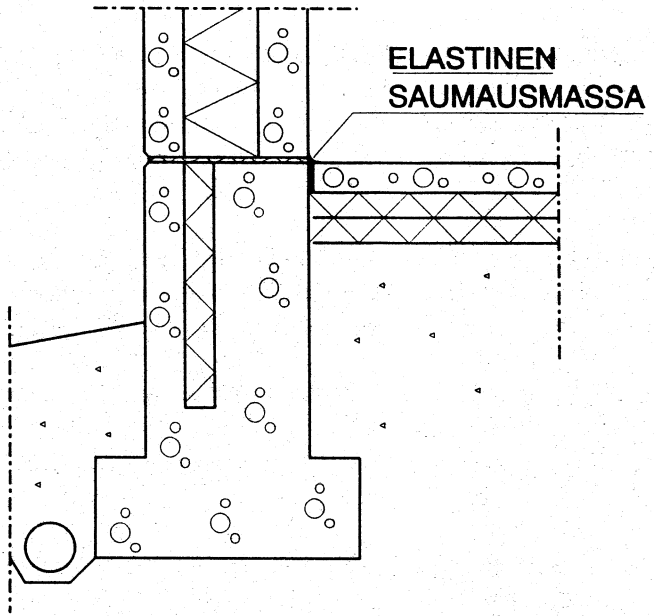
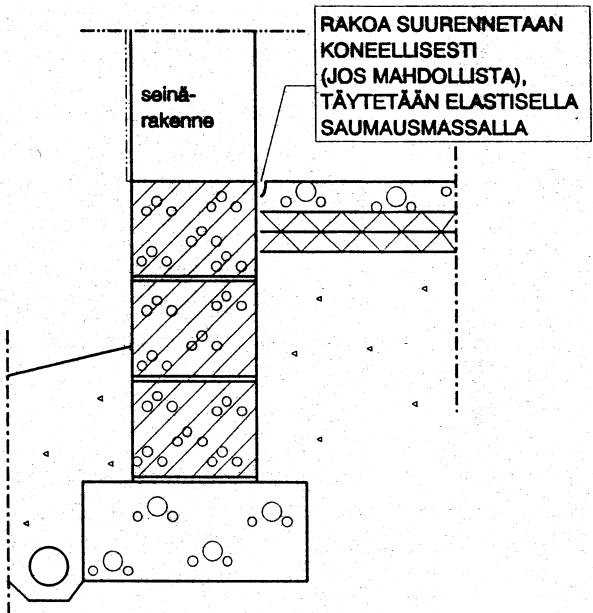
Kuva 6. jatkuu



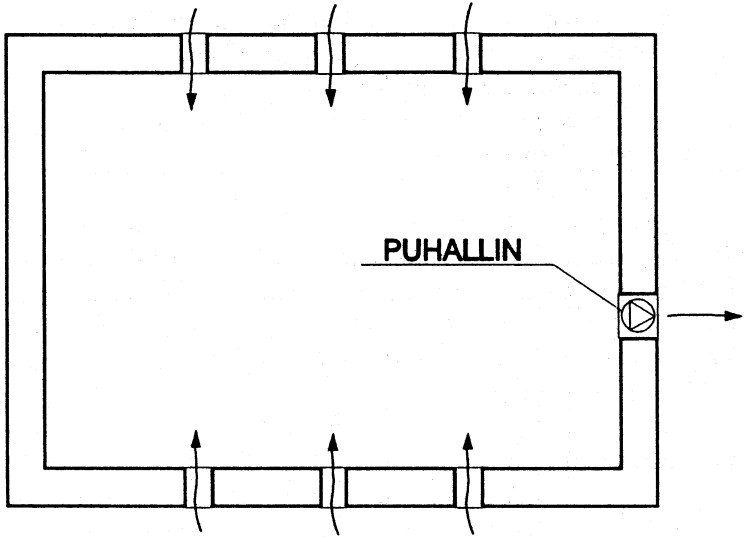
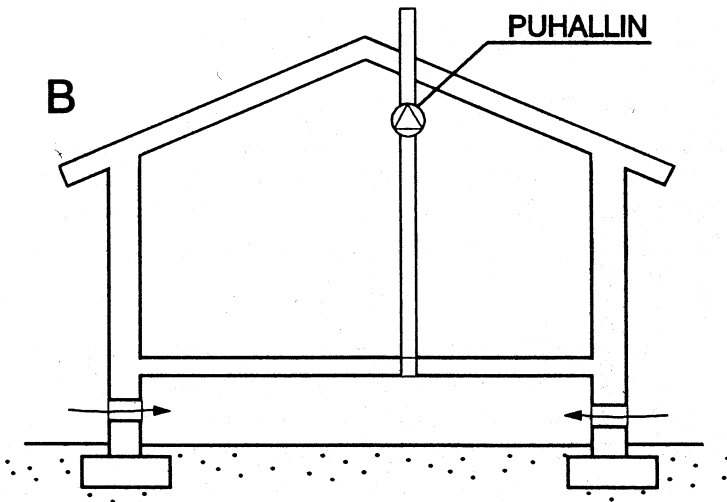
**Kuva 7. Radonkaivon rakenne.**



**Kuva 8.** Rivitaloyhtiön radonkaivojen sijoitus ja radonpitoisuuden muutokset.

**A****B**

**Kuva 9.** Sokkelin ja laatan välisen sauman tiivistäminen.

**A****B**

**Kuva 10.** Ryömintätilan koneellinen tuuletus; tuuletin asennettu sokkeliin (A) ja katolle vievään poistoputkeen (B).