

---

# **RADONIN TORJUNTA**



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Visamäki, kevät 2013

Sami Rulja



VISAMÄKI  
Rakennustekniikka  
Rakennetekniikka

---

<b>Tekijä</b>	Sami Rulja	<b>Vuosi</b> 2013
<b>Työn nimi</b>	Radonin torjunta	

---

## TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyö on tehty YIT Rakennus OY:n asuinrakennus Etelä-Suomen yksikölle. Opinnäytetyön aiheen valintaan vaikutti halu parantaa rakentamisen laatua. Työn aiheeksi valikoitui radonvuotojen torjunta uudisrakentamisen yhteydessä.

Työssä perehdytään radoniin ilmiönä ja sen vaikutuksiin rakentamisessa. Radonin kulkeutumistavat asuntoihin selvitetään ja pohditaan miten kulkeutuminen voitaisiin estää entistä tehokkaammin. Työn tavoitteena oli laatia tilaajalle ohjeistus radonsuojauksen toteuttamiseksi ja työmaan käyttöön tuleva seurantalista radonsuojauksen asentamisen valvomiseksi, jotta radonvuotojen esiintymistä pystyttäisiin vähentämään.

Päälähteinä olivat Suomen Säteilyturvakeskuksen radonista kertovat julkaisut, radoniin liittyvät RT-ohjekortit ja YIT:n henkilökunnan haastattelut. Työssä esitellään radonia koskevia ohjeita ja määräyksiä, sekä YIT:n toimintatapoja radonsuojauksen toteuttamisessa. Lähteiden perusteella pyrittiin keksimään ratkaisuja, joilla radonsuojausta voisi parantaa. Työn tuloksena syntyi tietopaketti radonista sekä tilaajan käyttöön tuleva laatu-kortti.

Työn edetessä havaittiin, että radonsuojauksen toteuttamisesta on olemassa paljon ohjeistusta ja radonsuojamenetelmät vaikuttavat melko tehokkailta. Paras tapa torjua radonia on radonsuojauksen huolellinen suunnittelu ja toteutus sekä riittävä työn valvonta.

**Avainsanat** Radonsuojaus, sisäilma, radontorjunta

**Sivut** 39 s. + liitteet 15 s.

VISAMÄKI

Degree Programme in Construction Engineering  
Structural Engineering

---

**Author**

Sami Rulja

**Year** 2013

**Subject of Bachelor's thesis**

Prevention of radon

---

ABSTRACT

This Bachelor's thesis was commissioned by YIT Rakennus OY's Residential unit southern-Finland. The subject of the thesis was chosen because of the desire to improve the quality of construction. Therefore, prevention of radon was chosen as the topic of thesis.

The thesis discusses radon as a phenomenon and how it affects construction. It was examined how radon is emitted into dwellings and whether it is possible to prevent it more effectively. The aim was to draw up guidelines for the implementation of radon protection and a check list for the building site to control the installation of radon protection. The objective was to reduce the incidences of radon leakages.

The sources used were publications of the STUK Radiation and Nuclear Safety Authority, Finland, RT-guide cards about radon and interviews of YIT personnel. The thesis presents regulations and instructions concerning radon. In addition, the radon protection methods at the YIT are dealt with. On the basis of the information collected solutions were found out to improve radon protection.

As a result of the thesis an information package on radon and a quality card were written for the commissioner of the thesis. It was also found out that there is a lot of information on how to do radon protection and those methods seem to be quite an effective way to prevent radon. The best way to prevent radon is to design radon protection and its implementation carefully. It is also important to supervise the work.

**Keywords** Radon protection, indoor air, radon prevention

**Pages** 39 p. + appendices 15 p.

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	PERUSTIETOA RADONISTA .....	2
2.1	Radonin historiaa.....	2
2.2	Radonin kemiaa.....	3
2.3	Radonin esiintyminen luonnossa.....	4
2.4	Radon Suomessa .....	5
2.5	Radonin terveysvaikutukset .....	8
3	RADON RAKENTAMISESSA .....	9
3.1	Radonia koskevat ohjeet ja määräykset .....	9
3.2	Radonmittaukset.....	10
3.3	Radonin kulkeutuminen asuntoihin.....	11
3.3.1	Maaperä .....	11
3.3.2	Rakennusmateriaalit .....	11
3.3.3	Käyttövesi.....	12
3.4	Radonturvallinen rakentaminen .....	12
3.5	Radonin torjunta.....	13
3.5.1	Suunnitteluratkaisut .....	13
3.5.2	Ilmanvaihto.....	13
3.5.3	Perustustavan vaikutus .....	14
3.5.4	Alapohjan tiivistäminen.....	15
3.5.5	Rakennuspohjan tuuletusjärjestelmä .....	22
3.5.6	Radontorjunnasta aiheutuvia ongelmia .....	26
3.6	Radonkorjaukset.....	27
3.6.1	Radonimuri .....	27
3.6.2	Radonkaivo.....	29
3.6.3	Rakenteiden tiivistäminen .....	30
3.6.4	Ilmanvaihtotekniset korjaukset.....	32
3.7	Radon muualla.....	33
4	YIT JA RADON.....	34
4.1	Raja-arvot ylittävien sisäilman radonpitoisuuksien esiintyminen.....	34
4.2	Radonvuotojen ennaltaehkäisy.....	34
4.2.1	Radonin huomioiminen suunnitelmissa .....	34
4.2.2	Radonin torjunta työmaalla .....	35
4.2.3	Radonvuotojen torjunnasta aiheutuvat kustannukset .....	36
4.3	Radonkorjaukset.....	36
4.3.1	Korjaustavat.....	37
4.3.2	Radonkorjauksista aiheutuvat kustannukset.....	37
	LÄHTEET .....	39
Liite 1	RADONTORJUNNAN LAATUKORTTI	

## 1 JOHDANTO

Suomen maaperässä on lähes kaikkialla uraania, jonka hajoamisketjun välivaihe radon on. Tästä johtuen maaperän huokosilman radonpitoisuus on käytännössä koko Suomen alueella melko korkea. Maaperän läpäisevyydestä riippuen, radonkaasua pääsee nousemaan maaperästä ulkoilmaan.

Rakennuksiin radonkaasu kulkeutuu rakennuksen alapohjan kautta. Tuulettuvan alapohjan kohdalla radonpitoinen maaperän huokosilma yleensä tuulettuu riittävästi ulkoilmaan, mutta maanvaraisen laatan tapauksissa radonkaasu kulkeutuu alapohjan epätiivetyksistä rakennuksen sisälle ja nostaa sisäilman radonpitoisuutta. Koska maanvarainen perustamistapa on nykyään hyvin yleinen, ovat asuinrakennusten sisäilman radonpitoisuudet kohonneet. Sisäilman radonpitoisuuden arvoja nostaa lisäksi tiivis rakentamistapa, joka vähentää rakennuksesta ulkoilmaan tapahtuvia ilmapuottoja.

Radon on radioaktiivinen jalokaasu, joka lähettää alfasäteilyä. Alfasäteily ei pysty läpäisemään ihmisen ihoa, mutta hengitysilman mukana radonia kulkeutuu keuhkoihin, jossa radonin ja sen hajoamistuotteiden lähettämä alfasäteily aiheuttaa vaurioita soluille. Keuhkojen säteilyaltistus aiheuttaa puolestaan keuhkosityöpää. Suomessa radonin arvellaan aiheuttavan 300 keuhkosityöpätapausta vuosittain.

Koska radon aiheuttaa suurimman osan suomalaisten saamasta vuosittaisesta säteilyannostuksesta, on selvää, että sisäilman radonpitoisuutta on pyrittävä pienentämään. Säteilyturvakeskus on järjestänyt kampanjoita ihmisten radontietoisuuden lisäämiseksi ja tätä kautta ihmiset osaavat entistä paremmin ottaa radonin huomioon yhtenä seikkana asuntoa hankittaessa.

Radontietoisuuden lisääntymisen kautta radonturvallinen rakentaminen on noussut osaksi rakentamisen laatua. Koska ihmiset vaativat laadukasta rakentamista, on myös rakennusliikkeiden täytynyt herätä ottamaan radon huomioon omassa tuotannossaan. Näin ollen uusien asuntojen virheitä pyritään vähentämään entisestään ja radon on yksi osa-alue tässä kehityksessä. Edellä esitettyjen perusteiden mukaan olen päättänyt etsimään opinnäytetyössäni eri mahdollisuuksia radonin torjumiseksi uudisrakentamisessa.

## 2 PERUSTIETOA RADONISTA

### 2.1 Radonin historiaa

Alun perin radonin haittavaikutuksia on alettu tutkia kaivostyöläisten parissa, jotka ovat altistuneet suurille radonpitoisuuksille kaivoksissa työskennellessään. Jo 1500-luvulla on säilyneiden kirjallisuuslähteiden mukaan havaittu Schneebergin alueella, Erzebirgen pohjoisrinteellä sijainneessa kaivoksessa kaivostyöntekijöiden alttius keuhkosairauksille. Kaivoksessa malmi sijaitti syvällä ja ilmanvaihto oli hyvin vähäinen. Suuri osa kaivoksessa työskennelleistä kuoli keuhkosairauden seurauksena. Myöhemmissä tutkimuksissa sairaus tunnistettiin keuhkosyöpäksi, johon 75 % alueella työskennelleistä kaivostyöläisistä kuoli. (Weltner A., Arvela H., Turtiainen T., Mäkeläinen I. & Valmari T. 2003, 113-115)

Vuonna 1898 Marie ja Pierre Curie eristivät Joachimstaalin uraanipitoisesta malmista radiumin ja poloniumin. He huomasivat radiumin tuottavan tuntematonta kaasua, joka nimettiin radiumemanaatioksi. Myöhemmin radiumemanaatio sai nimen radon. Ensimmäiset radonmittaustulokset ovat peräisin vuodelta 1901. (Weltner A. ym. 2003, 113-115)

1940-luvulla aloitettiin sotien vuoksi laaja uraanin louhinta ja kaivostointi käynnistyi uudelleen myös Schneebergin alueella, jossa oli 1930-luvulla suoritettu radonmittauksia. Mittauksissa kaivosten radonpitoisuudeksi oli saatu 70 000-120 000 Bq/m<sup>3</sup>. Eräässä alueen pahamaineisessa kaivoksessa, jota nimitettiin myös kuolemankaivokseksi, mitattiin ilman radonpitoisuuden keskiarvoksi 500 000 Bq/m<sup>3</sup>. Alueen kaivostyöläisien keskuudessa havaittiin huomattavan paljon keuhkosyöpätapauksia. (Weltner A. ym. 2003, 113-115)

Ennen 1950-lukua ei kaivoksissakaan suoritettu järjestelmällisiä radonmittauksia, sillä radonin yhteyttä keuhkosyöpään ei pystytty kiistattomasti osoittamaan. Tutkimusten jatkuessa keksittiin radonin aiheuttamien keuhkosyöpien syntymekanismit. Keuhkosyöpän synnyn kannalta oleellisempaa onkin radonin hajoamistuotteiden kulkeutuminen keuhkoihin. (Weltner A. ym. 2003, 113-115)

1970-luvulla saatiin ensimmäiset arviot radonin hajoamistuotteiden aiheuttamasta keuhkosyöpäriskistä. Tällöin myös Suomessa alettiin mitata ja valvoa kaivoksia. Myös asuntojen ensimmäiset radonmittaukset suoritettiin Suomessa 1970-luvun puolivälin jälkeen. Asuntojen säteilysuojelun tarve keksittiin 1980-luvun alussa. (Weltner A. ym. 2003, 113-115)

Vuodesta 1986 lähtien Suomessa aloitettiin radonkartoitukset, kun Säteilyturvakeskus aloitti yhteistyössä kuntien ja kansanterveystieteen kuntayhtymien kanssa suunnitelmalliset radonmittaukset. Ensimmäinen radonkartta on kuitenkin jo vuodelta 1983. Vuosien 1986 ja 1996 välisenä aikana mitattiin 35 000 asunnon sisäilman radonpitoisuus. (Valmari T., Mäkeläinen I., Reisbacka H. & Arvela H. 2010, 12-14)

1990-luvun puolivälistä lähtien on tehty enemmän yksityishenkilöiden tilaamia mittauksia, kuin kuntien tilaamia. 1990-1991 toteutettiin väestöpohjaiseen otantaan perustuva valtakunnallinen radontutkimus, johon osallistui 3000 asuntoa. Tässä tutkimuksessa pientalojen sisäilman radonpitoisuuden vuosikeskiarvo oli  $145 \text{ Bq/m}^3$  ja kerrostaloasuntojen  $80 \text{ Bq/m}^3$ . Vuonna 2006-2007 toteutetussa tutkimuksessa vastaavat arvot olivat pientaloissa 121 ja kerrostaloissa  $49 \text{ Bq/m}^3$ . (Weltner A. ym. 2003, 114-115)

1997 julkaistiin ensimmäinen Suomen radonkartasto, joka perustui 52 000 asunnon radonmittauksiin. Kartaston perusteella voitiin tehdä päätelmiä radonin alueellisesta esiintymisestä ja maaperän vaikutuksesta radonin kulkeutumiseen asuntoihin. Uusin radonkartasto on vuodelta 2010. (Weltner A. ym. 2003, 114-115)

Vuonna 2003 STUK ja kuntien viranomaiset käynnistivät Radontalkoot-nimisen kampanjan, jonka tarkoituksena oli radonmittauksien lisääminen ja suurien sisäilman radonpitoisuuksien löytäminen. Radontalkoissa oli vuoden 2008 kesään mennessä mitattu 14 000 asunnon radonpitoisuus. Kaiken kaikkiaan vuoden 2008 kesään mennessä STUK oli tehnyt radonmittauksen 92 000 suomalaisessa asunnossa. (Weltner A. ym. 2003, 114-115)

Radonin haittavaikutuksiin asunnoissa on alettu kiinnittää huomiota entistä enemmän, kun rakennuksista on energiatehokkuuden vuoksi alettu tehdä tiiviimpiä. Toisaalta rakennuksien sisäilman radonpitoisuudet ovat nousseet tiiviin rakentamisen vuoksi, sillä vähemmän tiiviistä rakennuksista radon on päässyt tuulettumaan ulkoilmaan, jossa sen radonpitoisuus ei nouse liian korkeaksi. Radonturvallisen rakentamistavan lisääntymisen vuoksi radonpitoisuudet on kuitenkin saatu hallintaan suhteellisen hyvin.

## 2.2 Radonin kemiaa

Radon on hajuton, mauton ja väritön, radioaktiivinen jalokaasu, joka syntyy uraanin hajoamisketjussa. Radonia syntyykin kallio- ja maaperässä uraanin ja toriumin hajotessa useiden välivaiheiden kautta lopulta stabiiliksi, ei-aktiiviseksi lyijyksi. Radonilla on useita eri isotooppeja, joita ovat uraanisarjan radon ( $^{222}\text{Rn}$ ), toriumsarjan toron ( $^{220}\text{Rn}$ ) ja aktiniumsarjan aktinon ( $^{219}\text{Rn}$ ). Säteilyturvallisuuden kannalta merkittävin isotooppi on uraanisarjan radon, jonka puoliintumisaika on liki 4 vuorokautta, kun toronilla puoliintumisaika on 56 sekuntia ja aktinonilla 3,96 sekuntia. (Weltner A. ym. 2003, 112)

Hajoamisketjussa radonia edeltää kiinteässä olomuodossa esiintyvä radium. Radon on hajoamisketjun ainoa kaasu ja kaasumaisena aineena radon nousee maaperän huokosissa ylöspäin kohti ulkoilmaa. Radonilla on kahdeksan eri hajoamistuotetta, joista neljä ensimmäistä ovat lyhytikäiset  $^{218}\text{polonium}$ ,  $^{214}\text{lyijy}$ ,  $^{214}\text{vismutti}$  ja  $^{214}\text{polonium}$ . Näistä hajoamistuotteista  $^{218}\text{polonium}$  ja  $^{214}\text{polonium}$  ovat kiinteitä ja ne lähettävät radonin tavoin alfasäteilyä. Kiinteinä aineina ne tarttuvat huoneilman pölyyn ja kulkeutuvat hengitysilman mukana keuhkoihin. (Puhakka E. & Kärkkäinen J. 1994, 76)

Alfasäteilyllä tarkoitetaan atomiytimen tapaa purkaa viritystilaansa. Aineen sanotaan olevan radioaktiivinen, jos sen atomiytimessä on väärä määrä neutroneja eli ydin on epästabiili. Epästabiililla ytimellä on siis energiaa, joka purkautuu. Radonin tapauksessa ylimääräinen energia purkautuu alfasäteilynä, jossa ydin lähettää hiukkassäteilyä. Ytimeistä poistuu alfahiukkanen eli kaksi protonia ja kaksi neutronia, jolloin aineen massaluku pienenee neljällä ja järjestysluku kahdella. Tätä kutsutaan alfahajomiseksi. (Energieollisuus ry 2007, 3-5)

Alfasäteily on voimakkaasti ionisoivaa, mutta heikosti läpäisevää säteilyä. Toisin sanoen säteily voi edetä ilmassakin vain muutamia senttejä ja jo paperiarkki pysäyttää säteilyn. Säteilyllä on kuitenkin suuri liike-energia, joka kohdistuu esimerkiksi keuhkoihin kulkeutuessaan pieneen kudospölymäärään. Pieneen kudospölymäärään kohdistuu näin huomattavan suuri ionisoiva energia. Ionisoiva säteily taas muuttaa atomien sähkövarauksia ja voi aiheuttaa kemiallisia muutoksia kudoksessa eli tuhota soluja. (Energieollisuus ry 2007, 3-5)

Sisäilman radonpitoisuutta mitataan aktiivisuuden avulla. Aktiivisuuden yksikkö on becquerel (Bq), joka tarkoittaa atomiytimen yhtä hajoamista sekuntia kohden. Radonpitoisuus ilmoitetaan aktiivisuutena tilavuusyksikköä kohden ja sen yksikkö on Bq/m<sup>3</sup> eli yksi hajoaminen sekunnissa kuutiometrissä ilmaa. (Energieollisuus ry 2007 s. 3-5; Puhakka E. & Kärkäinen J. 1994, 76)

### 2.3 Radonin esiintyminen luonnossa

Luonnossa radonia esiintyy siellä missä uraaniakin. Suomessa niin kuin monissa muissakin maissa kallioperä on uraanipitoista, joten radonia esiintyy hyvin monissa paikoissa. (Weltner A. ym. 2003, 127-128)

Suurimmat asuntojen radonpitoisuuden arvot on havaittu Suomessa, Ruotsissa, Tshekissä ja USA:n itärannikolla. Suuria radonpitoisuuksia eli yli 10 000 Bq/m<sup>3</sup> sisäilman radonpitoisuuksia on mitattu niin Pohjois- kuin Etelä-Euroopassakin. Asuntojen radonpitoisuus riippuu kallio- ja maaperän uraanipitoisuudesta, maaperän ilman läpäisevyydestä, rakennusten perustavasta, rakennusten ilmanvaihdosta ja ilmastosta. (Weltner A. ym. 2003, 127-128)

Hyvin ilmaa läpäiseviä harjuja on Pohjois-Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa alueilla, jotka ovat olleet jääkauden aikana jäätikön peittämiä. Suomessa ja Ruotsissa harjut ovat erityisen soravaltaisia ja niitä on enemmän kuin muualla. Hyvin ilmaa läpäiseviä rakennusmaita löytyy Euroopasta vuoristojen alarinteiden maanvyörymäalueilta ja karstialueilta, joilla vesi on liuottanut kalkkikivestä koostuvaa kallioperää ja muodostanut näin onkaloita ja luolia, joissa radonpitoinen ilma pääsee kulkeutumaan. (Weltner A. ym. 2003, 127-128)



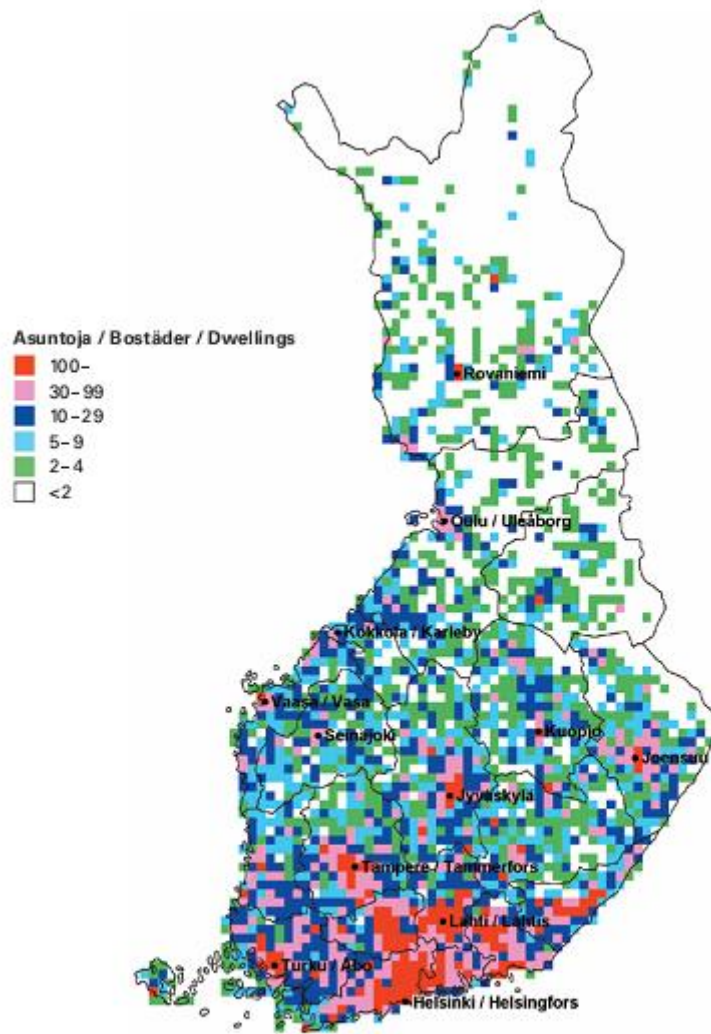
### 2.4 Radon Suomessa

Suomen asuntojen radonpitoisuus on suurimpia koko maailmassa. Suomen asuntojen radonpitoisuuksien vuosikeskiarvot vaihtelevat välillä 10-20 000 Bq/m<sup>3</sup> ja suurimmat hetkellisesti mitatut pitoisuudet ovat olleet jopa yli 100 000 Bq/m<sup>3</sup>. Suomalaisten asuntojen korkeita radonpitoisuuksia selittää hyvin uraanipitoinen maa- ja kallioperä, jonka huokosilman radonpitoisuus on tavallisesti 20 000-100 000 Bq/m<sup>3</sup>. Suomessa on myös paljon so-  
raharjuja, joiden maa-aineksen läpi maaperän radonpitoinen huokosilma pääsee helposti nousemaan asuntoihin. (Weltner A. ym. 2003, 122-124; Arvela H., Holmgren O. & Reisbacka H. 2012, 14)

Lisäksi kylmä ilmasto aiheuttaa sen, että ulkoilma on Suomessa yleensä sisäilmaa kylmempää. Eri lämpötilassa ilmalla on eri tiheys, mikä on osasyynä asunnoissa vallitsevaan alipaineeseen. Asuntojen alipaine puolestaan saa maaperän huokosilman liikkumaan alapohjan epätiivetyshohtista rakennusten sisälle. Maaperän huokosilman korkeasta radonpitoisuudesta johtuen sisäilman radonpitoisuus nousee jo pienenkin ilmavirtauksen takia. Myös rakennusten parantunut ilmatiiveys nostaa osaltaan sisäilman radonpitoisuutta, koska aiemmin rakennetuissa vähemmän tiiviissä taloissa ilmanvaihtuvuus oli nopeampaa. (Arvela H., Holmgren O. & Reisbacka H. 2012, 14)

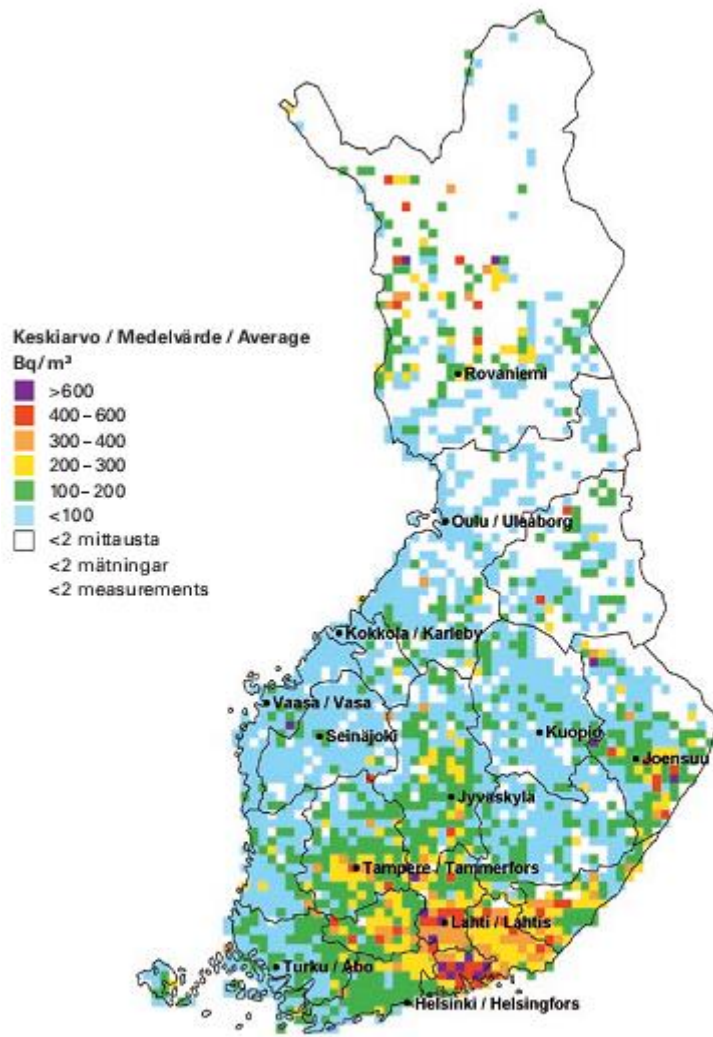
Suomen Säteilyturvakeskus on tehnyt Suomen kaikkia kuntia koskevan radonmittaussuunnitelman, jonka perusteella kunnat on jaettu testialueisiin. Testialueet on jaettu maaperäalueiden mukaan esimerkiksi harju-, savikko-, moreeni- ja kallioalueisiin. Maaperän laatu on määritetty geologisten karttojen mukaan. Suunnitelman mukaisten mittausten avulla on saatu tietoa asuntojen korkeiden radonpitoisuuksien jakautumisesta alueellisesti. (Weltner A. ym. 2003, 122-124)

Mittaustulosten perusteella Etelä-Suomi ja Pirkanmaa ovat lähes kokonaan korkean radonpitoisuuden aluetta. Tätä selittävät osaltaan harjumuodostelmat kuten Salpausselät ja Pispalan harju sekä maaperän korkea uraanipitoisuus. Jäljempänä olevissa kuvissa on esitetty tietoja Suomessa tehtyjen radonmittauksien määrästä ja alueellisesta jakautumisesta sekä asuntojen radonpitoisuuksista. (Weltner A. ym. 2003, 122-124)



Kartta 2. Mitattujen pientaloasuntojen lukumäärä 10 x 10 km ruuduissa.  
Karta 2. Antalet mätta småhusbostäder i rutor om 10 x 10 km.  
Map 2. Number of houses measured in 10 x 10 km squares.

Kuva 1. Suoritettujen radonmittauksien lukumäärä (Valmari T., Mäkeläinen I., Reisbacka H. & Arvela H. 2010, 72)



Kartta 3. Radonpitoisuus pientaloasunnoissa. Ruudun koko 10 x 10 km.

Karta 3. Radonhalten i småhusbostäder. Rutans storlek 10 x 10 km.

Map 3. Radon concentration in houses. Square size 10 x 10 km.

Kuva 2. Asuntojen radonpitoisuuksien keskiarvoja alueellisesti (Valmari T., Mäkeläinen I., Reisbacka H. & Arvela H. 2010, 73)

Taulukko 1. Asuntojen radonpitoisuuksien keskiarvoja maakunnittain (Valmari T., Mäkeläinen I., Reisbacka H. &amp; Arvela H. 2010, 21)

Maakunta	Keskiarvo, Bq/m <sup>3</sup>	Ylitysten osuus		Ylitysten lukumäärä*		Painotettu mittaustiheys, km <sup>2</sup> **
		> 200 Bq/m <sup>3</sup>	> 400 Bq/m <sup>3</sup>	> 200 Bq/m <sup>3</sup>	> 400 Bq/m <sup>3</sup>	
Ahvenanmaa	121	14,8 %	6,3 %	1 200	500	2,9
Etelä-Karjala	213	31,2 %	11,4 %	12 300	4 500	16,4
Etelä-Pohjanmaa	82	5,3 %	1,5 %	3 700	1 100	1,4
Etelä-Savo	98	7,4 %	1,1 %	3 800	500	3,4
Itä-Uusimaa	297	42,6 %	18,6 %	12 200	5 300	17,7
Kainuu	113	9,1 %	3,4 %	2 500	900	4,8
Kanta-Häme	230	35,4 %	10,9 %	17 500	5 400	18,2
Keski-Pohjanmaa	53	1,6 %	0,7 %	400	200	1,6
Keski-Suomi	135	16,4 %	3,3 %	12 600	2 600	6,7
Kymenlaakso	274	49,8 %	18,1 %	26 400	9 800	26,5
Lappi	120	11,1 %	3,1 %	6 600	1 800	2,6
Pirkanmaa	214	30,0 %	9,7 %	34 600	11 200	15,2
Pohjanmaa	54	1,7 %	0,5 %	900	200	2,8
Pohjois-Karjala	143	14,8 %	4,2 %	8 300	2 300	4,1
Pohjois-Pohjanmaa	58	1,7 %	0,2 %	1 900	300	1,6
Pohjois-Savo	82	5,8 %	0,4 %	4 100	300	3,7
Päijät-Häme	331	46,6 %	20,0 %	22 000	9 500	26,6
Satakunta	74	4,7 %	0,7 %	3 500	600	2,5
Uusimaa	158	22,8 %	6,0 %	52 200	13 700	20,9
Varsinais-Suomi	100	9,0 %	1,7 %	10 800	2 000	4,8
<b>Yhteensä</b>	<b>142</b>	<b>17,4 %</b>	<b>5,3 %</b>	<b>237 300</b>	<b>72 600</b>	<b>10,0</b>

\* Ylitysten osuus kerrottuna vakinaisesti asuttujen pientaloasuntojen määrällä 31.12.2008 (Tilastokeskuksen StatFin-tilastotietokanta).

\*\* Kts. liite 3. Arvio on sitä luotettavampi, mitä suurempi painotettu mittaustiheys on.

## 2.5 Radonin terveysvaikutukset

Radonin on todettu aiheuttavan keuhkosityöpää. Radonin ja keuhkosityövän yhteys on havaittu tutkimalla kaivoksissa työskennelleiden sairauksia ja kuolinsyitä. Suomessa todetaan vuosittain 2000 keuhkosityöpää, joista 100-600 arvioidaan aiheutuvan radonista. Tutkimuksien perusteella todennäköisimpänä pidetään, että radon aiheuttaa Suomessa vuosittain 200 keuhkosityöpätapausta. Radonin ei ole havaittu aiheuttavan muita terveyshaittoja. (Weltner A. ym. 2003, 112)

Sisäilman radon aiheuttaa Suomessa ihmisille keskimäärin kahden millisievertin vuotuisen säteilyannoksen, joka on puolet vuotuisesta efektiivisestä annoksesta. Radon on siis suurin yksittäinen tekijä suomalaisten vuotuisen säteilyannoksen aiheuttajista. (Weltner A. ym. 2003, 112)

Radonin aiheuttama syöpävaara ei aiheudu itse radonkaasusta, vaan merkittävimpiä tekijöitä ovat radonin lyhytikäiset hajoamistuotteet. Ne tarttuvat huoneilman pölyyn ja kulkeutuvat siten hengitysilman mukana keuhkoihin. Keuhkoissa hajoamistuotteet tarttuvat keuhkoputkistoon ja keuhkorakkuloihin ja kasvattavat keuhkojen säteilyannosta. Tämän seurauksena keuhkosityöpäriski kasvaa. (Weltner A. ym. 2003, 112)

Itse radonkaasu pääsee kulkeutumaan pois keuhkoista, eikä aiheuta niin suurta säteilyannosta keuhkoille. Radonkaasun aiheuttama osuus keuhkojen säteilyannoksesta onkin vain pari prosenttia ja yhtä suuri osuus aiheutuu vereen liuenneesta radonista muille elimistön osille. (Weltner A. ym. 2003. s. 115)

Vuonna 1997 tehdyn tutkimuksen mukaan pitkäaikainen asuminen  $150 \text{ Bq/m}^3$  radonpitoisuudessa nosti keuhkosityöpärisiä 14 prosenttia verrattuna radonille altistumattomien keuhkosityöpärisiin. Tupakointi ja radon yhdessä nostavat keuhkosityöpärisiä huomattavasti, sillä pelkän tupakoinnin arvioidaan aiheuttavan keuhkosityöpärisin, joka vastaa tupakoimattoman henkilön elinikäistä asumista talossa, jonka sisäilman radonpitoisuus on  $3000\text{--}10\,000 \text{ Bq/m}^3$ . Radonaltistus aiheuttaa tupakoitsijalle suuremman lisäriskin kuin tupakoimattomalle. (Weltner A. ym. 2003. s. 119)

Toisaalta esimerkiksi Itävallassa on olemassa ”radonhoitoloita”, joiden uskotaan helpottavan erilaisia sairauksia potevien henkilöiden tilaa. Hoitolat ovat vanhoja kaivoksia, joissa potilaat käyvät viikkojen ajan päivittäin muutaman tunnin hoitokäynneillä hengittämässä erittäin radonpitoista ilmaa. (Weltner A. ym. 2003. s. 119)

### 3 RADON RAKENTAMISESSA

#### 3.1 Radonia koskevat ohjeet ja määräykset

Sosiaali- ja terveysministeriö on asettanut radonille raja-arvot, joiden mukaan vanhan rakennuksen sisäilman radonpitoisuuden vuosikeskiarvon tulisi olla alle  $400 \text{ Bq/m}^3$ . Uuden rakennuksen osalta raja-arvo on  $200 \text{ Bq/m}^3$ . STUK on lausunnossaan esittänyt myös vanhan asunnon raja-arvon laskemista  $200 \text{ Bq/m}^3$ . (STUK Sisäilman Radon. 2011. s. 3)

Sisäilman radonpitoisuuden selvittämiseksi tulisi käyttää Säteilyturvakeskuksen hyväksymää mittausmenetelmää, joka perustuu kahden kuukauden mittausjakson perusteella laskettuun keskiarvoon. Mittausjakson tulisi sijoittua 1.11.–30.4. väliselle ajalle, koska kesäajan mittaustulokset ovat yleensä olosuhteista ja ikkunatuuletuksesta johtuen huomattavasti lämmityskauden pitoisuuksia alhaisempia. Jos lämmityskauden aikaisen mittausjakson tulos ylittää raja-arvot yli 20 prosenttia, on asunnon sisäilman radonpitoisuuden vuosikeskiarvo sosiaali- ja terveysministeriön tarkoittama vuosikeskiarvoa korkeampi. (Arvela H., Holmgren O. & Reisbacka H. 2012 s. 17)

Myös käyttöveden radonpitoisuuksille on annettu omat ohjearvonsa. Vesilaitosten veden ja elintarvikkeiden valmistukseen käytettävän veden radonpitoisuus saa olla enintään  $300 \text{ Bq/l}$  ja yksityisen kaivon veden radonpitoisuus ei saisi ylittää sosiaali- ja terveysministeriön suositusten mukaisesti  $1000 \text{ Bq/l}$ . (Mäkeläinen I., Huikuri P., Salonen L., Markkanen M. & Arvela H. 2001. s. 3)

Sisäilmastoluokitus 2000 asettaa radonille raja-arvoksi S1- ja S2-luokissa  $100 \text{ Bq/m}^3$  ja luokassa S3 raja-arvo on  $200 \text{ Bq/m}^3$ . (RT 81-10791, 1)

### 3.2 Radonmittaukset

Sisäilman radonpitoisuuden vuosikeskiarvo määritetään edellä kuvatulla mittausmenetelmällä rakennuksen asuin- tai oleskeluhuoneesta (STUK A-252 Asuntojen radonkorjaaminen s. 29). STUKin hyväksymällä mittausmenetelmällä tarkoitetaan siis pitkäaikaista integroivaa mittausta, joka perustuu alfa-jälkimenetelmään. Menetelmässä mittauspurkki, jonka korkeus on 17 mm ja halkaisija 45 mm asetetaan rakennuksen alimpaan kerrokseen, jossa sijaitsee asuintiloja. Purkki sisältää Makrofol-muovikalvon, joka vaurioituu radonin ja sen hajoamistuotteiden lähettämästä alfasäteilystä. Mittausjakson jälkeen purkki käsitellään sähkökemiallisesti, minkä avulla vauriojäljet saadaan kalvosta näkyviin. Näin jälkien määrä voidaan laskea ja sisäilman radonpitoisuuden keskiarvo saadaan selville. (Arvela H., Holmgren O. & Reisbacka H. 2012, 22)

Jos halutaan selvittää huoneilman radonpitoisuuden tarkka vuosikeskiarvo, tulee mittausjakson olla yksi vuosi. Sisäilman radonpitoisuus vaihtelee huomattavasti vuodenaikojen mukaan varsinkin läpäisevälle maaperälle rakennettujen talojen kohdalla. Yleensä sisäilman radonpitoisuus on suurimmillaan lämmityskauden aikana ja siksi mittaus suoritetaan talvella.

Asunnon radonpitoisuudesta saadaan riittävän tarkka arvio kahden mittarin avulla. Pienissä asunnoissa sisäilman radonpitoisuuden selvittämiseksi riittää yhden mittarin käyttäminen. Mittari sijoitetaan asunnon alimpaan asuttuun kerrokseen sellaiseen tilaan, jossa oleskellaan pääosa ajasta. Jos käytetään kahta mittaria, toinen mittari sijoitetaan asunnon yläkerrokseen. Kahta tai useampaa mittaria käytettäessä asunnon radonpitoisuuden vuosikeskiarvo lasketaan eri mittareiden osoittamista pitoisuuksista keskiarvona. Keskiarvoa laskettaessa painotetaan mittareiden pitoisuuksien vaikutusta eri huoneilmojen oleskeluaikojen suhteessa. (Sosiaali- ja terveysministeriö. 2003, 32)

Lyhytaikaiseen mittaukseen perustuvia radonmittareita voidaan käyttää sisäilman radonpitoisuuden alustavaan arvioimiseen. Radonkorjausten yhteydessä lyhytaikaista mittausta voidaan käyttää apuna korjauskohteiden ja toimenpiteiden valitsemisessa. Korjausten valmistuttua, voidaan mahdollisten lisäkorjausten tarvetta arvioida lyhytaikaisella mittauksella ennen pidempiaikaista mittausta. Mittaustuloksia arvioitaessa on huomioitava sääolojen ja ilmanvaihdon vaikutus mittaustulokseen. (Sosiaali- ja terveysministeriö. 2003, 32)

### 3.3 Radonin kulkeutuminen asuntoihin

#### 3.3.1 Maaperä

Suurin osa rakennuksien sisäilman radonista on peräisin maaperästä. Maaperän huokosilma on hyvin radonpitoista ja se kulkeutuu rakennuksen sisälle alapohjan epätiivetyksistä, koska rakennukset ovat alipaineisia. Rakennuksen alipaineisuus johtuu osittain ulko- ja sisäilman lämpötila-erosta, jonka seurauksena ilmassa on tiheyseroa, joka puolestaan johtaa sisäilman alipaineisuuteen. Toisaalta Suomessa rakennusten ilmanvaihto on määräysten mukaan säädettävä siten, että rakennuksen sisällä vallitsee alipaine. Koska maaperän huokosilma on niin radonpitoista (20 000-100 000 Bq/m<sup>3</sup>), riittää melko pieni ilmavirtaus nostamaan sisäilman radonpitoisuuden korkeaksi. (Arvela H., Holmgren O. & Reisbacka H. 2012, 14)

Suurin yksittäinen tekijä, joka vaikuttaa maaperästä sisäilmaan virtaavan radonin määrään on kuitenkin maaperän tiiveys. Lämpisevässä maaineksessa radonpitoinen huokosilma pääsee kohoamaan helpommin rakennukseen kuin läpäisemättömän maaperän alueella. Näin ollen esimerkiksi harjualueet ovat radonin kannalta kriittisiä. Myös alapohjan alle tehtävä kosteuden siirtymisen katkaiseva karkearakeinen kapillaarikatkokerros lisää osaltaan radonpitoisen ilman kulkeutumista asuintiloihin. (Arvela H., Holmgren O. & Reisbacka H. 2012, 14)

Alapohjalaatan halkeamat, läpiviennit sekä sokkelin ja alapohjalaatan liittymät ovat myös radonin kulkeutumisen kannalta kriittisiä. Jos alapohja olisi kauttaaltaan betonia, jossa ei olisi liittymäkohtia eikä halkeamia, ei radonia kulkeutuisi niin paljon sisäilmaan. Materiaaliominaisuudetkin vaikuttavat osaltaan radonin kulkeutumiseen. Materiaalin läpi kulkeutuvan radonin osuus ei kuitenkaan ole niin merkittävä kuin rakojen läpi kulkevan ilman mukana kulkeutuvalla radonilla. (RT 81-10791 Radonin torjunta, 2)

#### 3.3.2 Rakennusmateriaalit

Mineraali- eli kiviaines pohjaiset rakennusmateriaalit erittävät jonkin verran radonia sisäilmaan. Rakennusmateriaalien aiheuttamat radonpitoisuudet sisäilmassa eivät kuitenkaan yleensä ole edes kerrostaloissa suurempia kuin 100 Bq/m<sup>3</sup> ja keskimäärin kerrostalojen betoniset rakenteet nostavat sisäilman radonpitoisuutta 70 Bq/m<sup>3</sup>. Omakotitaloissa, joissa vain alapohja on betonia, laatan vaikutus on keskimäärin vain alle 30 Bq/m<sup>3</sup>. (RT 81-10791 Radonin torjunta, 2)

Suomessa rakennusmateriaalit yksinään eivät ole tietävästi aiheuttaneet raja-arvot ylittäviä sisäilman radonpitoisuuksia. Ruotsissa puolestaan valmistettiin vuosina 1929-1975 kevytbetonia huomattavan radiumpitoisesta alunaliuskeesta ja tällaisia harkkoja on jonkin verran käytössä myös Ahvenanmaalla. Radonhaitat ovat kuitenkin poistettavissa hyvällä ilmanvaihdolla ja rakenteen pintakäsittelyllä. (Arvela H., Holmgren O. & Reisbacka H. 2012, 16)

### 3.3.3 Käyttövesi

Joissain tapauksissa sisäilman radonpitoisuutta voi nostaa talouden käyttövesi. Jos käyttövesi tulee porakaivosta, on hyvä selvittää veden radonpitoisuus. Vedestä radonia vapautuu huoneilmaan pesukoneessa, -altaissa ja suihkussa. Juomaveden mukana radonia kulkeutuu vatsaan ja sitä kautta muihin sisäelimiin, mikä nostaa kyseisten sisäelinten säteilyannosta. (Arvela H., Holmgren O. & Reisbacka H. 2012, 16)

Käyttöveden radonpitoisuutta voidaan alentaa tarkoitukseen sopivilla laitteilla. Ensisijainen menetelmä radonin poistamiseksi on veden ilmastaminen, jossa vesi ja suuri määrä ilmaa sekoitetaan toisiinsa, jolloin radon siirtyy vedestä ilmaan. Radonpitoinen ilma johdetaan ulkoilmaan, jossa se laimenee vaarattomaksi. (Arvela H., Holmgren O. & Reisbacka H. 2012, 16)

Myös aktiivihiilisuodattimen avulla voidaan alentaa veden radonpitoisuutta. Radonpitoinen vesi johdetaan aktiivihiilisuodattimen läpi, jolloin radon suodattuu vedestä ja kertyy suodattimeen. Suodatinta ei tulisi kuitenkaan käyttää yli 5000 Bq/l radonpitoisuuden vedelle, sillä radon kertyy suodattimeen. Suodattimen lisääntyvän säteilyn takia suodatuslaitteisto tulisikin asentaa erilliseen rakennukseen. (Mäkeläinen I., Huikuri P., Salonen L., Markkanen M. & Arvela H. 2001, 36-37)

### 3.4 Radonturvallinen rakentaminen

Suomen rakentamismääräyskokoelman osan B3, Pohjarakenteet, määräysten mukaan rakennuspaikan radonriskit on otettava huomioon suunnittelussa ja rakentamisessa. Radontekninen suunnittelu voidaan jättää tekemättä vain, jos alueen asunnoissa radonpitoisuus alittaa enimmäisrajat säännönmukaisesti. Tällöinkin on liitettävä rakennuskohteen suunnitelma-asiakirjoihin kirjalliset perustelut siitä, miksi radonia ei ole tarvinnut huomioida kohteen suunnittelussa. (Arvela H., Holmgren O. & Reisbacka H. 2012, 126)

Radonturvallisen rakentamisen ensisijainen tavoite on estää radonin kulkeutuminen sisäilmaan. Tähän tavoitteeseen voidaan käytännössä päästä tekemällä alapohjarakenteesta tarpeeksi tiivis, jottei radonpitoinen maaperän huokosilma pääse kulkeutumaan rakennuksen sisälle. Toinen vaihtoehto tavoitteen saavuttamiseksi on alentaa maaperän huokosilman radonpitoisuutta maa-ainesta tuulettamalla, jos perustusrakenteisiin jää ilma- vuotoja. (RT 81-10791 Radonin torjunta, 2)

Ohjekortissa RT 81-10791 on esitetty ratkaisuja, joilla voidaan estää radonpitoisen ilman kulkeutuminen asuintiloihin. Lisäksi ohjekortin ratkaisujen avulla on mahdollista kuivattaa alapohjarakennetta tarvittaessa ja estää muidenkin epäpuhtauksien kulkeutuminen maaperästä huoneilmaan. Kappaleessa radonin torjunta käsitellään tarkemmin ohjekortissa esitetyt ratkaisuja.



### 3.5 Radonin torjunta

Radonin torjunnan kannalta tärkeimmät tekijät lienevät perustusrakenteiden huolellinen suunnittelu ja toteutus. Radonin torjunnan peruserätykset ovat hyvin yksinkertaisia: estää radonin kulkeutuminen sisäilmaan ensisijaisesti toteuttamalla alapohja ilmatiiviinä ja jos perustusrakenteisiin jää ilmavuotoja, alentamalla maaperän huokosilman radonpitoisuutta maainesta tuulettamalla.

#### 3.5.1 Suunnitteluratkaisut

Rakennusten suunnittelussa radon tulee ottaa edellä ilmenneiden seikkojen mukaisesti huomioon. Käytännössä uudisrakennusta suunniteltaessa radon huomioidaan valitsemalla rakennukseen sopiva perustusratkaisu. Perustusten yksityiskohdat suunnitellaan siten, että alapohjasta tulisi mahdollisimman tiivis, jolloin radonia ei pääse kulkeutumaan ilmapirtausten mukana sisäilmaan. Tämän lisäksi uudisrakennuksiin suunnitellaan radonputkisto ja poistokanava, joiden avulla maaperää voidaan tuulettaa ja näin alentaa maaperän huokosilman radonpitoisuutta. Yleensä alapohjan tuuletusjärjestelmä on varoimenpide, joka voidaan tarvittaessa ottaa käyttöön.

Radonteknisestä kokonaisratkaisusta tehdään erillinen radontekninen suunnitelma, jonka laatii suunnitelmasta vastaava erityissuunnittelija yhdessä muiden suunnittelijoiden kanssa. (RT 81-10791 Radonin torjunta, 2)

#### 3.5.2 Ilmanvaihto

Tehokas ilmanvaihto pienentää kaikkien sisäilman epäpuhtauksien pitoisuutta. Määräysten mukaan asuntojen ilmatilavuuden pitäisi vaihtua kerran kahdessa tunnissa. Tällöin epäpuhdasta sisäilmaa poistetaan ja tilalle tuodaan puhdasta ulkoilmaa eli myös radonia kulkeutuu pois sisäilmasta.

Ilmanvaihtuvuuden lisäksi ilmanvaihdolle on annettu määräys, jonka mukaan rakennuksen sisätilojen tulee olla alipaineisia ulkoilmaan nähden. Rakennuksen kosteusteknisen toiminnan kannalta tämä on hyvä, sillä Suomen ilmasto-olosuhteissa yleensä sisäilma on lämpöisempää kuin ulkoilma ja näin ollen rakennuksen alipaineisuudella estetään lämpöisen ja kostean sisäilman kulkeutuminen kylmiin rakenteisiin, joissa sisäilman kosteus voisi tiivistyä rakenteiden pintaan.

Radonturvallisuuden kannalta rakennuksen alipaine aiheuttaa sen, että alapohjan mahdollisista epätiiveyskohdista pääsee virtaamaan maaperän radonpitoista huokosilmaa sisäilmaan, jolloin sisäilman radonpitoisuus luonnollisesti kasvaa. Rakennusten alipaine on vaikeimmin hallittavissa koneellisen poistoilmanvaihdon rakennuksissa, joissa korvausilma tulee korvausilmaventtiilien ja talon rakenteiden epätiiveyskohtien kautta. Korvausilmaventtiilien oikea määrä pienentää alipainetta. Koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihdolla varustetuissa rakennuksissa alipaineen hallinta on helpompaa, sillä korvausilma tuodaan hallitusti ilmanvaihtokanavia pitkin rakennukseen. (RT 81-10791 Radonin torjunta, 2)

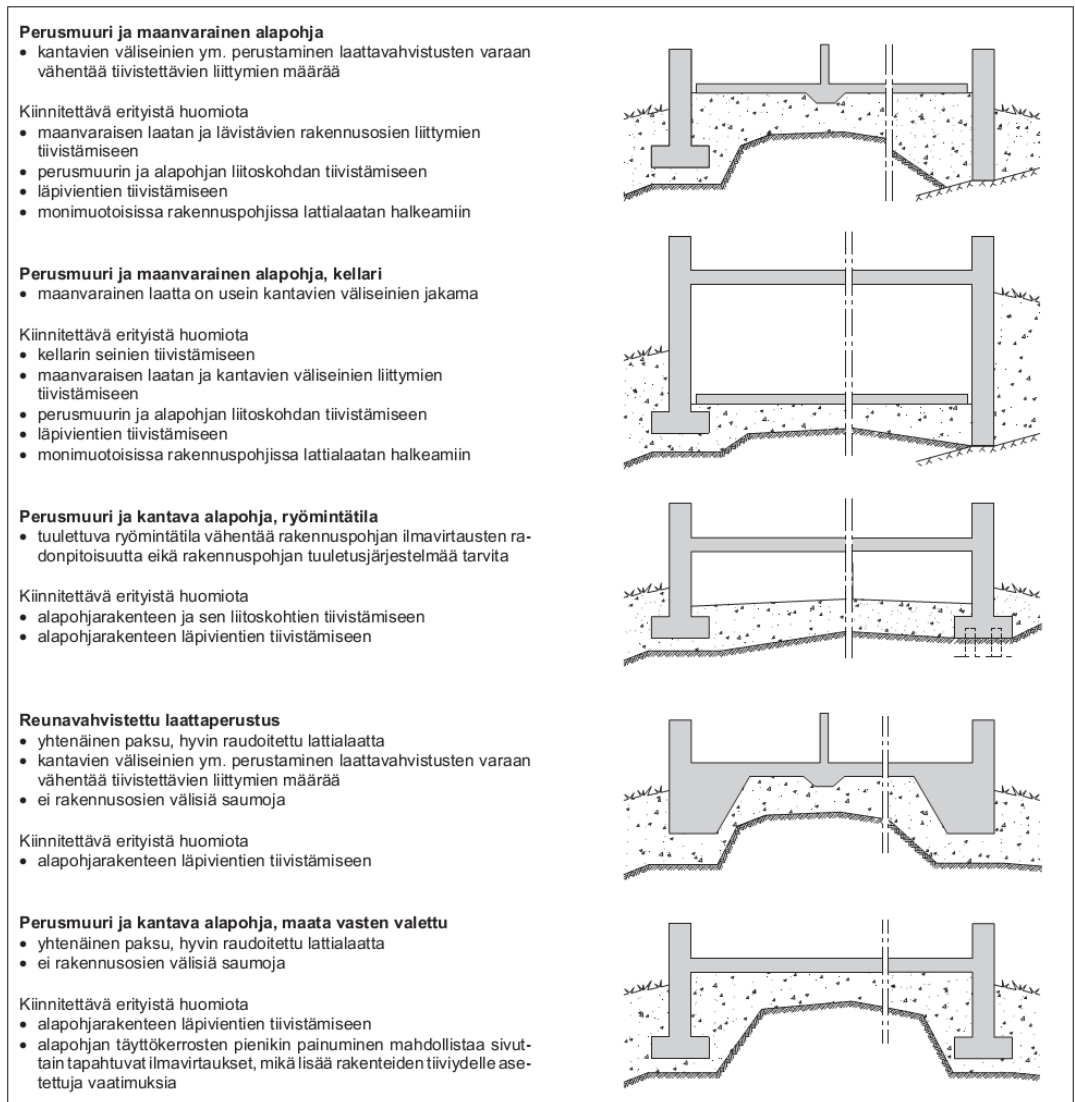
### 3.5.3 Perustustavan vaikutus

Erilaisten perustustapojen radonturvallisuus poikkeaa toisistaan. Alapohjan tiiveys parantaa radonturvallisuutta, samoin mahdollinen alapohjan tuuletus. Perustustavan valinta onkin iso osa rakennuksen radonturvallisuuden suunnittelua.

Ryömintätilaisissa alapohjarakenteissa radonongelmia esiintyy vähemmän kuin maanvaraisen laatan tapauksissa. Tämä johtuu siitä, että tuulettuvassa alapohjarakenteessa maaperästä nouseva radon tuulettuu ulkoilmaan alapohjan tuulettutilassa ja näin ollen alapohjalaatan läpi kulkeutuvan ilman radonpitoisuus on maanvaraisen laatan tapauksista pienempi. Tuulettuva alapohja ei kuitenkaan yksin riitä takaamaan rakennuksen radonturvallisuutta, vaan myös tässä tapauksessa on kiinnitettävä huomiota alapohjarakenteen huolelliseen tiivistämiseen, jotta ilmavuodoilta vältytään. Lisäksi tuulettutilan ilmanvaihtuvuuden tulee olla riittävä, jotta ilman radonpitoisuus laimenee. (RT 81-10791, 3)

Jos rakennuksessa käytetään maanvaraista perustustapaa, riippuu sen radonturvallisuus laatan tiiveydestä. Reunavahvistetun laatan kohdalla tiiveys on melko hyvä, sillä siinä ei ole laatan epätiiveyttä lisääviä alapohjan ja seinien liittymäkohtia, jos kantavien väliseinienkin kuormat siirretään maahan laattavahvistuksien avulla. (RT 81-10791, 3)

Perusmuurilla ja maanvaraisella laattalla toteutettavasta alapohjasta on mahdollista saada radonturvallinen huolellisen suunnittelun ja toteutuksen avulla. Tämän perustustavan yleisimmät vuotokohtat ovat laatan ja perusmuurin liittymät, laatan läpi tehtävät läpiviennit ja betonilaatan halkeamat. Betonilaatan halkeilulta voidaan välttyä käyttämällä oikeanlaista betonimassaa ja tekemällä valun jälkeinen laatan jälkihoito huolellisesti. Laatan ja perusmuurin liittymäkohtien toteuttamiseen on annettu yksityiskohtaisia ohjeita Rakennustiedon ohjekortissa RT 81-10791. Myös läpivientien toteuttamiseen löytyy ratkaisuja samasta ohjekortista.



Kuva 3. Eri perustusratkaisujen ongelmakohtia (RT 81-10791, 3)

### 3.5.4 Alapohjan tiivistäminen

Kuten jo aiemmin on käynyt ilmi, sisäilman radonpitoisuuden kannalta yksi tärkeimmistä tekijöistä on alapohjarakenteiden tiiveys. Tämän vuoksi alapohjan tiivistäminen kannattaa suunnitella hyvin ja toteuttaa rakennusvaiheessa huolellisesti. Alapohjan saaminen täysin tiiviiksi on jälkikäteen hankalampaa kuin alun perin tehtynä.

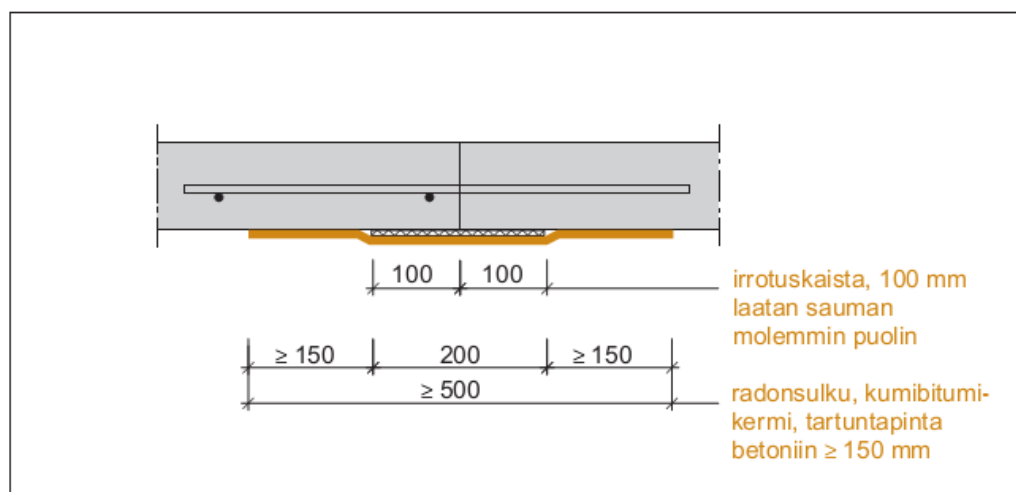
Perustusrakenteiden tiivistämisessä on tärkeää suunnitella rakenteet siten, että muodonmuutoksia, routimisesta aiheutuvaa painumista ja rakenteiden liikkeitä tapahtuisi mahdollisimman vähän. Lisäksi rakenteiden mahdollisiin liikkeisiin täytyy varautua siten, ettei alapohjan tiiveys kärsi liikkeiden aiheuttamien rasitusten seurauksena. (RT 81-10791, 4)

## Alapohjalaatta

Betoni on materiaalina sen verran tiivistä, että siitä tehtyjen rakenteiden läpi ei yleensä juurikaan kulkeudu radonia. Betonirakenteiden saumat ja liitokset on sen sijaan suunniteltava ja betonivalun jälkihoito suoritettava huolellisesti, jottei rakenteeseen synny halkeamia. Radonpitoinen ilma pääsee kulkeutumaan rakennuksen sisään jo hyvin pienestä hiushalkeamasta. (RT 81-10791, 4)

Betonilaatan riittävä paksuus (vähintään 80 mm) ja hyvä tiiveys estävät radonin kulkeutumisen sisätiloihin. Halkeilun välttämiseksi betonimassa on tiivistettävä valuvaiheessa hyvin ja betonin jälkihoito tulee aloittaa mahdollisimman pian, kuitenkin viimeistään valua seuraavana aamuna. Betonilaatan päälle levitetään kastelun jälkeen muovikalvo 14 vuorokauden ajaksi, mikä vähentää betonilaatasta haihtuvan veden määrää ja estää näin kuivumisesta johtuvaa halkeilua. Jälkihoidon ajan lämpötila lattian pinnassa on oltava vähintään +5°C. (RT 81-10791, 4)

Jos betonilaatta on monimuotoinen, on betonilaatta syytä jakaa suorakaiteen muotoisiin osiin kutistumissaumoilla. Myös betonilaatan suuri koko saattaa aiheuttaa kutistumissaumojen tarvetta. Kutistumissaumojen tiiviiden varmistamiseksi sauman kohdalle laatan alapintaan asennetaan kumibitumikermikaista. Kaistan ja laatan väliin asennetaan irrotuskaista. (RT 81-10791, 4)



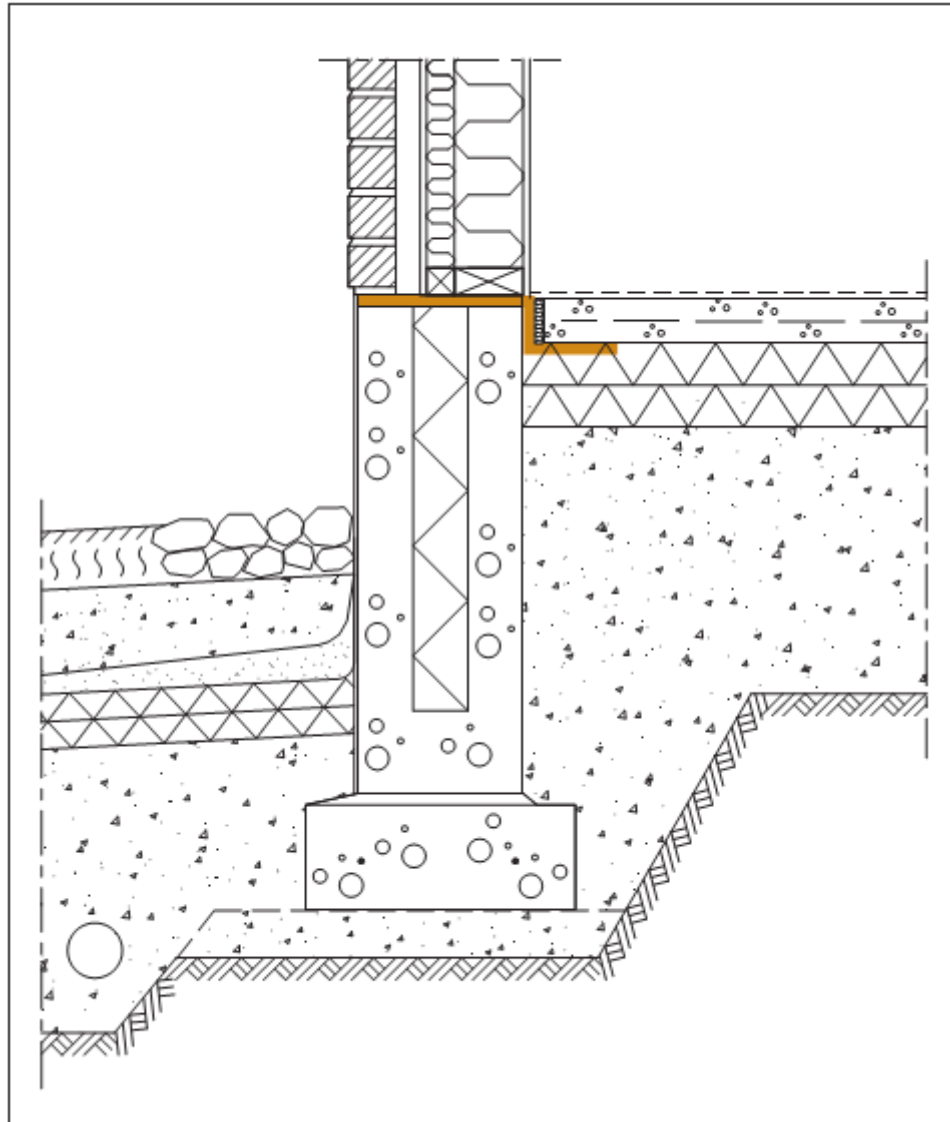
Kuva 4. Maanvaraisen laatan sauman radonttiivistys (RT 81-10791, 4)

## Liittymät

Rakennusosien liittymien tiivistämisessä käytetään kumibitumikermikaista. Suositeltava kermi on TL2-luokan polyesteritukikerroksinen kumibitumikermi. Kermi tulee asentaa siten, ettei se rikkoonnu rakenteiden kutistumisen, painumisen tai muiden liikkeiden seurauksena. (RT 81-10791, 4)

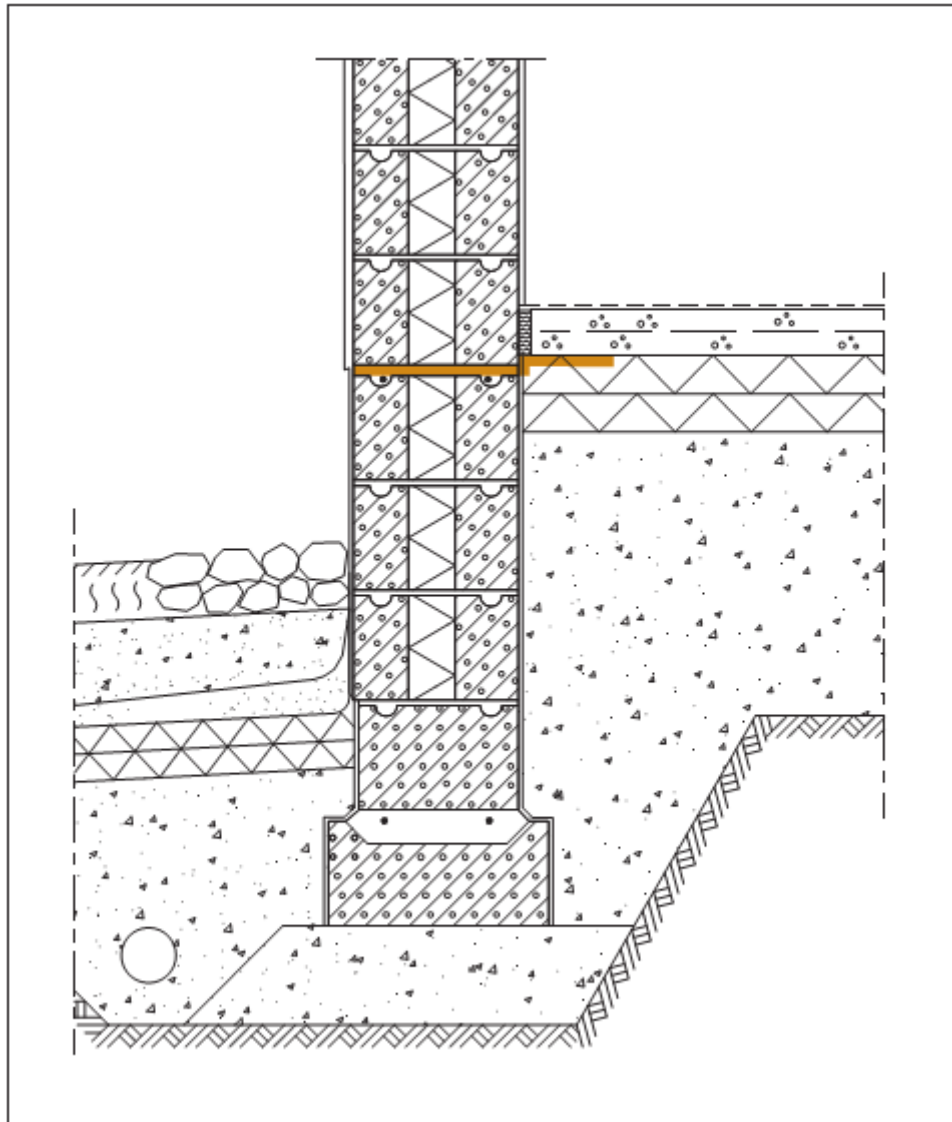
Betonilaatan ja perusmuurin liittymän tiivistämiseksi voidaan kumibitumikermi asentaa harkkosaumaan laatan yläpinnan tasolle, josta se taitetaan harkon sivua pitkin laatan alle. Kermiä ei kiinnitetä pystysuoralta, vähin-

tään 50 mm korkealta, osaltaan perusmuuriin, jolloin se kestää liikkumisesta mahdollisesti aiheutuvat rasitukset rikkoutumatta. Laatan alle tulevan vaakasuoran osan tulee olla vähintään 150 mm ja kermi asennetaan hiekkapinta valua kohden. Harkkosaumaan kermi asennetaan koko harkon leveydelle. Pituussuunnassa kermiä limitetään vähintään 50 mm ja jatkokset tiivistetään valmistajan ohjeiden mukaisesti. (RT 81-10791, 4)



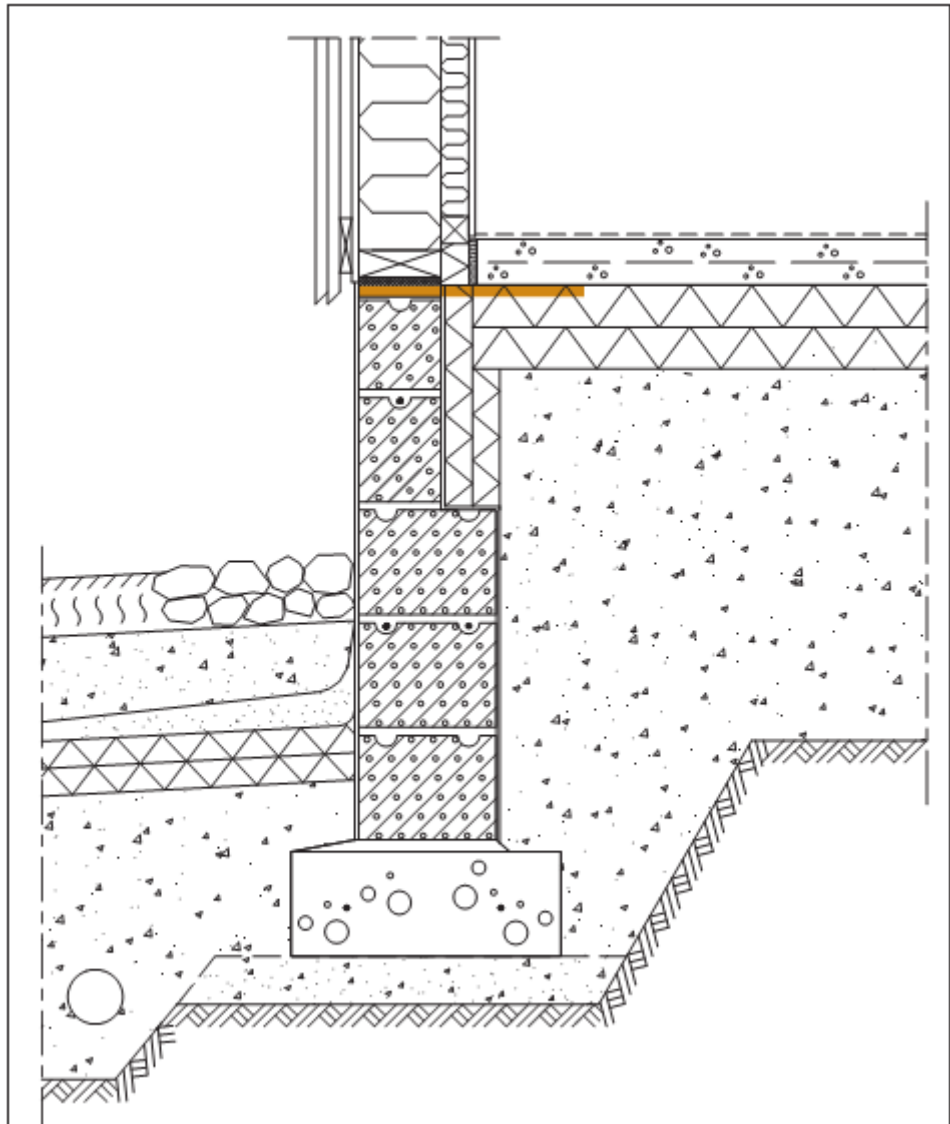
Kuva 5. Perusmuurin ja laatan liittymän tiivistäminen (RT 81-10791, 6)

Harkkorakenteisen perusmuurin ja seinän tapauksessa kumibitumikermit asennetaan harkkojen väliseen saumaan. Harkon yläpinta tasoitetaan ja kermi asetetaan sen päälle. Kermi taitetaan joko ylöspäin vähintään 20 mm tai alaspäin vähintään 50 mm harkon laatan puoleista pintaa pitkin. Kermi taitetaan maanvastaisen lämmöneristekerroksen päälle, jolloin se jää betonilaatan alle. Perusmuurin ulko- ja sisäpinta ohutrapataan. (RT 81-10791, 6)



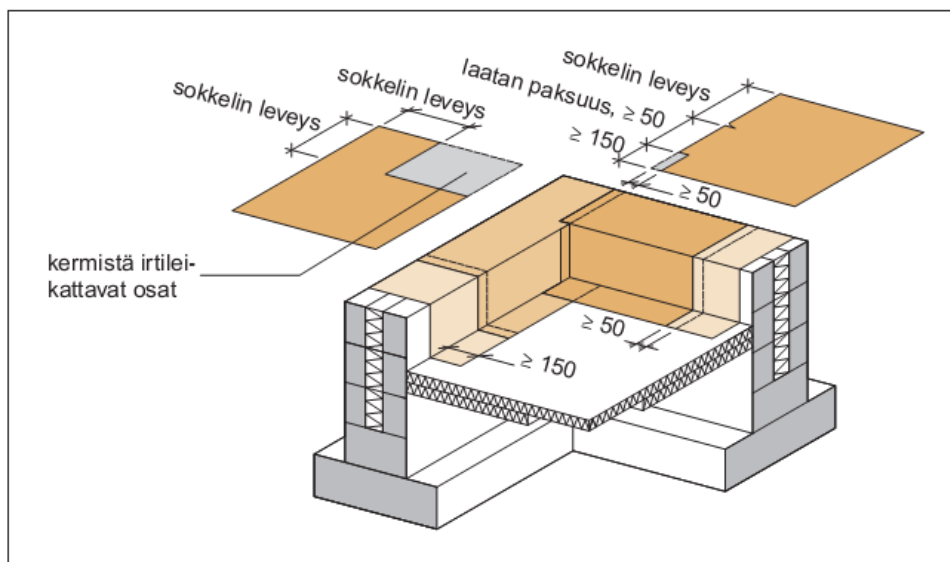
Kuva 6. Harkkorakenteisen perusmuurin ja seinän liittymä betonilaataan (RT 81-10791, 6)

Jos kumibitumikermikaista asennetaan vaakasuorassa harkon päältä betonilaatan alle, on liitos suunniteltava siten, että rakenteiden liikkeessä kumibitumikermi ei rikkoudu. Jäljempänä olevassa kuvassa rakenteiden liikkeiden aiheuttamat rasitukset kumibitumikermikaistalle on pyritty minimoimaan lämmöneristeen avulla. (RT 81-10791, 6)



Kuva 7. Kumibitumikermikaistan rikkoutuminen on pyritty estämään lämmöneristeen avulla. (RT 81-10791, 6)

Perusmuurin kulmissa bitumikermiä joudutaan leikkelemään, jotta liitok-  
sista saadaan tiiviitä. Joillain valmistajilla on olemassa myös valmiita  
kulmakappaleita, joita voidaan käyttää perusmuurin kulmien tiivistämi-  
seen. Alla olevassa kuvassa on esitetty miten kumibitumikermistä saadaan  
leikattua perusmuurin kulmaan sopivat palat siten, että liittymä saadaan  
hyvin tiivistettyä. (RT 81-10791, 5)



Kuva 8. Kumibitumikermikaistan limittäminen sokkelin kulmissa (RT 81-10791, 5)

### Maanvastaiset rakenteet

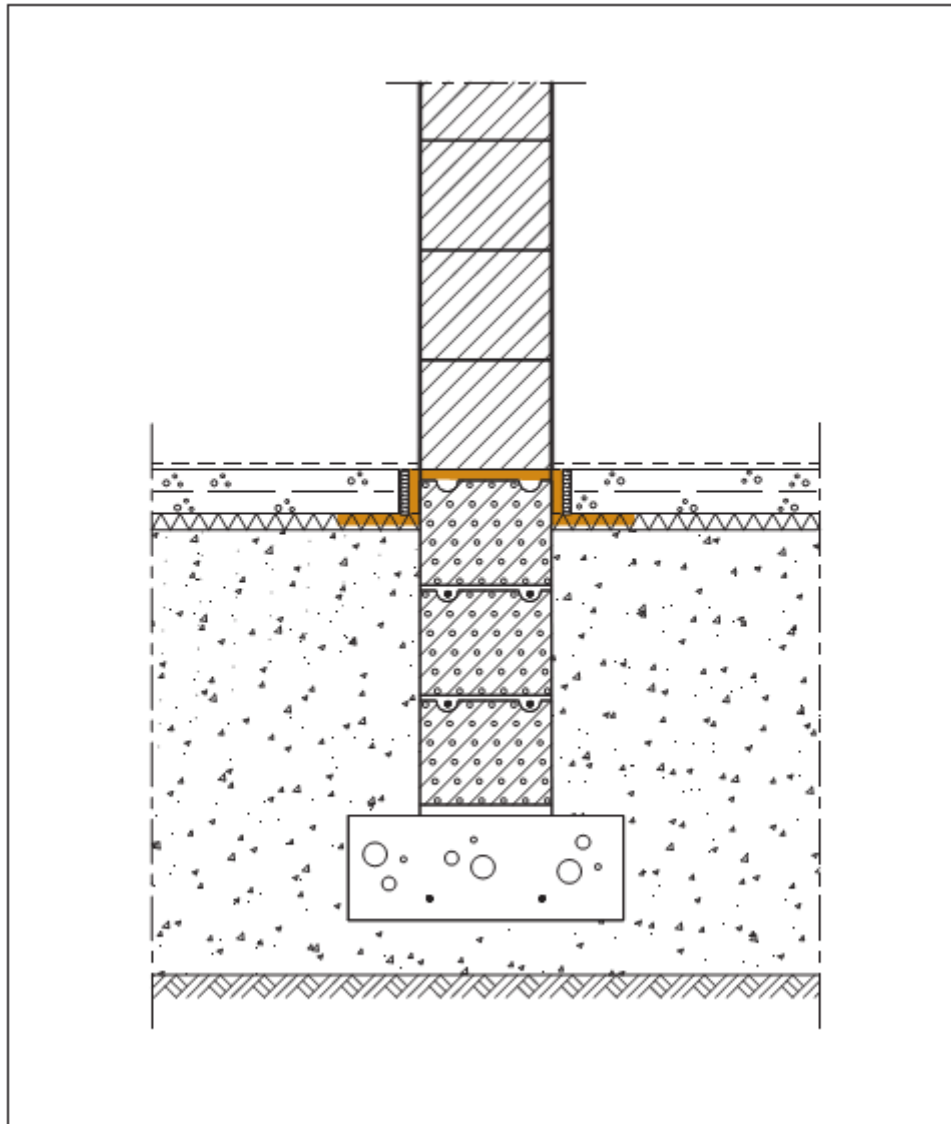
Kellariseinät toteutetaan yleensä joko betonielementtinä, paikalla valettu-  
na betonina tai harkoista muuraamalla. Betoninen kellariseinä on itsessään  
melko tiivis ja sen läpi ei pääse kulkeutumaan huomattavia määriä rado-  
nia. Betonisen kellariseinän liittymä maanvaraiseen laattaan tiivistetään  
kumibitumikermillä ja seinä vesieristetään määräysten mukaisesti. (RT 81-  
10791, 7)

Harkkorakenteinen kellariseinä puolestaan läpäisee jonkin verran rado-  
nia. Harkkoseinä tulee ohurapata sisä- ja ulkopuolelta ja ulkopuolelle rap-  
pauksen päälle asennetaan kumibitumikermi. Harkkoseinän ja maanvarai-  
sen laatan liittymä tiivistetään taittamalla kumibitumikermi laatan yläpin-  
nan tasolta harkkosaumasta laatan alle. (RT 81-10791, 7)

### Kantavat väliseinät

Kantavat väliseinät suositellaan perustettavaksi laaattavahvistusten varaan,  
jolloin vältetään tiivistettäviltä liittymiltä perustusrakenteessa. Jos tämä ei  
ole mahdollista, tulee kantavien väliseinien perustusten liittymä betonilaat-  
taan tiivistää kumibitumikermillä. Kumibitumikermi asennetaan ennen  
betonilaatan valua, jolloin kermi jää perusmuurin ja väliseinän väliin sekä  
seinän molemmiin puolin betonilaatan alle. (RT 81-10791, 7)





Kuva 9. Kantavan väliseinän ja perusmuurin liitos betonilaataan (RT 81-10791, 7)

### Läpiviennit

Alapohjan betonilaatan läpi asennetaan monesti sähkö-, viemäri-, vesi- ja lämmitysputkia. Kaikkien läpivientien tiivistäminen täytyy toteuttaa huolellisesti betonilaatan tiiveyden takaamiseksi. Tiiviiden putkien ympärökset voidaan tiivistää kietomalla ennen betonivalua putken ympärille umpisoluista pohjanauhaa. Valun kuivuttua ylin kierros poistetaan ja betonilaatan ja putken väliin syntyvä tila täytetään elastisella saumaussmassalla. (RT 81-10791, 7)

Betonilaatan läpi vietävät putket on asennettava suojaputkeen, jottei varsinainen putki vaurioituisi. Suojaputkien kohdalla on varmistettava putken ulkopuolen tiivistämisen lisäksi myös suojaputken sisäpuolen tiivistämisestä. Sisäpuoli voidaan tiivistää esimerkiksi täyttämällä suojaputki osittain eristemateriaalilla ja varmistamalla putken tiiviys putken yläpäähän laitettavalla elastisella saumaussmassalla. (RT 81-10791, 8)

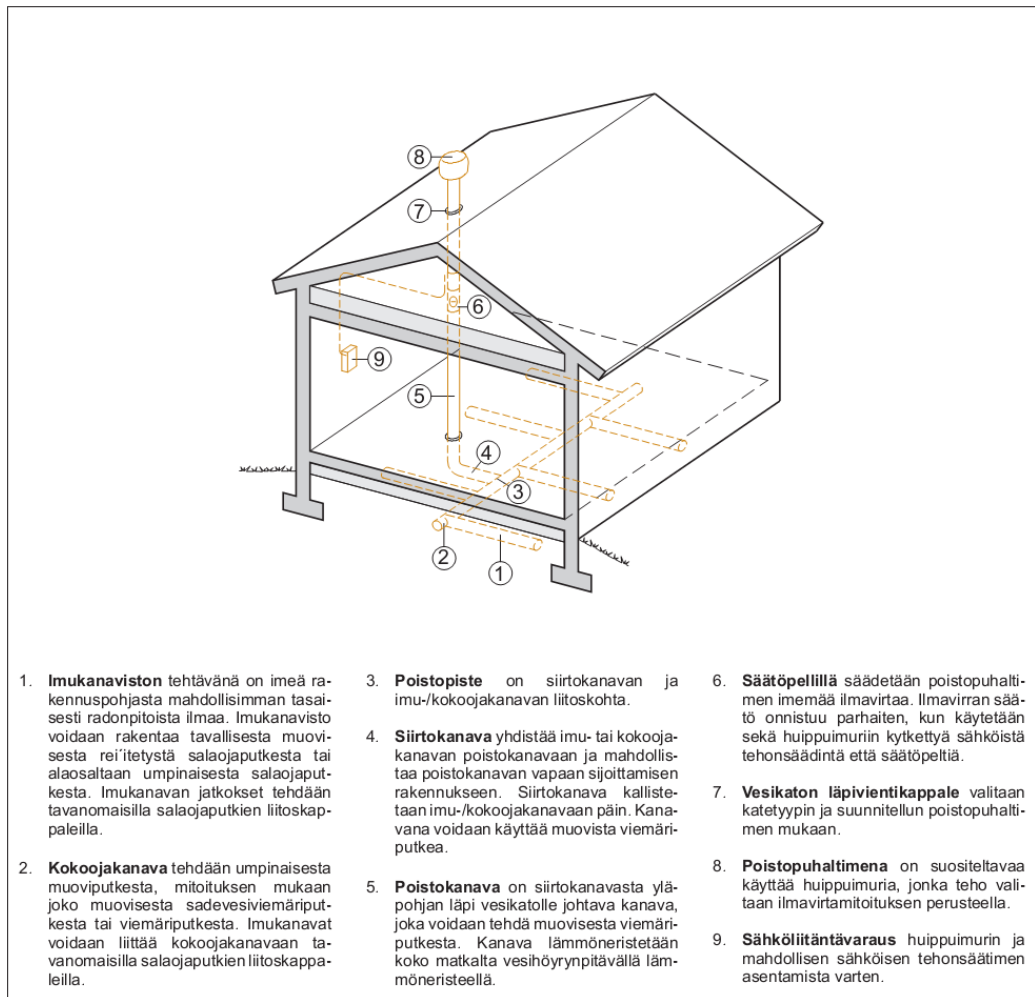
Useamman putken eli putkiryhmän läpiviennin tiivistämiseksi betonilaataan jätetään valun yhteydessä aukko putkien kohdalle. Aukko saadaan aikaan muottilaudoituksen avulla. Valun jälkeen muottilaudat poistetaan ja putkien ympärille tehdään betonivalu, jonka pinta jää varsinaisen betonilaatan pintaa noin 10 mm alemmaksi. Kun valu on kuivunut, täytetään jätetty varaus kuumakumibitumilla tai elastisella saumaussmassalla. Sisäpuolelta suoja-putket tiivistetään edellä esitetyllä tavalla. (RT 81-10791, 8)

Lisäksi alapohjalaattaan voidaan joutua tekemään tarkastusluukkuja putkien kunnon tarkkailemista varten. Näiden tarkastusluukkujen ilmatiiviysdestä on myös varmistuttava. (RT 81-10791, 8)

### 3.5.5 Rakennuspohjan tuuletusjärjestelmä

Rakennuspohjan tuuletusjärjestelmän avulla rakennuspohja alipaineistetaan ja perustusten salaojituskerrosta tuuletetaan. Rakennusmaan tuulettamisen avulla pienennetään rakennuksen alapohjan maaperän huokosilman radonpitoisuutta. Rakennuspohjan alipaineistamisella pyritään vähentämään maaperästä alapohjan läpi sisäilmaan tapahtuvien ilmavutojen määrää. Molemmat toimenpiteet vähentävät radonin kulkua sisäilmaan ja alenavat näin sisäilman radonpitoisuutta. (RT 81-10791, 9)

Rakennuspohjan tuuletusjärjestelmä koostuu useasta osasta. Rakennusvaiheessa täyttömaahan asennetaan imukanavisto, joka liitetään kokoojakanavaan. Kokoojakanava puolestaan liitetään edelleen siirtokanavaan, jonka avulla radonpitoinen ilma siirretään poistokanavaan. Kokoojakanavan ja siirtokanavan liitoskohtaa kutsutaan poistopisteeksi. Poistokanavaa pitkin radonpitoinen ilma ohjataan alapohjasta yläpohjan läpi vesikatön läpivientikappaleen avulla ulkoilmaan. Poistokanavaan asennetaan säätöpelti, jonka avulla säädellään poistopuhaltimen imemää ilmavirtaa. Poistopuhaltimena on suositeltavaa käyttää vesikatolle asennettavaa huippuimuria. Järjestelmää varten asennetaan lisäksi sähköliitäntävaraus huippuimurin ja mahdollisen sähköisen tehonsäätimen kytkemistä varten. (RT 81-10791, 9)



Kuva 10. Rakennuspohjan tuuletusjärjestelmän osat (RT 81-10791, 9)

## Imukanavisto

Rakennuspohjan imukanavisto voidaan toteuttaa rengasmallisena tai monihaarisena riippuen alapohjan muodosta ja koosta. Imukanavisto asennetaan salaojituskerrokseen, jonka tulisi olla perusmaata läpäisevämpää maainesta tuuletusjärjestelmän toimivuuden varmistamiseksi. Imukanavisto tehdään muovisesta kaksoiseinämäisestä tai tavallisesta salaojaputkesta ja mahdollisten kantavien väliseinien perustuksien lävistyksyet tehdään tiiviillä putkella. (RT 81-10791, 10)

Rengasmallinen imukanava soveltuu yleensä pientaloihin. Imukanavisto sijoitetaan ulottumaan jokaiseen perustusrakenteiden erottamaan erilliseen osaan rakennuspohjassa. Jos rakennuksen rungon leveys on tarpeeksi pieni (alle 3-4 m) tai alapohja jakautuu useaan suorakaiteen muotoiseen osaan, voidaan imukanavisto toteuttaa yhden pitkittäisen imukanavan avulla. Imukanaviston tulisi olla vähintään 1,5 m etäisyydellä perusmuurista ja 0,5 m etäisyydellä laatan lävistävistä rakennusosista. Siirto- ja poistokanava toteutetaan tiiviillä putkella ja siirtokanavan tulisi olla kallistettu imukanavistoon päin mahdollisen tiivistyvän veden poisjohtamiseksi. Jos imukanava kulkee perustuksissa kolmea metriä kapeamman kohdan lävitse, tulee kapeassa kohdassa käyttää myös tiivistä putkea. Rakennuksen

runkosyvyyden ollessa yli 10 metriä, tarvitaan rakennuksen keskelle liisäimukanava. (RT 81-10791, 10)

Monihaarainen imukanavisto soveltuu pitkänmallisiin rakennuksiin kuten rivitaloihin. Monihaarainen imukanavaisto koostuu kokoojakanavasta ja siihen liittyvistä imuhaaroista. Kokoojakanava tehdään tiiviistä muoviputkesta ja se sijoitetaan rakennuksen keskilinjalle. Kokoojakanavan pohjaan tehdään noin 3 metrin välein reikiä mahdollisen tiivistyvän veden poisjohdamiseksi. Salaojaputkesta tehtävät imuhaarat yhdistetään kokoojakanavaan liitokappaleen avulla. Imuhaaroja sijoitetaan kokoojakanavan molemmin puolin noin 1,5-2,5 metrin välein. Imukanavien perusmuurin puoleiset päät tulpataan. (RT 81-10791, 11)

Imukanavisto asennetaan salaojituskerrokseen siten, että imukanavan pohja on vähintään 200 mm anturan alapintaa korkeammalla. Imukanavan pohjan ja perusmaan välisen etäisyyden tulee olla vähintään 100 mm ja lattialaatan alapuolisiin eristeisiin tulee olla etäisyyttä vähintään 200 mm. (RT 81-10791, 13)

### Poistokanava

Poistokanavan avulla alapohjasta imettävä radonpitoinen jäteilma siirretään ulkoilmaan, joten poistokanava on sijoitettava riittävälle etäisyydelle rakennuksen avattavista ikkunoista, ulkoilmalaitteista ja muista vastaavista, jotta poistoilmapuhaltimen etäisyys edellä mainituista pisteistä täyttää jäteilmalaitteen sijoittamista koskevat ohjeet (RakMK D2). Poistokanavien sijaintia voidaan säädellä siirtokanavien avulla. Rakennuspohjan tuuletusjärjestelmä voi tarvittaessa sisältää useammankin poistokanavan. Poistokanava kulkee yleensä rakennuksen sisätiloissa alapohjasta vesikatolle, joten se rakennetaan tiiviistä putkesta. Lisäksi on varmistuttava poistokanavan ja rakenteiden välisten liitosten sekä putken jatkoskohtien tiiveydestä. (RT 81-10791, 12)

Poistokanavan kaikki jatkoskohdat tiivistetään elastisella tiivistysmassalla ja kanava kiinnitetään tukevasti rakenteisiin, jottei jatkoskohtiin aiheudu tiiviyyttä vaarantavia rasituksia. Myös poistokanavan alapohjan läpivientikohta tiivistetään kohdassa alapohjan tiivistäminen esitetyllä tavalla. Mahdolliset rakennuksen eri osastojen väliset läpivientikohdat tiivistetään siten, että osastoivan rakenteen osastoivuus ei oleellisesti heikkene. Palokatkokohdat tiivistetään tarkoitukseen sopivalla palokatkomassalla tai poistokanava varustetaan tyyppihyväksytyllä palomansetilla. Yläpohjan ja vesikaton läpivientikohdat voidaan toteuttaa valmiilla läpivientikappaleilla, jotka tiivistetään huolellisesti. (RT 81-10791, 12)

Poistokanava tulee eristää koko matkalta kondenssikohtien välttämiseksi höyrytiivillä eristemateriaalilla. Alapohjasta imettävä ilma on käytännössä aina kylmempää kuin sisäilma, joten sisäilma saattaa kondensoitua kylmettyneen putken ulkopintaan. Yläpohjan ilma on puolestaan talviaikaan kylmempää kuin alapohjasta imetty ilma, joten tällöin kondensoitumista saattaa tapahtua putken sisällä, jos putkea ei ole eristetty. (RT 81-10791, 12)

## Kanaviston mitoitus

Rakennuspohjan tuuletusjärjestelmän kanavisto voidaan mitoittaa taulukkomitoituksena. Kanavien pituudet ja koot valitaan RT-kortissa Radonin torjunta olevien taulukoiden mukaisesti. Taulukon arvot ovat järjestelmän minimiarvoja. Kanavakokoihin vaikuttaa kanaviston poistopisteiden määrä ja kanavien suunnitellut pituudet. (RT 81-10791, 13)

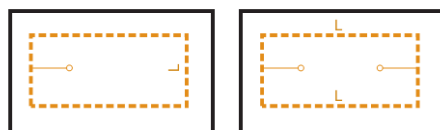
Rengasmallisessa järjestelmässä on yleensä yksi tai kaksi poistopistettä, jotka voidaan yhdistää yhteen poistokanavaan. Poistopisteet sijoitetaan siten, että molempia poistopisteitä kohden on yhtä monta metriä imukanavaa. (RT 81-10791, 13)

Monihaarainen järjestelmä on suositeltavaa suunnitella siten, että poistopisteen ja kokoojakanavan pään välinen suurin etäisyys on korkeintaan 15 metriä, jolloin kanavien koot ovat sellaiset, että imukanavien ja kokoojakanavan liitokset voidaan toteuttaa sadevesi- ja salaojaviemäröintiin tarkoitetuilla tarvikkeilla. (RT 81-10791, 13)

Poisto- ja siirtokanavan mitat valitaan kokoojakanavan mittojen mukaisesti siten, että liitoksista saadaan tiiviitä eivätkä liitokset pääse irtoamaan esimerkiksi täyttösoraa tiivistettäessä. (RT 81-10791, 13)

Taulukko 1.  
Rengasmallisen järjestelmän imukanavan mitoitus.

Imukanaviston poistopisteiden välinen etäisyys L (m)	Imukanavan vähimmäisnimelliskoko ø (mm)
$L \leq 30$	80
$30 < L \leq 45$	100
$45 < L \leq 70$	130

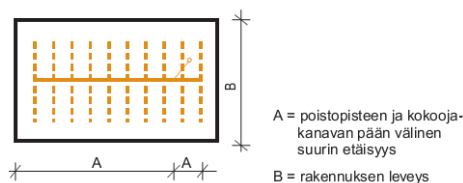


L = imukanaviston poistopisteiden välinen etäisyys

Taulukko 2.  
Monihaaraisen järjestelmän imu- ja kokoojakanavien mitoitus.

Poistopisteen ja kokoojakanavan pään välinen suurin etäisyys A (m)	Kokoojakanavan vähimmäisnimelliskoko ø (mm)
$A \leq 15$ *	100
$15 < A \leq 30$	160
Rakennuksen leveys B (m)	Imukanavan vähimmäisnimelliskoko ø (mm)
$B \leq 10$	65
$10 < B \leq 15$	80

\* ensisijainen suunnittelumitta



A = poistopisteen ja kokoojakanavan pään välinen suurin etäisyys

B = rakennuksen leveys

Kuva 11. Rakennuspohjan tuuletusjärjestelmän kanavien mitoitus (RT 81-10791, 12)

## Tuuletusjärjestelmän käyttöönotto

Rakennuksen valmistumisen jälkeen tulisi suorittaa sisäilman radonpitoisuuden mittaus kohdassa radonmittaukset esitetyllä STUKin hyväksymällä mittausmenetelmällä. Mittaus tulisi suorittaa luotettavan mittaustuloksen saamiseksi vasta, kun lämmitys- ja ilmastointijärjestelmät ovat käytössä, kaikki maanvastaiset rakenteet ovat lopullisella pintakäsittelyllä käsitelty tai pintamateriaaleilla päällystetty ja rakennuksen vierustäytöt ovat tehtynä. Jos tässä mittauksessa saatu sisäilman radonpitoisuus ylittää raja-arvot tiivistystoimenpiteistä huolimatta, on poistopuhallin kytkettävä toimintaan. Poistopuhallinta ei saa kytkeä rakennuksen muuhun ilmanvaihtojärjestelmään. (RT 81-10791, 14)

Poistoilmapuhaltimen imemä ilmavirta suositellaan säädettäväksi siten, että ilmavirta on  $0,05 \text{ dm}^3/\text{s}$  maanvastaista lattianeliömetriä kohden. Ilmavirta voidaan säätää alhaisemmaksi, jos sisäilman radonpitoisuus kuitenkin alittaa  $200 \text{ Bq}/\text{m}^3$ . Ilmavirta voidaan mitata tarkoitukseen sopivalla mittarilla imuputkeen tehtävän reiän kautta, poistokanavaan asennettavan mittarenkaan ja paine-eromittarin avulla tai likimääräisesti esimerkiksi poistokanavaan kiinnitettävän 150 litraisen jätensäkin ja sekuntikellon avulla. Esimerkiksi  $100 \text{ m}^2$  yksikerroksisen talon poistoilmavirta ( $5 \text{ dm}^3/\text{s}$ ) on oikea, kun jätensäkki täyttyy noin 30 sekunnissa. Tuuletusjärjestelmän ilmavirta suositellaan tarkastamaan kahden vuoden kuluttua järjestelmän käyttöönotosta. (RT 81-10791, 14)

Tuuletusjärjestelmän käyttöönoton jälkeen sisäilman radonpitoisuus on tarkastettava ohjeiden mukaisella mittauksella, jotta voidaan varmistua radonpitoisuuden ohjeidenmukaisuudesta. (RT 81-10791, 14)

### Imujärjestelmän puutteellinen toiminta

Imujärjestelmä on suunniteltu rakennuspohjalle, jossa on käytetty tyypillisiä salaojasoran vaatimukset täyttäviä sora-aineita. Nykyisin lattialaatan ja sokkelin alla sekä ulkopuolella on siirrytty käyttämään täyttöaineena murskeita, jotka ovat aiemmin käytettyjä sora-aineita läpäisevämpiä. Varsinkin kohteissa, joissa on käytetty täyttömaana erittäin läpäisevää sepeä, on havaittu ongelmia alapohjan tuuletusjärjestelmän toiminnassa. Läpäisevän maa-aineksen takia alapohjaan ei ole pystytty muodostamaan alipainetta mitoitusohjeiden mukaisilla ilmavirtauksilla, vaan alipaineen muodostuminen on vaatinut jopa monikymmenkertaisen poistoilmavirran. Tällöin maa-aines ei tuuletetu riittävästi eivätkä ilmavuodot alapohjan läpi vähene. Myös koneellisen poistoilmavaihdon aiheuttama korkea alipaine rakennuksen sisällä voi vaikeuttaa imukanaviston toimintaa. Näissä tapauksissa alapohjan huolellisen tiivistämisen merkitys korostuu. (Arvela H., Holmgren O. & Reisbacka H. 2012, 133)

### 3.5.6 Radontorjunnasta aiheutuvia ongelmia

Radontorjunnasta voi aiheutua myös ongelmia, jos radontorjunnan suunnittelussa ei osata ottaa huomioon mahdollisia ongelmakohtia. Alapohjan koneellinen tuuletus toimii sähköllä, joten sähkönkulutuksesta johtuen radontorjunta saattaa aiheuttaa rakennuksen energiatehokkuuden alenemista. Rakennuksen energiatehokkuuteen voi vaikuttaa myös alapohjan tuuleutuksesta aiheutuva alapohjan viileneminen. Lisäksi rakennuksen ilmanvaihdon tehostaminen aiheuttaa sen, että lämmintä sisäilmaa kulkeutuu enemmän ulos, jolloin ulkoa otettavaa korvausilmaa joudutaan lämmittämään.

Asumismukavuuteen voi vaikuttaa esimerkiksi poistoilmapuhaltimen väärä sijoituspaikka. Poistoilmapuhaltimen ollessa liian lähellä asuintiloja, voi aiheutua meluhaittaa. Myös poistokanavien väärä sijoittelu tai mitoittaminen saattaa johtaa meluhaittoihin. Alapohjan tuulettaminen voi aiheuttaa lattian kylmenemistä, jollei lattialaatan alla ole riittävästi eristekerrosta.

Radontorjunnan suunnittelun yhteydessä on huomioitava myös rakenteiden kosteustekninen käyttäytyminen. Alapohjan alipaineistaminen saattaa kääntää lattiarakenteen läpi kulkeutuvien ilmapuotojen suunnan siten, että ilmaa virtaa sisältä alapohjaan. Tällöin lämmin ja kostea ilma saattaa tiivistyä alapohjan kylmiin rakenteisiin.

Radontorjunnasta aiheutuu myös hieman lisäkustannuksia, mutta uudisrakentamisen yhteydessä tulevat kustannukset ovat mahdollisiin korjauskustannuksiin ja korjausten hankaluuteen verrattuna niin pieni haitta, että radontorjunta kannattaa ehdottomasti toteuttaa jo rakennusvaiheessa.

### 3.6 Radonkorjaukset

Radonkorjauksissa sisäilman radonpitoisuutta pyritään vähentämään estämällä radonpitoisen ilman kulkeutuminen maaperästä asuintiloihin. Ilman kulkeutumista voidaan vähentää tiivistämällä alapohjaa tai alipaineistamalla alapohjan alapuolista maa-ainesta. Myös ilmanvaihtoteknisillä korjaustoimenpiteillä voidaan joissain tapauksissa vaikuttaa sisäilman radonpitoisuuteen. (Arvela H., Holmgren O. & Reisbacka H. 2012, 25-26)

#### 3.6.1 Radonimuri

Radonimurilla tai imupistemenetelmällä tarkoitetaan korjaustapaa, jossa rakennuksen alla oleva maaperä alipaineistetaan koneellisesti. Alipaineistaminen tapahtuu joko alapohjalaatan lävitse tehtävän imupisteen kautta tai vaihtoehtoisesti rakennuksen sokkelin läpäisevän imupisteen kautta. Tällä menetelmällä vähennetään maaperästä sisäilmaan kulkeutuvan vuotoilman määrää ja alennetaan alapohjan alla olevan maaperän radonpitoisuutta. Näin saadaan vähennettyä maaperästä rakennukseen kulkeutuvan radonin määrää. (Arvela H., Holmgren O. & Reisbacka H. 2012, 25)

Radonimuri soveltuu käytettäväksi sellaisten rakennusten sisäilman radonpitoisuuden alentamiseksi, jotka on perustettu läpäisevän maan aineksen varaan. Jos maa-aines on liian tiivistä tai läpäisevää, ei alapohjaan saada muodostettua riittävää alipainetta. Tällöin maaperän radonpitoisuus ei alene eikä alapohjan ilmapuodot vähene. Yleensä maanvaraisen laatan alla oleva kapillaarikatkerros on toteutettu sellaisella maan aineksella, joka mahdollistaa radonimurin toiminnan. (Arvela H., Holmgren O. & Reisbacka H. 2012, 32)

Radonimurin eli imupistemenetelmän suunnittelussa tulee ottaa huomioon alapohjan jakautuminen eri lohkoihin. Lohkojen määrä vaikuttaa imupisteiden määrään ja laatuun. Myös alapohjalaatan pinta-ala määrittää imupisteiden lukumäärää siinä, missä maa-aineksen laatuakin. (Arvela H., Holmgren O. & Reisbacka H. 2012, 36-37)

Alapohjan lohkoilla tarkoitetaan esimerkiksi kantavien väliseiniä, jotka on rakennettu omien anturoiden ja perusmuurin varaan, rajaamaa aluetta lattialaatan alla. Alapohjassa olevat lohkot saattavat muodostaa erillisiä alueita, jotka vaativat oman imupisteensä matalaa imukuoppaa käytettäessä.

Myös esimerkiksi L-mallin rakennus saattaa vaatia useamman imupisteen käyttämistä. (Arvela H., Holmgren O. & Reisbacka H. 2012, 36-37)

Jos anturoiden alapuolinen maa-aines on sopivan läpäisevää, voidaan käyttää syvää imukuoppaa. Tällöin lohkoihinkin jakautuneessa alapohjassa voidaan selvittää vähemmällä imupisteillä, kun yhden imupisteen vaikutus leviää koko alapohjan alueelle. (Arvela H., Holmgren O. & Reisbacka H. 2012, 36-37)

Radonimurin vaikutusta voidaan monesti tehostaa tiivistämällä rakennuksen alapohjaa. Radonimuri pelkästään saattaa olla riittävä korjaustoimenpide, mutta toisinaan alapohjan ilmavuodot saattavat heikentää radonimurin toimintaa. Jos alapohjassa on merkittäviä ilmavuotoja, voi olla vaikeaa aikaansaada maaperään alipainetta. Tällöin imuri imeekin ilmaa rakennuksen sisältä eikä maaperästä, jolloin rakennuksessa oleva alipaine kasvaa ja ilmavuodot maaperästä rakennukseen voivat lisääntyä. Toisaalta joissain tapauksissa merkittävien ilmavuotokohtien tiivistäminen on itsessään riittävä toimenpide sisäilman radonpitoisuuden alentamiseksi. (Arvela H., Holmgren O. & Reisbacka H. 2012, 38)

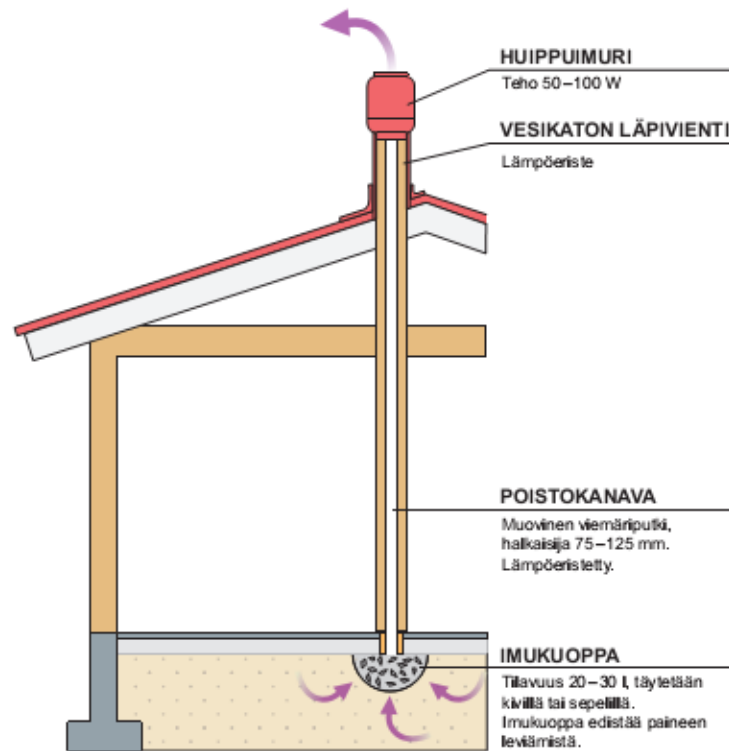
Radonimurikorjausten yhteydessä tulee ottaa huomioon myös rakennuksen alapohjan rakennusfysikaalinen toiminta. Kun alapohjan alipaine on isompi kuin rakennuksen alipaine, kääntyy ilmavirtausten suunta rakennuksesta maaperään. Ilmavirtauksen mukana kulkeutuva kosteus saattaa tiivistyä rakenteeseen, jos rakennekerros on riittävän kylmä. (Arvela H., Holmgren O. & Reisbacka H. 2012, 36-37)

Radonimurin poistokanaviston tulee olla tiivis putki, jottei radonpitoista ilmaa pääse kulkeutumaan poistokanavistosta sisäilmaan. Yleensä poistokanava rakennetaan muovisesta viemäriputkesta, jonka halkaisija on vähintään 75 mm. Putkessa kulkeva ilma on sisäilmaa viileämpää, jolloin kanavan ulkopintaan voi tiivistyä kosteutta huoneilmasta. Tämän vuoksi poistokanava on suositeltavaa eristää vesihöyrytiivillä lämmöneristeellä. (Arvela H., Holmgren O. & Reisbacka H. 2012, 44)

Radonimurin poistopuhallin tulee sijoittaa pois asuintiloista. Näin pyritään estämään puhaltimesta aiheutuvat äänihaitat sekä radonpitoisen ilman kulkeutuminen sisäilmaan. Poistopuhallinta ei saa myöskään sijoittaa siten, että radonpitoinen ilma kulkeutuisi suoraan pihan oleskelualueille. (Arvela H., Holmgren O. & Reisbacka H. 2012, 46)

Radonimurilla on saavutettu hyviä tuloksia radonkorjauksissa. Sisäilman radonpitoisuutta on saatu alennettua tehokkaasti ja toisaalta myös muiden maaperän epäpuhtauksien kulkeutuminen sisäilmaan vähenee. Kun radonimurin suunnittelussa osataan huomioida mahdolliset haitat (lattian lämpötilan aleneminen, perusmaan routiminen, alapohjalaatan kosteustekninen käyttäytyminen, kosteuden tiivistymisen riski, meluhaitat), on radonimuri tehokas konsti korkeiden sisäilman radonpitoisuuksien alentamiseksi.





Kuva 12. Radonimurin toimintaperiaate ja rakenneosat (Arvela H., Holmgren O. & Reisbacka H. 2012, 34)

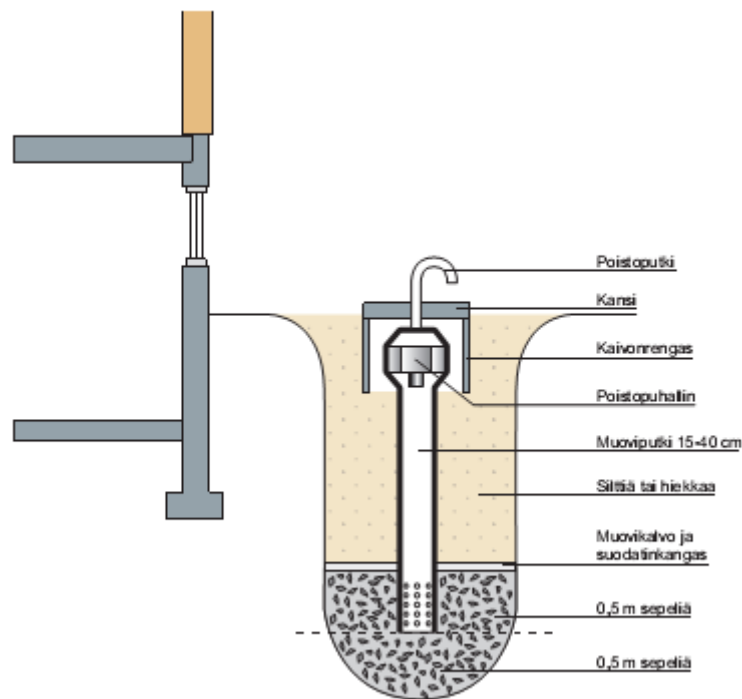
### 3.6.2 Radonkaivo

Radonkaivolla tarkoitetaan rakennuksen perustusten ulkopuolelle kaivettavaa imupistettä, joka ulottuu selvästi rakennuksen anturoiden alapintaa syvemmälle. Radonkaivon avulla rakennuksen alapuolista maaperää tuuletetaan, jolloin maaperässä olevan huokosilman radonpitoisuus pienenee. Kaivon välittömään läheisyyteen voi myös syntyä riittävän suuri alipaine, joka vähentää paikallisesti maaperän huokosilman kulkeutumista sisäilmaan. Pääasiassa radonkaivon avulla kuitenkin pyritään pienentämään maaperän huokosilman radonpitoisuutta. (Arvela H., Holmgren O. & Reisbacka H. 2012, 60)

Radonkaivo toteutetaan kaivamalla rakennuksen viereen syvä kuoppa, jonka pohja täytetään sepelikerroksella. Sepelikerrokseen upotetaan muovinen imuputki, jonka alapäähän on porattu reikiä. Imuputken kautta imeetään ilmaa poistopuhaltimen avulla. Tällä menetelmällä saadaan luotua maaperään alipaine kenttä ja ilmavirtaus, joka tuulettaa maaperää ja alentaa sen huokosilman radonpitoisuutta. (Arvela H., Holmgren O. & Reisbacka H. 2012, 60)

Radonkaivo on käyttökelpoinen korjausmenetelmä, kun maaperä on riittävän läpäisevä. Liian tiivis tai läpäisevä maaperä estää radonkaivon toiminnan. Radonkaivo voi epäonnistua myös, jos korvausilma kulkeutuukin esimerkiksi salaoja- tai sadevesijärjestelmästä. (Arvela H., Holmgren O. & Reisbacka H. 2012, 63)

Myös radonkaivolla on saavutettu hyviä tuloksia. Sisäilman radonpitoisuuksia on saatu laskemaan korkeistakin arvoista suositusten mukaiseksi. Radonkaivon suunnittelun yhteydessä on tärkeää huomioida, että maa saattaa jäätymä aiempaa syvemmältä kaivon läheisyydessä, mikä saattaa aiheuttaa esimerkiksi vesiputkien jäätyneen ja rikkoutumisen. Meluhaittoja voidaan vähentää poistoilmapuhaltimen järkevällä sijoittelulla. Jos radonkaivo aiheuttaa muutoksia alapohjan läpi kulkeutuviin ilmavirtauksiin, tulee alapohjan rakennusfysikaalinen toiminta huomioida suunnitelmissa. (Arvela H., Holmgren O. & Reisbacka H. 2012. s. 63)



Kuva 13. Radonkaivon rakenne (Arvela H., Holmgren O. & Reisbacka H. 2012, 61)

### 3.6.3 Rakenteiden tiivistäminen

Rakenteiden tiivistämisellä vähennetään maaperän ilman virtausta sisäilmaan. Yleisimpiä vuotoilmareittejä ovat lattialaatan ja sokkelin liittymät sekä kaikki alapohjalaatan läpi tehdyt läpiviennit. Rakenteiden tiivistämistä vaikeuttava tekijä on ilman pyrkimys löytää uusia ilmavuotoareitteja tukittujen tilalle. Rakenteiden tiivistämisessä onkin oltava erityisen huolellinen, jotta saavutetaan haluttu korjaustulos. (Arvela H., Holmgren O. & Reisbacka H. 2012, 78)

Rakenteiden vuotoilmakohtien paikantamisessa voidaan käyttää merkkiainetutkimuksia. Tutkimuksen lähtökohtana on, että rakennus on alipaineinen, jolloin maaperästä rakenteiden läpi tapahtuvat ilmavuodot voidaan paikallistaa syöttämällä esimerkiksi merkkisavua talon alle asennettuun radonputkistoon, josta se kulkeutuu alipaineen vaikutuksesta rakennuksen sisälle. Myös lämpökameran tai ilmavuotomittarin avulla voidaan alipaineisesta talosta paikallistaa ilmavuotokohtia. Selkeimmät ilmavuoto-

kohdat voi toki havaita myös aistinvaraisesti. (Arvela H., Holmgren O. & Reisbacka H. 2012, 122-123)

Rakenteen ilmapuotokohtia tiivistettäessä on käytettävä tiivistämiseen soveltuvia materiaaleja ja varmistettava tiivistämateriaalien tarttumista alustaansa. Tartuntaa voidaan parantaa puhdistamalla tiivistettävät pinnat ja lisäämällä tarvittaessa tarttumapinta-alaa. Pinta-alaa voidaan lisätä suurentamalla rakoa. Tiivistettävän pinnan on oltava myös kuiva ja tartuntaa voidaan edelleen varmistaa tarvittaessa erilaisilla tartunta-aineilla. (Arvela H., Holmgren O. & Reisbacka H. 2012, 78)

Vuotoilmakohtia voidaan tiivistää useilla erilaisilla ja eri valmistajien saumausaineilla. Saumausaineen tulee olla riittävän hyvin kiinnittyvää ja kestävä. Esimerkiksi betonisten saumojen tiivistämisessä on hyviä kokemuksia polyuretaanipohjaisista saumausaineista, kuumakumibitumista ja vedeneristysmassoista. Rakenteiden mahdollisista liikkeistä johtuen saumausaineen tulee olla elastista, jotta se voi venyä rakenteen liikkeiden mukaan. Saumattavan raon suurentaminen vähentää saumausaineeseen kohdistuvaa rasitusta. (Arvela H., Holmgren O. & Reisbacka H. 2012, 78)

Läpivientien vuotokohtia tiivistettäessä on suositeltavaa käyttää läpivientiputken täyttömateriaalina esimerkiksi solumuovia ja sen jälkeen voidaan lopullinen tiivistäminen toteuttaa esimerkiksi elastisen saumausaineen avulla. (Arvela H., Holmgren O. & Reisbacka H. 2012, 80)

Radonpitoisen ilman vuotoreittinä voi toimia myös betonilaattaan syntyneet halkeamat. Näiden vuotojen tukkimiseen voidaan käyttää injektioepoksia eli kaksikomponenttista epoksimuovia, joka tunkeutuu hyvin jo 0,01 mm levyiseen rako. Myös lattiamassat ja -tasotteet soveltuvat halkeamien tiivistämiseen, kun niitä käytetään riittävän laajalle alueelle ja riittävän paksuna kerroksena valmistajan ohjeiden mukaisesti. (Arvela H., Holmgren O. & Reisbacka H. 2012, 80)

Yksi mahdollinen radonpitoisen ilman vuotoreitti on kellarin maanvastainen harkkoseinä. Harkkoseinän tiivistäminen on sikäli haasteellista, että radonpitoinen ilma voi liikkua harkkoseinärakenteessa ja kulkeutua sisäilmaan harkkoseinän ja toisen seinätyypin liittymästä. Harkkoseinää tiivistetään rappaamalla ohutrappauksella alapohjasta välipohjaan saakka. Vaikka rappaaminen vähentää harkkoseinän ilmanläpäisykykyä huomattavasti, voi radon siirtyä harkkoseinässä myös diffuusion avulla eli siirtymällä aineen sisällä korkeammasta pitoisuudesta matalampaan. Tämän vuoksi uudisrakentamisessa suositellaan maanvastaisten seinien pinnoittamista bitumikermillä. (Arvela H., Holmgren O. & Reisbacka H. 2012, 80)

Rakenteiden tiivistäminen ei läheskään aina ole yksin riittävä korjaustoimenpide. Sillä pystytään pienentämään sisäilman radonpitoisuuksia, jos ilmapuotoreitit on huomattavia ja niiden tiivistämisellä alapohja saadaan täydellisen tiiviiksi. Usein kuitenkin käy niin, että maaperän radonpitoinen ilma löytää uuden vuotoreitin. (Arvela H., Holmgren O. & Reisbacka H. 2012, 81)

### 3.6.4 Ilmanvaihtotekniset korjaukset

Ilmanvaihtoteknisillä korjauksilla tarkoitetaan rakennuksen ilmanvaihtoon liittyvillä toimenpiteillä tehtäviä radonkorjauksia. Ilmanvaihdon tehostamisella pyritään tuulettamaan radonpitoinen ilma pois asuintiloista ja tuomaan tilalle puhdasta ulkoilmaa, jolloin sisäilman radonpitoisuus laskee. Rakennuksen alipaineisuutta pienentämällä voidaan puolestaan vähentää radonpitoisen ilman kulkeutumista sisätiloihin. (Arvela H., Holmgren O. & Reisbacka H. 2012, 89)

Suomen Rakentamismääräysten mukaan asunnon ilman tulisi vaihtua keran kahdessa tunnissa. Lisäksi ilmanvaihto tulisi säätää siten, että rakennus olisi alipaineinen, jottei lämmin ja kostea sisäilma kulkeutuisi rakenteisiin ja aiheuttaisi kosteusvaurioita. (Arvela H., Holmgren O. & Reisbacka H. 2012, 89)

Rakennuksen ilmanvaihto tulisi aina tarkistaa radonkorjausten yhteydessä ja tarvittaessa huoltaa ja säätää. Ilmanvaihtoteknisiä korjauksia voidaan yleensä hyödyntää parhaiten silloin, kun ilmanvaihto on riittämätön tai väärin säädetty. Tällöin ilmanvaihtoa voidaan tehostaa tai alipaineisuutta pienentää. (Arvela H., Holmgren O. & Reisbacka H. 2012, 89)

Ilmanvaihdon korjaustoimenpiteet riippuvat ilmanvaihtojärjestelmän tyypistä. Painovoimaista ilmanvaihtoa voidaan tehostaa puhdistamalla kanavat, avaamalla tuuletusventtiilit tai suurentamalla ja lisäämällä ulkoilma-venttiilejä. Myös koneellisen poistoilmanvaihdon rakennuksissa hormien puhdistaminen voi auttaa. Lisäksi koneellisen poistoilmanvaihdon tehostamiseksi voi olla tarpeen tarkastaa poistoilmapuhaltimen toimivuus ja käyttönopeus sekä ulkoilma-venttiilien määrä. Poistoilmapuhaltimen pyörimisnopeuden kasvattaminen ei yleensä helpota radonongelmia vaikka ilmanvaihto tehostuukin, sillä yleensä rakennuksen alipaine myös kasvaa samalla, jolloin kokonaishyöty jää saavuttamatta. (Arvela H., Holmgren O. & Reisbacka H. 2012, 90-91)

Koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihdolla varustetuissa rakennuksissa ilmanvaihtuvuus on yleensä riittävä. Mahdolliset ongelmat ilmanvaihdossa voivat johtua ilmanvaihtokoneen toimimattomuudesta tai väärästä käytöstä. Myös ilmanvaihdon säädöt saattavat olla tekemättä tai ne voi olla tehty virheellisesti. Tällöin talon painesuhteet saattavat olla väärät ja mahdollinen liian korkea alipaine kasvattaa sisäilman radonpitoisuutta. (Arvela H., Holmgren O. & Reisbacka H. 2012, 90-91)

Yleensä ilmanvaihdon tehostaminen ei ole yksinään riittävä korjaustoimenpide. Ilmanvaihtoteknisten korjausten kustannukset saattavat nousta melko korkeiksi varsinkin, jos asennetaan painovoimaisen ilmanvaihdon taloon kokonaan uusi koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä. Toisaalta yleisen sisäilman laadun kannalta joissain tapauksissa uuden järjestelmänkin asennus voi tulla kyseeseen. Ilmanvaihtotekniset korjaukset voivat kuitenkin olla tarpeen muiden korjausten yhteydessä. (Arvela H., Holmgren O. & Reisbacka H. 2012, 92-93)

### 3.7 Radon muualla

STUKin vuonna 2012 ilmestyneessä julkaisussa A-251 on tutkittu millaisia eri menetelmiä Euroopan eri maissa on käytetty radonin torjumiseksi ja havaittujen radonvuotojen korjaamiseksi. Samassa tutkimuksessa on selvitetty eri maiden määräyksiä ja ohjeita radoniin liittyen. Lisäksi julkaisusta selviää eri viranomaisten arvioita radonilanteesta kyseisessä maassa. Tutkimukseen osallistuneet maat olivat Itävalta, Belgia, Tshekki, Suomi, Ranska, Saksa, Kreikka, Irlanti, Italia, Norja, Portugali, Espanja, Sveitsi ja Iso-Britannia. (Holmgren O. & Arvela H. 2012)

Pääasiassa tutkimukseen osallistuneiden maiden asettamat raja-arvot radonille olivat samankaltaisia kuin Suomessa. Joissain maissa raja-arvot olivat korkeammat ja joissain maissa matalammat kuin Suomessa. Joissain maissa puolestaan ei ollut asetettu sisäilman radonpitoisuuksille raja-arvoja, mutta suosituksia sisäilman radonpitoisuuden hallitsemiseksi on näissäkin maissa annettu. (Holmgren O. & Arvela H. 2012)

Myös keinot, joilla sisäilman radonpitoisuutta eri maissa pyritään vähentämään, ovat samankaltaisia kuin Suomessa. Suomessa ei kuitenkaan käytetä muista maista poiketen koko alapohjan alueelle levitettävää radonsuojausta. Suomessa betonilaatan alla ei siis ole koko matkalla erillistä radonsuojakerrosta, vaan rakenteiden liittymät tiivistetään kumibitumikerrikaistojen avulla ja muualla radonsuojauksena toimii lattian betonilaatta. (Holmgren O. & Arvela H. 2012)

Käytettäessä radonsuojakalvoa, levitetään perusmaata vasten radonsuojakerros eli kaasua läpäisemätön, tarpeeksi kestävä kalvo, joka estää perusmaasta nousevan radonin kulkeutumisen. Lisäksi joko lattialaatan alle tai päälle laitetaan radonsuojakalvo, joka monesti toimii myös osana rakennuksen höyrynsulkua. Lattialaatan yhteyteen tulevalla kalvolla estetään mahdollisesti täyttömaiden mukana tulevan radonin kulkeutuminen huoneilmaan. (Holmgren O. & Arvela H. 2012)

Esimerkiksi Tshekissä radonkalvon yhteydessä on lattiarakenteessa radonkalvon alla tuulettuva ilmarako, joka alentaa radonpitoisuutta tuuletustilassa ja parantaa samalla lattiarakenteen kosteusteknistä toimintaa. Tuuletustilasta ilma ohjataan rakennuksen katolle. Lattian tuuletus saattaa laskea lattian lämpötilaa, mikä voi alentaa käyttömukavuutta. (Holmgren O. & Arvela H. 2012)

Lattiarakenteen tuuletus voidaan toteuttaa joko aktiivisena eli koneellisena tai passiivisena eli painovoimaisena järjestelmänä. Tuuletusrako saadaan aikaiseksi esimerkiksi lattiapinnoitteen alle asennettavan muovisen, radontiivin kerroksen avulla. Muovi on profiloitu siten, että siinä olevat nystyrät muodostavat pinnoitteen ja lattian betonilaatan väliin noin 10-20 mm tuulettuvan tilan, josta ilma voidaan johtaa esimerkiksi tiiviin putken avulla rakennuksen katolle. (Holmgren O. & Arvela H. 2012)

Norjassa ja Ruotsissa on radonin torjumiseksi käytössä menetelmä, jossa rakennuksesta ilmastoinnin mukana poistuvaa ilmaa hyödynnetään maaperän tuulettamisessa. Menetelmässä rakennuksen poistoilmaa puhalletaan

maaperään ja näin voidaan alentaa rakennuksen alla olevan maaperän radonpitoisuutta ja tätä kautta taloon sisälle virtaavan radonin määrä pienee. Tässä menetelmässä on kuitenkin otettava huomioon kosteuden tiivistymisvaara, joka aiheutuu siitä, kun maahan puhallettava lämmin ilma joutuu kosketuksiin kylmien rakenteiden kanssa. (Holmgren O. & Arvela H. 2012)

Lattialaatan tekemistä vesitiiviistä betonista käytetään radonsuojauksena ainakin Kreikassa ja Itävallassa. (Holmgren O. & Arvela H. 2012)

## 4 YIT JA RADON

### 4.1 Raja-arvot ylittävien sisäilman radonpitoisuuksien esiintyminen

YIT Rakennus Oy:n asuinrakennus Etelä-Suomen yksikön vuosikorjauspäällikön, Matti Joulamon, mukaan yksikön alueella tulee vuosikorjauksiin vuosittain noin 15 uudiskohdetta. Kohteet ovat yleensä asunto-osakeyhtiömuotoisia pien- tai kerrostalokohteita. Rakennustyyppejä ovat pääasiassa kerrostalo, rivitalo ja paritalo, mutta myös erillistalot.

### 4.2 Radonvuotojen ennaltaehkäisy

Paras tapa radonvuotojen ennaltaehkäisyyn on radonin huomioiminen suunnittelussa. Opinnäytetyöni tilaajana toimivan YIT:n asuinrakennus Etelä-Suomen yksikön toiminta-alue on radanvarsikunnat Hämeenlinnan eteläpuolella. Toimialueeseen kuuluvat näin ollen Hämeenlinna, Janakkala, Riihimäki, Hyvinkää, Nurmijärvi, Klaukkala, Kerava, Vantaa ja Espoo. Myös Mäntsälään on rakennettu joitain kohteita. Toimialue on hyvin radonpitoista ja näin ollen suunnittelussa on aina otettava huomioon radon.

Toinen osa-alue radonin torjunnassa on rakennustyön huolellinen suorittaminen. Radonputkisto tulee asentaa ja alapohjan tiivistämistyöt suorittaa huolellisesti. Lisäksi työn suorittamista on valvottava toimivan lopputuloksen saavuttamiseksi. On myös hyvä dokumentoida eri työvaiheet esimerkiksi digikameran avulla. (Joulamo, haastattelu 30.4.2013)

#### 4.2.1 Radonin huomioiminen suunnitelmissa

Suunnitelmissa radon huomioidaan käytännössä kaikissa uudisrakennuksissa. Rakentamisen yhteydessä maanvaraisella laatalla varustetun rakennuksen alapohjaan asennetaan radonputkisto, jonka avulla alapohja voidaan alipaineistaa ja näin tuulettaa maaperää eli pienentää maaperän ilmahuokoisten radonpitoisuutta sekä vähentää maaperästä sisäilmaan tapahtuvien vuotojen määrää. Tuulettuvalla alapohjalla toteutetuissa rakennuksissa radon tuulettuu tarpeeksi ulkoilmaan, eikä tämän tyyppisissä taloissa ole työn tilaajalla ollut radonongelmaa. Kellarillisissa taloissa eli taloissa, joissa osa alimmasta kerroksesta on maan alla, tulee maanvastaisten seinien tiivistämisestä huolehtia. (Joulamo, haastattelu 30.4.2013)

Alapohjan ja maanvastaisten seinien tiiviydestä voidaan varmistua huolellisella rakenneyksityiskohtien suunnittelulla. Maanvaraisen alapohjalaatan liittyminen sokkelirakenteisiin ja alapohjan läpiviennit tulee suunnitella hyvin. Myös maanvastaisen seinän tiivistäminen tulee suunnitella. YIT:llä on käytössä melko vakiintuneet ja hyväksi havaitut rakenneyksityiskohdat, joita tarvittaessa muutetaan soveltumaan kuhunkin kohteeseen. (Joulamo, haastattelu 30.4.2013)

Yleensä maanvaraisen laatan ja sokkelirakenteiden liittymät on suunniteltu tiivistettäväksi luvussa Alapohjan tiivistäminen esitettyjen periaatteiden mukaisesti. Tiivistämiseen käytetään kumibitumikermiä ja lisäksi laatan ja sokkelin välin tiiviys pyritään varmistamaan vesieristämällä liittymä. Myös läpivientien tiivistäminen tehdään vesieristämällä. Maanvaraiset seinät vesieristetään ulkopuolelta ja ne toteutetaan YIT:llä yleensä betonielementtiseinä, joka itsessään läpäisee melko vähän radonia. Vedeneristyksen päälle asennetaan joissain tapauksissa perusmuurilevy. (Nurmi, haastattelu 28.11.2012)

### 4.2.2 Radonin torjunta työmaalla

YIT:llä laaditaan jokaiselle työmaalle työmaakohtainen laadunhallintasuunnitelma. Laadunhallintasuunnitelman laatimisohejeessa radonvuodot on huomioitu. Laadunhallintasuunnitelmassa kehoitetaan asentamaan radonhuopa huolellisesti ja radonimurit suunnitelmien mukaisesti. Lisäksi laadunhallintasuunnitelmassa ohjeistetaan maanvaraisen lattian omaavissa asunnoissa vesieristämään kaikki läpiviennit sekä betoniseinien ja lattian väliset saumat. Radonsuojauksen asentaminen tulisi dokumentoida laadunhallintasuunnitelman mukaan valokuvina ja työn toteuttamista valvoa tarkastuksien avulla. (Kivistö, haastattelu 30.4.2013)

Radonsuojauksen onnistumista valvotaan siis dokumentoinnin ja tarkastuksien avulla. Joulamon mukaan työmailla suoritetaan lisäksi omavalvontaa lyhytaikaisten radonmittauksien avulla. Ennen pintarakenteiden viimeistelyä voidaan suorittaa YIT:n omalla mittarilla lyhytaikainen ja suuntaa antava sisäilman radonpitoisuuden mittaus. Tämän perusteella voidaan tarvittaessa ryhtyä toimenpiteisiin alapohjan tiiveyden parantamiseksi ennen pintarakenteiden viimeistelyä. Lisäksi Joulamon mukaan kohteissa suoritetaan omavalvontaan perustuvia mittauksia ennen asuntojen luovuttamista. Varsinkin kohteissa, jotka valmistuvat kevättalvella, voidaan suorittaa mittauksia, joiden perusteella sisäilman radonpitoisuutta pystytään arvioimaan.

Toisinaan rakenneyksityiskohtien toteuttaminen työmaalla on hankalampaa kuin niiden suunnitteleminen. Haasteita käytännön tekemiseen tuovat työmaan olosuhteet kuten sää ja aikataulut. Työn jatkuva seuranta ei aina ole mahdollista, koska nykyaikaiseen rakentamisen valvontaan liittyy paljon erilaisten asiakirjojen ja lomakkeiden täyttämistä, joka vie resursseja pois työn valvonnalta.

Haastatellessani erään YIT:n työmaan vastaavaa mestaria, Eero Puuppoa, nousi esille muutamia haasteita radonsuojauksen toteuttamisessa. Yksi

haaste on esimerkiksi radonsuojauksen eli hitsattavan kumibitumikermin asentaminen kylminä vuodenaikoina. Kylmässä kumibitumikermin taivuttaminen mm. sokkelin ja alapohjalaatan liittymään on hankalaa ja sitä on lämmitettävä. Lämmittämisen seurauksena kumibitumikermi sotkee ja tarttuu kiinni työntekijän suojarusteisiin ja eri materiaalien pintoihin.

Puuppo nosti esille myös sen, että radonsuojauksen onnistuminen riippuu paljon suojauksen asentajasta. Eri asentajien huolellisuudessa on eroja ja radonsuojan asentaminen vaatii huolellisuutta. Jos työ toteutetaan huolimattomasti eikä asennusohjeisiin perehdytä, saattaa rakenteeseen jäädä vuotokohtia.

### 4.2.3 Radonvuotojen torjunnasta aiheutuvat kustannukset

Uudisrakentamisvaiheessa tehtävät toimenpiteet radonin torjumiseksi ovat halvempia toteuttaa kuin valmiin rakennuksen kohdalla tehtävät korjaustoimenpiteet. Rakentamisvaiheessa asennettava radonputkisto on toteutettavissa esimerkiksi korjaamisen yhteydessä tehtävää radonkaivoa vähemmällä työllä ja sitä kautta vähäisemmillä kuluilla. Rakennuksen perustuksia tehtäessä kaivetaan maata joka tapauksessa, jolloin putkiston asentamiseksi ei tarvitse erikseen tehdä maansiirtotöitä kuten esimerkiksi radonkaivolla toteutettavan korjauksen yhteydessä.

Myös alapohjan tiivistäminen on rakentamisvaiheessa halvempaa, sillä korjattaessa valmista rakennusta, joudutaan pintamateriaaleja ja mahdollisesti muitakin rakenteita purkamaan. Tämä lisää työn määrää ja materiaalinenkkiä. Näin ollen myös kulut kasvavat. Lisäksi korjaustöistä aiheutuu aina haittaa talon asukkaille, joten radonsuojaus kannattaa ehdottomasti toteuttaa uudisrakentamisen yhteydessä huolellisesti.

### 4.3 Radonkorjaukset

Kohteissa, joissa havaitaan sisäilman radonpitoisuudelle asetetut raja-arvot ylittäviä radonpitoisuuksia, ryhdytään korjaustoimenpiteisiin. Korjauspäätös perustuu talviaikana suoritettuun kahden kuukauden pituiseen mittausjaksoon, joka on suoritettu STUKilta saatavilla radonmittauspurkeilla. Mittaus on asuntokohtainen ja kaksikerroksisissa asunnoissa molempiin kerroksiin sijoitetaan mittauspurkki. (Joulamo, haastattelu 30.4.2013)

Raja-arvot ylittävät sisäilman radonpitoisuudet johtuvat pääasiassa alapohjan läpivientien ja rakenteiden liittymien puutteellisesta tiivistämisestä. Varsinkin vanhemmissa kohteissa, jotka kuuluvat kymmenvuotistakuun piiriin, aiheutuvat sisäilman radonpitoisuuksien ylitykset lähes aina puutteellisesta läpivientien tiivistämisestä. (Joulamo, haastattelu 30.4.2013)

Ennen korjausten aloittamista huoneistosta mitataan lyhytaikaisella mittauksella korjausajankohdan sisäilman radonpitoisuus, jota verrataan korjausten jälkeen suoritettavan lyhytaikaisen mittauksen tuloksiin. Näin voidaan arvioida korjausten onnistumista välittömästi korjausten jälkeen ja ryhtyä tarvittaessa lisätoimenpiteisiin. Lyhytaikainen mittaus suoritetaan YIT:n toimesta omalla digitaalimittarilla. (Joulamo, haastattelu 30.4.2013)



Korjausta seuraavan lämmityskauden aikana suoritetaan taas pidempiaikainen, STUKin hyväksymä mittausta, jolla korjaustoimenpiteiden onnistuminen voidaan arvioida luotettavasti. Mittaus suoritetaan YIT:n toimesta. Jos uusintamittauksessa ei havaita puutteita, ovat korjaukset onnistuneet. Muussa tapauksessa ryhdytään lisätoimenpiteisiin. (Joulamo, haastattelu 30.4.2013)

### 4.3.1 Korjaustavat

Pääasiallinen korjaustapa sisäilman radonpitoisuuksien alentamiseksi on kytkeä huippuimuri rakennusvaiheessa asennettuun alapohjan radonputkistoon. Suurimmassa osassa tapauksia tällä toimenpiteellä saadaan alennettua sisäilman radonpitoisuus määräyksien edellyttämälle tasolle. Alapohjan radonputkiston käyttöönotolla asuntojen sisäilman radonpitoisuus alenee jopa 90 prosenttia alkuperäiseen verrattuna. (Joulamo, haastattelu 30.4.2013)

Talviaikaan, joka on sisäilman radonpitoisuuden kannalta kriittisintä aikaa, on havaittu radonputkistoon kytkettävän, katolle asennettavan huippuimurin jäätymistä. Ongelmaa esiintyy varsinkin muutaman ensimmäisen talvikauden aikana, jolloin alapohjasta imettävän ilman mukana kulkeutuu paljon kosteutta. Kosteus tiivistyy ja jäätyy kohdatessaan kylmän ulkoilman, mikä aiheuttaa huippuimurin jäätyksen. (Joulamo, haastattelu 30.4.2013)

Noin 10 prosentissa tapauksista sisäilman radonpitoisuus ei alene riittävästi radonputkiston käyttöönotolla. Tällöin ryhdytään alapohjan rakenteiden tiivistämiseen. Alapohjan vuotokohdat paikallistetaan merkkiainekokeen avulla. Vuotokohdat tiivistetään yleensä vedeneristysmassalla. Yleisimmät vuotokohdat kohteissa ovat alapohjan läpiviennit sekä löylyhuoneen sokkelin ja alapohjalaatan liittymä. Rakenteiden tiivistämiseksi on yleensä purettava pintarakenteita, mikä lisää niin materiaali- kuin työkuulumuksia. (Joulamo, haastattelu 30.4.2013)

### 4.3.2 Radonkorjauksista aiheutuvat kustannukset

Radonkorjauksien kustannukset koostuvat materiaaleista ja työstä sekä mahdollisesta asukkaiden majoittamisesta korjaustöiden ajaksi. Yleensä korjaustyöt voidaan kuitenkin sopia suoritettavaksi asukkaiden poissa ollessa, jolloin majoituskustannuksilta vältytään. (Joulamo, haastattelu 30.4.2013)

Yleisimmin käytetty korjaustapa eli rakennuksen alapohjan radonputkiston käyttöönotto maksaa noin X euroa imuria kohden. Hinta sisältää imurin hankintahinnan sekä asennus- ja säätötyön hinnan. Yleensä imuri on rakennuskohtainen, eli kerrostaloihin asennetaan yksi tai kaksi imuria, samoin rivitaloihin. Erillistalot puolestaan vaativat imurin jokaista taloa kohden. (Joulamo, haastattelu 30.4.2013)

Alapohjan tiivistämistöiden kustannukset aiheutuvat vuotojen paikallistamiseksi tehtävän merkkiainekokeen hinnasta sekä tiivistystöiden ja materiaalien hinnasta. Tiivistämistöihin menee yleensä noin viikko kohdetta kohden ja tiivistämiseen käytetään vedeneristysmassaa. Tiivistämisen kustannuksiksi Joulamo arvioi noin X euroa.

## LÄHTEET

Arvela H., Holmgren O. & Reisbacka H. 2012. STUK A-252 Asuntojen radonkorjaaminen. Helsinki: Kopio Niini Oy

Rakennustieto OY. 2003. RT 81-10791 Radonin torjunta

STUK Sisäilman Radon. 2011. Helsinki: Edita Prima Oy

Mäkeläinen I., Huikuri P., Salonen L., Markkanen M. & Arvela H. 2001. STUK A-182 Talousveden radioaktiivisuus-perusteita laatuvaatimuksille. Helsinki: Oy Edita Ab

Weltner A., Arvela H., Turtiainen T., Mäkeläinen I. & Valmari T. 2003. STUK Säteily- ja ydinturvallisuus-kirjasarja: Säteily ympäristössä-kirja: luku 4. Radon sisäilmassa. Säteilyturvakeskus

RT STM-20929 Suomen säädöskokoelma 944/1992 SOSIAALI- JA TERVEYSMINISTERIÖN PÄÄTÖS ASUNTOJEN HUONEILMAN RADONPITOISUUDEN ENIMMÄISARVOISTA

Sosiaali- ja terveysministeriö. 2003. Asumisterveysohje. Helsinki: Edita Prima Oy

Energiateollisuus RY. 2007 Hyvä tietää säteilystä. Helsinki: Graficolor [energia.fi/sites/default/files/hyva\\_tietaa\\_sateilysta\\_lr\\_130808.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/hyva_tietaa_sateilysta_lr_130808.pdf)

Puhakka E. & Kärkkäinen J. 1994. Rakentamisen tavoitteena puhdas sisäilmasto. Suomi: Suomen sisäilmaston mittauspalvelu.

Valmari T., Mäkeläinen I., Reisbacka H. & Arvela H. 2010. STUK A-245 Suomen radonkartasto. Helsinki: Edita Prima Oy

Holmgren O. & Arvela H. 2012. Assessment of current techniques used for reduction of indoor radon concentration in existing and new houses in European countries. STUK-A251. Helsinki

## HAASTATTELUT

Joulamo M. 2013. Vuosikorjauspäällikkö. YIT. Haastattelu. 30.4.2013

Nurmi O. 2012. Vastaava mestari. YIT. Haastattelu 28.11.2012

Puuppo E. 2012. Vastaava mestari. YIT. Haastattelu 28.11.2012

Kivistö J. 2013. Toimistoinsinööri. YIT. Haastattelu 30.4.2013

RADONTORJUNNAN LAATUKORTTI